

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 56-4

Troisième édition — Third edition

1972

Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension

Quatrième partie: Essais de type et essais individuels

High-voltage alternating-current circuit-breakers

Part 4: Type tests and routine tests



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

IECNORM.COM :: Click to view the full PDF of IEC 60056-4:1972

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 56-4

Troisième édition — Third edition

1972

Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension

Quatrième partie : Essais de type et essais individuels

High-voltage alternating-current circuit-breakers

Part 4: Type tests and routine tests



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	6
PRÉFACE	6
SECTION UN — ESSAIS DE TYPE	
Articles	
1. Généralités	10
1.1 Identification du disjoncteur	10
2. Essai mécanique	12
3. Essai d'échauffement	12
3.1 Mesure de la résistance du circuit principal	14
3.2 Température de l'air ambiant	16
3.3 Echauffement des parties autres que les enroulements	16
3.4 Echauffement des enroulements	16
4. Essais diélectriques	18
4.1 Conditions de l'air ambiant pendant les essais	18
4.2 Etat du disjoncteur pendant les essais	18
4.3 Application de la tension d'essai pour les essais en ondes de choc et à fréquence industrielle	20
4.4 Tensions d'essais	20
4.5 Essais en ondes de choc	20
4.6 Essais de tension à fréquence industrielle à sec	22
4.7 Essais de tension à fréquence industrielle sous pluie	22
4.8 Essais des circuits auxiliaires et de commande	22
5. Renseignements divers pour les essais de fermeture et de coupure	22
5.1 Disposition du disjoncteur pour les essais	22
5.2 Disjoncteur muni de déclencheurs à maximum de courant	24
5.3 Essais par éléments séparés	24
5.4 Essais synthétiques	28
5.5 Manœuvres à vide avant les essais	28
5.6 Mécanismes de fermeture différents	30
5.7 Comportement du disjoncteur pendant les essais	30
5.8 Etat du disjoncteur après les essais	30
5.9 Disjoncteurs comportant de courtes durées d'arc	34
6. Circuits d'essais pour les essais de fermeture et de coupure en court-circuit	36
6.1 Facteur de puissance	36
6.2 Fréquence	36
6.3 Mise à la terre du circuit d'essai	38
6.4 Raccordement du circuit d'essai au disjoncteur	40
7. Caractéristiques pour les essais de court-circuit	40
7.1 Tension appliquée avant les essais de fermeture en court-circuit	40
7.2 (Valeur de crête du) Courant établi en court-circuit	42
7.3 Courant coupé en court-circuit	42
7.4 Composante aperiodique du courant coupé en court-circuit	42
7.5 Tension transitoire de rétablissement pour les défauts aux bornes	44
7.6 Mesure de la tension transitoire de rétablissement	60
7.7 Tension de rétablissement à fréquence industrielle	60
8. Procédure d'essai en court-circuit	62
8.1 Intervalle de temps entre les essais	62
8.2 Application d'une source d'énergie auxiliaire aux déclencheurs d'ouverture—Essais de coupure	62
8.3 Application d'une source d'énergie auxiliaire aux déclencheurs d'ouverture—Essais d'établissement-coupure	62
8.4 Accrochage à la fermeture sur court-circuit	62
9. Séquences d'essais de court-circuit fondamentales	64
9.1 Séquence d'essais N° 1	64
9.2 Séquence d'essais N° 2	64
9.3 Séquence d'essais N° 3	64
9.4 Séquence d'essais N° 4	64
9.5 Séquence d'essais N° 5	66
10. Essais au courant critique	68
10.1 Cas d'application	68
10.2 Courants d'essai	68
10.3 Séquences d'essais au courant critique	68
11. Essais de court-circuit en monophasé	68
11.1 Cas d'application	68
11.2 Courant d'essai et tension de rétablissement	68
11.3 Séquence d'essais	70

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
PREFACE	7
SECTION ONE — TYPE TESTS	
Clause	
1. General	11
1.1 Identification of circuit-breaker	11
2. Mechanical test	13
3. Temperature rise test	13
3.1 Measurement of the resistance of the main circuit	15
3.2 Ambient air temperature	17
3.3 Temperature rise of parts other than coils	17
3.4 Temperature rise of coils	17
4. Dielectric tests	19
4.1 Ambient air conditions during tests	19
4.2 Condition of circuit-breaker during tests	19
4.3 Application of test voltage for impulse and power frequency tests	21
4.4 Test voltages	21
4.5 Impulse voltage tests	21
4.6 Power frequency voltage dry tests	23
4.7 Power frequency voltage wet tests	23
4.8 Tests on auxiliary and control circuits	23
5. Miscellaneous provisions for making and breaking tests	23
5.1 Arrangement of circuit-breaker for tests	23
5.2 Circuit-breakers with over-current releases	25
5.3 Unit testing	25
5.4 Synthetic testing	29
5.5 No-load operations before tests	29
5.6 Alternative closing mechanisms	31
5.7 Behaviour of circuit-breaker during tests	31
5.8 Condition of circuit-breaker after tests	31
5.9 Circuit-breakers with short arcing times	35
6. Test circuits for short-circuit making and breaking tests	37
6.1 Power factor	37
6.2 Frequency	37
6.3 Earthing of test circuit	39
6.4 Connection of test circuit to circuit-breaker	41
7. Short-circuit test quantities	41
7.1 Applied voltage before short-circuit making tests	41
7.2 Short-circuit (peak) making current	43
7.3 Short-circuit breaking current	43
7.4 D.C. component of short-circuit breaking current	43
7.5 Transient recovery voltage for terminal faults	45
7.6 Measurement of transient recovery voltage	61
7.7 Power frequency recovery voltage	61
8. Short-circuit test procedure	63
8.1 Time interval between tests	63
8.2 Application of auxiliary power to the opening release—breaking tests	63
8.3 Application of auxiliary power to the opening release—make-break tests	63
8.4 Latching on short-circuit	63
9. Basic short-circuit test-duties	65
9.1 Test-duty No. 1	65
9.2 Test-duty No. 2	65
9.3 Test-duty No. 3	65
9.4 Test-duty No. 4	65
9.5 Test-duty No. 5	67
10. Critical current tests	69
10.1 Applicability	69
10.2 Test currents	69
10.3 Critical current test-duties	69
11. Single-phase short-circuit tests	69
11.1 Applicability	69
11.2 Test current and recovery voltage	69
11.3 Test-duty	71

12.	Essais de défaut en ligne (défaut kilométrique)	70
12.1	Cas d'application	70
12.2	Courant d'essai	70
12.3	Circuits d'essai	70
12.4	Tension transitoire de rétablissement	72
12.5	Séquences d'essais	74
12.6	Essais de défaut en ligne avec une source d'essai de court-circuit de puissance réduite	74
13.	Essais de mise en et hors circuit en discordance de phases	74
14.	Essai au courant de courte durée admissible	76
14.1	Disposition du disjoncteur	76
14.2	Courant et durée d'essai	76
14.3	Etat du disjoncteur après l'essai	78
15.	Essais de coupure de courants de lignes à vide	78
15.1	Cas d'application	78
15.2	Généralités	78
15.3	Forme d'onde du courant	80
15.4	Caractéristiques des circuits d'alimentation	80
15.5	Mise à la terre du circuit d'alimentation	80
15.6	Caractéristiques du circuit capacitif mis en et hors circuit	82
15.7	Tension d'essai	82
15.8	Séquences d'essais	82
15.9	Mesure des surtensions	84
16.	Essais de coupure de courants de câbles à vide	84
16.1	Cas d'application	84
16.2	Généralités	84
16.3	Forme d'onde du courant	86
16.4	Caractéristiques des circuits d'alimentation	86
16.5	Mise à la terre du circuit d'essais triphasé	86
16.6	Caractéristiques du circuit capacitif mis en et hors circuit	88
16.7	Tension d'essai	88
16.8	Séquences d'essais	88
16.9	Mesure des surtensions	90
17.	Essais de coupure de condensateurs (uniques)	90
17.1	Cas d'application	90
17.2	Généralités	90
17.3	Forme d'onde et mesure du courant	92
17.4	Caractéristiques des circuits d'alimentation	92
17.5	Mise à la terre du circuit d'essais triphasé	92
17.6	Constante de temps à la décharge des condensateurs	92
17.7	Tension d'essai	94
17.8	Séquence d'essais	94
17.9	Mesure des surtensions	96
18.	Essais de coupure de faibles courants inductifs	96
ANNEXE A	— Enregistrements et comptes rendus des essais de type concernant le fonctionnement en fermeture, coupure et passage de courant de courte durée	98
ANNEXE B	— Détermination du facteur de puissance d'un court-circuit	104
ANNEXE C	— Détermination de la valeur efficace équivalente d'un courant de courte durée admissible pendant un court-circuit d'une durée donnée	108
ANNEXE D	— Méthode de tracé de l'enveloppe de la tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit et détermination des paramètres représentatifs	110
ANNEXE E	— Méthodes de détermination des ondes de la tension transitoire de rétablissement présumée	114
ANNEXE F	— Variante des valeurs normales de la TTR présumée pour les séquences d'essais N ^{os} 4 et 5 et pour la séquence d'essais N ^o 3 — représentation par 2 paramètres	114
ANNEXE G	— Exemple de calcul pour un essai de défaut en ligne	118
FIGURES		122

SECTION DEUX — ESSAIS INDIVIDUELS

19.	Généralités	138
20.	Essais de tension à fréquence industrielle à sec du circuit principal	138
21.	Essais de tension des circuits auxiliaires et de commande	138
22.	Mesure des résistances du circuit principal	138
23.	Essais de fonctionnement mécanique	138

12.	Short-line fault tests	71
12.1	Applicability	71
12.2	Test current	71
12.3	Test circuits	71
12.4	Transient recovery voltage	73
12.5	Test-duties	75
12.6	Short-line fault tests with a test supply of limited power	75
13.	Out-of-phase switching tests	75
14.	Short-time current test	77
14.1	Arrangement of circuit-breaker	77
14.2	Test current and duration	77
14.3	Condition of circuit-breaker after test	79
15.	Line-charging current breaking tests	79
15.1	Applicability	79
15.2	General	79
15.3	Wave-form of the current	81
15.4	Characteristics of supply circuits	81
15.5	Earthing of three-phase supply circuit	81
15.6	Characteristics of the capacitive circuit to be switched	83
15.7	Test voltage	83
15.8	Test-duties	83
15.9	Measurement of overvoltages	85
16.	Cable-charging current breaking tests	85
16.1	Applicability	85
16.2	General	85
16.3	Wave-form of current	87
16.4	Characteristics of supply circuits	87
16.5	Earthing of the three-phase test circuit	87
16.6	Characteristics of the capacitive circuits to be switched	89
16.7	Test voltage	89
16.8	Test-duties	89
16.9	Measurement of overvoltages	91
17.	(Single) capacitor bank breaking tests	91
17.1	Applicability	91
17.2	General	91
17.3	Wave-form and measurement of the current	93
17.4	Characteristics of supply circuits	93
17.5	Earthing of the three-phase test circuit	93
17.6	Discharge time constant of the capacitor	93
17.7	Test voltage	95
17.8	Test-duties	95
17.9	Measurement of overvoltages	97
18.	Small inductive current breaking tests	97
APPENDIX A — Records and reports of type-tests for making, breaking, and short-time current performance		99
APPENDIX B — Determination of short-circuit power factor		105
APPENDIX C — Determination of the equivalent r.m.s. value of a short-time current during a short-circuit of a given duration		109
APPENDIX D — Method of drawing the envelope of the prospective transient recovery voltage of a circuit and determining the representative parameters		111
APPENDIX E — Methods of determining prospective transient recovery voltages waves		115
APPENDIX F — Alternative standard values of prospective TRV for Test-duties Nos. 4 and 5 and for Test-duty No. 3, representation by 2 parameters		115
APPENDIX G — Example of calculation for a short-line fault test		119
FIGURES		122

SECTION TWO — ROUTINE TESTS

19.	General	139
20.	Power frequency voltage dry tests on the main circuit	139
21.	Voltage tests on control and auxiliary circuits	139
22.	Measurement of the resistances of the main circuit	139
23.	Mechanical operating tests	139

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISJONCTEURS A COURANT ALTERNATIF A HAUTE TENSION

Quatrième partie : Essais de type et essais individuels

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager cette unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C E I dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

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

Cette publication fait partie de la révision de la Publication 56 et comprend la Section un: Essais de type, et la Section deux: Essais individuels.

Des projets de la section un ont été discutés lors des réunions de Paris en 1967, de Baden-Baden en 1967, d'Arnhem en 1968 et de Stockholm en 1969. A la suite de ces réunions, un projet définitif fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1970.

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

Afrique du Sud	Norvège
Allemagne	Pays-Bas
Australie	Pologne
Belgique	Royaume-Uni
Canada	Suède
Danemark	Suisse
Etats-Unis d'Amérique	Tchécoslovaquie
Finlande	Turquie
France	Union des Républiques
Israël	Socialistes Soviétiques
Italie	Yougoslavie

Un premier projet de la section deux a été discuté lors de la réunion de Baden-Baden en 1967. A la suite de cette réunion, un projet définitif fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en avril 1968.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HIGH-VOLTAGE ALTERNATING-CURRENT CIRCUIT-BREAKERS

Part 4: Type tests and routine tests

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I E C on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote this international unification, the I E C expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I E C recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This Recommendation has been prepared by Sub-Committee 17A, High-voltage Switchgear and Controlgear, of I E C Technical Committee No. 17, Switchgear and Controlgear.

This publication is part of the revision of Publication 56 and includes Section One—Type tests, and Section Two—Routine tests.

Drafts of Section One were discussed at meetings held in Paris in 1967, in Baden-Baden in 1967, in Arnhem in 1968 and in Stockholm in 1969. As a result of these meetings a final draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1970.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Norway
Belgium	Poland
Canada	South Africa
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Switzerland
Finland	Turkey
France	Union of Soviet
Germany	Socialist Republics
Israel	United Kingdom
Italy	United States of America
Netherlands	Yugoslavia

A first draft of Section Two was discussed at the meeting in Baden-Baden 1967. As a result of this meeting, a final draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in April 1968.

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

Afrique du Sud	Norvège
Allemagne	Pays-Bas
Australie	Pologne
Belgique	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
Finlande	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Israël	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Italie	Yougoslavie

Cette publication a été divisée en six parties qui sont publiées en fascicules séparés:

- Publication 56-1, Première partie: Généralités et définitions.
Publication 56-2, Deuxième partie: Caractéristiques nominales.
Publication 56-3, Troisième partie: Conception et construction.
Publication 56-4, Quatrième partie: Essais de type et essais individuels.
Publication 56-5, Cinquième partie: Règles pour le choix des disjoncteurs selon le service.
Publication 56-6, Sixième partie: Renseignements à donner dans les appels d'offres, les soumissions et les commandes et règles pour le transport, l'installation et l'entretien.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Norway
Belgium	Poland
Czechoslovakia	South Africa
Denmark	Sweden
Finland	Switzerland
France	Turkey
Germany	Union of Soviet Socialist Republics
Israel	United Kingdom
Italy	United States of America
Netherlands	Yugoslavia

This Publication has been divided into the following six parts which are published as separate booklets:

Publication 56-1: Part 1. General and Definitions.

Publication 56-2: Part 2. Rating.

Publication 56-3: Part 3. Design and Construction.

Publication 56-4: Part 4. Type Tests and Routine Tests.

Publication 56-5: Part 5. Rules for the Selection of Circuit-breakers for Service.

Publication 56-6: Part 6. Information to be Given with Enquiries, Tenders and Orders and Rules for Transport, Erection and Maintenance.

DISJONCTEURS A COURANT ALTERNATIF A HAUTE TENSION

Quatrième partie : Essais de type et essais individuels

SECTION UN — ESSAIS DE TYPE

1. Généralités

Les essais de type décrits ci-après ont pour but de vérifier les caractéristiques des disjoncteurs, de leurs dispositifs de manœuvre et de leurs équipements auxiliaires.

Les essais de type comprennent :

- des essais pour montrer que le comportement mécanique est satisfaisant, voir article 2;
- des essais pour montrer que le fonctionnement mécanique est satisfaisant, voir paragraphes 5.5 et 5.8.3;
- des essais pour montrer que l'échauffement de n'importe quelle partie n'excède pas les valeurs spécifiées, voir article 3;
- des essais pour montrer que l'isolement est conforme aux limites spécifiées, voir article 4;
- des essais pour montrer l'aptitude du disjoncteur à établir et à couper les courants de court-circuit, voir articles 5 à 13;
- des essais pour montrer l'aptitude du disjoncteur à supporter son courant de courte durée admissible, voir article 14;
- des essais pour montrer l'aptitude du disjoncteur à couper des courants de lignes à vide, voir article 15;
- des essais pour montrer l'aptitude du disjoncteur à couper des courants de câbles à vide, voir article 16;
- des essais pour montrer l'aptitude du disjoncteur à couper des courants de batterie unique de condensateurs, voir article 17;
- des essais pour montrer l'aptitude du disjoncteur à couper de faibles courants inductifs, voir article 18.

Les résultats de tous les essais de type doivent être enregistrés dans les comptes rendus des essais de type contenant les données nécessaires pour prouver que le disjoncteur a satisfait aux prescriptions de cette spécification. Ces comptes rendus doivent également contenir les renseignements nécessaires pour permettre d'identifier les caractéristiques essentielles du disjoncteur essayé. Les détails de ces exigences sont donnés au paragraphe 1.1 et dans l'annexe A.

En principe, chaque essai de type doit être effectué sur un disjoncteur neuf et propre et les divers essais de type peuvent être effectués à des époques différentes et en des lieux différents.

Lorsque des essais sont effectués sur un disjoncteur dont le rapport des essais de type a déjà été accepté, la responsabilité du constructeur est limitée aux valeurs spécifiées et non aux résultats obtenus au cours des essais de type effectués antérieurement.

1.1 Identification du disjoncteur

Des renseignements suffisants pour identifier le disjoncteur et des renseignements d'ordre général concernant son châssis-support ou l'appareillage sous enveloppe métallique, dont le disjoncteur fait partie intégrante, doivent être contenus dans le compte rendu d'essais.

HIGH-VOLTAGE ALTERNATING-CURRENT CIRCUIT-BREAKERS

Part 4: Type tests and routine tests

SECTION ONE — TYPE TESTS

1. General

The type tests set out in this section are for the purpose of proving the characteristics of circuit-breakers, their operating devices and auxiliary equipment.

The type tests comprise:

- tests to prove mechanical performance, see Clause 2;
- tests to prove mechanical operation, see Sub-clauses 5.5 and 5.8.3;
- tests to prove that the temperature rise of any part does not exceed specified limits, see Clause 3;
- tests to prove that the insulation complies with specified limits, see Clause 4;
- tests to prove the short-circuit making and breaking performance, see Clauses 5 to 13;
- tests to prove the short-time current performance, see Clause 14;
- tests to prove the performance when breaking line-charging currents, see Clause 15;
- tests to prove the performance when breaking cable-charging currents, see Clause 16;
- tests to prove the performance when breaking single capacitor bank currents, see Clause 17;
- tests to prove the performance when breaking small inductive currents, see Clause 18.

The results of all type tests shall be recorded in type-test reports containing sufficient data to prove compliance with this specification, and information shall be included so that the essential details of the circuit-breaker tested can be identified. Details of these requirements are given in Sub-clause 1.1 and Appendix A.

In principle the individual type tests shall be made on a circuit-breaker in a new and clean condition, and the various type tests may be made at different times and at different locations.

Where tests are made on a circuit-breaker whose report of type tests has already been accepted, the responsibility of the manufacturer is limited by the specified values and not by the results obtained during the type tests previously made.

1.1 Identification of circuit-breaker

Sufficient information to identify the circuit-breaker and general information concerning its supporting structure or metal-enclosed unit, of which the circuit-breaker forms an integral part, shall be included in the type-test report.

Les renseignements concernant les dispositifs de manœuvre utilisés pendant les essais seront indiqués, lorsque c'est applicable, dans le compte rendu d'essais de type. On indiquera également si le disjoncteur est équipé d'un déclencheur sous courant de fermeture ou d'un dispositif équivalent.

Le disjoncteur à essayer doit être vraiment conforme dans tous les détails essentiels aux dessins du type qu'il représente.

2. Essai mécanique

Sauf spécification contraire, l'essai mécanique doit être fait à la température de l'air ambiant du local d'essais. La tension d'alimentation des dispositifs de manœuvre doit être mesurée à leurs bornes lorsque le plein courant circule. Les équipements auxiliaires formant partie intégrante des dispositifs de manœuvre doivent être inclus. Cependant, aucune addition intentionnelle d'impédance (par exemple, pour le réglage de la tension) n'est permise entre la source de tension et les bornes du dispositif.

L'essai mécanique doit comporter 1 000 cycles de manœuvre sans application de tension ni de courant au circuit principal.

Environ 10 % des cycles de manœuvre doivent être des essais de fermeture-ouverture avec commande de l'ouverture par la fermeture des contacts principaux.

L'essai doit être effectué sur le disjoncteur muni du dispositif de manœuvre qui lui est propre.

Pour un disjoncteur muni d'un dispositif de fermeture par servomoteur, l'essai doit être fait à sa tension et à sa pression nominale d'alimentation ou à l'un des deux et effectué dans des conditions telles que les échauffements des organes électriques de commande ne dépassent pas les valeurs indiquées au tableau IV, article 5, de la Publication 56-2 de la CEI: Disjoncteurs à courant alternatif, Deuxième partie: Caractéristiques nominales.

Pendant l'essai, il est permis de procéder à un graissage conformément aux indications du constructeur, à l'exclusion de tout réglage mécanique.

Après l'essai, toutes les pièces, y compris les contacts, devront être en bon état et ne devront pas présenter d'usure excessive. Voir aussi la note 2 du tableau IV, article 5, de la Publication 56-2 de la CEI.

Toute déformation permanente des pièces mécaniques qui pourrait survenir ne devra pas affecter de façon défavorable le fonctionnement du disjoncteur ni empêcher la mise en place correcte des pièces de rechange.

Note. — Voir aussi la note du paragraphe 17.7 b) i).

3. Essai d'échauffement

Généralités

L'échauffement de n'importe quelle partie d'un disjoncteur ne doit pas excéder les limites d'échauffement spécifiées dans le tableau IV, article 5, de la Publication 56-2 de la CEI.

Si l'isolation d'un enroulement est constituée de plusieurs matériaux isolants différents, l'échauffement admissible de l'enroulement considéré devra correspondre au matériel isolant ayant la plus basse limite d'échauffement.

Information regarding the operating devices employed during the tests shall, where applicable, be recorded in the type-test report, also whether the circuit-breaker is fitted with a making current release, or equivalent device.

The circuit-breaker for test shall truly conform in all essential details to drawings of its type.

2. Mechanical test

Unless otherwise specified, the mechanical test shall be made at the ambient air temperature of the test location. The supply voltage of the operating devices shall be measured at the terminals with full current flowing. Auxiliary equipment forming part of the operating devices shall be included. However, no intentional addition to the impedance (e.g. for regulation of the voltage) between the voltage source and the terminals of the devices is permitted.

The mechanical test shall consist of 1 000 operating cycles without voltage on or current in the main circuit.

Out of the total number of operating cycles, approximately 10% shall be close-open with the opening device energized by the closing of the main contacts.

The test shall be made on the circuit-breaker equipped with its own operating devices.

On a circuit-breaker having a power-operated closing device, the test shall be made at rated supply voltage and/or pressure, and carried out in such a way that the temperature rises of the electrical components do not exceed the values given in Table IV, Clause 5, of IEC Publication 56-2: High-voltage alternating-current circuit-breakers; Part 2: Rating.

During the test, lubrication in accordance with the manufacturer's instructions but no mechanical adjustment is permissible.

After the test, all parts, including contacts, shall be in good condition and shall not show undue wear. See also Note 2 of Table IV, Clause 5, of IEC Publication 56-2.

Any permanent distortion of the mechanical parts that may occur shall not adversely affect the operation of the circuit-breaker nor prevent the proper fit of any replacement parts.

Note. — See also Note of Sub-clause 17.7 b) i).

3. Temperature rise test

General

The temperature rise of any part of a circuit-breaker shall not exceed the limits of temperature rise specified in Table IV, Clause 5, of IEC Publication 56-2.

If the insulation of a coil is made of several different insulating materials the permissible temperature rise of the coil shall be taken as that for the insulating material with the lowest limit of temperature rise.

A l'exception des enroulements prévus pour le courant continu, les disjoncteurs doivent être essayés à la fréquence nominale avec une tolérance de $+2\%$ et de -5% , mais pour la commodité des essais, des tolérances supérieures peuvent être nécessaires. Si ces écarts sont appréciables, par exemple, lorsque les disjoncteurs dont la fréquence nominale est de 50 Hz sont essayés à 60 Hz et vice versa, il est recommandé d'interpréter les résultats avec précaution.

A l'exception d'un essai effectué sur un enroulement prévu pour une charge nominale intermittente, chaque essai doit être effectué pendant une période de temps suffisante pour que l'échauffement atteigne une valeur constante (en pratique, cette condition est généralement réalisée lorsque la variation n'excède pas 1 deg C par heure).

Le temps nécessaire pour l'essai complet peut être réduit par préchauffage du circuit avec un courant d'une valeur plus élevée.

Pour les enroulements, la méthode de mesure de la température par variation de résistance devra être généralement employée. L'emploi d'autres méthodes n'est permis que si l'utilisation de la méthode par variation de résistance est impraticable.

Pour les conducteurs autres que les enroulements, la température des différentes parties devra être mesurée avec des thermomètres ou des thermocouples de type convenable, placés au point le plus chaud accessible.

La température de l'huile dans les disjoncteurs à huile devra être mesurée à la partie supérieure de l'huile.

Pour les mesures avec les thermomètres ou les thermocouples, les précautions suivantes devront être prises:

- a) Les réservoirs des thermomètres ou les thermocouples devront être protégés contre le refroidissement venant de l'extérieur (laine sèche et propre, etc.). La surface protégée devra de toute façon être négligeable vis-à-vis de la surface de refroidissement de l'appareil en essai.
- b) La bonne conductivité thermique entre le thermomètre ou le thermocouple et la surface de la partie en essai devra être assurée.

Lorsque des thermomètres à réservoir sont employés en des points où existent des champs magnétiques variables, il est recommandé d'employer des thermomètres à alcool de préférence aux thermomètres à mercure, ces derniers étant moins sûrs dans ces conditions.

3.1 *Mesure de la résistance du circuit principal*

La résistance de chaque pôle du circuit principal doit être mesurée dans le but de permettre la comparaison entre le disjoncteur type sur lequel l'essai d'échauffement a été fait et tous les disjoncteurs du même type, soumis aux essais individuels.

La mesure doit être faite en courant continu en mesurant la chute de tension ou la résistance aux bornes de chaque pôle.

Le courant doit, pendant l'essai, avoir toute valeur convenable comprise entre 100 A et le courant nominal en service continu.

La mesure de la chute de tension en courant continu ou de la résistance doit être faite avant l'essai d'échauffement, le disjoncteur se trouvant à la température de l'air ambiant.

La valeur mesurée de la chute de tension en courant continu ou de la résistance ainsi que les conditions générales pendant l'essai (courant, température de l'air ambiant, etc.) doivent être indiquées dans le compte rendu de l'essai de type.

Circuit-breakers, with the exception of d.c. coils, shall be tested at rated frequency with a tolerance of +2% and -5%, but for convenience of testing, wider tolerances may be necessary. If these deviations are appreciable, i.e. when circuit-breakers rated for 50 Hz are tested at 60 Hz and vice versa, care should be exercised in the interpretation of the results.

Each test, except a test on an intermittently rated coil, shall be made over a period of time sufficient for the temperature rise to reach a constant value (for practical purposes this condition is usually obtained when the variation does not exceed 1 deg C per hour).

The time for the whole test may be shortened by pre-heating the circuit with a higher value of current.

For coils, the method of measuring the temperature rise by variation of resistance shall generally be used. Other methods are permitted only if it is impracticable to use the resistance method.

For conductors other than coils, the temperature of the different parts shall be measured with thermometers or thermocouples, of any suitable type, placed at the hottest accessible spot.

The temperature of the oil in oil circuit-breakers shall be measured in the upper layer of the oil.

For measurement with thermometers or thermocouples, the following precautions shall be taken:

- a) The bulbs of the thermometers or thermocouples, shall be protected against cooling from outside (dry clean wool, etc.). The protected area shall, however, be negligible compared to the cooling area of the apparatus under test.
- b) Good heat conductivity between the thermometer or thermocouple and the surface of the part under test shall be ensured.

When bulb thermometers are employed in places where there is any varying magnetic field, alcohol thermometers should be used in preference to mercury thermometers, as the latter are less reliable under these conditions.

3.1 *Measurement of the resistance of the main circuit*

The resistance of each pole of the main circuit shall be measured for comparison between the circuit-breaker type-tested for temperature rise and all circuit-breakers of the same type subjected to the routine tests.

The measurement shall be made with d.c. by measuring the d.c. voltage drop, or resistance, across the terminals of each pole.

The current during the test shall have any convenient value between 100 A and the rated normal current.

The measurement of the d.c. voltage drop or the resistance shall be made before the temperature rise test, with the circuit-breaker at the ambient air temperature.

The measured value of the d.c. voltage drop or the resistance shall be given in the type-test report, as well as the general conditions during the test (current, ambient air temperature, etc.).

3.2 *Température de l'air ambiant*

La température de l'air ambiant doit être mesurée pendant le dernier quart de la période d'essai, au moyen d'au moins trois thermomètres disposés régulièrement autour du disjoncteur à environ la hauteur moyenne des éléments traversés par le courant et à une distance d'environ un mètre du disjoncteur. Les thermomètres devront être protégés contre les courants d'air et les radiations de chaleur.

En vue d'éviter des erreurs d'indication du fait de variations rapides de température, les thermomètres peuvent être placés dans de petits réservoirs remplis d'huile ayant une capacité en huile d'environ un demi-litre.

Pendant le dernier quart de la période d'essai, la variation de la température de l'air ambiant ne doit pas être supérieure à 1 deg C par heure. Si cela n'est pas possible du fait des conditions de température défavorables du local d'essai, la température d'un disjoncteur identique placé dans les mêmes conditions d'ambiance, mais sans courant, peut être prise pour remplacer la température de l'air ambiant. Ce disjoncteur supplémentaire ne doit pas être soumis à des radiations calorifiques intempestives.

La température de l'air ambiant pendant les essais sera comprise entre $+10^{\circ}\text{C}$ et $+40^{\circ}\text{C}$. Aucune correction des échauffements observés ne devra être faite pour des températures ambiantes comprises dans les limites ci-dessus.

3.3 *Echauffement des parties autres que les enroulements*

Pour les essais d'échauffement des parties autres que les enroulements, le disjoncteur y compris les transformateurs de courant et ses organes auxiliaires seront montés approximativement comme dans les conditions normales de service, avec tous les capots normalement prévus pour les différentes parties du disjoncteur, et devront être protégés contre des échauffements ou des refroidissements anormaux externes. Ces essais peuvent être effectués sur des pôles séparés si l'influence des autres pôles est négligeable.

Les connexions provisoires de raccordement au circuit principal seront faites de telle façon qu'aucune quantité de chaleur anormale ne puisse être enlevée ou amenée au disjoncteur pendant l'essai. En cas de doute, l'échauffement devra être mesuré aux bornes du circuit principal et sur les connexions provisoires à une distance de 1 mètre des bornes. La différence d'échauffement ne devra pas excéder 5 deg C.

Dans le cas d'un disjoncteur non muni d'accessoires branchés en série, l'essai doit être effectué avec le courant nominal en service continu du disjoncteur.

Dans le cas d'un disjoncteur muni d'accessoires branchés en série possédant une gamme de courants nominaux en service continu, il sera procédé aux essais suivants:

- a) un essai sur le disjoncteur muni de l'accessoire ayant un courant nominal en service continu égal au sien, et effectué au courant nominal en service continu du disjoncteur;
- b) une série d'essais sur le disjoncteur muni des accessoires prévus, et effectués avec des courants égaux au courant nominal en service continu de chaque accessoire.

Note. — Si les accessoires peuvent être séparés du disjoncteur et s'il est évident que leurs échauffements respectifs sont sans influence mutuelle appréciable, l'essai b) peut être remplacé par une série d'essais sur les accessoires seuls.

3.4 *Echauffement des enroulements*

Les essais d'échauffement des enroulements devront être faits avec la nature spécifiée du courant d'alimentation (courant alternatif ou courant continu). Les dispositifs de fermeture et d'ouverture seront essayés à leur tension nominale d'alimentation et les déclencheurs à maximum de courant, à leur courant nominal.

3.2 *Ambient air temperature*

The ambient air temperature shall be measured during the last quarter of the test period by means of at least three thermometers, equally distributed around the circuit-breaker at about the average height of its current-carrying parts at a distance of about one metre from the circuit-breaker. The thermometers shall be protected against air currents and heat radiation.

In order to avoid indication errors because of rapid temperature changes, the thermometers may be put into small oil-filled cans with oil contents of about half a litre.

During the last quarter of the test period, the change of ambient air temperature shall not exceed 1 deg C per hour. If this is not possible because of unfavourable temperature conditions of the test room, the temperature of an identical circuit-breaker under the same ambient conditions, but without current, can be taken as a substitute for the ambient air temperature. This additional circuit-breaker shall not be subjected to undue heat radiation.

The ambient air temperature during tests shall be more than + 10 °C but less than + 40 °C. No corrections of the temperature rise values shall be made for ambient air temperatures within the above range.

3.3 *Temperature rise of parts other than coils*

For temperature rise tests of parts other than coils, the circuit-breaker including current transformers and its auxiliary devices shall be mounted approximately as under usual service conditions, including all normal covers of any part of the circuit-breaker, and shall be protected against undue external heating or cooling. These tests may be made on single poles if the influence of the other poles is negligible.

Temporary connections to the main circuit shall be such that no abnormal amount of heat is conducted away from, or conveyed to, the circuit-breaker during the test. In case of doubt the temperature rise at the terminals of the main circuit, and at the temporary connections at a distance of 1 m from the terminals, shall be measured. The difference of temperature rise shall not exceed 5 deg C.

For a circuit-breaker not fitted with series connected accessories, the test shall be made with the rated normal current of the circuit-breaker.

For a circuit-breaker fitted with series connected accessories having a range of rated normal currents, the following tests shall be made:

- a) a test of the circuit-breaker fitted with the series connected accessory having a rated normal current equal to that of the circuit-breaker, and made at the rated normal current of the circuit-breaker;
- b) a series of tests of the circuit-breaker fitted with the intended accessories, and made with currents equal to the rated normal current of each accessory.

Note. — If the accessory can be removed from the circuit-breaker, and if it is evident that the temperature rise of the circuit-breaker and of the accessories do not appreciably influence each other, Test b) above may be replaced by a series of tests of the accessories alone.

3.4 *Temperature rise of coils*

The tests for temperature rise of coils shall be made with the specified nature of supply (a.c. or d.c.). Closing and opening devices shall be tested at their rated supply voltage, over-current releases at their rated current.

Les enroulements prévus pour un fonctionnement continu devront être essayés pendant une période de temps suffisante pour que l'échauffement atteigne une valeur constante (pratiquement cette condition est obtenue lorsque sa variation n'excède pas 1 deg C par heure).

Pour les bobines de fermeture et d'ouverture alimentées seulement pendant les opérations de fermeture et d'ouverture, les essais devront être faits dans les conditions suivantes:

- a) Lorsque le disjoncteur est muni d'un dispositif automatique d'ouverture du circuit de commande à la fin de la manœuvre, le circuit devra être alimenté dix fois, l'intervalle de temps entre chaque mise sous tension étant de 2 s
- b) Lorsque le disjoncteur n'est pas muni d'un dispositif automatique d'ouverture du circuit de commande à la fin de la manœuvre, le circuit devra être alimenté:
 - dix fois, l'intervalle de temps entre chaque mise sous tension étant de 2 s et la durée de chaque mise sous tension étant de 1 s,
 - après refroidissement complet, une fois, pendant une durée de 15 s.

A la fin de l'un ou l'autre de ces essais, l'échauffement ne devra pas excéder les valeurs spécifiées.

4. Essais diélectriques

Note. — Une révision des essais diélectriques est à l'étude.

4.1 Conditions de l'air ambiant pendant les essais

On se référera à la Publication 60 de la CIE: Essais à haute tension, en ce qui concerne les conditions atmosphériques normales et les facteurs de correction pour la densité et l'humidité de l'air.

On appliquera les facteurs de correction aux essais diélectriques des disjoncteurs lorsque l'isolation externe à l'air libre constitue l'élément principal, sauf que les facteurs de correction de l'humidité ne s'appliquent pas aux essais de tension à fréquence industrielle sous pluie.

Pour les autres disjoncteurs possédant une isolation externe et une isolation interne, on n'appliquera pas les facteurs de correction pour la densité et l'humidité si le facteur de correction total est compris entre 0,95 et 1,05. Si un disjoncteur n'a pas satisfait à un essai diélectrique par suite de la réduction de la rigidité diélectrique de l'air atmosphérique pendant l'essai, on peut répéter cet essai dans des conditions plus favorables. Si le facteur de correction n'est pas compris entre 0,95 et 1,05, les détails des essais diélectriques feront l'objet d'un accord entre constructeur et utilisateur. On n'appliquera pas les facteurs de correction aux essais de tension à fréquence industrielle.

Pour les disjoncteurs ne comportant qu'une isolation interne, les conditions de l'air ambiant pendant l'essai n'ont pas d'importance et on n'appliquera pas de facteurs de correction.

4.2 Etat du disjoncteur pendant les essais

Tous les essais de vérification des niveaux d'isolement doivent être effectués sur des disjoncteurs complètement assemblés et prêts pour le service. Ces derniers doivent être montés pour l'essai avec les distances minimales dans l'air spécifiées par le constructeur.

Lorsque la distance entre les pôles d'un disjoncteur n'est pas fixée par construction, la distance entre les pôles à adopter pour les essais sera la valeur minimale indiquée par le constructeur. Toutefois, afin d'éviter la nécessité de monter des disjoncteurs de grandes dimensions à seule fin d'effectuer des essais, si la distance minimale entre pôles est telle qu'un amorçage entre les pôles n'est pas à craindre, les essais peuvent être exécutés sur un seul pôle.

Continuously rated coils shall be tested over a period of time sufficient for the temperature rise to reach a constant value (this condition is obtained, for practical purposes, when the variation does not exceed 1 deg C per hour).

For closing and opening coils energized only during closing or opening operations, the tests shall be made under the following conditions:

- a) When the circuit-breaker has an automatic device for opening the control circuit at the end of the operation, the circuit shall be energized ten times, the interval between the instants of each energizing being 2 s.
- b) When the circuit-breaker has no automatic device for opening the control circuit at the end of the operation, the circuit shall be energized:
 - ten times, the interval between the instants of each energizing being 2 s and the duration of each energizing being 1 s,
 - after cooling down, once for a duration of 15 s.

At the end of either test the temperature rise shall not exceed the specified values.

4. Dielectric tests

Note. — A revision of dielectric testing is under consideration.

4.1 Ambient air conditions during tests

Reference shall be made to IEC Publication 60: High-voltage test techniques, regarding standard atmospheric conditions and correction factors for air density and humidity.

Correction factors shall be applied in dielectric tests of circuit-breakers when external insulation in free air is of principal concern, except that humidity correction factors are not applicable to power frequency voltage wet tests.

For other circuit-breakers having external and internal insulation, the correction factors, for density and humidity, shall not be applied if the total correction factor is between 0.95 and 1.05. If a circuit-breaker fails a dielectric test due to reduced strength of the atmospheric air during the test, this test may be repeated in more favourable conditions. If the correction factor is outside the range of 0.95 to 1.05, details of dielectric tests shall be subject to agreement between manufacturer and user. Correction factors are not to be applied to the power frequency voltage tests.

For circuit-breakers having internal insulation only, the ambient air conditions during test are of no account and correction factors shall not be applied.

4.2 Condition of circuit-breaker during tests

All tests to verify insulation levels shall be made on circuit-breakers completely assembled, ready for service. They shall be mounted for test with minimum clearances as specified by the manufacturer.

When the distance between the poles of a circuit-breaker is not inherently fixed by the design, the distance between the poles for the test shall be the minimum value stated by the manufacturer. However, to obviate the necessity of erecting large circuit-breakers for test purposes alone, if the minimum distance between poles is such that there is no risk of flashover between poles, the tests may be made on a single pole.

Lorsque le constructeur spécifie qu'un isolement supplémentaire tel que des enrubannages ou des écrans est exigé pour être utilisé en service, une telle isolation supplémentaire doit être utilisée pendant les essais.

Si des éclateurs de protection ou des anneaux de garde sont nécessaires pour la protection du réseau, ces éclateurs peuvent être enlevés ou leur écartement augmenté en vue de l'essai. S'ils sont nécessaires pour le contrôle du gradient, ils doivent être maintenus en position pendant l'essai.

4.3 *Application de la tension d'essai pour les essais en ondes de choc et à fréquence industrielle*

La tension d'essai doit être appliquée comme suit:

a) Dans la position de fermeture, entre toutes les parties du circuit principal de chaque pôle successivement et le bâti, toutes les parties du circuit principal des autres pôles (s'il y en a) étant réunies au bâti.

b) Dans la position d'ouverture:

i) entre toutes les parties du circuit principal de tous les pôles, réunies entre elles et le bâti;

ii) entre les bornes de chaque pôle successivement et le bâti, toutes les parties du circuit principal des autres pôles (s'il y en a) étant réunies au bâti;

Note. — Il ne sera nécessaire de faire l'essai b) ii) que si l'isolement entre pôles est réduit de façon importante dans la position d'ouverture.

iii) entre les bornes d'un côté réunies entre elles et les bornes de l'autre côté réunies entre elles et au bâti. Les essais doivent être répétés en intervertissant les connexions reliant les bornes à la source et au bâti, à moins que la disposition des bornes d'un pôle ne soit symétrique par rapport au bâti.

4.4 *Tensions d'essais*

Les tensions d'essais utilisées pour les essais prescrits au paragraphe 4.3 doivent être conformes aux prescriptions de l'article 3 de la Publication 56-2 de la CEI.

4.5 *Essais en ondes de choc*

Tous les disjoncteurs pour l'extérieur et les disjoncteurs pour l'intérieur destinés à être utilisés dans des installations en situation exposée doivent être soumis à des essais en ondes de choc à sec avec des ondes de choc 1,2/50 conformes à la Publication 60 de la CEI.

Au cours des essais, la borne du générateur de choc reliée à la terre doit être connectée au bâti du disjoncteur.

Pendant chaque essai, cinq ondes de choc consécutives doivent être appliquées. Si aucun contournement ni aucune perforation ne se produit, le disjoncteur doit être considéré comme ayant satisfait à l'essai. Si une perforation ou deux contournements ou plus se produisent, le disjoncteur doit être considéré comme n'ayant pas satisfait à l'essai. Si un seul contournement se produit, dix ondes de choc supplémentaires doivent être appliquées et c'est seulement si aucun contournement ni aucune perforation ne se produit au cours de l'un quelconque de ces essais supplémentaires que le disjoncteur doit être considéré comme ayant subi l'essai avec succès.

Le disjoncteur doit être capable de satisfaire aux essais spécifiés avec des tensions de polarité aussi bien positive que négative, mais lorsqu'il est évident qu'une polarité donnera la plus faible tension d'amorçage, il doit suffire de faire l'essai avec cette polarité.

When the manufacturer states that supplementary insulation, such as tape or barriers, is required to be used in service, such supplementary insulation shall also be used during the tests.

If arcing horns or rings are required for the purpose of system protection, they may be removed or their spacing increased for the purpose of the test. If they are required for stress control, they shall remain in position for the test.

4.3 *Application of test voltage for impulse and power frequency tests*

The test voltage shall be applied as follows:

a) in the closed position, between all parts of the main circuit of each pole in turn and the frame, all parts of the main circuit of the other poles (if any) being connected to the frame.

b) In the open position:

i) between all parts of the main circuit of all poles connected together and the frame;

ii) between the terminals of each pole in turn and the frame, all parts of the main circuit of the other poles (if any) being connected to the frame;

Note. — Test b) ii) is required only if the insulation between poles is significantly reduced in the open position.

iii) between the terminals of one side connected together and the terminals of the opposite side connected together and the frame. The tests shall be repeated with the connections from the terminals to the source and the frame interchanged unless the arrangement of the terminals of a pole is symmetrical with respect to the frame.

4.4 *Test voltages*

The test voltages to be used for the tests prescribed in Sub-clause 4.3, shall be in accordance with Clause 3 of I E C Publication 56-2.

4.5 *Impulse voltage tests*

All outdoor circuit-breakers, and indoor circuit-breakers for use in exposed installations, shall be subjected to impulse voltage dry tests with 1.2/50 impulses in accordance with I E C Publication 60.

During the tests the earthed terminal of the impulse generator shall be connected to the frame of the circuit-breaker.

During each test five consecutive impulses shall be applied. If a flashover or puncture does not occur, the circuit-breaker shall be considered to have passed the test. If puncture occurs, or if two or more flashovers occur, the circuit-breaker shall be considered to have failed the test. If only one flashover takes place, ten additional impulses shall be applied and only if flashover or puncture does not occur on any of these additional applications the circuit-breaker shall be considered to have passed the test successfully.

The circuit-breaker shall be capable of passing the specified tests with voltages of both positive and negative polarity, but where it is evident as to which polarity will give the lower breakdown voltage, it shall suffice to test with that polarity.

4.6 *Essais de tension à fréquence industrielle à sec*

Tous les disjoncteurs doivent être soumis à des essais de tenue à sec à une tension à fréquence industrielle pendant une minute conformément à la Publication 60 de la CEI.

Le circuit d'essai (transformateur muni d'un dispositif de réglage de la tension) doit avoir un courant de court-circuit au moins égal à 0,2 A. Il est permis de mesurer la grandeur de ce courant à environ un dixième de la tension d'essai spécifiée.

Durant les essais, une borne du transformateur d'essai doit être réunie à la terre et au châssis du disjoncteur.

La tension d'essai doit être élevée jusqu'à la valeur spécifiée et doit être maintenue pendant une minute. Si un contournement ou une perforation apparaît, le disjoncteur doit être considéré comme n'ayant pas satisfait aux essais.

4.7 *Essais de tension à fréquence industrielle sous pluie*

L'isolation externe des disjoncteurs pour emploi à l'extérieur doit être soumise à des essais de tenue sous pluie à une tension à fréquence industrielle dans les conditions spécifiées au paragraphe 4.6 et conformément au processus d'essai indiqué dans la Publication 60 de la CEI qui fixe également la durée des essais de tenue sous pluie.

Ces essais ne sont pas nécessaires pour les disjoncteurs à cuve métallique (à bain d'huile, etc.) lorsque les traversées ont déjà été essayées.

4.8 *Essais des circuits auxiliaires et de commande*

Les circuits auxiliaires et de commande de tous les disjoncteurs doivent être soumis à des essais de tenue à la tension de fréquence industrielle pendant une minute:

- entre les circuits auxiliaires et de commande reliés entre eux et le bâti du disjoncteur;
- s'il y a lieu, entre chaque partie des circuits auxiliaires et de commande qui peut être isolée des autres parties en service normal, et les autres parties, reliées entre elles et au bâti.

La tension d'essai doit être 2 000 V. S'il se produit un contournement ou une perforation, les circuits auxiliaires et de commande du disjoncteur doivent être considérés comme n'ayant pas satisfait à l'essai.

Normalement, la tension d'essai des moteurs et des autres équipements utilisés dans les circuits auxiliaires et de commande doit être la même que celle de ces circuits. Si ces appareils ont déjà été essayés conformément à leur propre spécification, ils peuvent être déconnectés pendant l'essai.

5. **Renseignements divers pour les essais de fermeture et de coupure**

5.1 *Disposition du disjoncteur pour les essais*

Le disjoncteur à essayer doit être monté complet sur son propre support ou sur un support équivalent. Son dispositif de commande doit être actionné dans des conditions spécifiées et, en particulier si le mécanisme est à commande électrique, pneumatique ou oléopneumatique, il doit être alimenté sous la tension minimale ou bien sous la pression minimale ainsi qu'il est spécifié aux articles 5 à 7 de la Publication 56-3 de la CEI: Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension, Troisième partie: Conception et construction, à moins qu'une autre spécification ne figure aux articles correspondants. Il sera vérifié que le disjoncteur fonctionne correctement à vide lorsqu'il est actionné dans les conditions ci-dessus, ainsi qu'il est spécifié au paragraphe 5.5. Les disjoncteurs

4.6 *Power frequency voltage dry tests*

All circuit-breakers shall be subjected to one-minute power frequency voltage dry withstand tests in accordance with I E C Publication 60.

The test source (transformer with voltage regulating device) shall have a short-circuit current of at least 0.2 A. It is permissible to check the magnitude of the current at about one-tenth of the specified test voltage.

During the tests one terminal of the testing transformer shall be connected to earth and to the frame of the circuit-breaker.

The test voltage shall be raised to the value specified and shall be maintained for one minute. If flashover or puncture occurs, the circuit-breaker shall be considered to have failed the test.

4.7 *Power frequency voltage wet tests*

The outdoor insulation of circuit-breakers shall be subjected to power frequency voltage wet withstand tests under the same conditions as those specified in Sub-clause 4.6 and the test procedure given in I E C Publication 60 which also gives the duration of wet withstand tests.

Such tests are not necessary for dead tank (bulk oil, etc.) circuit-breakers when the bushings have already been tested.

4.8 *Tests on auxiliary and control circuits*

Auxiliary and control circuits of all circuit-breakers shall be subjected to one-minute power frequency voltage withstand tests:

- between the auxiliary and control circuits connected together as a whole and the frame of the circuit-breaker;
- if practicable, between each part of the auxiliary and control circuits, which in normal use may be insulated from the other parts, and the other parts connected together and to the frame.

The test voltage shall be 2 000 V. If puncture or flashover occurs, the auxiliary and control circuits of the circuit-breaker shall be considered to have failed the test.

Normally the test voltage of motors and other devices used in the auxiliary and control circuits shall be the same as the test voltage of those circuits. If such apparatus has already been tested in accordance with the appropriate specification, it may be disconnected for this test.

5. **Miscellaneous provisions for making and breaking tests**

5.1 *Arrangement of circuit-breaker for tests*

The circuit-breaker for test shall be mounted complete on its own support or on an equivalent support. Its operating devices shall be operated in the manner specified and in particular, if it is electrically, pneumatically or hydraulically operated, it shall be operated at the minimum voltage or pressure specified in Clauses 5 to 7, I E C Publication 56-3: High-voltage alternating-current circuit-breakers, Part 3: Design and construction, unless otherwise specified in the relevant clauses. It shall be shown that the circuit-breaker will operate satisfactorily under the above conditions at no-load as specified in Sub-clause 5.5. Gas-blast circuit-breakers shall be tested at the minimum pressure, specified in Clause 8, I E C Publication 56-3, unless otherwise specified in the relevant clauses.

à soufflage par gaz doivent être essayés à la pression minimale, spécifiée à l'article 8 de la Publication 56-3 de la CEI, à moins qu'une autre spécification ne figure aux articles correspondants. Pour un disjoncteur tripolaire, toutes les exigences concernant la fermeture et la coupure en court-circuit peuvent en principe être vérifiées avec un disjoncteur tripolaire dont tous les pôles fonctionnent ensemble.

Note. — L'arrachement du courant peut être plus important à la pression maximale.

Suivant sa construction, le disjoncteur doit être essayé comme indiqué ci-après:

a) *Disjoncteur à bac unique*

Un disjoncteur ayant tous ses contacts de coupure dans un bac unique doit être essayé comme une unité complète.

b) *Disjoncteurs à pôles séparés*

Un disjoncteur tripolaire dont chaque pôle constitue une unité séparée doit être essayé de préférence comme un disjoncteur tripolaire complet; mais pour des raisons de commodité, ou en raison des possibilités d'essais dont on dispose, on peut essayer séparément un seul pôle comme unité, à condition que ce pôle soit, pour toute la série des essais, équivalent au disjoncteur tripolaire, ou tout au moins qu'il ne soit pas dans une condition plus favorable que ce disjoncteur tripolaire, en ce qui concerne:

- i) la vitesse de fermeture,
- ii) la vitesse de coupure,
- iii) la présence du fluide extingueur,
- iv) la puissance et la robustesse du dispositif de fermeture et d'ouverture,
- v) la rigidité de la structure.

5.2 *Disjoncteur muni de déclencheurs à maximum de courant*

Compte tenu des dispositions du paragraphe 6.4, les disjoncteurs munis de déclencheurs directs à maximum de courant doivent être installés pour les séquences d'essais N° 1 à 5 (article 9) comme spécifié ci-après et les enroulements des déclencheurs à maximum de courant doivent être connectés du côté de l'alimentation du circuit d'essai:

Les déclencheurs utilisés doivent être munis de l'enroulement correspondant au courant nominal maximal prévu pour montage sur le disjoncteur, et ils doivent être réglés avec le courant de fonctionnement et le retard: maximal pour les séquences d'essais N°s 1, 2, 3 et 4; minimal pour la séquence d'essais N° 5.

Note. — Lorsque le retard est trop grand pour permettre un enregistrement convenable à l'oscillographe, il est permis d'utiliser un temps de réglage plus court, ou encore, de supprimer l'action de l'appareil de temporisation dans le cas des seules séquences d'essais N°s 1 et 2.

5.3 *Essais par éléments séparés*

Certains disjoncteurs sont construits par montage en série d'éléments identiques de coupure ou de fermeture, la répartition de la tension entre les éléments de chaque pôle étant assurée par l'utilisation d'impédances en parallèle ou d'autres dispositifs additionnels.

Ce type de construction permet de vérifier les caractéristiques de coupure ou de fermeture d'un disjoncteur en n'effectuant les essais que sur un ou plusieurs éléments, lorsque les possibilités de la station d'essai ne permettent pas de faire les essais sur un disjoncteur ou sur un pôle complet. Les résultats de ces essais peuvent être utilisés dans un compte rendu concernant un disjoncteur de caractéristiques différentes utilisant les mêmes éléments.

Dans tous les cas, il faut que les éléments soient identiques et que la distribution de tension pour l'essai considéré soit connue.

For a three-pole circuit-breaker, all short-circuit making and breaking requirements can, in principle, be proved with a three-pole circuit-breaker with all poles operating together.

Note. — Current chopping may be more pronounced at maximum pressure.

The circuit-breaker shall be tested according to its type as follows:

a) Single-enclosure type

A circuit-breaker having all its arcing contacts supported within a common enclosure shall be tested as a complete unit.

b) Multi-enclosure type

A three-pole circuit-breaker in which each pole is a separate unit shall be tested preferably as a complete three-pole circuit-breaker, but for convenience, or owing to limitation of available testing facilities, one single-pole unit of the circuit-breaker may be tested, provided that it is equivalent to, or not in a more favourable condition than, the complete three-pole circuit-breaker over the range of tests in respect of:

- i)* speed of make,
- ii)* speed of break,
- iii)* availability of arc-extinguishing medium,
- iv)* power and strength of closing and opening devices,
- v)* rigidity of structure.

5.2 *Circuit-breakers with over-current releases*

Circuit-breakers fitted with direct over-current releases shall, subject to the provisions of Sub-clause 6.4, be arranged for Test-duties Nos. 1 to 5 (Clause 9) as specified below and the over-current release coils shall be connected to the live side of the test circuit:

With the coil of the maximum rated current set to operate at the maximum current and maximum time-delay for Test-duties Nos. 1, 2, 3 and 4 and at the minimum current and minimum time-delay for Test-duty No. 5.

Note. — When the time-delay is too great for convenient oscillographic recording, it shall be permissible to use a smaller time-delay setting or to render the time-delay device inoperative for Test-duties Nos. 1 and 2 only.

5.3 *Unit testing*

Certain circuit-breakers are constructed by assembling identical breaking or making units in series, the voltage distribution between the units of each pole being ensured by the use of parallel impedances or other additional devices.

This type of design enables the breaking or making performance of a circuit-breaker to be verified by carrying out unit tests on only one or some of the units, when the testing laboratory is not equipped to test a complete circuit-breaker or pole. Such tests may form part of the test report of different ratings of circuit-breakers based on the same units.

In any case, it is essential that the units are identical and that the voltage distribution for the operation under consideration is known.

5.3.1 Identité des éléments

Les éléments du disjoncteur doivent être identiques dans leur forme, leurs dimensions et leurs conditions de fonctionnement; seuls les dispositifs de répartition de tension peuvent différer d'un élément à l'autre. En particulier, les conditions suivantes doivent être remplies:

a) Simultanéité de fonctionnement des contacts

L'ouverture des contacts d'un pôle — pour les essais de coupure — ou la fermeture des contacts d'un pôle — pour les essais de fermeture — doivent être pratiquement simultanées.

Cette condition doit être considérée comme satisfaite si l'ouverture ou la fermeture des contacts de l'élément qui intervient en dernier a lieu au plus tard un quart de période de la fréquence nominale après l'ouverture ou la fermeture des contacts de l'élément qui intervient en premier.

b) Alimentation en agent d'extinction

Lorsqu'il s'agit de disjoncteurs utilisant un agent d'extinction d'origine externe, l'alimentation de chaque élément doit être pratiquement indépendante de l'alimentation des autres éléments et la réalisation des canalisations doit être telle que tous les éléments soient pratiquement alimentés simultanément de manière identique.

c) Etat du milieu extincteur

La construction du disjoncteur et de ses éléments doit être telle qu'au cours des opérations de coupure ou d'établissement l'état des milieux où se produisent les arcs (température, pression, vitesse d'écoulement, etc.) dans chaque élément ne soit pratiquement pas influencé par le fonctionnement des autres éléments.

En particulier, ni l'alimentation en milieu extincteur du ou des éléments en essai, ni les possibilités d'échappement des produits résultant de l'arc ne doivent être augmentées par suite de l'absence d'arc dans les autres éléments normalement en série avec le ou les éléments en essai.

Les gaz ionisés ou les vapeurs qui peuvent se trouver dans l'échappement ne doivent pas s'écouler de façon à provoquer un mauvais fonctionnement des éléments adjacents ou une défaillance du disjoncteur par un amorçage partiel ou total.

5.3.2 Répartition de la tension

La répartition de la tension entre les éléments d'un pôle qui dépend de l'influence de la terre doit être déterminée pour les conditions du circuit d'essai correspondant indiquées pour les essais unipolaires. Voir pour les conditions correspondant au défaut aux bornes les paragraphes 6.3. c) et d) et les figures 3a, 3b, page 124, et 4a, page 125, pour les conditions correspondant au défaut en ligne, le paragraphe 12.3 et pour les conditions en cas de discordance de phases, l'article 13 et la figure 16, page 135. Lorsque les éléments ne sont pas disposés de façon symétrique, la répartition de la tension doit être également déterminée en inversant les connexions.

Si le disjoncteur est équipé de résistances en parallèle, la répartition de la tension sera calculée ou mesurée statiquement à la fréquence équivalente intervenant dans la TTR.

Note 1. — Il est admis que la fréquence équivalente est égale à $\frac{1}{3} t_1$ dans le cas de quatre paramètres ou à $\frac{1}{2} t_3$ dans le cas de deux paramètres (voir les figures 5 et 6).

Pour les essais par éléments séparés correspondant au défaut en ligne, la répartition de la tension sera calculée ou mesurée statiquement en prenant pour base une tension du côté ligne à la fréquence fondamentale de l'oscillation de la ligne et une tension du côté de l'alimentation à la fréquence équivalente de la TTR correspondant aux défauts en ligne, le point commun aux deux tensions étant au potentiel de la terre (voir annexe G).

5.3.1 *Identical nature of the units*

The units of the circuit-breaker shall be identical in their shape, in their dimensions and in their operating conditions; only the devices for controlling the voltage distribution among units may be different. In particular, the following conditions shall be fulfilled:

a) *Simultaneous operation of contacts*

The opening, in breaking tests, or closing, in making tests, of the contacts of one pole shall be practically simultaneous.

This condition shall be considered as fulfilled if the opening or closing of the contacts of the unit which is the last to operate takes place, at the latest, one quarter cycle of rated frequency after the opening or closing of the contacts of the unit which operates first.

b) *Supply of the arc-extinguishing medium*

For a circuit-breaker using a supply of arc-extinguishing medium from a source external to the units, the supply to each unit shall for all practical purposes be independent of the supply to the other units, and the arrangement of the supply pipes shall be such as to ensure that all the units are fed practically simultaneously in an identical manner.

c) *Condition of the arc-extinguishing medium*

The design of the circuit-breaker and its units shall be such that during the breaking or making operations, the condition of the medium in which the arc is created (e.g. temperature, pressure, rate of flow, etc.) in each unit is for all practical purposes not influenced by the operation of the other units.

In particular, neither the supply of extinguishing medium to the unit or units under test, nor the ease of exhaust of products from the arc, shall be increased owing to the absence of arcing in the other units normally in series with the unit or units under test.

Any ionized gases or vapours which might be present in the exhaust shall not escape in such a manner as to cause malfunction of adjacent units or breakdown of the circuit-breaker owing to partial or complete sparkover.

5.3.2 *Voltage distribution*

The voltage distribution between units of a pole as affected by the influence of earth shall be determined for the relevant test-circuit conditions laid down for tests on one pole, see for terminal fault conditions Sub-clauses 6.3 c) and d) and Figures 3a, 3b, page 124, and 4a, page 125, for short-line fault conditions Sub-clause 12.3 and for out-of-phase conditions Clause 13 and Figure 16, page 135. Where the units are not symmetrically arranged, the voltage distribution shall be determined also with reverse connections.

If the circuit-breaker is fitted with parallel resistors, the voltage distribution shall be calculated or measured statically at the equivalent frequency involved in the TRV.

Note 1. — The equivalent frequency is deemed to be equal to $1/3 t_1$ in the case of four parameters or to $1/2 t_3$ in the case of two parameters (see Figures 5 and 6).

For short-line fault unit tests, the voltage distribution shall be calculated or measured statically on the basis of a voltage on the line side at the fundamental frequency of the line oscillation and a voltage on the source side at the equivalent frequency of the TRV for terminal faults, the common point of the two voltages being at earth potential (See Appendix G).

Si la répartition de la tension est réalisée uniquement à l'aide de condensateurs, elle peut être calculée ou mesurée à la fréquence industrielle.

De plus, on tiendra compte des tolérances de fabrication des résistances et des condensateurs. Le constructeur indiquera la valeur de ces tolérances.

Notes 2. — Il y a lieu de tenir compte du fait que la répartition de la tension peut être plus favorable lors des essais de coupure en cas de discordance de phases que lors des essais de court-circuit aux bornes ou lors des essais de défaut en ligne.

3. — La répartition de la tension réelle lors d'un essai de coupure en court-circuit peut être plus uniforme que la répartition calculée ou mesurée par des essais statiques.

Si cette amélioration de la répartition de la tension peut être prouvée, on en tiendra compte pour fixer la tension à appliquer lors des essais par éléments séparés.

4. — On n'a pas considéré l'influence de la pollution dans la détermination de la répartition de la tension. Dans quelques cas, la pollution peut modifier cette répartition de la tension.

5.3.3 Conditions à remplir pour les essais par éléments séparés

Tous les essais par éléments séparés seront effectués sur le nombre maximal d'éléments en série compatible avec les possibilités de la station d'essai, aux courants correspondant aux pouvoirs de fermeture et de coupure spécifiés.

Lors des essais d'un seul élément, la tension d'essai sera la tension de l'élément le plus sollicité dans le pôle complet du disjoncteur, déterminée conformément au paragraphe 5.3.2. Dans les conditions du défaut en ligne, l'élément de référence est celui qui est le plus sollicité à l'instant spécifié pour la première crête de la tension transitoire du côté ligne.

Lors des essais d'un groupe d'éléments, la tension apparaissant aux bornes de l'élément le plus sollicité du groupe doit être égale à la tension de l'élément le plus sollicité du pôle, les deux déterminées conformément au paragraphe 5.3.2.

Au cours des essais par éléments séparés, l'isolement par rapport à la terre n'est pas soumis à une contrainte correspondant à la pleine tension qui apparaît pendant un essai de coupure effectué sur le disjoncteur complet. Pour certains types de disjoncteurs, tels que les disjoncteurs dont les pôles sont contenus dans une enveloppe métallique, il peut être nécessaire de prouver que l'isolement par rapport à la terre est capable de supporter cette pleine tension.

5.4 Essais synthétiques

Rapport CEI prochainement publié.

5.5 Manœuvres à vide avant les essais

Avant d'entreprendre les essais de court-circuit, il y a lieu d'effectuer des manœuvres à vide au cours desquelles les caractéristiques de fonctionnement du disjoncteur, telles que la vitesse de déplacement, la durée de fermeture et la durée d'ouverture doivent être enregistrées.

Dans le cas d'un disjoncteur muni d'un déclencheur sous courant de fermeture, celui-ci ne devra pas fonctionner au cours des essais à vide.

Dans le cas de disjoncteurs à commande électrique, les essais doivent être faits, le solénoïde de fermeture étant alimenté à 105 % et à 85 % de la tension nominale d'alimentation du dispositif de fermeture.

Dans le cas des dispositifs de fermeture et d'ouverture à commande par air comprimé ou oléo-pneumatique, les essais doivent être faits à la pression minimale spécifiée aux articles 5 et 6 de la Publication 56-3 de la CEI, les déclencheurs shunt étant alimentés à 85 % de la tension nominale d'alimentation, puis à la pression nominale, les déclencheurs shunt étant alimentés à la tension nominale d'alimentation, enfin à la pression maximale spécifiée aux articles 5 et 6 de la Publication 56-3 de la CEI, les déclencheurs shunt étant alimentés à 110 % de la tension nominale d'alimentation.

If only capacitors are used, the voltage distribution may be calculated or measured at power frequency.

The manufacturing tolerances for resistors and capacitors shall be taken into account. The manufacturer shall state the value of these tolerances.

Notes 2. — It shall be taken into account that the voltage distribution may be more favourable during the out-of-phase breaking tests than during the terminal or short-line fault short-circuit tests.

3. — The actual voltage distribution in a short-circuit breaking operation may be more linear than indicated by static measurements or calculations.
If evidence of this can be produced, the voltage distribution derived from this evidence shall be used for the selection of the voltage for the unit tests.
4. — The influence of pollution is not considered in determining the voltage distribution. In some cases pollution may affect this voltage distribution.

5.3.3 *Requirements for unit tests*

All unit tests shall be performed on the maximum number of units in series compatible with the capabilities of the testing laboratory, at the specified making and breaking currents.

When testing a single unit, the test-voltage shall be the voltage of the most highly stressed unit of the complete pole of the circuit-breaker determined in accordance with Sub-clause 5.3.2. For short-line fault conditions, the unit referred to is that most highly stressed at the specified time of the first peak of the side line transient voltage.

When testing a group of units, the voltage appearing at the terminals of the most highly stressed unit of the group shall be equal to the voltage of the most highly stressed unit of the pole, both determined in accordance with Sub-clause 5.3.2.

In unit tests, the insulation to earth is not stressed with the full voltage occurring during a breaking operation of the complete circuit-breaker. For certain types of circuit-breakers such as circuit-breakers in metal enclosures, it may be necessary to prove that the insulation to earth is capable of withstanding this full voltage.

5.4 *Synthetic testing*

I E C Report to be issued.

5.5 *No-load operations before tests*

Before commencing short-circuit tests, no-load operations shall be made and details of the operating characteristics of the circuit-breaker such as speed of travel, closing time, and opening time, shall be recorded.

For a circuit-breaker fitted with a making current release, it shall be shown that this does not operate on no-load.

For electrically operated circuit-breakers, tests shall be made with the closing solenoid energized at both 105% and 85% of the rated supply voltage of the closing device.

For compressed air or hydraulic closing and opening devices, the tests shall be made at the minimum pressure specified in Clauses 5 and 6, I E C Publication 56-3, with the shunt releases energized at 85% of the rated supply voltage; and also at the rated pressure and with the shunt releases energized at the rated supply voltage; and at the maximum pressure specified in Clauses 5 and 6, I E C Publication 56-3, with the shunt releases energized at 110% of the rated supply voltage.

Dans le cas de disjoncteurs à fermeture par ressort, les essais doivent être faits, les déclencheurs shunt étant alimentés à 110 % et à 85 % de la tension nominale d'alimentation.

Pour les manœuvres d'ouverture, les essais doivent être faits, les déclencheurs shunt étant alimentés à 110 % et à 85 % de la tension nominale d'alimentation.

5.6 *Mécanismes de fermeture différents*

Si le disjoncteur est destiné à être utilisé avec différents types de mécanismes de fermeture, une série séparée de séquences d'essais de court-circuit sera effectuée pour chaque type de mécanisme, à moins qu'il ne soit prouvé que le changement de mécanisme n'affecte pas les performances communes, en particulier en ce qui concerne les caractéristiques d'ouverture du disjoncteur.

Si ceci peut être montré de manière satisfaisante, on n'exigera qu'une seule série complète de séquences d'essais de court-circuit effectuée avec un des mécanismes différents, mais toute séquence d'essais de court-circuit qui comprend des manœuvres de fermeture (voir paragraphe 9.4) sera répétée avec chacun des mécanismes différents.

5.7 *Comportement du disjoncteur pendant les essais*

Pendant les essais de fermeture et de coupure, le disjoncteur ne doit pas présenter de signes exagérés de fatigue, ni mettre en danger l'opérateur. En ce qui concerne les disjoncteurs à huile, il ne doit pas y avoir d'émissions extérieures de flammes et les gaz produits, ainsi que l'huile entraînée par ces gaz, doivent être canalisés et dirigés à l'extérieur de l'appareil dans une direction opposée à toute pièce conductrice sous tension et aux emplacements où des personnes peuvent se trouver.

Pour les autres types de disjoncteurs, s'il y a une émission appréciable de flammes ou de particules métalliques, on peut demander que les essais de court-circuit soient effectués avec des écrans métalliques placés au voisinage des parties sous tension et à la distance de sécurité précisée par le constructeur.

Les écrans devront être isolés de la terre, mais y être reliés à travers un dispositif convenable permettant de déceler le passage d'un courant significatif à la terre.

Ce dispositif ne devra indiquer aucun passage significatif du courant pendant les essais, vers le bâti mis à la terre du disjoncteur ou vers les écrans si l'appareil en est muni. En cas de doute, il est recommandé de relier à la terre les parties qui sont mises à la terre par un fusible consistant en un fil de cuivre de 0,1 mm de diamètre et de 5 cm de long. Il est admis qu'aucun passage significatif de courant ne s'est produit, si ce fusible est intact après l'essai.

Les surtensions produites pendant les essais de coupure de lignes à vide, de câbles à vide, de condensateurs et de faibles courants inductifs ne doivent pas dépasser les surtensions de manœuvre maximales admissibles (voir les articles 13 à 16 de la Publication 56-2 de la CIE). Il ne doit pas se produire de contournement extérieur.

5.8 *Etat du disjoncteur après les essais*

5.8.1 *Généralités*

Le disjoncteur peut être examiné après chaque séquence d'essais. Ses parties mécaniques et ses isolateurs doivent être pratiquement dans le même état qu'avant la séquence d'essais.

5.8.2 *Etat après une séquence d'essais de court-circuit*

Après chaque séquence d'essais de court-circuit, le disjoncteur doit être capable d'établir et de couper son courant nominal en service continu sous sa tension nominale. Toutefois, il est admis que ses possibilités de fermeture et de coupure en court-circuit soient notablement réduites.

For spring-closed circuit-breakers, tests shall be made with the shunt releases energized at 110% and at 85% of the rated supply voltage.

For opening operations, tests shall be made with the shunt releases energized at 110% and at 85% of the rated supply voltage.

5.6 *Alternative closing mechanisms*

If the circuit-breaker is designed for use with alternative closing mechanisms, a separate series of short-circuit test-duties shall be made for each type of mechanism, unless it can be shown that the change of mechanism does not affect the performance of the common portion, particularly with regard to the opening characteristics of the circuit-breaker.

If this can be satisfactorily shown, only a single complete series of short-circuit test-duties is required using one of the alternative mechanisms, but any short-circuit test-duty which includes making operations (see Sub-clause 9.4) shall be repeated with all other alternative mechanisms.

5.7 *Behaviour of circuit-breaker during tests*

During making and breaking tests, the circuit-breaker shall neither show signs of excessive distress nor endanger the operator. From oil circuit-breakers, there shall be no outward emission of flame, and the gases produced, together with the oil carried with the gases, shall be conducted from the circuit-breaker and directed away from all live conductors and locations where persons may be present.

For other types of circuit-breaker, if there is appreciable emission of flame or metallic particles, it may be required that the short-circuit tests shall be made with metallic screens placed in the vicinity of the live parts and separated from them by a safety clearance distance which the manufacturer shall specify.

The screens shall be insulated from earth but connected thereto by a suitable device to indicate any significant leakage current to earth.

There shall be no indication of significant leakage currents to the circuit-breaker earthed structure, or screens when fitted, during the tests. In case of doubt, the earthed parts, etc., should be connected to earth through a fuse consisting of a copper wire of 0.1 mm diameter and 5 cm long. No significant leakage is assumed to have occurred if this fuse wire is intact after the test.

Overvoltages produced during line-charging, cable-charging, capacitor and small inductive current breaking tests shall not exceed the maximum permissible switching overvoltages (see Clauses 13 to 16, I E C Publication 56-2). External flashover shall not occur.

5.8 *Condition of circuit-breaker after tests*

5.8.1 *General*

The circuit-breaker may be inspected after any test-duty. Its mechanical parts and insulators shall be in practically the same condition as before the test-duty.

5.8.2 *Condition after a short-circuit test-duty*

After each short-circuit test-duty the circuit-breaker shall be capable of making and breaking its rated normal current at the rated voltage, although its short-circuit making and breaking performance may be impaired.

Les contacts principaux doivent être dans un état tel, en particulier en ce qui concerne l'usure due à l'arc, la surface de contact, la pression et la liberté de mouvement, qu'ils puissent supporter le courant nominal en service continu du disjoncteur sans que leur échauffement dépasse de plus de 10 deg C les valeurs spécifiées pour ces contacts au tableau IV, article 5, de la Publication 56-2 de la CEI. En cas de doute, il peut être nécessaire d'effectuer un essai d'échauffement supplémentaire. L'expérience montre qu'une augmentation de la chute de tension aux bornes du disjoncteur ne peut être considérée comme une preuve certaine d'un accroissement de l'échauffement.

On ne doit considérer les contacts comme « recouverts d'argent » que si une couche d'argent subsiste aux points de contact après l'une quelconque des séquences d'essais de court-circuit; dans le cas contraire, les contacts devront être considérés comme « non recouverts d'argent » (voir tableau IV, Note 2, de la Publication 56-2 de la CEI).

5.8.3 *Etat après une série d'essais de court-circuit*

Pour vérifier le fonctionnement du disjoncteur après l'essai, des essais de fermeture et d'ouverture à vide doivent être effectués à la suite d'une série d'essais de court-circuit. Ces essais à vide seront comparés avec les essais correspondants effectués conformément au paragraphe 5.5 et ne doivent pas montrer de différences significatives. La fermeture et l'accrochage mécanique du disjoncteur doivent se faire d'une manière satisfaisante.

A la suite de la série complète des séquences d'essais de court-circuit, on peut s'attendre à des brûlures locales de la doublure isolante des cuves des disjoncteurs à huile; ces détériorations sont acceptables pourvu qu'elles ne rendent pas la doublure isolante incapable de remplir sa fonction. Ceci ne s'applique pas aux doublures isolantes, tubes, cloisons de séparation, etc. constituant une partie de l'isolement principal du disjoncteur.

Une légère déformation des cloisons non métalliques de séparation des phases et des doublures isolantes de la cuve des disjoncteurs à huile peut être acceptée pourvu que cette déformation ne gêne pas l'ouverture et la fermeture normales du disjoncteur.

Si pour des raisons autres que le comportement du disjoncteur essayé, il est nécessaire d'effectuer un nombre de séquences d'essais de court-circuit supérieur aux exigences de cette spécification, et si les détériorations de la doublure isolante de la cuve sont telles que le constructeur considère qu'il est désirable de la remplacer avant d'achever la série normale des séquences d'essais, l'indication des modifications et l'explication de leur nécessité doivent figurer dans le rapport d'essai.

Des détériorations de l'isolement principal (c'est-à-dire de l'isolement soumis à une contrainte électrique dans les conditions normales de fonctionnement, que le disjoncteur soit ouvert ou fermé) altérant l'isolement du disjoncteur éliminent le disjoncteur. Des détériorations aux écrans dont sont munis les traversées ou les dispositifs d'extinction de l'arc n'infirmant pas un résultat d'essai pourvu que l'intégrité des écrans soit notable et que ces derniers soient capables de continuer à remplir leur fonction. Un résultat est infirmé par des détériorations des surfaces de l'isolement le long desquelles peut se produire sous la tension normale un cheminement par rapport à la terre, entre phases ou sur la distance d'ouverture.

On ne peut donner aucun critère de détérioration de l'huile, car ce critère varie avec le disjoncteur essayé.

5.8.4 *Etat après une série d'essais autre qu'une série d'essais de court-circuit*

Après avoir effectué les séries d'essais de coupure spécifiées aux paragraphes 15.8, 16.8, 17.8 et à l'article 18 pour les lignes à vide, les câbles à vide, les condensateurs et les faibles courants

The main contacts shall be in such a condition, in particular with regard to burning, contact area, pressure and freedom of movement, that they are capable of carrying the rated normal current of the circuit-breaker without their temperature rise exceeding by more than 10 deg C the values specified for them in Table IV, Clause 5, I E C Publication 56-2. In case of doubt, it may be necessary to perform an additional temperature rise test. Experience shows that an increase of the voltage drop across the circuit-breaker cannot alone be considered as reliable evidence of an increase in temperature rise.

Contacts shall be considered as “ silver-faced ” only if there is still a layer of silver at the contact points after any of the short-circuit test-duties; otherwise they shall be treated as “ not silver-faced ” (see Table IV, Note 2, I E C Publication 56-2).

5.8.3 *Condition after a short-circuit test series*

In order to check the operation of the circuit-breaker after test, no-load closing and opening tests shall be made at the completion of the series of short-circuit tests. These shall be compared with the corresponding tests made in accordance with Sub-clause 5.5 and shall show no significant change. The circuit-breaker shall close and latch satisfactorily.

After the completion of the entire series of short-circuit test-duties, local burning of the lining of oil circuit-breaker enclosures may be expected, and provided this does not render the lining incapable of performing its function, such damage is permissible. This does not apply to linings, tubes, barriers, etc. which form part of the main insulation of the circuit-breaker.

Slight distortion of non-metallic interphase barriers and tank linings may be permitted on oil circuit-breakers, provided such distortion does not interfere with the normal opening and closing of the circuit-breaker.

If, for reasons other than the behaviour of the tested circuit-breaker, it becomes necessary to perform a greater number of short-circuit test-duties than are required by this specification, and if the enclosure lining is so damaged that the manufacturer considers it desirable to change it before completing the standard series of test-duties, a statement of changes and necessary explanation shall be included in the test report.

Damage to main insulation (i.e. that which is subject to electrical stress under normal operating conditions with the circuit-breaker either open or closed) such that the insulation of the circuit-breaker is impaired, shall disqualify the circuit-breaker. Damage to shields fitted for bushings or arc control devices shall not invalidate the performance provided the shields remain substantially intact and are capable of continuing to perform their function. Damage to surfaces of insulation along which creepage may occur under normal voltage, either to earth, between poles or across the break, invalidates the performance.

No criterion of oil deterioration can be given as this will depend upon the particular circuit-breaker tested.

5.8.4 *Condition after a test series other than a short-circuit test series*

The circuit-breaker shall, after performing the line-charging, cable-charging, capacitor and small inductive current breaking test series specified in Sub-clauses 15.8, 16.8, 17.8 and Clause 18 and

inductifs et avant d'être remis en état, le disjoncteur doit être capable de fonctionner de façon satisfaisante lors de l'établissement et de la coupure de tous les courants inférieurs ou égaux à ses pouvoirs de fermeture et de coupure nominaux en court-circuit.

Note. — En anglais, on utilise les termes « rated making current » et « rated breaking current » à la place des termes « rated making capacity » et « rated breaking capacity » utilisés antérieurement, le terme « rated » assurant correctement la continuité du sens. En français, on continue à utiliser les termes « pouvoir de fermeture nominal » et « pouvoir de coupure nominal ».

De plus, le disjoncteur doit être capable de supporter son courant nominal en service continu avec un échauffement ne dépassant pas l'échauffement permis par le tableau IV, article 5, de la Publication 56-2 de la CEI.

Les isolants ne doivent pas montrer de signes évidents de perforation interne, de contournement ou de cheminement; on admet toutefois une usure modérée des parties des dispositifs d'extinction d'arc exposées à l'action de ce dernier.

Note. — La vérification de la conformité aux exigences ci-dessus n'est nécessaire qu'en cas de doute.

Les renseignements concernant l'état d'un disjoncteur après une série d'essais de mise en et hors circuit lors d'une discordance de phases figurent dans la Publication 267 de la CEI: Guide pour l'essai des disjoncteurs en ce qui concerne la mise en et hors circuit lors d'une discordance de phases.

5.8.5 *Remise en état après une séquence d'essais de court-circuit et d'autres séries d'essais*

Il est admis qu'à la suite d'une séquence d'essais de court-circuit ou d'autres séries d'essais, il peut être nécessaire de procéder à l'entretien du disjoncteur en vue de le remettre dans l'état initial spécifié par le constructeur. Par exemple, il est admis qu'il soit nécessaire:

- a) de réparer ou de remplacer les contacts de coupure ainsi que toute autre pièce interchangeable indiquée par le constructeur;
- b) de filtrer ou de remplacer l'huile ou tout autre fluide extingueur et d'y ajouter la quantité nécessaire pour rétablir son niveau normal;
- c) de nettoyer l'isolement interne pour le débarrasser des dépôts provenant de la décomposition du fluide extingueur.

5.9 *Disjoncteurs comportant de courtes durées d'arc*

Il est reconnu que lorsqu'on effectue des essais de coupure sur des disjoncteurs comportant de courtes durées d'arc, il peut y avoir de grandes variations dans la sévérité réelle des essais pour le même réglage du circuit, dues au point de l'onde de courant auquel se produit la séparation des contacts. Pour cette raison, les prescriptions suivantes doivent être remplies par les disjoncteurs ayant des durées d'arc (jusqu'à l'extinction de l'arc principal, pour les disjoncteurs ayant des résistances intercalaires) ne dépassant pas une période pour le premier pôle qui coupe:

a) *Essais triphasés*

Des règles strictes relatives à la manière d'obtenir les conditions les plus sévères pour les essais triphasés ne peuvent pas être données, de sorte qu'on ne spécifie pas le point de l'onde de courant auquel doit se produire la séparation des contacts.

b) *Essais monophasés*

Les essais 1) et 2) comprennent trois manœuvres valables, quelle que soit la séquence de manœuvres nominale du disjoncteur.

Après avoir effectué le nombre de manœuvres correspondant à la séquence de manœuvres nominale, le disjoncteur peut être remis en état conformément au paragraphe 5.8.5.

before reconditioning, be capable of operating satisfactorily at any making and breaking current up to its rated short-circuit making and breaking current.

Note. — In English, the terms “rated making current” and “rated breaking current” are being used where formerly “rated making capacity” and “rated breaking capacity” were used, the intended meaning being adequately conveyed by the use of “rated”. In French, the terms “pouvoir de fermeture nominal” and “pouvoir de coupure nominal” continue to be used.

In addition the circuit-breaker shall be capable of carrying its rated normal current with a temperature rise not in excess of the temperature rise permitted by Table IV, Clause 5, I E C Publication 56-2.

There shall be no evidence of internal puncture, flashover or tracking of insulating materials, except that moderate wear of the parts of arc control devices exposed to the arc is permissible.

Note. — Verification of compliance with the above requirements is necessary only in case of doubt.

Provisions for the condition of a circuit-breaker after an out-of-phase switching test series are contained in IEC Publication 267: Guide to the testing of circuit-breakers with respect to out-of-phase switching.

5.8.5 *Reconditioning after a short-circuit test-duty and other test series*

It is understood that after performing a short-circuit test-duty or other test series it may be necessary to carry out maintenance work on the circuit-breaker in order to restore it to the original conditions specified by the manufacturer. For example, the following may be necessary:

- a) repair or replacement of the arcing contacts and any other renewable parts recommended by the manufacturer;
- b) renewal or filtration of the oil, or of any other extinguishing medium, and the addition of any quantity of the medium necessary to restore its normal level;
- c) removal of deposit caused by the decomposition of the extinguishing medium from internal insulation.

5.9 *Circuit-breakers with short arcing times*

It is recognized that, when breaking tests are made on circuit-breakers having short arcing times, there may be great variation in actual severity of tests with the same circuit setting due to the point on the current wave at which contact separation occurs. For this reason the testing procedure for circuit-breakers with arcing times (to the extinction of the main arc for circuit-breakers with switching resistors) not exceeding one cycle for the first pole to clear, is as follows:

a) *Three-phase tests*

No strict rules can be given how to obtain the most severe test conditions in three-phase tests so that the point on the current wave at which contact separation occurs is not specified.

b) *Single-phase tests*

The tests under 1) and 2) consist of three valid operations irrespective of the rated operating sequence of the circuit-breaker.

After the number of operations provided for in accordance with the rated operating sequence, the circuit-breaker may be reconditioned in accordance with Sub-clause 5.8.5.

1) *Séquences d'essais N^{os} 4 et 4b (paragraphe 9.4)*

Lors de la première coupure valable, la séparation des contacts doit se produire suffisamment près du passage par zéro du courant pour garantir que l'extinction de l'arc ne se produit pas à ce passage par zéro. Il peut être nécessaire d'effectuer plus d'un essai pour obtenir ce résultat.

Lors de la deuxième coupure, la séparation des contacts doit être avancée d'environ 60° par rapport à la première coupure valable.

Si, lors de la deuxième coupure, l'extinction de l'arc se produit au premier passage par zéro du courant, la troisième coupure doit être faite comme la première coupure valable en ce qui concerne la séparation des contacts. Si, lors de la deuxième coupure, l'extinction de l'arc ne se produit pas au premier passage par zéro du courant, lors de la troisième coupure, la séparation des contacts doit être avancée d'environ 60° par rapport à la deuxième coupure.

2) *Séquence d'essais N^o 5 (paragraphe 9.5)*

Lors de la première coupure valable, la séparation des contacts doit se produire sur la petite alternance du courant, suffisamment près du passage par zéro du courant pour garantir que l'extinction de l'arc ne se produit pas à ce passage par zéro. Il peut être nécessaire d'effectuer plus d'un essai pour obtenir ce résultat.

Pour l'une des deux autres coupures, la séparation des contacts doit être avancée et pour l'autre retardée d'environ 60° par rapport à ce qui est exigé pour la première coupure valable.

Pour les trois coupures prescrites, la composante apériodique spécifiée doit toujours être vérifiée en la mesurant à l'instant correspondant à la séparation des contacts exigée pour la première coupure valable.

6. **Circuits d'essais pour les essais de fermeture et de coupure en court-circuit**

6.1 *Facteur de puissance*

Le facteur de puissance sur chaque phase doit être déterminé suivant l'une des méthodes indiquées à l'annexe B.

Le facteur de puissance d'un circuit polyphasé est considéré comme étant la moyenne des facteurs de puissance de chaque phase.

Lors des essais, cette valeur moyenne ne doit pas être supérieure à 0,15.

Le facteur de puissance d'une phase quelconque ne doit pas s'écarter de la moyenne de plus de 25 % de la moyenne.

6.2 *Fréquence*

Les disjoncteurs doivent être essayés à la fréquence nominale avec une tolérance de $\pm 10\%$.

Toutefois, pour des raisons de commodité d'essais, des écarts sur les tolérances ci-dessus sont permis; par exemple, lorsque les disjoncteurs dont la fréquence nominale est de 50 Hz sont essayés à 60 Hz et vice versa, l'interprétation des résultats devra être faite avec précaution et tenir compte de toutes les données significatives telles que le type du disjoncteur et le type d'essai effectué.

Note. — Dans certains cas, les caractéristiques nominales d'un disjoncteur peuvent être différentes suivant qu'il est utilisé à 60 Hz ou à 50 Hz.

1) *Test-duties Nos. 4 and 4b (Sub-clause 9.4)*

During the first valid breaking operation, contact separation shall occur sufficiently close to one current zero to ensure that arc extinction does not occur at this current zero. It may be necessary to make more than one test to achieve this.

During the second breaking operation, contact separation control shall be advanced approximately 60° from that of the first valid breaking operation.

If during the second breaking operation arc extinction occurs at the first current zero, then the third breaking operation shall be made with the same timing of contact separation as the first valid breaking operation. If during the second breaking operation arc extinction does not occur at the first current zero, then the third breaking operation shall be made with contact separation control advanced approximately 60° from that of the second breaking operation.

2) *Test-duty No. 5 (Sub-clause 9.5)*

During the first valid breaking operation, contact separation shall occur during the minor loop of current sufficiently close to the current zero to ensure that arc extinction does not occur at this current zero. It may be necessary to make more than one test to achieve this.

For one of the other two breaking operations, contact separation control shall be advanced, and for the other retarded, by approximately 60° from that required for the first valid breaking operation.

For all three breaking operations the specified d.c. component shall be verified by measurement at the instant corresponding to the contact separation required for the first valid breaking operation.

6. **Test circuits for short-circuit making and breaking tests**

6.1 *Power factor*

The power factor in each phase shall be determined in accordance with one of the methods described in Appendix B.

The power factor of a polyphase circuit shall be taken as the average of the power factors in each phase.

During the tests, this average value shall not exceed 0.15.

The power factor of any phase shall not vary from the average by more than 25% of the average.

6.2 *Frequency*

Circuit-breakers shall be tested at rated frequency with a tolerance of $\pm 10\%$.

However, for convenience of testing, some deviations from the above tolerance are allowable; for example, when circuit-breakers rated at 50 Hz are tested at 60 Hz and vice versa, care should be exercised in the interpretation of the results, taking into account all significant facts such as the type of the circuit-breaker and the type of test performed.

Note. — In some cases, the rated characteristics of a circuit-breaker may be different for use at 60 Hz and for use at 50 Hz.

6.3 Mise à la terre du circuit d'essai

Les connexions à la terre du circuit d'essai pour les essais de fermeture et de coupure en court-circuit doivent être conformes aux prescriptions suivantes et doivent dans tous les cas figurer sur le schéma du circuit d'essai faisant partie du rapport d'essai (voir annexe A, paragraphe 2.4, point g)).

a) Pour les essais en triphasé d'un disjoncteur tripolaire, facteur de premier pôle 1,5:

Le disjoncteur (avec son bâti mis à la terre comme en service) doit être branché dans un circuit ayant le point neutre de l'alimentation isolé et le point de court-circuit mis à la terre comme indiqué sur la figure 1a, page 122, ou vice versa comme indiqué sur la figure 1b, page 122, si l'essai ne peut être effectué que de cette dernière façon.

Ces circuits d'essai donnent un facteur de premier pôle de 1,5.

Conformément à la figure 1a, le neutre du circuit d'alimentation peut être mis à la terre par l'intermédiaire d'une résistance. La valeur de cette résistance sera aussi élevée que possible et, exprimée en ohms, ne sera en aucun cas inférieure à $U/10$, où U est la valeur numérique, exprimée en volts, de la tension entre phases du circuit d'essai.

b) Pour les essais en triphasé d'un disjoncteur tripolaire, facteur de premier pôle 1,3:

Le disjoncteur (avec son bâti mis à la terre comme en service) doit être branché dans un circuit ayant le point neutre de l'alimentation mis à la terre par une impédance appropriée et le point de court-circuit mis à la terre comme indiqué sur la figure 2a, page 123, ou vice versa comme indiqué sur la figure 2b, page 123, si l'essai ne peut être effectué que de cette dernière façon.

On choisira l'impédance reliée au point neutre de façon à obtenir un facteur de premier pôle de 1,3.

c) Pour les essais en monophasé d'un pôle séparé d'un disjoncteur tripolaire, facteur de premier pôle 1,5,

i) destiné à une utilisation générale, quelles que soient les conditions de mise à la terre du neutre du réseau:

Le circuit et le bâti du disjoncteur doivent être connectés comme indiqué sur la figure 3a, page 124, de façon que la différence de tension entre les pièces sous tension et le bâti soit, après la coupure, la même que celle qui existerait sur le pôle du disjoncteur qui coupe le premier, s'il avait été essayé complet sur le circuit indiqué sur la figure 1a.

Pour des raisons de commodité de la station d'essais et après accord de l'utilisateur, on peut utiliser un circuit d'essai dont un point intermédiaire de l'alimentation est mis à la terre avec, de préférence, la répartition de tension indiquée sur la figure 3b, page 124.

ii) destiné à être utilisé sur un réseau à neutre effectivement mis à la terre et pouvant faire l'objet de courts-circuits isolés:

Le circuit et le bâti du disjoncteur doivent être connectés comme indiqué sur la figure 3b de façon que la différence de tension entre les pièces sous tension et le bâti soit, après la coupure, la même que celle qui existerait sur le pôle du disjoncteur qui coupe le premier, s'il avait été essayé complet sur le circuit indiqué sur la figure 1b.

Pour des raisons de commodité de la station d'essais et après accord du constructeur, le circuit d'essai indiqué sur la figure 3a peut être utilisé.

d) Pour les essais en monophasé d'un pôle séparé d'un disjoncteur tripolaire, facteur de premier pôle 1,3:

Le circuit et le bâti du disjoncteur doivent être connectés comme indiqué sur la figure 4a, page 125, de façon que la différence de tension entre les pièces sous tension et le bâti soit, après la coupure, la même que celle qui existerait sur le pôle du disjoncteur qui coupe le premier, s'il avait été essayé complet sur le circuit indiqué sur la figure 2a.

6.3 Earthing of test circuit

The connections to earth of the test circuit for short-circuit making and breaking tests shall be in accordance with the following requirements and shall in all cases be indicated in the diagram of the test circuit included in the test report (see Appendix A, Sub-clause 2.4, Item g)).

- a) For three-phase tests of a three-pole circuit-breaker, first-pole-to-clear factor 1.5:

The circuit-breaker (with its structure earthed as in service) shall be connected in a circuit having the neutral point of the supply isolated and the short-circuit point earthed as shown in Figure 1a, page 122, or vice versa as shown in Figure 1b, page 122, if the test can be made only in the latter way.

These test circuits give a first-pole-to-clear factor of 1.5.

In accordance with Figure 1a, the neutral of the supply source may be earthed through a resistor, the resistance of which is as high as possible and, expressed in ohms, in no case less than $U/10$, where U is the numerical value in volts of the voltage between lines of the test circuit.

- b) For three-phase tests of a three-pole circuit-breaker, first-pole-to-clear factor 1.3:

The circuit-breaker (with its structure earthed as in service) shall be connected in a circuit having the neutral point of the supply connected to earth by an appropriate impedance and the short-circuit point earthed as shown in Figure 2a, page 123, or vice versa as shown in Figure 2b, page 123, if the test can be made only in the latter way.

The impedance in the neutral connection shall be selected appropriate to a first-pole-to-clear factor of 1.3.

- c) For single-phase tests of a single-pole unit of a three-pole circuit-breaker, first-pole-to-clear factor 1.5,

- i) intended for universal use irrespective of the earthing condition of the system neutral.

The circuit and the circuit-breaker structure shall be connected as in Figure 3a, page 124, so that the voltage conditions between live parts and the structure after arc extinction are the same as those which would exist in the first pole to clear of a three-pole circuit-breaker if tested in the circuit shown in Figure 1a.

For convenience of the test station, subject to agreement of the user, the test circuit can be used with an intermediate point of the supply earthed, the voltage distribution preferably being as shown in Figure 3b, page 124.

- ii) intended for use on an effectively earthed system subject to unearthed short-circuits:

The circuit and the circuit-breaker structure shall be connected as in Figure 3b so that the voltage conditions between live parts and the structure after arc extinction are the same as those which would exist in the first pole to clear of a three-pole circuit-breaker if tested in the circuit shown in Figure 1b.

For convenience of the test station, subject to agreement of the manufacturer, the test circuit shown in Figure 3a can be used.

- d) For single-phase tests of a single-pole unit of a three-pole circuit-breaker, first-pole-to-clear factor 1.3:

The circuit and the circuit-breaker structure shall be connected as in Figure 4a, page 125, so that the voltage conditions between live parts and the structure after extinction are approximately the same as those that would exist in the first pole to clear of a three-pole circuit-breaker if tested in the circuit shown in Figure 2a.

Pour des raisons de commodité de la station d'essais et après accord de l'utilisateur, on peut utiliser un circuit d'essai dont un point intermédiaire de l'alimentation est mis à la terre avec, de préférence, la répartition de tension indiquée sur la figure 4b, page 125.

e) Pour les essais en monophasé d'un disjoncteur unipolaire:

Le circuit et le bâti du disjoncteur doivent être connectés de façon que la différence de tension entre les pièces sous tension et la masse dans le disjoncteur soit la même après la coupure qu'en service normal. Il doit être fait mention sur le rapport d'essai des connexions adoptées.

6.4 Raccordement du circuit d'essai au disjoncteur

Dans le cas où les dispositions matérielles d'un côté du disjoncteur ne sont pas semblables à celles qui existent de l'autre côté, le côté sous tension du circuit d'essai devra être relié, lors de l'essai, au côté du disjoncteur dont le raccordement présente les conditions les plus sévères, en ce qui concerne la tension par rapport à la terre, sauf dans le cas spécial où l'alimentation du disjoncteur s'effectue toujours du même côté.

En cas de doute, les séquences d'essais N^{os} 1 et 2 (article 9) seront effectuées avec une alimentation différente et de même les séquences d'essai N^{os} 4 et 5. Si la séquence d'essai N^o 5 n'est pas effectuée, la séquence d'essai N^o 4 sera effectuée une fois avec chacune des deux alimentations.

7. Caractéristiques pour les essais de court-circuit *

7.1 Tension appliquée avant les essais de fermeture en court-circuit **

Pour les essais de fermeture en court-circuit du paragraphe 9.4, la tension appliquée doit être la suivante:

- a) Pour les essais en triphasé d'un disjoncteur tripolaire, la valeur moyenne des tensions appliquées doit être au moins égale à la tension nominale U divisée par $\sqrt{3}$ et ne doit pas excéder cette valeur de plus de 10 % sans l'accord du constructeur.

Les différences entre la valeur moyenne des tensions appliquées et les tensions appliquées sur chacun des pôles, ne doivent pas dépasser 5 %.

- b) Pour les essais en monophasé d'un disjoncteur tripolaire, la tension appliquée doit être au moins égale à la valeur de la tension entre phase et neutre $U/\sqrt{3}$ et ne doit pas excéder cette valeur de plus de 10 % sans l'accord du constructeur.

Notes 1. — Avec l'accord du constructeur et pour des raisons de commodité d'essais, il est permis d'appliquer une tension égale à la tension entre phase et neutre multipliée par le facteur de premier pôle (1,3 ou 1,5) du disjoncteur.

2. — Lorsque le disjoncteur peut être prévu pour une manœuvre de re fermeture unipolaire et que l'écart de temps maximal entre les entrées en contact des pôles lors de la manœuvre de fermeture tripolaire qui suit dépasse une demi-période de la fréquence nominale (voir article 2, note 2, de la Publication 56-3 de la CEI), la tension appliquée doit être égale à la tension entre phase et neutre multipliée par le facteur de premier pôle (1,3 ou 1,5) du disjoncteur.

- c) Pour un disjoncteur unipolaire, la tension appliquée doit être au moins égale à la tension nominale et ne doit pas excéder cette valeur de plus de 10 % sans l'accord du constructeur.

* Lorsqu'une tolérance n'est pas spécifiée, les essais de type doivent être effectués à des valeurs au moins aussi sévères que les valeurs spécifiées; les limites supérieures doivent recevoir l'accord du constructeur.

** La tension appliquée avant les essais de coupure en court-circuit n'est pas nommément fixée dans cette spécification.

For convenience of the test station, subject to agreement of the user, the test circuit can be used with an intermediate point of the supply earthed, the voltage distribution preferably being as shown in Figure 4b, page 125.

e) For single-phase tests of a single-pole circuit-breaker:

The circuit and the circuit-breaker structure shall be connected so that the voltage conditions between live parts and earth within the circuit-breaker after arc extinction reproduce the service voltage conditions. The connections used shall be indicated in the test report.

6.4 Connection of test circuit to circuit-breaker

Where the physical arrangement of one side of the circuit-breaker differs from that of the other side, the live side of the test circuit shall be connected for test to that side of the circuit-breaker, connection with which gives the more onerous conditions with respect to voltage to earth, unless the circuit-breaker is especially designed for feeding from one side only.

In case of doubt, the Test-duties Nos. 1 and 2 (Clause 9) shall be made with opposite connections, and likewise Test-duties Nos. 4 and 5. If Test-duty No. 5 is omitted, Test-duty No. 4 shall be made with each of the two connections.

7. Short-circuit test quantities *

7.1 Applied voltage before short-circuit making tests **

For the short-circuit making tests of Sub-clause 9.4, the applied voltage shall be as follows:

- a) For three-phase tests on a three-pole circuit-breaker, the average value of the applied voltages shall not be less than the rated voltage U divided by $\sqrt{3}$ and shall not exceed this value by more than 10 % without the consent of the manufacturer.

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

- b) For single-phase tests on a three-pole circuit-breaker, the applied voltage shall not be less than the phase-to-neutral value $U/\sqrt{3}$ and shall not exceed this value by more than 10 % without the consent of the manufacturer.

Notes 1. — With the manufacturer's consent it is permissible, for convenience of testing, to apply a voltage equal to the product of the phase-to-neutral voltage and the first-pole-to-clear factor (1.3 or 1.5) of the circuit-breaker.

2. — Where the circuit-breaker can be arranged for a single-pole reclosing operation and the maximum time difference between the contacts touching in a subsequent three-pole closing operation exceeds one half cycle of rated frequency (compare Clause 2, Note 2, IEC Publication 56-3) the applied voltage shall be the product of the phase-to-neutral voltage and the first-pole-to-clear factor (1.3 or 1.5) of the circuit-breaker.

- c) For a single-pole circuit-breaker, the applied voltage shall not be less than the rated voltage and shall not exceed it by more than 10 % without the consent of the manufacturer.

* Where a tolerance is not specified, type tests shall be carried out at values not less severe than the specified values; the upper limits are subject to the consent of the manufacturer.

** The applied voltage before short-circuit breaking tests is not specifically laid down in this specification.

7.2 (Valeur de crête du) Courant établi en court-circuit

Lorsque la valeur de crête du courant établi n'atteint pas 100 % du pouvoir de fermeture nominal en court-circuit au cours de chacun des deux essais, pour lesquels cette valeur est spécifiée au paragraphe 9.4, ces essais restent valables si la valeur de crête du courant établi atteint 100 % au cours d'un essai et 90 % au cours de l'autre essai.

Cependant, en raison du pré-arc, il n'est pas toujours possible d'atteindre ces valeurs; dans ce cas, il devra être prouvé que la valeur maximale (de crête) du courant établi qui a été atteinte est représentative des conditions que le disjoncteur doit pouvoir supporter compte tenu de son pouvoir de fermeture nominal en court-circuit. La valeur maximale (de crête) du courant présumé établi du circuit d'essai ne doit pas être inférieure à 100 % du pouvoir de fermeture nominal en court-circuit ni supérieure à 110 % de cette valeur.

Note. — Pour un disjoncteur comportant un pré-arc appréciable, il y a lieu d'attirer l'attention sur le fait que l'instant de la fermeture, correspondant à un courant de court-circuit symétrique par suite du pré-arc, peut provoquer une contrainte sévère; un essai spécial de fermeture-ouverture peut être nécessaire pour prouver que le fonctionnement du disjoncteur est satisfaisant dans ces conditions.

7.3 Courant coupé en court-circuit

Le courant coupé en court-circuit par un disjoncteur doit être mesuré à l'instant de la séparation des contacts, conformément aux indications de la figure 1 de la Publication 56-2 de la CEI, et doit être exprimé par les deux valeurs ci-dessous.

- a) La moyenne des valeurs efficaces des composantes périodiques sur tous les pôles;
- b) La valeur instantanée de la composante apériodique du courant la plus élevée obtenue sur l'un quelconque des pôles.

La différence entre la moyenne des valeurs efficaces des composantes périodiques et les valeurs obtenues sur chaque pôle ne doit pas dépasser 10 % de la valeur moyenne.

Alors que le courant coupé est mesuré à l'instant de la séparation des contacts, l'aptitude du disjoncteur à la coupure est déterminée entre autres choses par le courant qui est finalement coupé dans la dernière alternance de l'arc. Le décrément de la composante périodique du courant de court-circuit peut par conséquent être très important, en particulier pour les disjoncteurs qui comportent plusieurs alternances de courant. Pour éviter une réduction des contraintes, il est recommandé d'utiliser un décrément de la composante périodique du courant de court-circuit tel qu'à l'instant correspondant à l'extinction finale de l'arc principal sur le dernier pôle qui coupe, la composante périodique du courant présumé soit au moins égale à 90 % de la valeur correspondant à la séquence d'essais.

Si les caractéristiques du disjoncteur sont telles que le courant de court-circuit est réduit à une valeur inférieure à celle du courant présumé coupé, ou si l'oscillogramme ne permet pas de tracer correctement l'enveloppe des ondes de courant, la valeur moyenne du courant présumé coupé sur tous les pôles, mesurée sur l'oscillogramme du courant présumé à l'instant correspondant à la séparation des contacts, sera considérée comme étant le courant coupé.

On peut déterminer l'instant de la séparation des contacts selon l'expérience de la station d'essais et le type de l'appareil en essai par diverses méthodes, par exemple, par l'enregistrement de la course des contacts pendant l'essai, par l'enregistrement de la tension d'arc, par un essai à vide sur le disjoncteur.

7.4 Composante apériodique du courant coupé en court-circuit

Pour les disjoncteurs dont la durée de fonctionnement est telle que la composante apériodique ne peut être contrôlée, par exemple, les disjoncteurs munis de déclencheurs directs à maximum

7.2 *Short-circuit (peak) making current*

When the making current does not attain 100 % of the rated short-circuit making current in both tests for which this value is specified in Sub-clause 9.4, these tests are still valid if the making current attains 100 % in one test and 90 % in the other test.

It is, however, not always possible to reach these values due to pre-arcing; in this case evidence shall be given that the making currents attained are representative of conditions the circuit-breaker is required to meet in accordance with its rated short-circuit making current. The maximum prospective peak current of the test circuit shall not be less than 100 % of the rated short-circuit making current and shall not exceed 110 % of this value.

Note. — Attention is drawn to the possibility that, for a circuit-breaker with appreciable pre-arcing, a moment of closing which, because of pre-arcing, results in a symmetrical short-circuit current may cause a severe stress, and a special close-open test may be necessary to prove satisfactory operation of the circuit-breaker in this condition.

7.3 *Short-circuit breaking current*

The short-circuit current broken by a circuit-breaker shall be measured at the instant of contact separation in accordance with Figure 1, IEC Publication 56-2, and shall be stated in terms of two values as specified below:

- a) The average of the r.m.s. values of the a.c. components in all phases;
- b) The percentage value of the maximum d.c. component in any phase.

The r.m.s. value of the a.c. component of the breaking current in any phase shall not vary from the average by more than 10 % of the average.

Although the breaking current is measured at the instant corresponding to contact separation, the breaking performance of the circuit-breaker is determined among other factors by the current which is finally broken in the last loop of arcing. The decrement of the a.c. component of the short-circuit current is therefore very important, particularly when testing those circuit-breakers which are for several loops of current. To obviate an easement of duty, the decrement of the a.c. component of the short-circuit current should be such that at a time corresponding to the final extinction of the main arc in the last pole to clear, the a.c. component of the prospective current is not less than 90 % of the appropriate value for the test-duty.

If the characteristics of the circuit-breaker are such that it reduces the short-circuit current value below the prospective breaking current, or if the oscillogram is such that the current wave envelope cannot be drawn successfully, the average prospective breaking current in all phases shall be deemed to be the breaking current and shall be measured from the oscillogram of prospective current at a time corresponding to the instant of contact separation.

The instant of contact separation can be determined according to the experience of the testing station and the type of apparatus under test by various methods, for instance, by recording the contact travel during the test, by recording the arc voltage or by a test on the circuit-breaker at no-load.

7.4 *D.C. component of short-circuit breaking current*

For circuit-breakers which operate in times preventing the control of the d.c. component, e.g. circuit-breakers fitted with direct over-current releases when in a condition for test as set out in

de courant et préparés pour l'essai comme indiqué au paragraphe 5.2, la composante apériodique peut être supérieure à celle spécifiée pour les séquences d'essais N^{os} 1 à 4, article 9.

Les disjoncteurs seront considérés comme ayant satisfait à la séquence d'essais N^o 5, même si le pourcentage de la composante apériodique au cours d'une manœuvre d'ouverture est inférieure à la valeur spécifiée, à condition que la moyenne des pourcentages des composantes apériodiques au cours des manœuvres d'ouverture de la séquence d'essais dépasse le pourcentage spécifié de la composante apériodique.

7.5 Tension transitoire de rétablissement pour les défauts aux bornes

7.5.1 Généralités

La tension transitoire de rétablissement présumée du circuit d'essai doit être déterminée par des méthodes telles que les appareils servant à provoquer et à relever l'onde de la TTR soient sans influence pratique sur celle-ci. Elle doit être mesurée aux bornes auxquelles le disjoncteur sera relié, avec tous les dispositifs de mesure nécessaires, tels que les diviseurs de tension. Des méthodes appropriées sont décrites à l'annexe E (voir aussi paragraphe 7.6).

Pour les circuits triphasés, la tension transitoire de rétablissement se réfère au pôle qui coupe le premier, c'est-à-dire à la tension aux bornes d'un pôle ouvert, les deux autres pôles étant fermés, suivant le circuit d'essai correspondant comme spécifié au paragraphe 6.3.

La courbe de la tension transitoire de rétablissement présumée d'un circuit d'essai est représentée par son enveloppe tracée comme l'indique l'annexe D et par sa partie initiale.

La TTR spécifiée pour les essais est représentée par un tracé de référence et un segment de droite définissant un retard de la même façon que la TTR nominale, conformément au paragraphe 7.2 et aux figures 3 et 4 de la Publication 56-2 de la CEI.

L'onde de la tension transitoire de rétablissement présumée du circuit d'essai doit être conforme aux deux exigences suivantes:

Exigence a)

Son enveloppe ne doit jamais être située en dessous du tracé de référence spécifié.

Note. — Il est précisé que l'accord du constructeur est nécessaire pour fixer de combien l'enveloppe peut dépasser le tracé de référence spécifié (voir la note en bas de page correspondant au titre de l'article 7); ce point est particulièrement important lorsqu'on utilise des enveloppes à 2 paramètres alors que des tracés de référence à 4 paramètres ont été spécifiés, et lorsqu'on utilise des enveloppes à 4 paramètres alors que des tracés de référence à 2 paramètres ont été spécifiés.

Exigence b)

Sa partie initiale ne doit pas traverser le segment de droite spécifié définissant le retard.

Les figures 5, 6, 7 et 8, pages 126 et 128, illustrent ces exigences.

Les valeurs normales des tracés de référence et des segments de droite définissant le retard, spécifiées pour les diverses séquences d'essais, sont les suivantes.

7.5.2 Séquences d'essais N^{os} 4 et 5

Les valeurs spécifiées des tracés de référence et des segments de droite définissant le retard sont indiquées pour les valeurs appropriées des tensions nominales dans les tableaux V A, V B, V C ou V D du paragraphe 7.3 de la Publication 56-2 de la CEI.

Les tableaux V C et V D indiquent les valeurs des tracés de référence à 4 paramètres. En variante, des valeurs des tracés de référence à 2 paramètres utilisées lors de l'application de la figure 6 à la place de la figure 8 sont indiquées dans le tableau VII A, annexe F.

Sub-clause 5.2, the d.c. component may be greater than that specified for Test-duties Nos. 1 to 4, Clause 9.

Circuit-breakers shall be considered to have satisfied Test-duty No. 5, even if the percentage d.c. component in one opening operation is less than the specified value, provided that the average of the percentage d.c. components of the opening operations of the test-duty exceeds the specified percentage d.c. component.

7.5 *Transient recovery voltage for terminal faults*

7.5.1 *General*

The prospective transient recovery voltage of the test circuit shall be determined by such a method as will produce and measure the TRV-wave without materially influencing it, and shall be measured at the terminals to which the circuit-breaker will be connected with all necessary test measuring devices, such as voltage dividers, included. Suitable methods are described in Appendix E (see also Sub-clause 7.6).

For three-phase circuits, the transient recovery voltage refers to the first pole to clear, i.e. the voltage across one open pole with the other two poles closed, with the appropriate test circuit arranged as specified in Sub-clause 6.3.

The prospective transient recovery voltage curve of a test circuit is represented by its envelope drawn as shown in Appendix D and by its initial portion.

The TRV specified for the tests, is represented by a reference line and a delay line in the same manner as the rated TRV in accordance with Sub-clause 7.2 and Figures 3 and of 4 IEC Publication 56-2.

The prospective transient recovery voltage wave of the test circuit shall comply with the following two requirements:

Requirement a)

Its envelope shall at no time be below the specified reference line.

Note. — It is stressed that the extent by which the envelope may exceed the specified reference line requires the consent of the manufacturer (see footnote of title of Clause 7); this is of particular importance in the case of 2-parameter envelopes when 4-parameter reference lines are specified, and in the case of 4-parameter envelopes when 2-parameter reference lines are specified.

Requirement b)

Its initial portion shall not cross the specified delay line.

These requirements are illustrated in Figures 5, 6, 7 and 8, pages 127 and 129.

Standard values of reference and delay lines specified for the various test duties are as follows.

7.5.2 *Test-duties Nos. 4 and 5*

The specified reference lines and delay lines are given by the appropriate standard values in Tables V A, V B, V C or V D of Sub-clause 7.3, IEC Publication 56-2.

Tables V C and V D of IEC Publication 56-2 give values of 4-parameter reference lines. Alternative values of 2-parameter reference lines for use when applying Figure 6 in place of Figure 8 are contained in Table VII A, Appendix F.

Par suite des limitations de la station d'essai, il peut être impossible de répondre complètement à l'exigence *b)*. Dans ce cas, si le disjoncteur est également soumis à des essais de défaut en ligne conformément à l'article 12, on cherchera à se rapprocher le plus possible de l'exigence *b)* pendant l'exécution des séquences d'essais Nos 4 et 5; et, pourvu que les conditions correspondant aux segments de droite définissant le retard soient satisfaites pour les valeurs limites indiquées dans les tableaux I A, I B (à l'étude), I C et I D, on considérera que ces circuits d'essai répondent aux conditions spécifiées.

TABLEAU I A

Valeurs limites normales des segments de droite définissant le retard de la tension transitoire de rétablissement présumée pour les séquences d'essais Nos 4 et 5 lorsque des essais de défaut en ligne sont également effectués

Tensions nominales de la série I et 100 kV — Facteur de premier pôle 1,5

Tension nominale	Retard	Tension	Temps
U kV	t_d μs	u' kV	t' μs
52	19,8	29,5	64
72,5	25	41,5	81
100	32,5	57	104

$$t_d = 0,15 t_3$$

TABLEAU I B

Valeurs limites normales des segments de droite définissant le retard de la tension transitoire de rétablissement présumée pour les séquences d'essais Nos 4 et 5 lorsque les essais de défaut en ligne sont également effectués

Tensions nominales de la série II. Facteur de premier pôle 1,5.

A l'étude.

Due to limitations of the test plant, it may not be feasible to comply fully with Requirement *b*). In that event, if the circuit-breaker is also subjected to short-line fault tests in accordance with Clause 12, Requirement *b*) shall be met as best possible during the performance of Test-duties Nos. 4 and 5; and provided it is met for the delay line given by the limit values in Tables I A, I B (under consideration), I C or I D, these test circuits are deemed to meet the specified requirement.

TABLE I A

Standard limit values of delay lines of prospective transient recovery voltage for Test-duties Nos. 4 and 5 where short-line fault tests are also made

Rated voltages Series I and 100 kV. First-pole-to-clear factor 1.5

Rated voltage	Time delay	Voltage co-ordinate	Time co-ordinate
U kV	t_d μs	u' kV	t' μs
52	19.8	29.5	64
72.5	25	41.5	81
100	32.5	57	104

$$t_d = 0.15 t_3$$

TABLE I B

Standard limit values of delay lines of prospective transient recovery voltage for Test-duties Nos. 4 and 5 where short-line fault tests are also made

Rated voltages Series II. First-pole-to-clear factor 1.5

Under consideration.

TABLEAU I C

Valeurs limites normales des segments de droite définissant le retard de la tension transitoire de rétablissement présumée pour les séquences d'essais N^{os} 4 et 5 lorsque des essais de défaut en ligne sont également effectués

Tensions nominales supérieures à 100 kV. Facteur de premier pôle 1,3

Tension nominale	Retard	Tension	Temps
U kV	t_d μs	u' kV	t' μs
123	19,6	65	85
145	23	77	100
170	27	90	118
245	39	130	170
300	48	160	206
362	58	192	250
420	67	222	290
525	84	280	360
765	122	405	530

$$t_d = 0,15 t_1$$

TABLEAU I D

Valeurs limites normales des segments de droite définissant le retard de la tension transitoire de rétablissement présumée pour les séquences d'essais N^{os} 4 et 5 lorsque des essais de défaut en ligne sont également effectués

Tensions nominales supérieures à 100 kV. Facteur de premier pôle 1,5

Tension nominale	Retard	Tension	Temps
U kV	t_d μs	u' kV	t' μs
123	22,6	75	98
145	26,5	89	116
170	31	104	136
245	45	150	196
300	55	184	238
362	67	222	290
420	77	255	335
525	96	320	420
765	140	470	610

$$t_d = 0,15 t_1$$

Si, par suite des limitations de la station d'essais, on ne peut pas répondre avec un seul circuit d'essai à l'exigence a) et à l'exigence b) (soit complètement, soit s'il y a lieu après modification en ce qui concerne cette dernière), on peut effectuer des essais en deux parties en utilisant successivement deux circuits d'essais. Pour les disjoncteurs de tensions nominales supérieures à 100 kV, les prescriptions suivantes s'appliquent.

TABLE I C

Standard limit values of delay lines of prospective transient recovery voltage for Test-duties Nos. 4 and 5 where short-line fault tests are also made

Rated voltages exceeding 100 kV. First-pole-to-clear factor 1.3

Rated voltage	Time delay	Voltage co-ordinate	Time co-ordinate
U kV	t_d μs	u' kV	t' μs
123	19.6	65	85
145	23	77	100
170	27	90	118
245	39	130	170
300	48	160	206
362	58	192	250
420	67	222	290
525	84	280	360
765	122	405	530

$$t_d = 0.15 t_1$$

TABLE I D

Standard limit values of delay lines of prospective transient recovery voltage for Test-duties Nos. 4 and 5 where short-line fault tests are also made

Rated voltages exceeding 100 kV. First-pole-to-clear factor 1.5

Rated voltage	Time delay	Voltage co-ordinate	Time co-ordinate
U kV	t_d μs	u' kV	t' μs
123	22.6	75	98
145	26.5	89	116
170	31	104	136
245	45	150	196
300	55	184	238
362	67	222	290
420	77	255	335
525	96	320	420
765	140	470	610

$$t_d = 0.15 t_1$$

In case Requirement a) and the full or, where applicable, modified Requirement b) cannot be met in a single test circuit due to test plant limitations, two-part tests may be made using two test circuits successively, the following applying to circuit-breakers having rated voltages exceeding 100 kV:

- i) Le premier circuit d'essai doit répondre à l'exigence b) et en partie à l'exigence a) avec un tracé de référence à 2 paramètres passant par le point défini par une tension égale à la valeur nominale u_1 et un temps égal à la valeur nominale t_1 .
- ii) avec le second circuit d'essai, on néglige l'exigence b).

La combinaison des ondes de la TTR des deux circuits d'essais doit répondre complètement à l'exigence a).

La figure 9, page 128, en est un exemple et montre les ondes de la tension transitoire de rétablissement présumée correspondant à deux circuits d'essais à une seule fréquence.

7.5.3 Séquence d'essais N° 3

Pour les tensions nominales inférieures ou égales à 145 kV, on utilise des tracés de référence à 2 paramètres. Les valeurs nominales spécifiées sont indiquées dans les tableaux II A, II B (à l'étude), II C et II D.

Pour les tensions nominales supérieures à 145 kV, on utilise des tracés de référence à 4 paramètres. Les valeurs normales spécifiées sont indiquées dans les tableaux II E et II F; pour t_d et t' , les valeurs sans parenthèses sont les limites inférieures qu'il est recommandé de ne pas réduire et les valeurs entre parenthèses sont les limites supérieures qu'il est recommandé de ne pas dépasser pendant les essais.

En variante, des valeurs des tracés de référence à 2 paramètres utilisés lors de l'application de la figure 6, page 126, à la place de la figure 8, page 128, sont indiquées dans le tableau VII B, annexe F.

Note. — Une réduction de la TTR pour $U > 420$ kV est à l'étude.

TABEAU II A

Valeurs normales de la tension transitoire de rétablissement présumée spécifiée pour la séquence d'essais N° 3
Tensions nominales de la série I et 100 kV

Représentation par 2 paramètres. Facteur de premier pôle 1,5

Tension nominale	Valeur de crête de la TTR	Temps	Retard	Tension	Temps	Vitesse d'accroissement
U kV	u_c kV	t_3 μs	t_d μs	u' kV	t' μs	u_c/t_3 kV/ μs
3,6	6,6	17,2	3,45	2,2	9,1	0,385
7,2	13,2	22,2	4,45	4,4	11,8	0,59
12	22	25,5	5,1	7,3	13,8	0,86
17,5	32	31	6,2	10,8	16,4	1,04
24	44	37,5	7,5	14,6	20,2	1,16
36	66	46,5	9,3	22	24,6	1,42
52	96	57	11,4	32	30	1,68
72,5	134	72	14,4	44,5	38,5	1,84
100	184	93	18,6	61	49,5	1,98

$$u_c = 1,5 \times 1,5 \sqrt{\frac{2}{3}} U$$

Vitesse d'accroissement u_c/t_3 égale à 2,5 fois la valeur correspondante du tableau VA de la Publication 56-2 de la CEI

$$t_d = 0,2 t_3; u' = \frac{1}{3} u_c$$

- i) the first test circuit shall meet Requirement b) and a part of Requirement a) with a 2-parameter reference line, defined by a voltage co-ordinate equal to the rated value u_1 and a time co-ordinate equal to the rated value t_1 .
- ii) in the second test circuit, Requirement b) is disregarded.

The TRV-waves of both test circuits combined shall meet Requirement a) fully.

An example illustrating the corresponding prospective transient recovery voltage waves of two single frequency test circuits, is shown in Figure 9, page 129.

7.5.3 Test-duty No. 3

For rated voltages up to and including 145 kV, 2-parameter reference lines are used. The specified standard values are given in Tables II A, II B (under consideration), II C and II D.

For rated voltages above 145 kV, 4-parameter reference lines are used. The specified standard values are given in Tables II E and II F; the values of t_d and t' are the lower limits which should not be reduced, and the values in brackets are the upper limits which should not be exceeded, during tests.

Alternative values of 2-parameter reference lines for use when applying Figure 6, page 127, in place of Figure 8, page 129, are contained in Table VII B, Appendix F.

Note. — A reduction of the TRV for $U > 420$ kV is under consideration.

TABLE II A

*Standard values of prospective transient recovery voltage specified for Test-duty No. 3
Rated voltages Series I and 100 kV.*

Representation by 2 parameters First-pole-to-clear factor 1.5

Rated voltage	TRV peak value	Time co-ordinate	Time delay	Voltage co-ordinate	Time co-ordinate	Rate of rise
U kV	u_c kV	t_3 μs	t_d μs	u' kV	t' μs	u_c/t_3 kV/ μs
3.6	6.6	17.2	3.45	2.2	9.1	0.385
7.2	13.2	22.2	4.45	4.4	11.8	0.59
12	22	25.5	5.1	7.3	13.8	0.86
17.5	32	31	6.2	10.8	16.4	1.04
24	44	37.5	7.5	14.6	20.2	1.16
36	66	46.5	9.3	22	24.6	1.42
52	96	57	11.4	32	30	1.68
72.5	134	72	14.4	44.5	38.5	1.84
100	184	93	18.6	61	49.5	1.98

$$u_c = 1.5 \times 1.5 \sqrt{\frac{2}{3}} U$$

Rate-of-rise u_c/t_3 equals 2.5 times the corresponding value of Table VA of I E C Publication 56-2

$$t_d = 0.2 t_3; u' = \frac{1}{3} u_c$$

TABLEAU II-B

Valeurs normales de la tension transitoire de rétablissement présumée spécifiée pour la séquence d'essais N° 3
Tensions nominales de la série II

Représentation par 2 paramètres. Facteur de premier pôle 1,5

A l'étude.

TABLEAU II C

Valeurs normales de la tension transitoire de rétablissement présumée spécifiée pour la séquence d'essais N° 3
Tensions nominales 123 et 145 kV

Représentation par 2 paramètres. Facteur de premier pôle 1,3

Tension nominale	Valeur de crête de la TTR	Temps	Retard	Tension	Temps	Vitesse d'accroissement
U kV	u_c kV	t_3 μs	t_d μs	u' kV	t' μs	u_c/t_3 kV/ μs
123	196	98	19,6	65	52	2,0
145	230	116	23	77	62	2,0

$$u_c = 1,5 \times 1,3 \sqrt{\frac{2}{3}} U; \quad t_d = 0,2 t_3; \quad u' = \frac{1}{3} u_c$$

TABLEAU II D

Valeurs normales de la tension transitoire de rétablissement présumée spécifiée pour la séquence d'essais N° 3
Tensions nominales 123 et 145 kV

Représentation par 2 paramètres. Facteur de premier pôle 1,5

Tension nominale	Valeur de crête de la TTR	Temps	Retard	Tension	Temps	Vitesse d'accroissement
U kV	u_c kV	t_3 μs	t_d μs	u' kV	t' μs	u_c/t_3 kV/ μs
123	226	112	22,6	75	60	2,0
145	265	134	26,5	89	71	2,0

$$u_c = 1,5 \times 1,5 \sqrt{\frac{2}{3}} U; \quad t_d = 0,2 t_3; \quad u' = \frac{1}{3} u_c$$

TABLE II B

Standard values of prospective transient recovery voltage specified for Test-duty No. 3
Rated voltages Series II.

Representation by 2 parameters. First-pole-to-clear factor 1.5

Under consideration.

TABLE II C

Standard values of prospective transient recovery voltage specified for Test-duty No. 3
Rated voltages 123 and 145 kV.

Representation by 2 parameters. First-pole-to-clear factor 1.3

Rated voltage	TRV peak value	Time co-ordinate	Time delay	Voltage co-ordinate	Time co-ordinate	Rate of rise
U kV	u_c kV	t_3 μs	t_d μs	u' kV	t' μs	u_c/t_3 kV/ μs
123	196	98	19.6	65	52	2.0
145	230	116	23	77	62	2.0

$$u_c = 1.5 \times 1.3 \sqrt{\frac{2}{3}} U; \quad t_d = 0.2 t_3; \quad u' = \frac{1}{3} u_c$$

TABLE II D

Standard values of prospective transient recovery voltage specified for Test-duty No. 3
Rated voltages 123 and 145 kV.

Representation by 2-parameters. First-pole-to-clear factor 1.5

Rated voltage	TRV peak value	Time co-ordinate	Time delay	Voltage co-ordinate	Time co-ordinate	Rate of rise
U kV	u_c kV	t_3 μs	t_d μs	u' kV	t' μs	u_c/t_3 kV/ μs
123	226	112	22.6	75	60	2.0
145	265	134	26.5	89	71	2.0

$$u_c = 1.5 \times 1.5 \sqrt{\frac{2}{3}} U; \quad t_d = 0.2 t_3; \quad u' = \frac{1}{3} u_c$$

TABEAU II E

Valeurs normales de la tension transitoire de rétablissement présumée spécifiée pour la séquence d'essais N° 3
Tensions nominales supérieures à 145 kV
Représentation par 4 paramètres. Facteur de premier pôle 1,3

Tension nominale	Première tension de référence	Temps	Valeur de crête de la TTR	Temps	Retard	Tension	Temps	Vitesse d'accroissement
U kV	u_1 kV	t_1 μs	u_c kV	t_2 μs	t_d μs	u' kV	t' μs	u_1/t_1 kV/ μs
170	180	90	270	540	3,6 (22,6)	90	48,5 (68)	2,0
245	260	130	390	780	5,2 (32,5)	130	70 (98)	2,0
300	320	160	480	960	6,4 (40)	160	86 (120)	2,0
362	385	192	580	1160	7,7 (48)	192	104 (144)	2,0
420	445	222	670	1340	8,9 (56)	222	120 (168)	2,0
525	560	280	840	1680	11,1 (70)	280	150 (208)	2,0
765	810	405	1220	2440	16,2 (102)	405	220 (305)	2,0

$$u_1 = 1,3 \sqrt{\frac{2}{3}} U; \quad u_c = 1,5 u_1; \quad t_2 = 6 t_1; \quad t_d = 0,04 (0,25) t_1; \quad u' = \frac{1}{2} u_1$$

TABEAU II F

Valeurs normales de la tension transitoire de rétablissement présumée spécifiée pour la séquence d'essais N° 3
Tensions nominales supérieures à 145 kV
Représentation par 4 paramètres. Facteur de premier pôle 1,5

Tension nominale	Première tension de référence	Temps	Valeur de crête de la TTR	Temps	Retard	Tension	Temps	Vitesse d'accroissement
U kV	u_1 kV	t_1 μs	u_c kV	t_2 μs	t_d μs	u' kV	t' μs	u_1/t_1 kV/ μs
170	208	104	310	660	4,2 (26)	104	56 (78)	2,0
245	300	150	450	900	6,0 (37,5)	150	81 (112)	2,0
300	365	184	550	1100	7,3 (46)	184	99 (138)	2,0
362	445	222	670	1340	8,9 (55)	222	120 (166)	2,0
420	510	255	770	1540	10,2 (64)	255	138 (192)	2,0
525	640	320	960	1920	12,8 (80)	320	174 (242)	2,0
765	940	470	1400	2800	18,8 (118)	470	255 (350)	2,0

$$u_1 = 1,5 \sqrt{\frac{2}{3}} U; \quad u_c = 1,5 u_1; \quad t_2 = 6 t_1; \quad t_d = 0,04 (0,25) t_1; \quad u' = \frac{1}{2} u_1$$

TABLE II E

Standard values of prospective transient recovery voltage specified for Test-duty No. 3
Rated voltages exceeding 145 kV.

Representation by 4 parameters. First-pole-to-clear factor 1.3

Rated voltage	First reference voltage	Time co-ord.	TRV peak value	Time co-ord.	Time delay	Voltage co-ord.	Time co-ord.	Rate of rise
U kV	u_1 kV	t_1 μ s	u_c kV	t_2 μ s	t_d μ s	u' kV	t' μ s	u_1/t_1 kV/ μ s
170	180	90	270	540	3.6 (22.6)	90	48.5 (68)	2.0
245	260	130	390	780	5.2 (32.5)	130	70 (98)	2.0
300	320	160	480	960	6.4 (40)	160	86 (120)	2.0
362	385	192	580	1160	7.7 (48)	192	104 (144)	2.0
420	445	222	670	1340	8.9 (56)	222	120 (168)	2.0
525	560	280	840	1680	11.1 (70)	280	150 (208)	2.0
765	810	405	1220	2440	16.2 (102)	405	220 (305)	2.0

$$u_1 = 1.3 \sqrt{\frac{2}{3}} U; \quad u_c = 1.5 u_1; \quad t_2 = 6 t_1; \quad t_d = 0.04 (0.25) t_1; \quad u' = \frac{1}{2} u'$$

TABLE II F

Standard values of prospective transient recovery voltage specified for Test-duty No. 3
Rated voltages exceeding 145 kV.

Representation by 4 parameters. First-pole-to-clear factor 1.5

Rated voltage	First reference voltage	Time co-ord.	TRV peak value	Time co-ord.	Time delay	Voltage co-ord.	Time co-ord.	Rate of rise
U kV	u_1 kV	t_1 μ s	u_c kV	t_2 μ s	t_d μ s	u' kV	t' μ s	u_1/t_1 kV/ μ s
170	208	104	310	660	4.2 (26)	104	56 (78)	2.0
245	300	150	450	900	6.0 (37.5)	150	81 (112)	2.0
300	365	184	550	1100	7.3 (46)	184	99 (138)	2.0
362	445	222	670	1340	8.9 (55)	222	120 (166)	2.0
420	510	255	770	1540	10.2 (64)	255	138 (192)	2.0
525	640	320	960	1920	12.8 (80)	320	174 (242)	2.0
765	940	470	1400	2800	18.8 (118)	470	255 (350)	2.0

$$u_1 = 1.5 \sqrt{\frac{2}{3}} U; \quad u_c = 1.5 u_1; \quad t_2 = 6 t_1; \quad t_d = 0.04 (0.25) t_1; \quad u' = \frac{1}{2} u_1$$

7.5.4 Séquence d'essais N° 2

On utilise pour toutes les tensions des tracés de référence à 2 paramètres. Les valeurs normales spécifiées sont indiquées dans les tableaux III A, III B (à l'étude), III C et III D.

TABLEAU III A

Valeurs normales de la tension transitoire de rétablissement présumée spécifiée pour la séquence d'essais N° 2
Tensions nominales de la série I et 100 kV
Représentation par 2 paramètres. Facteur de premier pôle 1,5

Tension nominale	Valeur de crête de la TTR	Temps	Retard	Tension	Temps	Vitesse d'accroissement
U kV	u_c kV	t_3 μ s	t_d μ s	u' kV	t' μ s	u_c/t_3 kV/ μ s
3,6	6,6	8,6	1,72	2,2	4,6	0,77
7,2	13,2	11,2	2,22	4,4	5,9	1,18
12	22	12,8	2,55	7,3	6,9	1,72
17,5	32	15,4	3,1	10,8	8,2	2,08
24	44	18,8	3,75	14,6	10	2,34
36	66	23,2	4,65	22	12,4	2,85
52	96	28,5	5,7	32	15	3,40
72,5	134	36	7,2	44,5	19,2	3,70
100	184	46,5	9,3	61	24,6	3,95

$$u_c = 1,5 \times 1,5 \sqrt{\frac{2}{3}} U$$

Vitesse d'accroissement u_c/t_3 égale à cinq fois la valeur correspondante du tableau VA de la Publication 56-2 de la CEI.

$$t_d = 0,2 t_3, \quad u' = \frac{1}{3} u_c$$

Note. — Dans les stations d'essais utilisant des alternateurs, il peut être difficile d'obtenir les faibles valeurs du temps t_3 . Il est recommandé d'utiliser le temps le plus court réalisable et cette valeur sera indiquée dans le rapport d'essais.

TABLEAU III B

Valeurs normales de la tension transitoire de rétablissement présumée spécifiée pour la séquence d'essais N° 2
Tensions nominales de la série II
Représentation par 2 paramètres. Facteur de premier pôle 1,5

A l'étude.

7.5.4 Test-duty No. 2

2-parameter reference lines are used for all voltages. The specified standard values are given in Tables III A, III B (under consideration), III C and III D.

TABLE III A

*Standard values of prospective transient recovery voltage specified for Test-duty No. 2
Rated voltages Series I and 100 kV.
Representation by 2 parameters. First-pole-to-clear factor 1.5*

Rated voltage	TRV peak value	Time co-ordinate	Time delay	Voltage co-ordinate	Time co-ordinate	Rate of rise
U kV	u_c kV	t_3 μs	t_d μs	u' kV	t' μs	u_c/t_3 kV/ μs
3.6	6.6	8.6	1.72	2.2	4.6	0.77
7.2	13.2	11.2	2.22	4.4	5.9	1.18
12	22	12.8	2.55	7.3	6.9	1.72
17.5	32	15.4	3.1	10.8	8.2	2.08
24	44	18.8	3.75	14.6	10	2.34
36	66	23.2	4.65	22	12.4	2.85
52	96	28.5	5.7	32	15	3.40
72.5	134	36	7.2	44.5	19.2	3.70
100	184	46.5	9.3	61	24.6	3.95

$$u_c = 1.5 \times 1.5 \sqrt{\frac{2}{3}} U$$

Rate of rise u_c/t_3 equals five times the corresponding value of Table VA of IEC Publication 56-2

$$t_d = 0.2 t_3; \quad u' = \frac{1}{3} u_c$$

Note. — In testing stations using generators it may be difficult to meet the small values of time t_3 . The shortest time which can be met should be used and the value stated in the test report.

TABLE III B

*Standard values of prospective transient recovery voltage specified for Test-duty No. 2
Rated voltages Series II.
Representation by 2 parameters. First-pole-to-clear factor 1.5*

Under consideration.

TABLEAU III C

Valeurs normales de la tension transitoire de rétablissement présumée spécifiée pour la séquence d'essais N° 2
Tensions nominales supérieures à 100 kV
Représentation par 2 paramètres. Facteur de premier pôle 1,3

Tension nominale	Valeur de crête de la TTR	Temps	Retard	Tension	Temps	Vitesse d'accroissement
U kV	u_c kV	t_3 μs	t_d μs	u' kV	t' μs	u_c/t_3 kV/ μs
123	196	39	7,8	65	20,8	5,0
145	230	46	9,2	77	24,6	5,0
170	270	54	10,8	90	29	5,0
245	390	78	15,6	130	41,5	5,0
300	480	96	19,2	160	51	5,0
362	580	116	23	192	61	5,0
420	670	134	26,5	222	71	5,0
525	840	168	33,5	280	89	5,0
765	1 220	244	48,5	405	130	5,0

$$u_c = 1,5 \times 1,3 \sqrt{\frac{2}{3}} U; \quad t_d = 0,2 t_3; \quad u' = \frac{1}{3} u_c$$

TABLEAU III D

Valeurs normales de la tension transitoire de rétablissement présumée spécifiée pour la séquence d'essais N° 2
Tensions nominales supérieures à 100 kV
Représentation par 2 paramètres. Facteur de premier pôle 1,5

Tension nominale	Valeur de crête de la TTR	Temps	Retard	Tension	Temps	Vitesse d'accroissement
U kV	u_c kV	t_3 μs	t_d μs	u' kV	t' μs	u_c/t_3 kV/ μs
123	226	45	9,0	75	24,2	5,0
145	265	53	10,6	89	28,5	5,0
170	310	62	12,4	104	33,5	5,0
245	450	90	18	150	48	5,0
300	550	110	22	184	59	5,0
362	670	134	26,5	222	71	5,0
420	770	154	31	255	82	5,0
525	960	192	38,5	320	102	5,0
765	1 400	280	56	470	150	5,0

$$u_c = 1,5 \times 1,5 \sqrt{\frac{2}{3}} U; \quad t_d = 0,2 t_3; \quad u' = \frac{1}{3} u_c$$

TABLE III C

Standard values of prospective transient recovery voltage specified for Test-duty No. 2
Rated voltages exceeding 100 kV.

Representation by 2 parameters. First-pole-to-clear 1.3

Rated voltage	TRV peak value	Time co-ordinate	Time delay	Voltage co-ordinate	Time co-ordinate	Rate of rise
U kV	u_c kV	t_3 μs	t_d μs	u' kV	t' μs	u_c/t_3 kV/ μs
123	196	39	7.8	65	20.8	5.0
145	230	46	9.2	77	24.6	5.0
170	270	54	10.8	90	29	5.0
245	390	78	15.6	130	41.5	5.0
300	480	96	19.2	160	51	5.0
362	580	116	23	192	61	5.0
420	670	134	26.5	222	71	5.0
525	840	168	33.5	280	89	5.0
765	1 220	244	48.5	405	130	5.0

$$u_c = 1.5 \times 1.3 \sqrt{\frac{2}{3}} U; \quad t_d = 0.2 t_3; \quad u' = \frac{1}{3} u_c$$

TABLE III D

Standard values of prospective transient recovery voltage specified for Test-duty No. 2
Rated voltages exceeding 100 kV.

Representation by 2 parameters. First-pole-to-clear-factor 1.5

Rated voltage	TRV peak value	Time co-ordinate	Time delay	Voltage co-ordinate	Time co-ordinate	Rate of rise
U kV	u_c kV	t_3 μs	t_d μs	u' kV	t' μs	u_c/t_3 kV/ μs
123	226	45	9.0	75	24.2	5.0
145	265	53	10.6	89	28.5	5.0
170	310	62	12.4	104	33.5	5.0
245	450	90	18	150	48	5.0
300	550	110	22	184	59	5.0
362	670	134	26.5	222	71	5.0
420	770	154	31	255	82	5.0
525	960	192	38.5	320	102	5.0
765	1 400	280	56	470	150	5.0

$$u_c = 1.5 \times 1.5 \sqrt{\frac{2}{3}} U; \quad t_d = 0.2 t_3; \quad u' = \frac{1}{3} u_c$$

7.5.5 Séquence d'essais N° 1

Compte tenu de la difficulté d'obtenir les courtes durées t_3 dans les stations d'essais pour les courants faibles, aucune valeur n'est spécifiée. On utilisera la plus petite durée qu'il est possible d'obtenir sans toutefois qu'elle soit inférieure aux valeurs données dans les tableaux III A, III B, III C et III D; la valeur utilisée devra être indiquée dans le rapport d'essais. La valeur de la crête de la TTR u_c devra correspondre à la valeur appropriée spécifiée dans ces tableaux pour la séquence d'essais N° 2. On pourra ne pas tenir compte de l'exigence b).

7.6 Mesure de la tension transitoire de rétablissement

Au cours d'un essai en court-circuit, les caractéristiques du disjoncteur telles que la tension d'arc, la conductivité post-arc et la présence éventuelle de résistances de coupure affecteront la tension transitoire de rétablissement. En conséquence, la tension transitoire de rétablissement d'essai différera plus ou moins selon les caractéristiques du disjoncteur de l'onde de TTR présumée du circuit d'essai sur lequel sont basées les conditions de fonctionnement. A moins que l'influence propre du disjoncteur soit sans importance et que le courant coupé comprenne une composante apériodique insignifiante, les enregistrements relevés au cours des essais ne devront pas être utilisés pour évaluer les caractéristiques de la tension transitoire de rétablissement présumée du circuit et cela sera fait par d'autres moyens tels que ceux décrits dans l'annexe E.

Cependant, il est souhaitable d'enregistrer la tension transitoire de rétablissement au cours de l'essai afin d'obtenir une vérification des caractéristiques présumées du circuit d'essai.

7.7 Tension de rétablissement à fréquence industrielle

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

Afin d'obtenir la tension de rétablissement à fréquence industrielle désirée dans une station d'essais avec générateur, l'excitation du générateur d'essais peut être momentanément augmentée pendant la période de court-circuit.

Pour les essais fondamentaux de court-circuit de l'article 9, la tension de rétablissement à fréquence industrielle sera fixée comme suit, compte tenu de la valeur minimale de 95 % indiquée ci-dessus:

- a) Pour les essais en triphasé d'un disjoncteur tripolaire, la valeur moyenne de la tension de rétablissement à fréquence industrielle sera égale à la tension nominale U du disjoncteur divisée par $\sqrt{3}$.
- b) Pour les essais en monophasé d'un disjoncteur tripolaire, la tension de rétablissement à fréquence industrielle sera égale au produit de la valeur phase-neutre $U/\sqrt{3}$ par le facteur de premier pôle (1,3 ou 1,5); la tension de rétablissement à fréquence industrielle peut être ramenée à $U/\sqrt{3}$ après une durée égale à une période de la fréquence nominale.
- c) Pour un disjoncteur unipolaire, la tension de rétablissement à fréquence industrielle sera égale à la tension nominale U du disjoncteur.

La tension de rétablissement à fréquence industrielle doit être mesurée entre les bornes du pôle, dans chaque phase du circuit d'essai. Sa valeur efficace sera déterminée sur l'oscillogramme au cours de l'intervalle de temps compris entre une demi-période et une période de la fréquence d'essai après l'extinction finale de l'arc comme indiqué à la figure 10, page 130. On mesurera la distance verticale (respectivement V_1 , V_2 , V_3) entre la crête de la seconde demi-onde et une ligne droite tracée entre les crêtes des demi-ondes précédente et suivante, et cette distance divisée par $2\sqrt{2}$ et multipliée par l'étalonnage convenable donne la valeur efficace de la tension de rétablissement à fréquence industrielle enregistrée.

7.5.5 Test-duty No. 1

Owing to the difficulty of meeting short times t_s in testing stations at low currents, no values are specified. The shortest time which can be obtained should be used, but not less than the values given in Tables III A, III B, III C and III D; the value used shall be stated in the test report. The TRV peak value u_c shall correspond to the appropriate value specified in these Tables for Test-duty No. 2. Requirement *b*) may be disregarded.

7.6 Measurement of transient recovery voltage

During a short-circuit test, the circuit-breaker characteristics such as arc voltage, post arc conductivity, and presence of switching resistors (if any) will affect the transient recovery voltage. Thus the test transient recovery voltage will differ from the prospective TRV-wave of the test circuit upon which the performance requirements are based to a degree depending upon the characteristics of the circuit-breaker. Unless the modifying effect of the circuit-breaker is not significant and the breaking current does not contain a significant d.c. component, records taken during tests should not be used for assessing the prospective transient recovery voltage characteristics of the circuit, and this should be done by other means, as described in Appendix E.

It is, however, desirable to record the transient recovery voltage during test for the purpose of providing a check on the prospective test circuit characteristics.

7.7 Power frequency recovery voltage

The power frequency recovery voltage of the test circuit may be stated as a percentage of the power frequency recovery voltage specified below. It shall not be less than 95% of the specified value and shall be maintained for at least 0.1 s.

In order to obtain the required power frequency recovery voltage in a generator testing station, the testing generator may have its excitation temporarily increased during the short-circuit period.

For the basic short-circuit tests of Clause 9, the power frequency recovery voltage shall be as follows subject to the 95% minimum stated above:

- a) for three-phase tests on a three-pole circuit-breaker, the average value of the power frequency recovery voltages shall be equal to the rated voltage U of the circuit-breaker divided by $\sqrt{3}$.
- b) for single-phase tests on a three-pole circuit-breaker, the power frequency recovery voltage shall be equal to the product of the phase-to-neutral value $U/\sqrt{3}$ and the first-pole-to-clear factor (1.3 or 1.5); the power frequency recovery voltage may be reduced to $U/\sqrt{3}$ after an interval of one cycle of rated frequency.
- c) for a single-pole circuit-breaker, the power frequency recovery voltage shall be equal to the rated voltage U of the circuit-breaker.

The power frequency recovery voltage shall be measured between terminals of a pole in each phase of the test circuit. Its r.m.s. value shall be determined on the oscillogram within the time interval of one half cycle and one cycle of test frequency after final arc extinction, as indicated in Figure 10, page 131. The vertical distance (V_1 , V_2 and V_3 respectively) between the peak of the second half-wave and the straight line drawn between the respective peaks of the preceding and succeeding half-waves shall be measured, and this, when divided by $2\sqrt{2}$ and multiplied by the appropriate calibration, gives the r.m.s. value of the power frequency recovery voltage recorded.

8. Procédure d'essai en court-circuit

8.1 Intervalle de temps entre les essais

Les essais fondamentaux en court-circuit comprennent les séries de séquences d'essais spécifiées à l'article 9. Les manœuvres et les intervalles de temps des séquences d'essais sont déduits de la séquence de manœuvres nominale du disjoncteur, qui est donnée à l'article 11 de la Publication 56-2 de la CEI.

Les intervalles de temps entre les manœuvres individuelles d'une séquence d'essais doivent être les intervalles de temps de la séquence de manœuvres nominale du disjoncteur sous réserve des dispositions suivantes:

Si, avec les intervalles de temps spécifiés il est difficile de remplir toutes les conditions d'essai, les intervalles de temps pour l'essai feront l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur.

Occasionnellement, il peut être nécessaire pour d'autres raisons de dépasser l'intervalle de temps spécifié; par exemple on peut estimer nécessaire de faire des réglages peu importants sur le dispositif de contrôle et de mesure ou pour exciter et synchroniser les générateurs d'une grande station d'essais. Dans de tels cas, pourvu que l'intervalle de temps ne dépasse pas 5 min pour un intervalle de temps nominal de 3 min, les essais seront considérés comme valables.

Il est également possible d'éprouver des difficultés avec l'équipement de la station d'essais et une durée supérieure à 5 min peut être nécessaire. Pourvu qu'une telle durée ne soit pas due à une manœuvre défectueuse du disjoncteur et qu'elle n'affecte pas son état et son fonctionnement, l'intervalle de temps résultant est admis s'il ne se produit pas plus d'une fois au cours de l'une quelconque des séries de séquences d'essais.

D'autre part, l'intervalle de temps entre les essais individuels ne doit pas être inférieur à 2 min lorsque l'intervalle de temps nominal est de 3 min. L'intervalle de temps réel doit être enregistré dans ce cas à une demi-minute près.

8.2 Application d'une source d'énergie auxiliaire aux déclencheurs d'ouverture — Essais de coupure

La source d'énergie auxiliaire, chaque fois que cela est possible, doit être appliquée aux déclencheurs d'ouverture après le début du court-circuit, mais si cela est impossible, elle peut être appliquée avant le début du court-circuit (sous la réserve que les contacts ne commencent pas à bouger avant le début du court-circuit). On devra alors prouver ou mettre en évidence par un essai que le disjoncteur peut s'ouvrir correctement pour la valeur spécifiée du courant de court-circuit lorsqu'il a reçu un ordre de déclenchement préalable. Cette mise en évidence peut être obtenue par des essais à tension réduite.

8.3 Application d'une source d'énergie auxiliaire aux déclencheurs d'ouverture Essais d'établissement-coupure

Au cours d'un essai d'établissement-coupure autre qu'un de ceux définis au paragraphe 9.5, la source d'énergie auxiliaire ne doit pas être appliquée aux déclencheurs d'ouverture avant que le disjoncteur ait atteint sa position de fermeture. Au cours des manœuvres de fermeture-ouverture de la séquence d'essais N° 4, voir paragraphe 9.4, la source d'énergie ne doit pas être appliquée avant qu'au moins deux demi-périodes se soient passées depuis l'instant de fermeture des contacts. Il est admis de retarder l'ouverture du disjoncteur pour que la composante apériodique ne dépasse pas la valeur admissible.

8.4 Accrochage à la fermeture sur court-circuit

A moins que le disjoncteur ne soit équipé d'un déclencheur sous courant de fermeture ou d'un dispositif équivalent, on devra vérifier qu'il s'accroche correctement sans hésitation exagérée

8. Short-circuit test procedure

8.1 Time interval between tests

The basic short-circuit tests consist of the series of test-duties specified in Clause 9. The operations and time intervals of the test-duties are derived from the rated operating sequence of the circuit-breaker which is given in Clause 11, I E C Publication 56-2.

The time intervals between individual operations of a test-duty shall be the time intervals of the rated operating sequence of the circuit-breaker subject to the following provisions.

If, with the time intervals specified, it is difficult to comply with all test requirements, the time intervals for test shall be subject to agreement of the manufacturer and the user.

Occasionally it may for other reasons be necessary to exceed the specified time interval, e.g. it may be found necessary to make minor adjustments to control or measuring equipment or to excite and synchronise large test-plant generators. In such cases, provided that the time interval does not exceed 5 min when the rated time interval is 3 min, the tests shall not be disqualified.

It is also possible that trouble may be experienced with the testing station equipment and an interval longer than five minutes may be required. Provided that such a delay is not due to faulty operation of the circuit-breaker and has no effect on its condition and operation, the resulting time interval is permissible if it does not occur more than once in any series of test-duties.

On the other hand, the time interval between individual tests shall not be shorter than 2 min when the rated time interval is 3 min. The actual time interval shall be recorded in this case to the nearest half-minute.

8.2 Application of auxiliary power to the opening release—breaking tests

Auxiliary power shall whenever practicable be applied to the opening release after the initiation of the short-circuit, but when this is impracticable the power may be applied before the initiation of the short-circuit (with the limitation that contacts shall not start to move before the initiation of the short-circuit). It shall then be demonstrated, or test evidence produced, that the circuit-breaker can open satisfactorily at the specified short-circuit current without being pre-tripped. This evidence may be obtained by tests at a reduced voltage.

8.3 Application of auxiliary power to the opening release—make-break tests

In a make-break test other than a test to Sub-clause 9.5, auxiliary power shall not be applied to the opening release before the circuit-breaker has reached the closed position. In the closing-opening operations of Test-duty No. 4, Sub-clause 9.4, the power shall not be applied until at least two half-cycles have elapsed from the instant of contact make. It is permissible to delay the circuit-breaker opening so that the permissible d.c. component is not exceeded.

8.4 Latching on short-circuit

Unless the circuit-breaker is fitted with a making current release, or equivalent device, it shall be proved that it latches satisfactorily without undue hesitation when there is negligible decrement of

lorsqu'il y a une décroissance négligeable de la composante alternative du courant au cours de la fermeture. Si cela ne peut pas être vérifié par la séquence d'essais N° 4 ou par les variantes admises, l'essai devra être répété à tension réduite en utilisant un circuit qui donne le courant d'établissement nominal en court-circuit avec une décroissance négligeable de la composante alternative.

Il est parfois difficile de déterminer si un disjoncteur s'est ou non accroché et à quel instant l'accrochage s'est produit. C'est pour cette raison qu'il n'est pas possible de spécifier une procédure d'essai pour couvrir tous les cas et, si nécessaire, la méthode employée pour vérifier l'efficacité de l'accrochage sera enregistrée dans le rapport d'essai.

9. Séquences d'essais de court-circuit fondamentales

Les séries d'essai en court-circuit fondamentales doivent comprendre les séquences d'essais N° 1 à 5 spécifiées ci-après.

Les courants coupés ne peuvent pas s'écarter des valeurs spécifiées de plus de $\pm 20\%$ en ce qui concerne les valeurs spécifiées pour les séquences d'essais N° 1 et 2 et de $\pm 10\%$ pour la séquence d'essais N° 3.

La valeur de crête du courant de court-circuit au cours des essais de coupure des séquences d'essais N° 4, 4b et 5 ne doit pas dépasser 110% du pouvoir de fermeture nominal en court-circuit du disjoncteur.

Pour des facilités d'essai, il est permis d'introduire une manœuvre de fermeture avant toute manœuvre d'ouverture lors des séquences d'essais N° 1, 2, 3 et 5.

9.1 Séquence d'essais N° 1

La séquence d'essais N° 1 se compose de la séquence de manœuvres nominale, limitée aux seules manœuvres d'ouverture, à 10% du pouvoir de coupure nominal en court-circuit avec une composante apériodique de moins de 20% et une tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle telles que spécifiées dans les paragraphes 7.5.5 et 7.7 (voir également les tableaux III A, III B, III C et III D).

9.2 Séquence d'essais N° 2

La séquence d'essais N° 2 se compose de la séquence de manœuvres nominale, limitée aux seules manœuvres d'ouverture, à 30% du pouvoir de coupure nominal en court-circuit avec une composante apériodique de moins de 20% et une tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle telles que spécifiées au paragraphe 7.5.4, dans les tableaux III A, III B, III C, III D et au paragraphe 7.7).

9.3 Séquence d'essais N° 3

La séquence d'essais N° 3 se compose de la séquence de manœuvres nominale, limitée aux seules manœuvres d'ouverture, à 60% du pouvoir de coupure nominal en court-circuit avec une composante apériodique de moins de 20% et une tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle telles que spécifiées au paragraphe 7.5.3, dans les tableaux II A, II B, II C, II D, II E, II F et au paragraphe 7.7 (voir également le tableau VII B).

9.4 Séquence d'essais N° 4

La séquence d'essais N° 4 se compose de la séquence de manœuvres nominale à 100% du pouvoir de coupure nominal en court-circuit en tenant compte du paragraphe 7.3, et d'une tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle telles que spécifiées au paragraphe 7.5.2, dans

the a.c. component of the current during the closing period. If this cannot be proved by Test-duty No. 4, or the permissible alternatives, the test shall be repeated at reduced voltage using a circuit which gives the rated short-circuit making current, with negligible decrement of the a.c. component.

It is sometimes difficult to establish whether or not a circuit-breaker has latched and at what instant of time latching occurred. For this reason it is not possible to specify a test procedure to cover all cases and if necessary, the method employed to prove satisfactory latching shall be recorded in the test report.

9. Basic short-circuit test-duties

The basic short-circuit test series shall consist of the Test-duties Nos. 1 to 5 specified below.

The breaking current may depart from the specified values by not more than $\pm 20\%$ of the specified values for Test-duties Nos. 1 and 2 and by not more than $\pm 10\%$ for Test-duty No. 3.

The peak short-circuit current during the breaking-current tests of Test-duties Nos. 4, 4b and 5 shall not exceed 110% of the rated short-circuit making current of the circuit-breaker.

For convenience in testing, it is permissible to introduce a closing operation before any opening operation in Test-duties Nos. 1, 2, 3 and 5.

9.1 Test-duty No. 1

Test-duty No. 1 consists of the rated operating sequence confined to opening operations only, at 10% of the rated short-circuit breaking current with a d.c. component of less than 20% and a transient and power frequency recovery voltage as specified in Sub-clauses 7.5.5 and 7.7 (see also Tables III A, III B, III C and III D).

9.2 Test-duty No. 2

Test-duty No. 2 consists of the rated operating sequence confined to opening operations only, at 30% of the rated short-circuit breaking current with a d.c. component of less than 20% and a transient and power frequency recovery voltage as specified in Sub-clause 7.5.4, Tables III A, III B, III C, III D, and Sub-clause 7.7.

9.3 Test-duty No. 3

Test-duty No. 3 consists of the rated operating sequence confined to opening operations only, at 60% of the rated short-circuit breaking current with a d.c. component of less than 20% and a transient and power frequency recovery voltage as specified in Sub-Clause 7.5.3, Tables II A, II B, II C, II D, II E, II F, and Sub-clause 7.7 (see also Table VII B).

9.4 Test-duty No. 4

Test-duty No. 4 consists of the rated operating sequence at 100% of the rated short-circuit breaking current taking account of Sub-clause 7.3, and with a transient and power frequency recovery voltage as specified in Sub-clause 7.5.2, Tables V A, V B, V C, V D of IEC Publication 56-2

les tableaux V A, V B, V C, V D de la Publication 56-2 de la CEI et au paragraphe 7.7, et à 100 % du pouvoir de fermeture nominal en court-circuit en tenant compte du paragraphe 7.2 et d'une tension appliquée telle que spécifiée au paragraphe 7.1 (voir également les tableaux I A, I B, I C, I D et VII A).

Pour cette séquence d'essais, le pourcentage de la composante apériodique ne doit pas dépasser 20 % de la composante alternative.

Lors de l'exécution des essais monophasés sur un pôle de disjoncteur ou lorsque les caractéristiques de la station d'essais sont telles qu'il est impossible de réaliser la séquence d'essais N° 4 en respectant les limites spécifiées de la tension appliquée au paragraphe 7.1, du pouvoir de fermeture à l'article 7.2, du pouvoir de coupure au paragraphe 7.3 et de la tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle aux paragraphes 7.5.2 et 7.7, en prenant également en considération les paragraphes 8.3 et 8.4, les essais d'établissement et de coupure de la séquence d'essais N° 4 peuvent être faits séparément comme suit:

9.4.1 Séquence d'essais N° 4a, essais de fermeture

C-t'-C dans le cas d'une séquence de manœuvres nominale C-t-CO-t'-CO;

C-t''-C dans le cas d'une séquence de manœuvres nominale CO-t''-CO
à 100 % du pouvoir de fermeture nominal en court-circuit et avec une tension appliquée telle que spécifiée au paragraphe 7.1.

9.4.2 Séquence d'essais N° 4b, essais de coupure

O-t-O-t'-O dans le cas d'une séquence de manœuvres nominale O-t-CO-t'-CO;

O-t''-O dans le cas d'une séquence de manœuvres nominale CO-t''-CO
à 100 % du pouvoir de coupure nominal en court-circuit et avec une tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle telle que spécifiée aux paragraphes 7.5.2. et 7.7.

Toutefois, lorsque la séquence d'essais N° 4 est effectuée au moyen des séquences d'essais N° 4a et 4b, ou bien la séquence d'essais N° 4a doit être une séquence de manœuvres nominale complète avec le courant coupé et la tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle aussi voisins que possible des valeurs spécifiées pour la séquence d'essais N° 4, ou bien la séquence d'essais N° 4b doit être une séquence de manœuvres nominale complète avec un courant établi et une tension appliquée aussi voisins que possible des valeurs spécifiées pour la séquence d'essais N° 4.

Il est admis de remettre le disjoncteur dans son état initial comme indiqué au paragraphe 5.8.5 entre les séquences d'essais N° 4a et 4b.

S'il est possible de vérifier à 100 % le pouvoir de fermeture nominal en court-circuit au moyen d'une séquence d'essais autre que la séquence d'essais N° 4, par exemple la séquence d'essais N° 5, il est admis d'effectuer uniquement la séquence d'essais N° 4b à la place de la séquence d'essais N° 4.

9.5 Séquence d'essais N° 5

La séquence d'essais N° 5 ne doit être appliquée qu'aux disjoncteurs ayant un intervalle de temps τ inférieur à 80 ms déterminé conformément au paragraphe 6.2 de la Publication 56-2 de la CEI.

La séquence d'essais N° 5 se compose de la séquence de manœuvres nominale, limitée aux seules manœuvres d'ouverture, à 100 % du pouvoir de coupure nominal en court-circuit avec un pourcentage de composante apériodique égal à la valeur nominale appropriée spécifiée au paragraphe 6.2 de la Publication 56-2 de la CEI et avec une tension de rétablissement transitoire et à fréquence industrielle telle que spécifiée aux paragraphes 7.5.2 et 7.7 (voir également le paragraphe 7.6). (Pour les références aux tableaux, voir paragraphe 9.4, premier alinéa.)

and Sub-clause 7.7 and 100% of the rated short-circuit making current taking account of Sub-clause 7.2, and an applied voltage as specified in Sub-clause 7.1 (see also Tables I A, I B, I C, I D and VII A).

For this test-duty, the percentage d.c. component shall not exceed 20% of the a.c. component.

When making single-phase tests on one pole of a three-pole circuit-breaker, or when the characteristics of the test plant are such that it is impossible to carry out Test-duty No. 4 within the specified limits of applied voltage in Sub-clause 7.1, making current in Sub-clause 7.2, breaking current in Sub-clause 7.3, and transient and power frequency recovery voltage in Sub-clauses 7.5.2 and 7.7, taking account also of Sub-clauses 8.3 and 8.4, the making and breaking tests in Test-duty No. 4 may be made separately as follows:

9.4.1 *Test-duty No. 4a, Making tests*

C-t'-C in case of a rated operating sequence C-t-CO-t'-CO;

C-t''-C in case of a rated operating sequence CO-t''-CO
at 100% of the rated short-circuit making current and at an applied voltage as specified in Sub-clause 7.1.

9.4.2 *Test-duty No. 4b, Breaking tests*

O-t-O-t'-O in case of a rated operating sequence O-t-CO-t'-CO;

O-t''-O in case of a rated operating sequence CO-t''-CO
at 100% of the rated short-circuit breaking current and with a transient and power frequency recovery voltage as specified in Sub-clauses 7.5.2 and 7.7.

However, when Test-duty No. 4 is made as Test-duties Nos. 4a and 4b, either Test-duty No. 4a shall be a full rated operating sequence with breaking current and transient and power frequency recovery voltage as close as possible to the values specified for Test-duty No. 4, or Test-duty No. 4b shall be a full rated operating sequence with making current and applied voltage as close as possible to the values specified for Test-duty No. 4.

It is permissible to restore the circuit-breaker to its initial condition as indicated in Sub-clause 5.8.5 between Test-duties Nos. 4a and 4b.

If it is possible to prove 100% of the rated short-circuit making-current in a test-duty other than Test-duty No. 4, e.g. Test-duty No. 5, it is permissible to perform Test-duty No. 4b only in place of Test-duty No. 4.

9.5 *Test-duty No. 5*

Test-duty No. 5 shall be applied only to circuit-breakers having a time interval τ determined in accordance with Sub-clause 6.2, IEC Publication 56-2, of less than 80 ms.

Test-duty No. 5 consists of the rated operating sequence confined to opening operations only, at 100% of the rated short-circuit breaking-current, with a percentage d.c. component equal to the appropriate rated value specified in Sub-clause 6.2, IEC Publication 56-2, and a transient and power frequency recovery voltage as specified in Sub-clauses 7.5.2 and 7.7 (see also Sub-clause 7.6). (For table references see Sub-clause 9.4, paragraph 1).

Cependant, dans le cas d'un disjoncteur d'une conception telle qu'il ne puisse pas atteindre sa position de fermeture lorsqu'il est fermé sur court-circuit, la séquence d'essais N° 5 doit être effectuée avec la séquence de manœuvres nominale.

Pour les disjoncteurs prévus pour être utilisés là où le pourcentage de la composante apériodique peut atteindre une valeur supérieure à celle correspondant à la figure 2 de la Publication 56-2 de la CEI, comme cela peut arriver au voisinage des centres de production, les essais seront soumis à un accord entre constructeur et utilisateur; voir la note du paragraphe 6.2 de la Publication 56-2 de la CEI et le paragraphe 3.1 de la Publication 56-5 de la CEI.

10. Essais au courant critique

10.1 Cas d'application

Ces essais sont des essais en court-circuit complémentaires des essais fondamentaux couverts par l'article 9 et ne sont applicables qu'aux disjoncteurs qui ont un courant critique inférieur à 10 % du pouvoir de coupure nominal en court-circuit. On supposera que c'est le cas si la moyenne des durées d'arc au cours de la séquence d'essais N° 1, paragraphe 9.1, est notablement supérieure à celle obtenue au cours de la séquence d'essais N° 2, paragraphe 9.2.

10.2 Courants d'essai

Lorsque les essais au courant critique sont applicables, ils doivent être faits à des courants compris dans la gamme de 4 % à 6 % et dans la gamme de 2 % à 3 % du pouvoir de coupure nominal en court-circuit.

Note. — Les essais de coupure des faibles courants inductifs sont couverts par l'article 18.

10.3 Séquences d'essais au courant critique

Les séquences d'essais au courant critique doivent être les mêmes que pour la séquence d'essais N° 1, paragraphe 9.1, avec les courants coupés spécifiés au paragraphe 10.2 et avec les caractéristiques de TTR de la séquence d'essais N° 1 modifiées en multipliant le temps t_3 indiqué au paragraphe 7.5.4, tableaux III A, III B, III C et III D, par le facteur $\sqrt{10/X}$ dans lequel X est le courant coupé exprimé en pourcentage du pouvoir de coupure nominal en court-circuit.

Note. — Cette approximation est basée sur le fait que les capacités du circuit d'essai sont les mêmes pour la séquence d'essais N° 1 et pour les séquences d'essais au courant critique.

11. Essais de court-circuit en monophasé

11.1 Cas d'application

Les essais de court-circuit en monophasé décrits dans cet article sont complémentaires des essais fondamentaux de court-circuit couverts par l'article 9 et ne sont applicables qu'aux disjoncteurs tripolaires destinés à être utilisés dans un réseau dont le neutre est effectivement mis à la terre, ayant soit les trois pôles contenus dans une même enveloppe, soit trois pôles séparés couplés mécaniquement et équipés d'un déclencheur d'ouverture commun. Ces essais sont destinés à montrer que le fonctionnement du disjoncteur n'est pas influencé défavorablement par l'apparition d'efforts non équilibrés.

11.2 Courant d'essai et tension de rétablissement

On devra vérifier ou prouver que le disjoncteur est capable de couper son pouvoir de coupure nominal en court-circuit avec une composante apériodique ne dépassant pas 20 % de la composante

However, for a circuit-breaker which is of such design that it may not reach its closed position when being closed against a short-circuit current, Test-duty No. 5 shall be made with the rated operating sequence.

For circuit-breakers intended to be used where it can be expected that the percentage of the d.c. component will be greater than that corresponding to Figure 2, IEC Publication 56-2, as may occur in the vicinity of centres of generation, testing shall be subject to agreement between manufacturer and user, see Sub-clause 6.2, Note, IEC Publication 56-2, and Sub-clause 3.1, IEC Publication 56-5.

10. Critical current tests

10.1 Applicability

These tests are short-circuit tests additional to the basic tests covered by Clause 9 and are applicable only to circuit-breakers which have a critical current of less than 10% of the rated short-circuit breaking current. It shall be assumed that this is the case if the average of the arcing times in Test-duty No. 1, Sub-clause 9.1, is significantly greater than that in Test-duty No. 2, Sub-clause 9.2.

10.2 Test currents

Where applicable critical current tests shall be made at currents in the range of 4%-6% and in the range of 2%-3% of the rated short-circuit breaking current.

Note. — Tests for breaking small inductive currents are covered by Clause 18.

10.3 Critical current test-duties

The critical current test-duties shall be as for Test-duty No. 1, Sub-clause 9.1, with the breaking currents specified in Sub-clause 10.2 and with the TRV provisions for test-duty No. 1 modified by multiplying time t_3 in Sub-clause 7.5.4, Tables III A, III B, III C and III D, by the factor $\sqrt{10/X}$ where X is the test breaking current as a percentage of the rated short-circuit breaking current.

Note. — This adjustment is based on test circuit capacitances being the same for Test-duty No. 1 and the critical current test-duties.

11. Single-phase short-circuit tests

11.1 Applicability

Single-phase short-circuit tests to this Clause are additional to the basic short-circuit tests covered by Clause 9 and are applicable only to three-pole circuit-breakers intended for use on an effectively earthed system, having the three poles in one enclosure, or three separately enclosed poles which are coupled mechanically and fitted with a common opening release. The tests are intended to show that the operation of the circuit-breaker is not adversely affected by the unbalanced forces produced.

11.2 Test current and recovery voltage

It shall be demonstrated, or evidence shall be produced, to show that the circuit-breaker is capable of breaking its rated short-circuit breaking current with a percentage d.c. component not

périodique, le courant n'étant appliqué qu'à un seul pôle et la tension transitoire de rétablissement remplissant les conditions *a)* et *b)* du paragraphe 7.5.1 avec des valeurs normales déduites des tableaux V A, V B et V D du paragraphe 7.3 de la Publication 56-2 de la CEI, en divisant les tensions par le facteur de premier pôle égal à 1,5, les caractéristiques de durée restant inchangées.

Note. — Pour les tensions nominales supérieures ou égales à 52 kV, les valeurs sont indiquées dans les tableaux VI A, VI B et VI C à l'article 8 de la Publication 56-2 de la CEI.

Si cela est nécessaire, on pourra mettre à profit les dispositions du paragraphe 7.5.2 relatives aux limitations dues aux stations d'essais. La valeur spécifiée de la tension de rétablissement à fréquence industrielle (paragraphe 7.7) est la valeur phase-neutre $U/\sqrt{3}$ de la tension nominale du disjoncteur.

11.3 Séquence d'essais

La séquence d'essais comprend un seul essai d'ouverture, le courant étant appliqué comme suit:

- a)* pour les disjoncteurs ayant trois pôles dans une même enveloppe: à travers un pôle extrême.
- b)* pour les disjoncteurs ayant trois pôles séparés couplés mécaniquement: à travers le pôle qui donnera la contrainte maximale sur le mécanisme de couplage entre pôles.

12. Essais de défaut en ligne (défaut kilométrique)

12.1 Cas d'application

Les essais de défaut en ligne sont des essais de court-circuit complémentaires des essais fondamentaux couverts par l'article 9 et ne sont applicables qu'aux disjoncteurs tripolaires prévus pour être directement raccordés à des lignes aériennes de transport et ayant une tension nominale supérieure ou égale à 52 kV et un pouvoir de coupure nominal en court-circuit supérieur à 12,5 kA.

12.2 Courant d'essai

Le courant d'essai doit tenir compte des impédances côté alimentation et côté ligne.

L'impédance côté alimentation doit être celle correspondant approximativement à 100 % du pouvoir de coupure nominal en court-circuit et à la valeur phase-neutre de la tension nominale. Trois valeurs d'impédance côté ligne sont spécifiées et correspondent respectivement à 90 %, 75 % et 60 % de la composante périodique du pouvoir de coupure en court-circuit.

Lors d'un essai, la longueur de ligne représentée sur le côté charge du disjoncteur peut être différente de la longueur de ligne correspondant aux courants égaux à 90 %, 75 % et 60 % du pouvoir de coupure nominal en court-circuit. Il est admis de s'écarter de cette longueur théorique de $\pm 20\%$ pour les essais à 90 % et à 75 % et de $\pm 10\%$ pour les essais à 60 %; la tolérance de $\pm 5\%$ sur le courant donne une marge suffisante par rapport à ces écarts (voir paragraphe 12.5). Pour ces essais, le pourcentage de composante apériodique à l'instant de la séparation des contacts doit être inférieur à 20 %.

12.3 Circuits d'essai

Le circuit d'essai doit être monophasé et comprend un circuit d'alimentation et un circuit côté ligne. Le circuit d'alimentation doit remplir les conditions suivantes correspondant aux conditions de défaut aux bornes:

- a)* la tension transitoire de rétablissement présumée du circuit d'alimentation doit remplir la condition *a)* et en principe la condition *b)* du paragraphe 7.5.1 avec les valeurs normales indiquées dans les tableaux VI A, VI B et VI C à l'article 8, Publication 56-2 de la CEI. Etant

exceeding 20% of the a.c. component, with the current applied to one pole only, the transient recovery voltage meeting Requirements *a)* and *b)* of Sub-clause 7.5.1 with standard values derived from Tables V A, V B and V D, Sub-clause 7.3, IEC Publication 56-2, by dividing voltages by the first-pole-to-clear factor 1.5, the time co-ordinates remaining unchanged.

Note. — For rated voltages of 52 kV and above, the values are tabulated in Tables VI A, VI B and VI C, Clause 8, IEC Publication 56-2.

Where necessary, advantage may be taken of the provisions of Sub-clause 7.5.2 concerning test plant limitations. The specified value of the power frequency recovery voltage (Sub-clause 7.7) is the phase-to-neutral value $U/\sqrt{3}$ of the rated voltage of the circuit-breaker.

11.3 Test-duty

The test-duty shall consist of a single opening test, the current being applied as follows:

- a)* for circuit-breakers having three poles in one enclosure: through one outer pole.
- b)* for circuit-breakers having three separately enclosed poles which are mechanically coupled: through the pole which will give the maximum stress on the inter-pole coupling mechanism.

12. Short-line fault tests

12.1 Applicability

Short-line fault tests are short-circuit tests additional to the basic tests covered by Clause 9 and are applicable only to three-pole circuit-breakers designed for direct connection to overhead transmission lines and having a rated voltage of 52 kV and above and a rated short-circuit breaking current exceeding 12.5 kA.

12.2 Test current

The test current shall take into account the source and line side impedances.

The source side impedance shall be that corresponding to approximately 100% rated short-circuit breaking current and the phase-to-neutral value of the rated voltage. Three values of line side impedance are specified corresponding to a reduction of the a.c. component of the short-circuit breaking current to 90%, 75% and 60% respectively.

In a test, the line length represented on the load side of a circuit-breaker may differ from the length of line corresponding to currents equal to 90%, 75% and 60% of rated short-circuit breaking current. Deviations from these theoretical lengths of $\pm 20\%$ for the tests at 90% and at 75% and of $\pm 10\%$ for the test at 60% are permitted; the tolerance of $\pm 5\%$ on the current gives sufficient margin for these deviations (see Sub-clause 12.5). For these tests, the percentage d.c. component at the instant of contact separation shall be less than 20%.

12.3 Test circuits

The test circuit shall be single-phase and consist of a supply circuit and a line side circuit. The supply circuit shall, in terminal fault conditions, meet the following requirements:

- a)* The prospective transient recovery voltage of the supply circuit shall meet Requirement *a)* and in principle Requirement *b)* of Sub-clause 7.5.1 with the standard values given in Tables VI A, VI B and VI C, Clause 8, IEC Publication 56-2. Owing to limitations of the test

donné les limitations dues à la station d'essais, il peut, comme indiqué au paragraphe 7.5.2, ne pas être possible de remplir la condition b). Toute insuffisance de ce genre de la tension transitoire de rétablissement du circuit d'alimentation doit être compensée lors des essais de défaut en ligne par un accroissement de la pointe de tension sur la première crête de la tension côté ligne.

- b) la valeur spécifiée de la tension de rétablissement à fréquence industrielle (paragraphe 7.7) du circuit d'alimentation est la valeur phase-neutre $U/\sqrt{3}$ de la tension nominale.

Le circuit côté ligne doit remplir la condition suivante:

- c) l'oscillation de la tension transitoire présumée du circuit côté ligne doit avoir une forme d'onde approximativement triangulaire.

La tension de rétablissement transitoire présumée du circuit d'essai doit être conforme aux indications du paragraphe 12.4.

Les autres caractéristiques des circuits côté alimentation et côté ligne seront sensiblement conformes aux caractéristiques nominales indiquées pour les défauts en ligne, article 8, Publication 56-2 de la CEI et aux valeurs dérivées de ces dernières et du courant d'essai, voir annexe A, Publication 56-2 de la CEI.

Il peut être nécessaire d'effectuer certains ajustements, notamment pour la répartition de l'impédance à fréquence industrielle entre les circuits côté alimentation et côté ligne afin de pallier toute différence entre le facteur de crête nominal et le facteur de crête du circuit côté ligne, mis à part les ajustements résultant de la compensation prévue au point a) ci-dessus, voir annexe G.

12.4 Tension transitoire de rétablissement

La tension transitoire de rétablissement présumée du circuit d'essai mesurée aux bornes du disjoncteur est une combinaison des composantes côté alimentation et côté ligne comme indiqué à la figure 6, Publication 56-2 de la CEI.

Le temps t_L à la première crête côté ligne de la tension transitoire de rétablissement présumée spécifiée et la valeur u_T de la tension à cet instant doivent être déterminés à partir des caractéristiques nominales pour les défauts en ligne, données à l'article 8 de la Publication 56-2 de la CEI, et le courant d'essai réel* comme indiqué à l'annexe A de la Publication 56-2 de la CEI.

La durée au bout de laquelle la tension transitoire de rétablissement présumée du circuit d'essai atteint la valeur u_T ne doit pas dépasser la durée t_L . Les crêtes de tension et les durées suivantes peuvent ne pas correspondre aux valeurs spécifiées compte tenu des limitations dues aux stations d'essais. On peut également s'écarter de la tension transitoire de rétablissement spécifiée après que l'oscillation côté ligne a cessé, cela étant dû à l'ajustement de la répartition de l'impédance à fréquence industrielle du circuit d'essai prévu au paragraphe 12.3.

Note. L'écart de temps entre l'instant t_L et l'instant qui le précède où la tension u_T est atteinte ainsi que le dépassement de la tension u_T par la première crête de la TTR présumée du circuit d'essai dépendent de l'accord du constructeur.

Le rapport d'essais devra indiquer la tension transitoire de rétablissement spécifiée se rapportant aux caractéristiques nominales du disjoncteur et, à la même échelle, dans un but de comparaison, la tension transitoire de rétablissement présumée du circuit d'essai utilisé.

Si l'influence du disjoncteur est importante, les enregistrements pris au cours de l'essai ne devront pas être utilisés pour évaluer les caractéristiques de la tension transitoire présumée du circuit et cette évaluation devra être faite par d'autres moyens tels que ceux décrits à l'annexe E.

* réel s'entend comme distinct de la valeur dénommée (90%, 75%, 60%); l'utilisation du courant présumé coupé conformément au paragraphe 7.3 n'est pas proscrite.

plant it may, as stated in Sub-clause 7.5.2, not be feasible to comply with Requirement *b*). Any such deficiency of transient recovery voltage of the supply circuit shall in short-line fault tests be compensated by an increase of the voltage excursion to the first peak of the line side voltage.

- b*) The specified value of the power frequency recovery voltage (Sub-clause 7.7) of the supply circuit is the phase-to-neutral value $U/\sqrt{3}$ of the rated voltage.

The line side circuit shall meet the following requirement:

- c*) The prospective transient voltage oscillation of the line side circuit shall have an approximately triangular wave shape.

The prospective transient recovery voltage of the test circuit shall comply with Sub-clause 12.4.

Other characteristics of the supply and line side circuits will be approximately in accordance with the rated characteristics for short-line faults, Clause 8, I E C Publication 56-2, and with values derived from those and the test current, see Appendix A, I E C Publication 56-2.

It may be necessary to make certain adjustments; notably to the distribution of power frequency impedance between supply and line side circuits in order to cater for any difference between rated peak factor and the peak factor of the line side circuit on test, apart from any adjustments arising from the compensation provided for in item *a*) above, see Appendix G.

12.4 Transient recovery voltage

The prospective transient recovery voltage of the test circuit measured across the circuit-breaker is a combination of the source and line side components as shown in Figure 6, I E C Publication 56-2.

The time t_L of the first line side peak of the specified prospective transient recovery voltage and the value u_T of voltage at that time shall be determined from the rated characteristics for short-line faults given in Clause 8, I E C Publication 56-2, and the actual* test current, as shown in Appendix A, I E C Publication 56-2.

The time at which the prospective transient recovery voltage of the test circuit attains the value u_T shall not exceed the time t_L . Subsequent voltage peaks and times may not correspond to the specified values owing to test plant limitations. There may also be deviations from the specified transient recovery voltage after the line side oscillation has ceased, due to adjusted distribution of the power frequency impedance of the test circuit provided for in Sub-clause 12.3.

Note. — The amount by which the time at which u_T is attained precedes t_L and the amount by which the first peak of the prospective TRV of the test circuit exceeds u_T are subject to the consent of the manufacturer.

The test report should show the specified transient recovery voltage appropriate to the rating of the circuit-breaker, and for comparative purposes, to the same scale, the prospective transient recovery voltage of the test circuit used.

If the modifying effect of the circuit-breaker is significant, records taken during test should not be used for assessing the prospective transient recovery voltage characteristics of the circuit, and this should be done by other means as described in Appendix E.

* actual as distinct from the nominal (90%, 75%, 60%) value; the use of prospective breaking current in accordance with Sub-clause 7.3 is not precluded.

Il est cependant souhaitable d'enregistrer la tension transitoire de rétablissement au cours de l'essai afin d'obtenir une vérification des caractéristiques présumées du circuit d'essai particulièrement en ce qui concerne le temps jusqu'à la première crête.

12.5 Séquences d'essais

Les essais normaux doivent comprendre une série de séquences d'essais telles que spécifiées ci-dessous, chacune d'entre elles se composant de la séquence de manœuvres nominale limitée aux seules manœuvres d'ouverture.

Pour des facilités d'essai, il est admis d'introduire une manœuvre de fermeture avant une manœuvre d'ouverture.

a) Séquence d'essais N° L₉₀

A $(90 \pm 5)\%$ du pouvoir de coupure nominal en court-circuit et avec la tension transitoire de rétablissement présumée appropriée.

b) Séquence d'essais N° L₇₅

A $(75 \pm 5)\%$ du pouvoir de coupure nominal en court-circuit et avec la tension transitoire de rétablissement présumée appropriée.

c) Séquence d'essais N° L₆₀

A $(60 \pm 5)\%$ du pouvoir de coupure nominal en court-circuit et avec la tension transitoire de rétablissement présumée appropriée.

12.6 Essais de défaut en ligne avec une source d'essai de court-circuit de puissance réduite

Lorsque la puissance de court-circuit maximale disponible dans la station d'essais n'est pas suffisante pour réaliser les essais de défaut en ligne sur un pôle complet de disjoncteur, on peut effectuer des essais par éléments séparés, voir le paragraphe 5.3 et l'annexe G.

Après accord entre constructeur et utilisateur, les essais de défaut en ligne peuvent également être effectués à une tension à fréquence industrielle réduite, les dispositions des points a) et b) du paragraphe 12.3 étant adoucies. Ces dispositions devront être respectées du mieux possible et, pour la tension transitoire de rétablissement spécifiée au point a), au moins jusqu'à trois fois le temps spécifié pour la première crête côté ligne. Cette méthode est utilisée si les essais fondamentaux de court-circuit indiqués à l'article 9 ont été satisfaisants et en supposant que la contrainte diélectrique sur le disjoncteur au voisinage de la valeur de crête de la tension transitoire de rétablissement est indépendante des contraintes appliquées immédiatement après le passage à zéro du courant. Cette méthode d'essai peut également être utilisée en combinaison avec les essais par éléments séparés. Un ensemble d'essais est suffisant.

13. Essais de mise en et hors circuit en discordance de phases

Voir la Publication CEI 267: Guide pour l'essai des disjoncteurs en ce qui concerne la mise en et hors circuit lors d'une discordance de phases.

Note. — Le dernier alinéa de l'article 11 de la Publication 267 doit être interprété comme prescrivant la tension et le temps déduits des tableaux V A, V B et V D de la Publication 56-2 de la CEI de la manière suivante:

Valeurs de u_c multipliées respectivement par les facteurs

$\frac{2}{1,5} \times \frac{1,25}{1,4} = 1,19$ et $\frac{2,5}{1,5} \times \frac{1,25}{1,4} = 1,49$ respectivement pour les cas a) et b) de l'article 11 de la Publication 267.

Valeurs de u_1 multipliées respectivement par les facteurs

$\frac{2}{1,5} = 1,33$ et $\frac{2,5}{1,5} = 1,67$ respectivement pour les cas a) et b) de l'article 11 de la Publication 267.

Les temps t_1 , t_2 , t_3 multipliés par le facteur 2.

La prescription b) concernant le segment de droite définissant le retard peut être négligée.

It is, however, desirable to record the transient recovery voltage during test for the purpose of providing a check on the prospective test circuit characteristics, particularly with regard to the time to the first peak.

12.5 Test-duties

The standard tests shall be a series of test-duties as specified below, each consisting of the rated operating sequence confined to opening operations only.

For convenience in testing, it is permissible to introduce a closing operation before an opening rated operation.

a) Test-duty No. L_{90}

At $(90 \pm 5)\%$ of the rated short-circuit breaking current and the appropriate prospective transient recovery voltage.

b) Test-duty No. L_{75}

At $(75 \pm 5)\%$ of the rated short-circuit breaking current and the appropriate prospective transient recovery voltage.

c) Test-duty No. L_{60}

At $(60 \pm 5)\%$ of the rated short-circuit breaking current and the appropriate prospective transient recovery voltage.

12.6 Short-line fault tests with a test supply of limited power

When the maximum short-circuit power available at a testing plant is not sufficient to make the short-line fault tests on a complete pole of a circuit-breaker, it may be possible to make unit tests, see Sub-clause 5.3 and Appendix G.

By agreement between manufacturer and user, short-line fault tests may also be made at reduced power frequency voltage, the provisions of items a) and b) of Sub-clause 12.3 being relaxed. These provisions shall be met as well as possible and, for the transient recovery voltage to item a), at least up to three times the specified time of the first line side peak. This method is used if the basic short-circuit tests to Clause 9 have been satisfactory, it being assumed that the dielectric strength of the circuit-breaker near the peak value of transient recovery voltage is independent of stresses applied immediately after current zero. The test method may also be used in combination with unit tests. One set of tests is sufficient.

13. Out-of-phase switching tests

See I E C Publication 267, Guide to the testing of circuit-breakers with respect to out-of-phase switching.

Note. — The last paragraph of Clause 11 of Publication 267 shall be interpreted as requiring voltage and time co-ordinates derived from Tables V A, V B and V D, I E C Publication 56-2, in the following manner:

Values of u_c multiplied by the factor

$\frac{2}{1.5} \times \frac{1.25}{1.4} = 1.19$ and $\frac{2.5}{1.5} \times \frac{1.25}{1.4} = 1.49$ respectively for cases a) and b) of Clause 11 of Publication 267.

Values of u_1 multiplied by the factor

$\frac{2}{1.5} = 1.33$ and $\frac{2.5}{1.5} = 1.67$ respectively for cases a) and b) of Clause 11 of Publication 267.

Times t_1 , t_2 , t_3 multiplied by the factor 2.

Requirement b) for the time delay line can be disregarded.

14. Essai au courant de courte durée admissible

14.1 Disposition du disjoncteur

L'essai au courant de courte durée admissible doit être fait avec un disjoncteur ayant des contacts propres, dans la position de fermeture et disposé comme spécifié au paragraphe 5.1 à l'exception du fait que si le disjoncteur n'est pas équipé de déclencheurs directs à maximum de courant, l'essai pourra être fait en monophasé ou en triphasé. Dans le cas d'essais en monophasé, les points suivants sont à prendre en considération :

- Sur un disjoncteur tripolaire, l'essai doit être effectué sur deux pôles voisins.
- Dans le cas de pôles séparés, l'essai peut être effectué soit sur deux pôles soit sur un seul pôle, le conducteur de retour étant alors placé à une distance égale à l'entrephase. Si la distance entre les pôles n'est pas fixée par construction, l'essai doit être effectué avec la distance minimale indiquée par le constructeur.
- Pour les tensions nominales supérieures à 72,5 kV, il n'est pas nécessaire de tenir compte de la position du conducteur de retour.

Si le disjoncteur est équipé de déclencheurs directs à maximum de courant, ceux-ci doivent être munis pour l'essai de la bobine de calibre minimal pour fonctionner au courant maximal et avec le retard maximal; la bobine doit être reliée au côté sous tension du circuit d'essai. Si le disjoncteur peut être utilisé sans déclencheurs directs à maximum de courant, il doit également être essayé sans eux.

Les essais peuvent être effectués à toute tension convenable.

14.2 Courant et durée d'essai

La composante périodique du courant d'essai doit, en principe, être égale à la composante périodique du pouvoir de coupure nominal en court-circuit I du disjoncteur. La valeur de crête du courant (valeur la plus élevée sur une phase quelconque pour un circuit triphasé) ne doit pas être inférieure au pouvoir de fermeture nominal en court-circuit du disjoncteur et ne doit pas le dépasser de plus de 10 % sans l'accord du constructeur.

Pour les disjoncteurs autres que ceux équipés de déclencheurs directs à maximum de courant, le courant de courte durée admissible doit en principe être appliqué pendant une durée t_i égale à la durée nominale t de court-circuit; sa valeur efficace I_i doit être déterminée à partir d'un oscillogramme comme indiqué à l'annexe C. La valeur de $I_i^2 t_i$ au cours de l'essai ne doit pas être inférieure à la valeur nominale $I^2 t$ et ne doit pas dépasser cette valeur de plus de 10 % sans l'accord du constructeur.

Toutefois lorsque les caractéristiques de la station d'essais sont telles que la valeur de crête et la valeur efficace du courant spécifiées ci-dessus ne peuvent pas être obtenues au cours d'un essai avec la durée spécifiée, les dérogations suivantes sont admises :

- a) si la décroissance du courant de court-circuit de la station d'essais est telle que la valeur efficace spécifiée mesurée conformément à l'annexe C ne puisse être obtenue pendant la durée spécifiée sans appliquer initialement un courant excessivement élevé, il est admis que la valeur efficace du courant puisse tomber au-dessous de la valeur spécifiée pendant l'essai et que la durée de l'essai soit augmentée en conséquence pourvu que la valeur de la crête du courant ne soit pas inférieure à celle spécifiée et que la durée ne soit pas supérieure à 5 s.
- b) si, afin d'obtenir la crête de courant exigée, la valeur efficace du courant doit dépasser la valeur spécifiée, la durée de l'essai peut être réduite en conséquence.

Note. — L'essai de tenue au courant de crête de court-circuit et l'essai de tenue au courant de courte durée admissible peuvent être dissociés lorsque des limitations dues à la station d'essais l'exigent. Dans ce cas, la durée pendant laquelle le court-circuit est appliqué pour l'essai de tenue à la crête du courant de court-circuit doit être telle que la valeur $I_i^2 t_i$ ne soit pas plus grande que la valeur équivalente pour l'essai au courant de courte durée admissible, mais elle ne doit pas être inférieure à 50 % de la durée admissible nominale.

14. Short-time current test

14.1 Arrangement of circuit-breaker

The short-time current test shall be made with the circuit-breaker, with clean contacts, in the closed position arranged as specified in Sub-clause 5.1 except that, if the circuit-breaker is not fitted with direct over-current releases, the test may be made single-phase or three-phase. In the case of single-phase tests, the following shall apply:

- On a three-pole circuit-breaker, the test shall be carried out on two adjacent poles.
- In the case of separate poles, the test may be carried out either on two poles or on one pole with the return conductor at phase distance. If the distance between poles is not fixed by the design, the test shall be made at the minimum distance indicated by the manufacturer.
- Above a rated voltage of 72.5 kV, the return conductor need not be taken into account.

If the circuit-breaker is fitted with direct over-current releases, these shall be arranged for test with the coil of the minimum current rating set to operate at the maximum current and maximum time delay; the coil shall be connected to the live side of the test circuit. If the circuit-breaker can be used without direct over-current releases, it shall also be tested without it.

The test may be made at any suitable voltage.

14.2 Test current and duration

The a.c. component of the test current shall in principle be equal to the a.c. component of the rated short-circuit breaking current I of the circuit-breaker. The peak current (for a three-phase circuit the highest value in any phase) shall not be less than the rated short-circuit making current of the circuit-breaker and shall not exceed it by more than 10% without the consent of the manufacturer.

For circuit-breakers, other than those fitted with direct over-current releases, the short-time current shall in principle be applied for a time t , equal to the rated duration t of short-circuit; its r.m.s. value I_t shall be determined from an oscillogram, as indicated in Appendix C. The value of $I_t^2 t$ on test shall not be less than the rated value $I^2 t$ and shall not exceed this value by more than 10% without the consent of the manufacturer.

When, however, the characteristics of the test plant are such that the peak and r.m.s. values of current specified above cannot be obtained in a test of the specified duration, the following deviations are permitted:

- a) If the decrement of the short-circuit current of the test plant is such that the specified r.m.s. value, measured in accordance with Appendix C cannot be obtained for the rated duration without applying initially an excessively high current, the r.m.s. value of the current may be permitted to fall below the specified value during the test and the duration of the test increased appropriately, provided that the value of the peak current is not less than that specified and the time is not more than 5 s.
- b) If, in order to obtain the required peak current, the r.m.s. value of the current is increased above the specified value, the duration of the test may be reduced accordingly.

Note. — The peak short-circuit current test and the short-time current test may be separated where limitations of the test plant require it. In this case, the time during which the short-circuit is applied for the peak short-circuit current test shall be such that the value $I_t^2 t$ is not larger than the equivalent value for the short-time current test, but it shall not be less than 50% of the rated duration.

Pour les essais en triphasé, le courant dans une phase quelconque ne doit pas s'écarter de plus de 10 % de la moyenne des courants dans les trois phases.

Pour les disjoncteurs équipés de déclencheurs directs à maximum de courant c'est la séquence de manœuvres nominale limitée aux seules manœuvres d'ouverture qui doit être effectuée. La moyenne des valeurs efficaces des composantes périodiques du courant coupé pour l'ensemble des phases et des manœuvres doit être considérée comme étant la valeur efficace du courant de courte durée admissible bien qu'il soit possible d'utiliser des valeurs de courant présumé lorsque l'essai est effectué à la tension nominale. Le comportement du disjoncteur au cours des essais doit être conforme aux indications du paragraphe 5.7.

14.3 *Etat du disjoncteur après l'essai*

Après l'essai, un disjoncteur qui n'est pas équipé de déclencheurs directs à maximum de courant ne doit présenter aucune détérioration, doit être capable de fonctionner normalement et de supporter son courant nominal en permanence; l'état de ses contacts ne doit pas être tel qu'ils puissent pratiquement modifier le fonctionnement à une valeur quelconque de courant jusqu'aux pouvoirs de coupure et de fermeture en court-circuit nominaux. Une inspection visuelle et une manœuvre à vide du disjoncteur immédiatement après l'interruption du courant sont généralement suffisantes pour vérifier ce point.

Il est admis que pendant l'essai, l'échauffement des pièces traversées par le courant et des pièces voisines puisse dépasser les limites spécifiées dans le tableau IV, article 5 de la Publication 56-2 de la CEI. Aucune limite d'échauffement n'est spécifiée pour les essais de tenue au courant de courte durée admissible, mais la température maximale ne doit pas atteindre une valeur telle qu'elle puisse causer un préjudice aux pièces voisines, notamment aux pièces isolantes, pendant la courte période où elle se maintient.

L'état des disjoncteurs équipés de déclencheurs directs à maximum de courant doit être conforme aux indications du paragraphe 5.8.

15. **Essais de coupure de courants de lignes à vide**

15.1 *Cas d'application*

Les essais de coupure de courants de lignes à vide sont applicables aux disjoncteurs tripolaires de tension nominale égale ou supérieure à 72,5 kV prévus pour mettre en et hors circuit des lignes aériennes triphasées et auxquels un pouvoir de coupure nominal de lignes à vide a donc été assigné.

Les essais de coupure de courants de lignes à vide des disjoncteurs de tension nominale inférieure à 72,5 kV sont considérés comme inutiles.

Les essais sont également applicables au cas d'une ligne aérienne en série avec de courtes longueurs de câble.

Note. — On considère que les câbles sont courts si leur courant réactif total n'excède pas 20 % du courant réactif de la ligne aérienne et si le courant réactif de n'importe quel câble au voisinage du disjoncteur n'excède pas 10 % du courant réactif de la ligne aérienne. En aucun cas, le courant total ne doit dépasser le pouvoir de coupure nominal de lignes à vide.

15.2 *Généralités*

Les essais en vue de déterminer l'aptitude du disjoncteur à mettre en et hors circuit les lignes aériennes à vide peuvent être effectués soit en réseau soit en laboratoire.

Les essais en réseau avec une ligne aérienne et les essais en laboratoire avec des batteries de condensateurs peuvent être effectués en triphasé ou monophasé avec la restriction que les essais en monophasé peuvent seulement être effectués sur les disjoncteurs prévus pour être utilisés sur

For three-phase tests, the current in any phase shall not vary from the average of the currents in the three phases by more than 10% of the average.

For circuit-breakers fitted with direct over-current releases, the rated operating sequence confined to opening operations only shall be performed. The average of the r.m.s. values of the a.c. components of the breaking current in all phases and operations shall be considered as the r.m.s. value of the short-time current except that where the test is made at rated voltage, prospective current values may be used. The behaviour of the circuit-breaker during tests shall comply with Sub-clause 5.7.

14.3 *Condition of circuit-breaker after test*

After the test, a circuit-breaker not fitted with direct over-current releases shall not show any deterioration, shall be capable of operating normally and carrying its rated normal current continuously, and the condition of its contacts shall not be such as to affect performance materially at any current up to its rated short-circuit making and breaking currents. Visual inspection and no-load operation of the circuit-breaker immediately after the interruption of the current flow are usually sufficient to check this.

It is recognized that, during the test, the temperature rise of current carrying and adjacent parts may exceed the limits specified in Table IV, Clause 5, I E C Publication 56-2. No temperature rise limits are specified for short-time current tests, but the maximum temperature reached should not be sufficient to cause damage to adjacent parts, particularly insulation, for the short period during which it persists.

The condition of circuit-breakers fitted with series over-current releases shall comply with Sub-clause 5.8.

15. **Line-charging current breaking tests**

15.1 *Applicability*

Line-charging current breaking tests are applicable to three-pole circuit-breakers having rated voltages of 72.5 kV and above and intended for switching three-phase overhead lines, and to which therefore a rated line-charging breaking current has been assigned.

Line-charging current breaking tests of circuit-breakers of rated voltages less than 72.5 kV are considered unnecessary.

The tests are also applicable to the case of an overhead line in series with short lengths of cable.

Note. — Cables are considered to be short if their total charging current does not exceed 20% of the overhead-line-charging current and the charging current of any cable adjacent to the circuit-breaker does not exceed 10% of the overhead-line-charging current. In any case, the total current should not exceed the rated line-charging breaking current.

15.2 *General*

Tests to prove the ability of a circuit-breaker to switch overhead lines on no-load can be made either as field or as laboratory tests.

Field tests with an overhead line and laboratory tests with capacitor banks may be made three-phase or single-phase with the limitation that single-phase tests may only be used for circuit-breakers which are intended for use on a system with effectively earthed neutral and are valid only

un réseau dont le neutre est effectivement mis à la terre et ne sont valables que pour les disjoncteurs qui ne réamorcent pas. De même, les essais en laboratoire en monophasé avec des batteries de condensateurs concentrées ne valent que pour les disjoncteurs qui ne réamorcent pas.

Notes 1. — Les caractéristiques des lignes artificielles pouvant être utilisées pour les essais en laboratoire dans le cas où le disjoncteur réamorce sont à l'étude.

2. — On considère qu'un disjoncteur ne réamorce pas s'il ne se produit aucun réamorçage au cours des séquences d'essais N^{os} 1 et 2 (paragraphe 15.8).

15.3 *Forme d'onde du courant*

La forme d'onde du courant à couper doit être aussi proche que possible d'une sinusoïde. Cette condition est considérée comme remplie si le rapport de la valeur efficace du courant à la valeur efficace de la composante fondamentale ne dépasse pas 1,2.

Le courant à couper ne doit pas passer par zéro plus d'une fois par demi-période.

La fréquence d'essai doit être conforme aux prescriptions du paragraphe 6.2.

15.4 *Caractéristiques des circuits d'alimentation*

Pour les essais en triphasé et pour les essais en réseau en monophasé un circuit d'alimentation triphasé doit être utilisé. On utilise un circuit d'alimentation monophasé pour les essais en laboratoire en monophasé.

Les essais de coupure de courants de lignes à vide doivent être effectués en utilisant deux circuits d'alimentation triphasés différents comme spécifié ci-après. Cependant, s'il s'agit d'un disjoncteur qui ne réamorce pas, seul le circuit d'alimentation N^o 1 est exigé.

15.4.1 *Circuit d'alimentation N^o 1*

C'est un circuit d'alimentation dont l'impédance est telle que son courant de court-circuit ne dépasse pas 10 % du pouvoir de coupure nominal en court-circuit du disjoncteur; par exception, si cela est nécessaire, l'impédance aura une valeur inférieure à celle donnée par cette prescription afin que la variation de tension provoquée par l'interruption du courant capacitif n'excède pas 10 %.

La capacité du circuit d'alimentation doit être aussi faible que possible pourvu que la tension transitoire de rétablissement présumée ne dépasse pas celle spécifiée pour la séquence d'essais N^o 2 au paragraphe 7.5.4.

Note. — En conséquence, l'impédance du circuit d'alimentation N^o 1 pour la séquence d'essais N^o 2 peut différer de celle employée pour la séquence d'essais N^o 1 (paragraphe 15.8).

15.4.2 *Circuit d'alimentation N^o 2*

C'est un circuit d'alimentation dont l'impédance est aussi faible que possible sans toutefois que son courant de court-circuit dépasse le pouvoir de coupure nominal en court-circuit du disjoncteur.

La capacité du côté alimentation doit être au moins égale à la capacité à interrompre avec la plus faible impédance possible entre les capacités, sous réserve de ce qui est indiqué au dernier alinéa du paragraphe 15.6.

Note. — Les limitations des possibilités de manœuvre dans les réseaux et les contraintes anormales sur l'isolement qui pourraient se produire pendant les essais peuvent empêcher que les conditions d'essais spécifiées soient complètement réalisées. Dans tous les cas, mention détaillée doit en être faite explicitement dans le compte rendu d'essai.

15.5 *Mise à la terre du circuit d'alimentation*

a) Disjoncteurs prévus pour fonctionner dans un réseau à neutre à la terre:

for circuit-breakers which are restrike-free. Also three-phase laboratory tests with concentrated capacitor banks are valid only for circuit-breakers which are restrike-free.

Notes 1. — Characteristics of artificial lines which may be used for laboratory tests if the circuit-breaker restrikes are under consideration.

2. — It is assumed that a circuit-breaker is restrike-free if restrikes do not occur during Test-duties Nos. 1 and 2 (Sub-clause 15.8.)

15.3 *Wave-form of the current*

The wave-form of the current to be broken should, as nearly as possible, be sinusoidal. This condition is considered to be complied with if the ratio of the r.m.s. value of the current to the r.m.s. value of the fundamental component does not exceed 1.2.

The current to be broken shall not go through zero more than once per half cycle.

The test frequency shall comply with the requirements of Sub-clause 6.2.

15.4 *Characteristics of supply circuits*

For three-phase tests and for single-phase field tests, a three-phase supply circuit shall be used. A single-phase supply circuit is used for single-phase laboratory tests.

The line-charging current breaking tests shall be performed using two different three-phase supply circuits as specified below. However, if the circuit-breaker is restrike-free, Supply circuit No. 1 only is required.

15.4.1 *Supply circuit No. 1*

A supply circuit having an impedance such that its short-circuit current does not exceed 10% of the rated short-circuit current of the circuit-breaker except that, if necessary, the impedance shall be reduced below the value given by this requirement so that the voltage variation caused by switching the capacitive current does not exceed 10%.

The capacitance of the supply circuit shall be as low as possible subject to its prospective transient recovery voltage not exceeding that specified for Test-duty No. 2 in Sub-clause 7.5.4.

Note. — The impedance of Supply circuit No. 1 for Test-duty No. 2 may accordingly differ from that for Test-duty No. 1 (Sub-clause 15.8).

15.4.2 *Supply circuit No. 2*

A supply circuit having an impedance which is as low as possible, but not so low that its short-circuit current exceeds the rated short-circuit current of the circuit-breaker.

The capacitance of the supply side shall be at least equal to the capacitance to be switched, with as little impedance as possible between the capacitances, except as sanctioned by the last paragraph of Sub-clause 15.6.

Note. — Limitations in the operation of power systems and abnormal stresses of insulation which might occur during the tests may prevent the specified test conditions from being completely met. Such deviations shall, in all cases, be clearly stated in the test report.

15.5 *Earthing of three-phase supply circuit*

a) Circuit-breakers intended to operate in an earthed neutral system:

Le disjoncteur, avec son bâti réuni à la terre comme en service, doit être raccordé à un circuit d'alimentation ayant son neutre à la terre.

- b) Disjoncteurs prévus pour fonctionner dans un réseau à neutre isolé ou dans un réseau compensé par bobine d'extinction:

Le disjoncteur avec son bâti réuni à la terre comme en service doit être raccordé à un circuit d'alimentation à neutre isolé ou raccordé à la terre par une bobine d'extinction.

15.6 *Caractéristiques du circuit capacitif mis en et hors circuit*

Pour les essais en triphasé et pour les essais en monophasé en réseau on doit utiliser une ligne aérienne triphasée. Lors des essais en réseau en monophasé les conducteurs des deux autres phases doivent rester raccordés à l'alimentation triphasée.

L'utilisation de plusieurs lignes réunies en parallèle afin d'augmenter le courant à vide n'est pas autorisée.

A condition que les restrictions précisées au paragraphe 15.2 soient respectées, des batteries de condensateurs concentrées peuvent être utilisées pour simuler les lignes aériennes. Pour les essais en laboratoire en triphasé la composante directe du circuit capacitif doit être approximativement égale à deux fois la composante homopolaire.

Les caractéristiques du circuit capacitif y compris tous les dispositifs de mesure nécessaires pour l'essai, tels que diviseurs de tension, doivent être tels que la baisse de tension n'excède pas 10 % au bout d'un intervalle de 10 ms après l'extinction finale de l'arc.

Lorsqu'on utilise des capacités pour simuler les lignes aériennes, une résistance non inductive d'environ 250 Ω peut être raccordée en série avec les capacités pour tenir compte de l'impédance d'onde des lignes aériennes.

Note. — Etant donné que la baisse de tension peut être influencée par des appareils tels que des transformateurs de tension reliés au circuit capacitif, la mesure doit être effectuée, de préférence, avec des diviseurs de tension convenables. Si, néanmoins, on utilise des transformateurs de tension, on prendra les précautions nécessaires pour éviter que ces derniers provoquent des phénomènes de ferro-résonance en cours de coupure.

15.7 *Tension d'essai*

- a) Pour les essais en triphasé et pour les essais en monophasé en réseau, la tension d'essai mesurée entre phases à l'emplacement du disjoncteur immédiatement avant l'ouverture doit être aussi voisine que possible de la tension nominale U du disjoncteur.

- b) Pour les essais en laboratoire en monophasé dans lesquels on utilise des batteries de condensateurs concentrées, la tension d'essai mesurée immédiatement avant l'ouverture doit être aussi voisine que possible de $1,2 \times U/\sqrt{3}$.

Note. — Les résultats des essais ne doivent pas être utilisés pour apprécier les surtensions qui peuvent se produire sous une tension différente de la tension d'essai.

15.8 *Séquences d'essais*

Les essais de coupure de courants de lignes à vide comprennent trois séquences d'essais, comme spécifié dans le tableau IV.

Les séquences d'essais N^{os} 1 et 2 doivent être effectuées, que le disjoncteur réamorçe ou non. La séquence d'essai N^o 3 ne doit être effectuée que dans les cas où des réamorçages se sont produits au cours des séquences d'essai N^{os} 1 et 2.

The circuit-breaker, with its frame earthed as in service, shall be connected in a supply circuit having its neutral earthed.

- b) Circuit-breakers intended to operate in an isolated neutral system or in a resonant earthed system:

The circuit-breaker, with its frame earthed as in service, shall be connected in a supply circuit having its neutral isolated or connected to earth through an arc-suppression coil.

15.6 *Characteristics of the capacitive circuit to be switched*

For three-phase and single-phase field tests a three-phase overhead line shall be used. In single-phase field tests the conductors of the other two phases shall remain connected to the three-phase supply.

The use of several lines connected in parallel in order to increase the charging current is not allowed.

Subject to the limitations stated in Sub-clause 15.2, concentrated capacitor banks may be used to represent overhead lines. For three-phase laboratory tests the positive sequence capacitance of the capacitive circuit shall be approximately twice its zero sequence capacitance.

The characteristics of the capacitive circuits shall, with all necessary test measuring devices such as voltage dividers included, be such that the voltage decay does not exceed 10 % at the end of an interval of 10 ms after final arc extinction.

When capacitors are used to simulate overhead lines, a non-inductive resistor of about 250 Ω may be connected in series with the capacitors to take account of the surge impedance of the overhead lines.

Note. — Since the voltage decay may be very much influenced by apparatus such as voltage transformers connected to the capacitive circuit, the measurement shall preferably be made with suitable voltage dividers. Also if nevertheless voltage transformers are used, precautions should be taken to avoid these giving rise to ferro-resonance phenomena during breaking operations.

15.7 *Test voltage*

- a) For three-phase tests and for single-phase field tests, the test voltage measured between the phases at the circuit-breaker location immediately prior to openings shall, as nearly as possible, be equal to the rated voltage U of the circuit-breaker.
- b) For single-phase laboratory tests using concentrated capacitor banks, the test voltage measured immediately prior to opening shall, as nearly as possible, be equal to $1.2 \times U/\sqrt{3}$.

Note. — The results of the tests should not be used for estimating the overvoltages which may occur at a voltage differing from the test voltage.

15.8 *Test-duties*

The line-charging current breaking test series shall consist of three test-duties, as specified in Table IV.

Test-duties Nos. 1 and 2 shall be carried out whether the circuit-breaker is restrike-free or not. Test-duty No. 3 shall be carried out only in those cases where restrikes have occurred during Test-duties Nos. 1 or 2.

TABLEAU IV

Séquence d'essais N°	Circuit d'alimentation (paragraphe 15.4)	Courant d'essai en pour-cent du pouvoir de coupure nominal de lignes à vide
1	1	20 à 40
2	1	100 à 110
3	2	100 à 110

1. Pour les essais en triphasé, chaque séquence d'essais doit comprendre 10 essais.

2. Pour les essais en monophasé, il y a deux possibilités:

a) si le déclenchement synchrone est employé, chaque séquence d'essais doit comprendre 12 essais correspondant à des instants séparés approximativement par des intervalles de 30 degrés électriques.

b) si le déclenchement synchrone n'est pas employé, le nombre d'essais de chaque séquence d'essais doit être de 30.

On peut effectuer des essais de coupure ou d'établissement-coupure à condition que les deux derniers essais de chacune des séquences d'essais Nos 2 et 3 soient des essais d'établissement-coupure.

Lors des essais d'établissement-coupure, on ne doit pas séparer les contacts du disjoncteur avant la disparition des courants transitoires consécutifs à la fermeture.

Il ne doit pas rester de charge appréciable du circuit capacitif avant une manœuvre de fermeture.

15.9 *Mesure des surtensions*

Les surtensions doivent être mesurées du côté alimentation et du côté charge du disjoncteur.

16. **Essais de coupure de courants de câbles à vide**

16.1 *Cas d'application*

Les essais de coupure de courants de câbles à vide sont applicables aux disjoncteurs prévus pour la mise en et hors circuit, dans des conditions normales de service, de câbles de longueur appréciable et pour lesquels un pouvoir de coupure nominal de câbles à vide a été assigné, cette caractéristique n'étant pas obligatoire mais indiquée sur demande. Ces essais sont également applicables au cas d'un câble en série avec une courte longueur de ligne aérienne.

Notes 1. — Une ligne aérienne est considérée comme courte si son courant réactif n'excède pas 1 % du courant réactif du câble.

2. — Les essais de coupure de courants de câbles à vide pour les disjoncteurs de tension nominale égale ou inférieure à 24 kV sont généralement considérés comme inutiles.

16.2 *Généralités*

Les essais peuvent être effectués en réseau ou en laboratoire en utilisant des câbles ou des condensateurs.

Pour les disjoncteurs tripolaires dont la tension nominale est égale ou inférieure à 24 kV, les essais, s'ils sont demandés, doivent être effectués avec une alimentation triphasée.

TABLE IV

Test-duty No.	Supply circuit (Sub-clause 15.4)	Test current as percentage of the rated line-charging breaking current
1	1	20 to 40
2	1	100 to 110
3	2	100 to 110

1. For three-phase tests, each test-duty shall comprise 10 tests.
2. For single-phase tests there are two possibilities:
 - a) if point-on-wave control is used, each test-duty shall comprise 12 tests distributed at intervals of approximately 30 electrical degrees.
 - b) if point-on-wave control is not used, the number of tests in each test-duty shall be 30.

Break or make-break tests may be performed provided the last two tests in each of the Test-duties Nos. 2 and 3 are make-break tests.

When make-break tests are performed, the contacts of the circuit-breaker shall not be separated until the transient charging currents have subsided.

No appreciable charge shall remain on the capacitive circuits before a making operation.

15.9 Measurement of overvoltages

The overvoltages on the supply side and the load side of the circuit-breaker shall be measured.

16. Cable-charging current breaking tests

16.1 Applicability

Cable-charging current breaking tests are applicable to circuit-breakers intended for switching cables of appreciable length under normal service conditions, to which a rated cable-charging breaking current has been assigned, this not being mandatory, but given on request. These tests are applicable to the case of a cable in series with a short length of overhead line.

Notes 1. — An overhead line is considered as short if its charging current does not exceed 1% of the cable-charging current.

2. — Cable-charging current breaking tests of circuit-breakers for rated voltages equal to or less than 24 kV are in general considered unnecessary.

16.2 General

The tests may be made as field tests or as laboratory tests, employing cables or capacitors.

For three-pole circuit-breakers the rated voltage of which is lower than or equal to 24 kV, the tests if required shall be performed with a three-phase supply.

Pour les disjoncteurs tripolaires dont la tension nominale est supérieure à 24 kV, les essais peuvent être effectués avec une alimentation triphasée ou monophasée.

Note. — Cet article suppose que, pour les tensions supérieures à 24 kV, les câbles ont un écran mis à la terre sur chaque conducteur de phase.

16.3 *Forme d'onde du courant*

La forme d'onde du courant à couper doit être aussi voisine que possible d'une sinusoïde. Cette condition est considérée comme étant remplie si le rapport de la valeur efficace du courant à la valeur efficace de la composante fondamentale ne dépasse pas 1,2.

Le courant à couper ne doit pas passer par zéro plus d'une fois par demi-période.

La fréquence d'essai doit remplir les conditions du paragraphe 6.2.

16.4 *Caractéristiques des circuits d'alimentation*

Les essais de coupure de courants de câbles à vide doivent être effectués en utilisant les deux différents circuits d'alimentation spécifiés ci-après :

16.4.1 *Circuit d'alimentation N° 1*

C'est un circuit d'alimentation dont l'impédance est telle que son courant de court-circuit n'excède pas 10 % du pouvoir de coupure nominal en court-circuit du disjoncteur ; toutefois, s'il est nécessaire, l'impédance sera réduite au-dessous de la valeur donnée par cette prescription de façon que la variation de tension provoquée par l'établissement et la coupure du courant réactif n'excède pas 10 %.

La capacité du circuit d'alimentation doit être aussi faible que possible pourvu que sa tension transitoire de rétablissement présumée ne dépasse pas celle spécifiée pour la séquence d'essais N° 2 au paragraphe 7.5.4.

Note. — En conséquence, l'impédance du circuit d'alimentation N° 1 pour la séquence d'essais N° 2 peut différer de celle employée pour la séquence d'essais N° 1 (paragraphe 16.8).

16.4.2 *Circuit d'alimentation N° 2*

C'est un circuit dont l'impédance est aussi faible que possible sans toutefois que son courant de court-circuit dépasse le pouvoir de coupure nominal en court-circuit du disjoncteur.

La capacité du côté du circuit d'alimentation doit avoir la même valeur que la capacité à mettre en et hors circuit.

Note. — Les limitations des possibilités de manœuvre dans les réseaux ou dans les laboratoires et les contraintes anormales sur l'isolement qui pourraient se produire au cours des essais peuvent empêcher que les conditions d'essais spécifiées soient complètement remplies. Dans tous les cas, mention détaillée doit en être faite explicitement dans le compte rendu d'essais.

16.5 *Mise à la terre du circuit d'essais triphasé*

La mise à la terre des circuits d'essais triphasés doit être effectuée comme suit :

- a) Pour les essais en triphasé d'un disjoncteur prévu pour être utilisé dans des réseaux à neutre mis à la terre, le point neutre du circuit d'alimentation doit être mis à la terre. L'impédance homopolaire doit être inférieure à trois fois l'impédance directe du côté du circuit d'alimentation.
- b) Pour les essais en triphasé d'un disjoncteur prévu pour être utilisé dans des réseaux à neutre isolé ou compensés par bobines d'extinction, le point neutre du circuit d'alimentation doit être isolé. La capacité à la terre doit être aussi faible que possible.

For three-pole circuit-breakers the rated voltage of which is greater than 24 kV, the tests may be performed with a three-phase or a single-phase supply.

Note. — This clause presumes that, at voltages exceeding 24 kV, cables have an earthed screen on each phase conductor.

16.3 *Wave-form of current*

The wave-form of the current to be broken should, as nearly as possible, be sinusoidal. This condition is considered to be complied with if the ratio of the r.m.s. value of the current to the r.m.s. value of the fundamental component does not exceed 1.2.

The current to be broken shall not go through zero more than once per half cycle.

The test frequency shall comply with the requirements of Sub-clause 6.2.

16.4 *Characteristics of supply circuits*

The cable-charging current breaking tests shall be performed using two different supply circuits as specified below.

16.4.1 *Supply circuit No. 1*

A supply circuit having an impedance such that its short-circuit current does not exceed 10% of the rated short-circuit current of the circuit-breaker except that, if necessary, the impedance shall be reduced below the value given by this requirement so that the voltage variation caused by switching the capacitive current does not exceed 10%.

The capacitance of the supply circuit shall be as low as possible, subject to its prospective transient recovery voltage not exceeding that specified for Test-duty No. 2 in Sub-clause 7.5.4.

Note. — The impedance of Supply circuit No. 1 for Test-duty No. 2 may accordingly differ from that for Test-duty No. 1 (Sub-clause 16.3).

16.4.2 *Supply circuit No. 2*

A supply circuit having an impedance which is as low as possible, but not so low that its short-circuit current exceeds the rated short-circuit current of the circuit-breaker.

The capacitance of the supply side shall be the same as the capacitance switched.

Note. — Limitations in the operation of power systems or laboratories and abnormal stresses of insulation which might occur during the tests may prevent the specified test conditions from being completely met. Such deviations shall, in all cases, be clearly stated in the test report.

16.5 *Earthing of the three-phase test circuit*

The earthing of three-phase test circuits shall be as follows:

- a) for three-phase tests of a circuit-breaker intended for use in earthed neutral systems, the neutral point of the supply shall be earthed. The zero sequence impedance shall be less than three times the positive sequence impedance on the supply side;
- b) for three-phase tests of a circuit-breaker intended for use in isolated neutral and resonant earthed systems, the neutral point of the supply shall be isolated. The capacitance to earth shall be as low as possible;

- c) Pour les essais en triphasé d'un disjoncteur de tension nominale inférieure ou égale à 24 kV, la gaine du câble à champ non radial (ou le neutre de l'une des batteries de condensateurs raccordées en parallèle) doit être mise à la terre.
- d) Pour les essais en triphasé d'un disjoncteur de tension nominale supérieure à 24 kV, les écrans (ou les gaines) des conducteurs du câble (ou le point neutre de la batterie de condensateurs) doivent être mis à la terre.

16.6 *Caractéristiques du circuit capacitif mis en et hors circuit*

Il ne doit pas y avoir de lignes aériennes entre le câble et le disjoncteur.

Lors de l'essai d'un disjoncteur tripolaire de tension nominale inférieure ou égale à 24 kV, les câbles doivent être des câbles tripolaires à champ non radial.

Lors des essais en triphasé d'un disjoncteur tripolaire de tension nominale supérieure à 24 kV, les câbles doivent être des câbles tripolaires à champ radial ou des câbles unipolaires.

On peut utiliser des condensateurs pour représenter les câbles. Lors de l'essai de disjoncteurs tripolaires de tension nominale inférieure ou égale à 24 kV, la batterie de condensateurs doit comprendre deux batteries raccordées en parallèle et ayant des courants capacitifs sensiblement égaux; au moins l'une de ces batteries doit être en étoile pour que son neutre puisse être mis à la terre.

Lorsqu'on utilise des condensateurs pour représenter les câbles, une résistance non inductive d'environ 25 Ω peut être branchée en série avec les condensateurs pour représenter l'impédance d'onde des câbles.

Les caractéristiques du circuit capacitif y compris tous les dispositifs de mesure nécessaires tels que les diviseurs de tension doivent être tels que la baisse de tension n'excède pas 10 % au bout de 10 ms après l'extinction finale de l'arc.

Note. — Etant donné que la baisse de tension peut être très influencée par des appareils tels que des transformateurs de tension reliés au circuit capacitif, la mesure doit être effectuée, de préférence, avec des diviseurs de tension convenables. Si, néanmoins, on utilise des transformateurs de tension, on prendra les précautions nécessaires pour éviter que ces derniers provoquent des phénomènes de ferro-résonance en cours de coupure.

16.7 *Tension d'essai*

a) Pour les essais en triphasé d'un disjoncteur tripolaire ou pour les essais en monophasé d'un disjoncteur unipolaire, la tension d'essai mesurée, en triphasé, entre les pôles du disjoncteur, immédiatement avant l'ouverture doit être aussi voisine que possible de la tension nominale U du disjoncteur.

b) Pour les essais en monophasé d'un disjoncteur tripolaire, la tension d'essai mesurée entre le pôle du disjoncteur et la terre immédiatement avant l'ouverture doit être aussi voisine que possible de $U/\sqrt{3}$.

Note. — Le résultat de ces essais ne doit pas être utilisé pour apprécier les surtensions qui peuvent se produire à une tension différente de la tension d'essai.

16.8 *Séquences d'essais*

La série d'essais de coupure de courants de câbles à vide comprend 4 séquences, comme spécifié dans le tableau V.

- c) for three-phase tests of a circuit-breaker for a rated voltage less than or equal to 24 kV, the sheath of the cable (or the neutral point of one of the parallel connected capacitor banks) shall be earthed;
- d) for three-phase tests of a circuit-breaker having a rated voltage exceeding 24 kV, the screens (or sheaths) of the cores of the cable (or the neutral point of the capacitor bank) shall be earthed.

16.6 *Characteristics of the capacitive circuit to be switched*

An overhead line shall not be placed between the cable and the circuit-breaker.

When testing a three-pole circuit-breaker having a rated voltage less than or equal to 24 kV, the cables shall be three-core belted cables.

For three-phase tests on a three-pole circuit-breaker having a rated voltage exceeding 24 kV, the cables shall be three-core screened or single-core cables.

Capacitors may be used to simulate cables. When testing three-pole circuit-breakers having a rated voltage less than or equal to 24 kV, the capacitor bank shall consist of two banks having approximately equal charging currents connected in parallel; at least one of these capacitor banks shall be star connected so that its neutral can be earthed.

When capacitors are used to simulate cables, a non-inductive resistor of about 25 Ω may be connected in series with the capacitors to simulate the surge impedance of the cables.

The characteristics of the capacitive circuit shall, with all necessary test measuring devices such as voltage dividers included, be such that the voltage decay does not exceed 10% at the end of an interval of 10 ms after final arc extinction.

Note. — Since the voltage decay may be very much influenced by apparatus such as voltage transformers connected to the capacitive circuit, the measurement shall preferably be made with suitable voltage dividers. Also if nevertheless voltage transformers are used, precautions should be taken to avoid these giving rise to ferro-resonance phenomena during breaking operations.

16.7 *Test voltage*

- a) For three-phase tests on a three-pole circuit-breaker or single-phase tests on a single-pole circuit-breaker, the test voltage, measured in the three-phase case between the poles of the circuit-breaker, immediately prior to opening shall, as nearly as possible, be equal to the rated voltage U of the circuit-breaker.
- b) For single-phase tests on a three-pole circuit-breaker, the test voltage measured between the pole of the circuit-breaker and earth immediately prior to opening shall, as nearly as possible, be equal to $U/\sqrt{3}$.

Note. — The result of the tests should not be used for estimating the overvoltages which may occur at a voltage differing from the test voltage.

16.8 *Test-duties*

The cable-charging current breaking test series shall consist of four test-duties as specified in Table V.

TABLEAU V

Séquence d'essais N°	Circuit d'alimentation (paragraphe 16.4)	Courant d'essai en pour- cent du pouvoir de coupure nominal de câbles à vide
1	1	20 à 40
2	1	100 à 110
3	2	20 à 40
4	2	100 à 110

1. Pour les essais en triphasé, chaque séquence d'essais doit comprendre 10 essais.
2. Pour les essais en monophasé, il y a deux possibilités:
 - a) Si le déclenchement synchrone est employé, chaque séquence d'essais doit comprendre 12 essais correspondant à des instants séparés approximativement par des intervalles de 30 degrés électriques.
 - b) Si le déclenchement synchrone n'est pas employé, le nombre d'essais de chaque séquence d'essais doit être de 30.

On peut effectuer des essais de coupure ou d'établissement-coupure à condition que les séquences d'essais N°s 2 et 4 comprennent chacune au moins deux essais d'établissement-coupure.

Lors des essais d'établissement-coupure, on ne doit pas séparer les contacts du disjoncteur avant la disparition des courants transitoires consécutifs à la fermeture.

Il ne doit rester aucune charge appréciable sur le câble ou sur les condensateurs avant une manœuvre de fermeture.

16.9 Mesure des surtensions

Les surtensions du côté alimentation et du côté charge du disjoncteur doivent être mesurées.

17. Essais de coupure de condensateurs (uniques)

17.1 Cas d'application

Les essais de coupure de condensateurs sont applicables à tous les disjoncteurs auxquels un pouvoir de coupure nominal de condensateurs a été assigné, cette caractéristique n'étant pas obligatoire mais indiquée sur demande.

Note. — L'essai des disjoncteurs prévus pour la mise en et hors circuit d'éléments de batteries multiples de condensateurs fera l'objet d'un accord entre constructeur et utilisateur, notamment en ce qui concerne la valeur de crête et la fréquence du courant d'appel.

17.2 Généralités

Les essais de coupure de condensateurs sur des disjoncteurs tripolaires peuvent être effectués en monophasé ou en triphasé; toutefois, les essais en monophasé ne sont valables que pour les disjoncteurs qui ne réamorcent pas.

Note. — On suppose qu'un disjoncteur ne réarme pas si, au cours des essais en monophasé, aucun réamorçage ne se produit.

TABLE V

Test-duty No.	Supply circuit (Sub-clause 16.4)	Test current as percentage of the rated cable-charging breaking current
1	1	20 to 40
2	1	100 to 110
3	2	20 to 40
4	2	100 to 110

1. For three-phase tests, each test-duty shall comprise 10 tests.
2. For single-phase tests there are two possibilities:
 - a) If point-on-wave control is used, each test-duty shall comprise 12 tests distributed at intervals of approximately 30 electrical degrees.
 - b) If point-on-control is not used, the number of tests in each test-duty shall be 30.

Break or make-break tests may be performed provided that the Test-duties Nos. 2 and 4 contain at least two make-break tests each.

When make-break tests are performed, the contacts of the circuit-breaker should not be separated until the transient charging currents have subsided.

No appreciable charge shall remain on the cable or capacitors before a making operation.

16.9 *Measurement of overvoltages*

The overvoltages on the supply side and on the load side of the circuit-breaker shall be measured.

17. **(Single) capacitor bank breaking tests**

17.1 *Applicability*

Capacitor breaking tests are applicable to all circuit-breakers to which a rated capacitor breaking current has been assigned, this not being mandatory but given on request.

Note. — The testing of circuit-breakers intended to be used for switching units of multiple (parallel) capacitor banks should be the subject of agreement between the manufacturer and user, particularly with regard to the peak value and frequency of the inrush current.

17.2 *General*

Capacitor breaking tests on three-pole circuit-breakers may be made three-phase or single-phase with the limitation, however, that single-phase tests are valid only for those circuit-breakers which are restrike-free.

Note. — It is assumed that a circuit-breaker is restrike-free if, during single-phase tests, restrikes do not occur.

17.3 *Forme d'onde et mesure du courant*

La forme d'onde du courant à couper doit être aussi voisine que possible d'une sinusoïde. Cette condition est considérée comme remplie si le rapport de la valeur efficace du courant à la valeur efficace de la composante fondamentale ne dépasse pas 1,2.

Le courant à couper ne doit pas passer par zéro plus d'une fois par demi-période.

Il est préférable de mesurer ce courant au moyen d'un oscillographe. Cependant, il est admis de le mesurer au moyen d'un instrument donnant une valeur efficace ou, si le constructeur et l'utilisateur sont d'accord, de le calculer à partir des caractéristiques de la batterie de condensateurs.

La fréquence d'essais doit être conforme aux prescriptions du paragraphe 6.2.

17.4 *Caractéristiques des circuits d'alimentation*

Les essais de coupure de condensateurs doivent être effectués en utilisant les deux différents circuits d'alimentation spécifiés ci-après:

17.4.1 *Circuit d'alimentation N° 1*

C'est un circuit d'alimentation dont l'impédance est telle que son courant de court-circuit n'excède pas 10 % du pouvoir de coupure nominal en court-circuit du disjoncteur; toutefois, s'il est nécessaire, l'impédance sera réduite au-dessous de la valeur donnée par cette prescription de façon que la variation de tension provoquée par l'établissement et la coupure du courant capacitif n'excède pas 10 %.

Note. — En conséquence, l'impédance du circuit d'alimentation N° 1 pour la séquence d'essais N° 2 peut différer de celle employée pour la séquence d'essais N° 1 (paragraphe 17.8.)

17.4.2 *Circuit d'alimentation N° 2*

C'est un circuit dont l'impédance est aussi faible que possible sans toutefois que son courant de court-circuit dépasse le pouvoir de coupure nominal en court-circuit du disjoncteur.

La capacité des deux circuits d'alimentation doit être aussi faible que possible à condition que la tension transitoire de rétablissement présumée du circuit d'alimentation N° 1 ne dépasse pas celle spécifiée pour la séquence d'essais N° 2 au paragraphe 7.5.4 et que celle du circuit d'alimentation N° 2 ne dépasse pas la tension transitoire de rétablissement nominale pour les défauts aux bornes au paragraphe 7.3 de la Publication 56-2 de la CEI.

Note. — La limitation des possibilités de manœuvre dans les réseaux ou dans les laboratoires et les contraintes anormales sur l'isolement qui pourraient se produire au cours des essais peuvent empêcher que les conditions d'essai spécifiées soient complètement remplies. Dans tous les cas, mention détaillée doit en être faite explicitement dans le compte rendu d'essais.

17.5 *Mise à la terre du circuit d'essais triphasé*

Le neutre du circuit d'alimentation doit être mis à la terre. Le neutre des condensateurs doit être isolé sauf pour les tensions nominales supérieures à 72,5 kV; dans ce cas, les conditions de mise à la terre des condensateurs en essai doivent être les mêmes que lorsque les condensateurs sont en service si le disjoncteur est prévu pour être utilisé dans des réseaux dont le neutre est effectivement à la terre.

17.6 *Constante de temps à la décharge des condensateurs*

La valeur de la constante de temps à la décharge est fortement influencée par les appareils (tels que transformateurs de mesure) raccordés aux condensateurs.

17.3 *Wave-form and measurement of the current*

The wave-form of the current to be broken should, as nearly as possible, be sinusoidal. This condition is considered to be complied with if the ratio of the r.m.s. value of the current to the r.m.s. value of the fundamental component does not exceed 1.2.

The current to be broken shall not go through zero more than once per half cycle.

It is preferable to measure this current by an oscillograph. However, it is permissible to measure it by an r.m.s. indicating instrument, or, if so agreed by the manufacturer and the user, to calculate it from the characteristics of the capacitor bank and the measured voltage.

The test frequency shall comply with the requirements of Sub-clause 6.2.

17.4 *Characteristics of supply circuits*

The capacitor breaking tests shall be performed using two different supply circuits as specified below:

17.4.1 *Supply circuit No. 1*

A supply circuit having an impedance such that its short-circuit current does not exceed 10% of the rated short-circuit current of the circuit-breaker except that, if necessary, the impedance shall be reduced below the value given by this requirement so that the voltage variation caused by switching the capacitive current does not exceed 10%.

Note. — The impedance of Supply circuit No. 1 for Test-duty No. 2 may accordingly differ from that for Test-duty No. 1 (Sub-clause 17.8).

17.4.2 *Supply circuit No. 2*

A supply circuit having an impedance which is as low as possible but not so low that its short-circuit current exceeds the rated short-circuit current of the circuit-breaker.

The capacitance of both supply circuits shall be as low as possible subject to the prospective transient recovery voltage for Supply circuit No. 1 not exceeding that specified for Test-duty No. 2 in Sub-clause 7.5.4 and for Supply circuit No. 2 not exceeding the rated TRV for terminal faults in Sub-clause 7.3, I E C Publication 56-2.

Note. — Limitations in the operation of power systems or laboratories and abnormal stresses of insulation which might occur during the tests may prevent the specified test conditions from being completely met. Such deviations shall, in all cases, be clearly stated in the test report.

17.5 *Earthing of the three-phase test circuit*

The supply circuit shall have an earthed neutral. The neutral of the capacitor shall be insulated except that, for rated voltages exceeding 72.5 kV, the earthing conditions of the test capacitor shall be the same as for the capacitor when in service if the circuit-breaker is intended for use in systems with effectively earthed neutral.

17.6 *Discharge time constant of the capacitor*

The value of the discharge time constant is greatly influenced by the apparatus (such as instrument transformers) connected to the capacitor.

Les caractéristiques du circuit des condensateurs doivent être telles que la baisse de tension n'excède pas 10 % au bout d'un intervalle de 10 ms après l'extinction finale de l'arc.

Note. — Etant donné que la baisse de tension peut être très influencée par des appareils tels que des transformateurs de tension reliés au circuit capacitif, la mesure doit être effectuée, de préférence, avec des diviseurs de tension convenables. Si, néanmoins, on utilise des transformateurs de tension, on prendra les précautions nécessaires pour éviter que ces derniers provoquent des phénomènes de ferro-résonance en cours de coupure.

17.7 Tension d'essai

- a) Pour les essais en triphasé sur un disjoncteur tripolaire ou pour les essais en monophasé sur un disjoncteur unipolaire, la tension d'essai mesurée en triphasé entre les pôles du disjoncteur, immédiatement avant une manœuvre d'ouverture, doit être aussi voisine que possible de la tension nominale U du disjoncteur.
- b) Pour les essais en monophasé sur un disjoncteur tripolaire, la tension d'essai mesurée entre le pôle du disjoncteur et la terre, immédiatement avant l'ouverture, doit être aussi voisine que possible du produit de la valeur phase-neutre $U/\sqrt{3}$ par les facteurs suivants:
 - i) 1,4, sauf dans le cas couvert par l'alinéa b) iii), à condition que l'écart de simultanéité maximal entre séparations des contacts dans les différents pôles du disjoncteur ne dépasse pas $\frac{1}{6}$ e de période de la fréquence nominale du disjoncteur.

Note. — La prescription concernant l'écart de simultanéité entre séparations des contacts doit être vérifiée avant et après l'essai mécanique.

- ii) 2,0, sauf dans le cas couvert par l'alinéa b) iii), sans tenir compte de la simultanéité entre séparations des contacts dans les différents pôles.
- iii) 1,0 pour les disjoncteurs dont la tension nominale dépasse 72,5 kV, prévus pour être utilisés dans des réseaux dont le neutre est effectivement à la terre et avec des batteries de condensateurs dont le neutre est directement mis à la terre.

Note. — Les résultats de ces essais ne doivent pas être utilisés pour apprécier les surtensions qui peuvent se produire à une tension différente de la tension d'essai.

17.8 Séquences d'essais

Les essais de coupure de condensateurs doivent comprendre les séquences d'essais spécifiées au tableau VI.

TABEAU VI

Séquence d'essais N°	Circuit d'alimentation (paragraphe 17.4)	Courant d'essai en pour- cent du pouvoir de coupure nominal de condensateurs
1	1	20 à 40
2	1	100 à 110
3	2	20 à 40
4	2	100 à 110

1. Pour les essais en triphasé, chaque séquence d'essais doit comprendre 10 essais.
2. Pour les essais en monophasé, il y a deux possibilités:
 - a) Si le déclenchement synchrone est employé, chaque séquence d'essais doit comprendre 12 essais correspondant à des instants séparés approximativement par des intervalles de 30 degrés électriques.

The characteristics of the capacitor circuit shall be such that the voltage decay does not exceed 10% at the end of an interval of 10 ms after final arc extinction.

Note. — Since the voltage decay may be very much influenced by apparatus such as voltage transformers connected to the capacitive circuit, the measurement shall preferably be made with suitable voltage dividers. Also if nevertheless voltage transformers are used, precautions should be taken to avoid these giving rise to ferro-resonance phenomena during breaking operations.

17.7 Test voltage

- a) For three-phase tests on a three-pole circuit-breaker, or single-phase tests on a single-pole circuit-breaker, the test voltage measured, in the three-phase case between the poles of the circuit-breaker, immediately prior to opening shall, as nearly as possible, be equal to the rated voltage U of the circuit-breaker.
- b) For single-phase tests of a three-pole circuit-breaker, the test voltage measured between the pole of the circuit-breaker and earth immediately prior to opening shall, as nearly as possible, be equal to the product of the phase-to-neutral value $U/\sqrt{3}$ and the following factor:
 - i) 1.4, excepting the case covered under b) iii), provided that the maximum non-simultaneity of contact separation in the different poles of the circuit-breaker does not exceed $\frac{1}{6}$ th of a cycle of the rated frequency of the circuit-breaker.

Note. — The requirement regarding non-simultaneity of contact separation shall be proved before and after the mechanical test.

- ii) 2.0, excepting the case covered under b) iii), without regard to simultaneity of contact separation between the different poles.
- iii) 1.0, for circuit-breakers having a rated voltage exceeding 72.5 kV intended for use in systems with effectively earthed neutral and with capacitor banks having a directly earthed neutral.

Note. — The results of the tests should not be used for estimating the overvoltages which may occur at a voltage differing from the test voltage.

17.8 Test-duties

The capacitor breaking test series shall consist of four test-duties as specified in Table VI.

TABLE VI

Test-duty No.	Supply circuit (Sub-clause 17.4)	Test current as percentage of the rated capacitor breaking current
1	1	20 to 40
2	1	100 to 110
3	2	20 to 40
4	2	100 to 110

1. For three-phase tests, each test-duty shall comprise 10 tests.
2. For single-phase tests, there are two possibilities:
 - a) If point-on-wave control is used, each test-duty shall comprise 12 tests distributed at intervals of approximately 30 electrical degrees.

- b) Si le déclenchement synchrone n'est pas employé, le nombre d'essais de chaque séquence d'essais doit être de 30.

Tous les essais de la séquence d'essais N° 4 doivent être des essais d'établissement-coupure. Si on effectue des essais en monophasé, l'établissement pour au moins deux d'entre eux doit se produire à un instant séparé par moins de 15 degrés électriques de l'instant correspondant à la valeur de crête de la tension appliquée.

Lors des essais d'établissement-coupure, on ne doit pas séparer les contacts du disjoncteur avant la disparition des courants transitoires consécutifs à la fermeture.

Il ne doit pas rester de charge appréciable sur les condensateurs avant une manœuvre de fermeture.

Note. — Au cas où les disjoncteurs doivent effectuer des manœuvres très fréquentes, le nombre des essais doit faire l'objet d'un accord spécial entre constructeur et utilisateur.

17.9 *Mesure des surtensions*

Les surtensions du côté de l'alimentation et du côté de la charge du disjoncteur doivent être mesurées.

18. **Essais de coupure de faibles courants inductifs**

A l'étude.

b) If point-on-wave control is not used, the number of tests in each test-duty shall be 30.

All the tests in Test-duty No. 4 shall be make-break tests. If single-phase tests are made, the closing in at least two of them shall occur within 15 electrical degrees of the peak value of the applied voltage.

When make-break tests are performed, the contacts of the circuit-breaker shall not be separated until the transient charging currents have subsided.

No appreciable charge shall remain on the capacitor before a making operation.

Note. — In case a circuit-breaker is required for very frequent operation, a special agreement between manufacturer and user on the number of tests shall be made.

17.9 *Measurement of overvoltages*

The overvoltages on the supply side and on the capacitor side of the circuit-breaker shall be measured.

18. **Small inductive current breaking tests**

Under consideration.

ANNEXE A

ENREGISTREMENTS ET COMPTES RENDUS DES ESSAIS DE TYPE CONCERNANT LE FONCTIONNEMENT EN FERMETURE, COUPURE ET PASSAGE DE COURANT DE COURTE DURÉE

1. Renseignements et résultats à mentionner

Tous renseignements utiles et résultats concernant les essais de fermeture, de coupure et de passage de courant de courte durée doivent être contenus dans le compte rendu d'essais de type.

Des enregistrements oscillographiques, conformément aux prescriptions de l'article 2 de cette annexe, doivent être faits pour toutes les manœuvres en court-circuit et doivent être inclus dans le compte rendu d'essais de type.

Pour chaque mesure au moyen d'un oscillographe et des dispositifs associés, la précision sur les grandeurs qui définissent les caractéristiques nominales (par exemple courant en court-circuit, tension appliquée et tension de rétablissement) doit être comprise entre $\pm 5\%$.

Des photographies seront prises pour illustrer l'état du disjoncteur avant et après les séries d'essais.

Le compte rendu d'essais de type doit préciser comment s'est comporté le disjoncteur pendant chaque séquence d'essais, l'état du disjoncteur après chaque séquence d'essais, dans la mesure où un examen est effectué à ce stade, et à la fin des séries de séquences d'essais. Ce relevé doit comprendre les points suivants:

- a) état du disjoncteur donnant le détail de tous les remplacements et réglages faits, ainsi que l'état des contacts des dispositifs de contrôle d'arc, de l'huile (y compris la quantité perdue) et l'indication de toutes détériorations aux pare-flammes, enveloppes, supports isolants et traversées; et
- b) description du fonctionnement durant la séquence d'essais y compris les remarques concernant l'émission d'huile, de gaz ou de flammes.

2. Renseignements à fournir dans les comptes rendus

2.1 Généralités

- a) date des essais
- b) référence ou numéro du compte rendu
- c) numéros des essais
- d) numéros des oscillogrammes

2.2 Appareils essayés

- a) type ou numéro de série
- b) description du constructeur, y compris le nombre de pôles
- c) constructeur
- d) numéros des photographies
- e) numéros des dessins

APPENDIX A

RECORDS AND REPORTS OF TYPE TESTS FOR MAKING, BREAKING AND SHORT-TIME CURRENT PERFORMANCE

1. Information and results to be recorded

All relevant information and results of making, breaking and short-time current tests shall be included in the type-test report.

Oscillographic records in accordance with Clause 2 of this Appendix, shall be made of all short-circuit operations and included in the type-test report.

The accuracy of each measurement by oscillograph, including associated equipment, of the quantities which determine the ratings (e.g. short-circuit current, applied voltage and recovery voltage) shall be within $\pm 5\%$.

Photographs should be taken to illustrate the condition of the circuit-breaker before and after the series of tests.

The type-test report shall include a statement of the performance of the circuit-breaker during each test-duty and of the condition of the circuit-breaker after each test-duty, in so far as an examination is made, and at the end of the series of test-duties. The statement shall include the following particulars:

- a) condition of circuit-breaker giving details of any replacements or adjustments made and condition of contacts, arc control devices, oil (including any quantity lost), statement of any damage to arc shields, enclosures, insulators and bushings; and
- b) description of performance during test-duty, including observations regarding emission of oil, gas or flame.

2. Information to be included in reports

2.1 General

- a) date of tests
- b) reference or report number
- c) test numbers
- d) oscillogram numbers

2.2 Apparatus tested

- a) type or list number
- b) manufacturer's description, including number of poles
- c) manufacturer
- d) photograph numbers
- e) drawing numbers

2.3 *Caractéristiques nominales assignées par le constructeur*

- a) tension en kilovolts
- b) courant en ampères
- c) fréquence en hertz
- d) pouvoir de coupure en court-circuit
 - i) valeur efficace de la composante périodique du courant en kiloampères
 - ii) pourcentage de composante apériodique
- e) durée minimale d'ouverture en millisecondes
- f) tension transitoire de rétablissement, kilovolts par microseconde/kilovolts crête
- g) impédance d'onde en ohms pour le défaut en ligne et facteur de crête
- h) pouvoir de fermeture en court-circuit (valeur de crête) en kiloampères
- i) pouvoir de coupure en discordance de phases en kiloampères
- j) durée de court-circuit en secondes
- k) séquence de manœuvres
- l) pouvoir de coupure de lignes à vide en ampères
- m) pouvoir de coupure de câble à vide en ampères
- n) pouvoir de coupure de condensateurs en ampères
- o) pouvoir de coupure de faibles courants inductifs en ampères
- p) tensions d'alimentation en volts
 - i) dispositif de fermeture
 - ii) dispositif d'ouverture
- q) limites de fonctionnement pour alimentation en air comprimé en newton par centimètre carré

2.4 *Conditions de l'essai (pour chaque série d'essais)*

- a) nombre de pôles
- b) facteur de puissance
- c) fréquence en hertz
- d) neutre du générateur (mis à la terre ou isolé)
- e) neutre du transformateur (mis à la terre ou isolé)
- f) point où est fait le court-circuit ou neutre du côté charge (mis à la terre ou isolé)
- g) schéma du circuit d'essai y compris la ou les liaisons à la terre.

2.5 *Essais de coupure et de fermeture en court-circuit*

- a) séquence d'opérations et intervalles de temps
- b) tension appliquée en kilovolts
- c) courant établi (valeur de crête) en kiloampères
- d) courant coupé
 - i) valeur efficace de la composante périodique en kiloampères
 - par phase
 - moyenne
 - ii) pourcentage de composante apériodique
- e) tension de rétablissement à fréquence industrielle en kilovolts
- f) tension transitoire de rétablissement présumée
 - i) conforme à la prescription a) du paragraphe 7.5.1; les tensions et les temps peuvent être indiqués.
 - ii) conforme à la prescription b) du paragraphe 7.5.1
- g) durée d'arc en millisecondes
- h) durée d'ouverture en millisecondes
- j) durée de coupure en millisecondes

2.3 *Rating assigned by manufacturer*

- a) voltage in kilovolts
- b) normal current in amperes
- c) frequency in hertz
- d) short-circuit breaking current
 - i) r.m.s. value of the a.c. component of current in kiloamperes
 - ii) percentage d.c. component
- e) minimum opening time in milliseconds
- f) transient recovery voltage, kilovolts per microsecond/kilovolts peak
- g) short-line fault surge impedance in ohms, and peak factor
- h) short-circuit (peak) making current in kiloamperes
- i) out-of-phase breaking-current in kiloamperes
- j) duration of short-circuit in seconds
- k) operating sequence
- l) line-charging breaking current in amperes
- m) cable charging breaking current in amperes
- n) capacitor breaking current in amperes
- o) small inductive breaking current in amperes
- p) supply voltages in volts
 - i) closing device
 - ii) opening device
- q) operating air pressure range in Newton per square centimetre

2.4 *Test conditions (for each series of tests)*

- a) number of poles
- b) power factor
- c) frequency in hertz
- d) generator neutral (earthed or insulated)
- e) transformer neutral (earthed or insulated)
- f) short-circuit point or load side neutral (earthed or insulated)
- g) diagram of test circuit including connection(s) to earth

2.5 *Short-circuit breaking and making tests*

- a) operating sequence and time intervals
- b) applied voltage in kilovolts
- c) making current (peak value) in kiloamperes
- d) breaking current
 - i) r.m.s. value of a.c. component in kiloamperes
 - per phase
 - average
 - ii) percentage d.c. component
- e) power frequency recovery voltage in kilovolts
- f) prospective transient recovery voltage
 - i) compliance with Requirement a) of Sub-clause 7.5.1; voltage and time co-ordinates may be quoted
 - ii) compliance with Requirement b) of Sub-clause 7.5.1
- g) arcing time in milliseconds
- h) opening time in milliseconds
- j) break time in milliseconds

Lorsque cela est applicable, on indiquera les durées de coupure jusqu'à l'instant de l'extinction de l'arc principal et jusqu'à l'instant de la coupure du courant de la résistance.

- k) comportement physique
 - i) émission de flammes, de gaz, d'huile, etc.
 - ii) comportement, état et remarques

2.6 *Essai au courant de courte durée admissible*

- a) courant
 - i) valeur efficace en kiloampères
 - ii) valeur de crête en kiloampères
- b) durée en secondes
- c) comportement physique

2.7 *Fonctionnement à vide*

- a) avant les essais d'établissement et de coupure
- b) après les essais d'établissement et de coupure

2.8 *Pouvoirs de coupure de lignes à vide, de câbles à vide et de condensateurs*

- a) tension d'essai en kilovolts
- b) courant coupé dans chaque phase en ampères
- c) valeurs de crête de la tension entre chaque phase et la terre en kilovolts
 - i) du côté alimentation du disjoncteur
 - ii) du côté charge du disjoncteur
- d) nombre de réamorçages (éventuellement)
- e) nombre de manœuvres
- f) détails concernant le réglage du déclenchement synchrone
- g) détails concernant le circuit d'essai utilisé
- h) comportement du disjoncteur pendant l'essai
- i) état du disjoncteur après l'essai

2.9 *Relevés oscillographiques et autres*

Les oscillogrammes doivent représenter la totalité de la manœuvre. Les grandeurs suivantes doivent être enregistrées. Certaines de ces grandeurs peuvent être enregistrées séparément et plusieurs oscillographes utilisant différentes échelles de temps peuvent être nécessaires.

- a) tension appliquée
- b) courant dans chaque pôle
- c) tension de rétablissement (tensions du côté alimentation et du côté charge du disjoncteur pour les essais de courant à vide)
- d) courant dans la bobine de fermeture
- e) courant dans la bobine d'ouverture
- f) échelle de temps convenable
- g) course des contacts mobiles (lorsque cela est possible)

Tous les cas pour lesquels les prescriptions de cette spécification ne sont pas strictement respectées et toutes les dérogations doivent être explicitement mentionnés au début du compte rendu d'essais.

Where applicable break times up to the instant of extinction of the main arc and up to the instant of the breaking of resistance current shall be given.

- k) physical behaviour
 - i) emission of flame, gas, oil, etc.
 - ii) behaviour, conditions and remarks

2.6 *Short-time current test*

- a) current
 - i) r.m.s.value in kiloamperes
 - ii) peak value in kiloamperes
- b) duration in seconds
- c) physical behaviour

2.7 *No-load operation*

- a) before making and breaking tests
- b) after making and breaking tests

2.8 *Breaking of line, cable, and capacitor charging currents*

- a) test voltage in kilovolts
- b) breaking current in each phase in amperes
- c) peak values of the voltage between each phase and earth in kilovolts
 - i) supply side of circuit-breaker
 - ii) load side of circuit-breaker
- d) number of restrikes (if any)
- e) number of test operations
- f) details of point-on-wave setting
- g) details of test circuit used
- h) behaviour of circuit-breaker during test
- i) condition of circuit-breaker after test

2.9 *Oscillographic and other records*

Oscillograms shall record the whole of the operation. The following quantities shall be recorded. Certain of these quantities may be recorded separately from the oscillograms, and several oscillographs with different time scales may be necessary.

- a) applied voltage
- b) current in each pole
- c) recovery voltage (voltages on supply and load side of circuit-breaker for charging current tests)
- d) current in closing coil
- e) current in opening coil
- f) suitable timing scale
- g) travel of moving contacts (if practicable)

All cases in which the requirements of this specification are not strictly complied with and all deviations shall be explicitly mentioned at the beginning of the test report.

ANNEXE B

DÉTERMINATION DU FACTEUR DE PUISSANCE D'UN COURT-CIRCUIT

Il n'existe pas de méthode permettant de déterminer avec précision le facteur de puissance d'un court-circuit, mais pour l'application de la présente spécification, la détermination du facteur de puissance de chaque phase du circuit d'essai pourra être faite avec une précision suffisante par celle des trois méthodes suivantes qui sera la plus appropriée.

1. Méthode I — Calcul d'après les constantes du circuit

Le facteur de puissance pourra être calculé comme étant égal au cosinus d'un angle φ tel que $\varphi = \arctg X/R$, X et R étant respectivement les valeurs de la réactance et de la résistance du circuit d'essai pendant la période d'établissement du courant de court-circuit.

En raison de la nature transitoire du phénomène, aucune méthode précise ne peut être indiquée pour déterminer X et R , mais pour l'application des présentes règles, leurs valeurs pourront être déterminées par la méthode indiquée ci-dessous:

R sera mesuré sur le circuit d'essai lui-même avec du courant continu; si le circuit comporte un transformateur, on mesurera séparément la résistance R_1 du circuit primaire et la résistance R_2 du circuit secondaire et on déterminera R par la formule:

$$R = R_2 + R_1 r^2$$

dans laquelle r sera le rapport de transformation du transformateur.

X sera alors déduit de la formule:

$$X = \sqrt{\left(\frac{E}{I}\right)^2 - R^2}$$

le rapport $\frac{E}{I}$ (impédance du circuit) étant déduit de l'oscillogramme comme indiqué à la figure 17, page 136.

2. Méthode II — Détermination d'après la composante apériodique

L'angle peut être déterminé d'après la courbe de la composante apériodique de l'onde d'un courant asymétrique entre l'instant du court-circuit et l'instant de la séparation des contacts comme suit:

2.1 La formule de la composante apériodique est:

$$i_d = I_{do} e^{-Rt/L}$$

dans laquelle

- i_d est la valeur de la composante apériodique à tout instant,
- I_{do} est la valeur initiale de la composante apériodique,
- L/R est la constante de temps du circuit en secondes,
- t est l'intervalle de temps, en secondes, entre i_d et I_{do}
- e est la base des logarithmes népériens.

APPENDIX B

DETERMINATION OF SHORT-CIRCUIT POWER FACTOR

There is no method by which the short-circuit power factor can be determined with precision, but, for the purpose of the present specification, the determination of the power factor in each phase of the test-circuit may be made with sufficient accuracy by whichever of the three following methods is the more appropriate.

1. Method I—Calculation from circuit constants

The power factor may be calculated as the cosine of an angle φ where $\varphi = \arctan X/R$, X and R being respectively the reactance and resistance of the test-circuit while the short-circuit exists.

Owing to the transitory nature of the phenomenon, no accurate method can be given for determining X and R , but for compliance with these rules the values may be determined by the following method:

R is measured in the test-circuit with direct current; if the circuit includes a transformer, the resistance R_1 of the primary circuit and the resistance R_2 of the secondary circuit are measured separately and the required value R is then given by the formula:

$$R = R_2 + R_1 r^2$$

in which r is the ratio of transformation of the transformer.

X is then obtained from the formula:

$$X = \sqrt{\left(\frac{E}{I}\right)^2 - R^2}$$

the ratio $\frac{E}{I}$ (circuit impedance) being obtained from the oscillogram as indicated in Figure 17, page 137.

2. Method II—Determination from d.c. component

The angle φ may be determined from the curve of the d.c. component of an asymmetrical current wave between the incidence of short-circuit and the instant of contact separation as follows:

2.1 The formula for the d.c. component is:

$$i_d = I_{do} e^{-Rt/L}$$

where

- i_d is the value of the d.c. component at any instant
- I_{do} is the initial value of the d.c. component
- L/R is the time constant of the circuit in seconds
- t is the time interval, in seconds, between i_d and I_{do}
- e is the base of Napierian logarithms.

La constante de temps L/R peut être déterminée d'après les formules ci-dessus comme suit:

- a) mesurer la valeur de I_{d0} au moment du court-circuit et la valeur de i_d à tout autre moment t , avant la séparation des contacts,
- b) déterminer la valeur de $e^{-Rt/L}$ en divisant i_d par I_{d0} ,
- c) d'après une table des valeurs e^{-x} , déterminer la valeur de $-x$ correspondant au rapport i_d/I_{d0} ,
- d) la valeur x représente alors Rt/L , d'où L/R peut être déterminée en divisant x par t , et ainsi on obtient L/R .

2.2 Déterminer l'angle φ de

$$\varphi = \arctg \omega L/R$$

où ω est 2π fois la fréquence réelle.

3. Méthode III — Détermination avec un générateur pilote

Lorsqu'il est fait usage d'un générateur pilote monté sur l'arbre du générateur d'essai, la tension du générateur pilote sur l'oscillogramme peut être comparée du point de vue de l'angle de phase d'abord avec celle du générateur d'essai et ensuite avec le courant du générateur d'essai.

La différence d'angle de phase entre la tension du générateur pilote et celle du générateur principal d'une part, et entre la tension du générateur pilote et le courant du générateur principal d'autre part, donne l'angle de phase entre la tension et le courant du générateur d'essai, à partir duquel on peut déterminer le facteur de puissance.

The time constant L/R can be ascertained from the above formula as follows:

- a) measure the value of I_{do} at the instant of short-circuit and the value of i_d at any other time t before contact separation,
- b) determine the value of $e^{-Rt/L}$ by dividing i_d by I_{do} ,
- c) from a table of values of e^{-x} determine the value of $-x$ corresponding to the ratio i_d/I_{do} ,
- d) the value x then represents Rt/L , from which R/L can be determined by dividing x by t , and so L/R is obtained.

2.2 Determine the angle φ from:

$$\varphi = \arctan \omega L/R$$

where ω is 2π times the actual frequency.

3. **Method III—Determination with pilot generator**

When a pilot generator is used on the same shaft as the test generator, the voltage of the pilot generator on the oscillogram may be compared in phase first with the voltage of the test generator and then with the current of the test generator.

The difference between the phase angles between pilot generator voltage and main generator voltage on the one hand, and pilot generator voltage and test generator current on the other hand gives the phase angle between the voltage and current of the test generator, from which the power factor can be determined.

ANNEXE C

DÉTERMINATION DE LA VALEUR EFFICACE ÉQUIVALENTE D'UN COURANT DE COURTE DURÉE ADMISSIBLE PENDANT UN COURT-CIRCUIT D'UNE DURÉE DONNÉE

La méthode illustrée par la figure 18, page 136, peut être utilisée pour déterminer le courant de courte durée admissible.

La durée totale BT est divisée en 10 parties égales par des verticales numérotées de 0 à 10 et la valeur efficace de la composante alternative du courant est mesurée sur ces verticales.

Ces valeurs sont désignées par

$$Z_0, Z_1, \dots, Z_{10}$$

où:

$$Z = X/\sqrt{2}$$

et X est égal à la valeur de crête de la composante périodique du courant.

La valeur efficace équivalente du courant pour la durée BT est donnée par:

$$\sqrt{\frac{1}{30} [Z_0^2 + 4(Z_1^2 + Z_3^2 + Z_5^2 + Z_7^2 + Z_9^2) + 2(Z_2^2 + Z_4^2 + Z_6^2 + Z_8^2) + Z_{10}^2]}$$

La composante aperiodique du courant représentée par CC' n'est pas à prendre en considération.

APPENDIX C

DETERMINATION OF THE EQUIVALENT R.M.S. VALUE OF A SHORT-TIME CURRENT DURING A SHORT-CIRCUIT OF A GIVEN DURATION

The method illustrated in Figure 18, page 137, should be used to determine the short-time current.

The total time BT of the test is divided into 10 equal parts by verticals 0 to 10 and the r.m.s. value of the a.c. component of the current is measured at these verticals.

These values are designated

$$Z_0, Z_1, \dots, Z_{10}$$

where:

$$Z = X/\sqrt{2}$$

and X = peak value of a.c. component of current.

The equivalent r.m.s. current during the time BT is given by:

$$\sqrt{\frac{1}{30} [Z_0^2 + 4(Z_1^2 + Z_3^2 + Z_5^2 + Z_7^2 + Z_9^2) + 2(Z_2^2 + Z_4^2 + Z_6^2 + Z_8^2) + Z_{10}^2]}$$

The d.c. component of current represented by CC' is not taken into account.

ANNEXE D

MÉTHODE DE TRACÉ DE L'ENVELOPPE DE LA TENSION TRANSITOIRE DE RÉTABLISSEMENT PRÉSUMÉE D'UN CIRCUIT ET DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES REPRÉSENTATIFS

1. Introduction

Une onde de tension transitoire de rétablissement peut se présenter sous différentes formes aussi bien oscillatoires que non oscillatoires.

L'onde peut être définie au moyen d'une enveloppe constituée de trois segments de droite consécutifs; lorsque l'onde correspond sensiblement à une oscillation amortie à une seule fréquence, l'enveloppe elle-même se réduit à deux segments de droite consécutifs. Dans tous les cas, l'enveloppe doit refléter d'aussi près que possible la forme réelle de la tension transitoire de rétablissement. La méthode décrite dans cette annexe permet d'atteindre ce résultat dans la majorité des cas pratiques avec une approximation suffisante.

Note. — Néanmoins, on peut rencontrer certains cas pour lesquels la construction proposée conduirait à des paramètres manifestement plus sévères que la représentation par une courbe de la tension transitoire de rétablissement. De tels cas doivent être considérés comme des exceptions et doivent, en conséquence, faire l'objet d'un accord entre constructeur et utilisateur ou le laboratoire d'essais.

2. Tracé de l'enveloppe

La méthode suivante est utilisée pour construire les segments de droite formant l'enveloppe de la courbe de la tension transitoire de rétablissement présumée:

2.1 Le premier segment de droite passe par l'origine O, est tangent à la courbe et ne doit pas la couper.

Dans le cas de courbes dont la *partie initiale* présente une concavité vers la gauche, le point de contact est souvent au voisinage de la première crête (voir le segment OB sur les figures 12 et 13, page 133).

Si la concavité est tournée vers la droite comme dans le cas d'une courbe exponentielle, le point de contact est au voisinage de l'origine (voir le segment OB sur la figure 14, page 134).

2.2 Le deuxième segment de droite a pour support une ligne horizontale tangente à la courbe au point correspondant à la crête la plus élevée (voir segment AC sur les figures 12 à 15, pages 133 et 134).

2.3 Le troisième segment de droite est tangent à la courbe en un ou plusieurs points situés entre les deux premiers points de contact et ne doit pas couper la courbe.

Trois cas peuvent se présenter pour le tracé de ce dernier segment de droite.

2.3.1 On ne peut tracer qu'un seul segment qui touche la courbe en deux points (ou même en plus de deux points).

Dans ce cas, il fait partie de l'enveloppe (voir le segment BA sur la figure 12).

On obtient ainsi l'enveloppe à 4 paramètres O, B, A, C.

2.3.2 On peut tracer plusieurs segments susceptibles de toucher la courbe en deux points (ou même en plus de deux points) sans la couper:

APPENDIX D

METHOD OF DRAWING THE ENVELOPE OF THE PROSPECTIVE TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE OF A CIRCUIT AND DETERMINING THE REPRESENTATIVE PARAMETERS

1. Introduction

A transient recovery voltage wave may assume different forms, both oscillatory and non-oscillatory.

The wave may be defined by means of an envelope made up of three consecutive line segments; when the wave approaches that of a damped oscillation at one single frequency, the envelope resolves itself into two consecutive line segments. In all cases, the envelope should reflect as closely as possible the actual shape of the transient recovery voltage. The method described here enables this aim to be achieved in the majority of practical cases with sufficient approximation.

Note. — Nevertheless, some cases may arise where the proposed construction would lead to parameters quite obviously more severe than would be justified by the transient recovery voltage curve. Such cases should be dealt with as exceptions and should therefore form the subject of an agreement between the manufacturer and the user or the test laboratory.

2. Drawing the envelope

The following method is used for constructing the line segments forming the envelope of the prospective transient recovery voltage curve:

- 2.1 *The first line segment* passes through the origin O, is tangential to the curve, and does not cut the curve.

In the case of curves whose *initial portion* is concave towards the left, the point of contact is often in the vicinity of the first peak (see Figures 12 and 13, page 133, segment OB).

If the concavity is towards the right, as in the case of an exponential, the point of contact is near the origin (see Figure 14, page 134, segment OB).

- 2.2 *The second line segment* is a horizontal line tangential to the curve at its highest peak (see Figures 12 to 15, pages 133 and 134, segment AC).

- 2.3 *The third line segment* is tangential to the curve at one or more points situated between the first two points of contact, and does not cut the curve.

There are three possible cases of drawing this latter line segment:

- 2.3.1 One single line segment can be drawn touching the curve at two points (or possibly at more than two points).

In this case, it forms part of the envelope (see Figure 12, segment BA).

The 4-parameter envelope O, B, A, C is then obtained.

- 2.3.2 Several segments can be drawn which touch the curve at two points (or possibly at more than two points) without cutting it:

Dans ce cas, le segment à utiliser pour former l'enveloppe est celui qui touche la courbe en un seul point situé de telle façon que les aires de chaque côté de ce point, comprises entre la courbe et l'enveloppe, soient sensiblement égales (voir segment BA sur la figure 13, page 133).

On obtient ainsi l'enveloppe à 4 paramètres O, B, A, C.

- 2.3.3 On ne peut tracer qu'un segment susceptible de toucher la courbe en plus d'un point sans la couper:
Dans ce cas, il faut faire la distinction suivante:

- a) Le point de contact du premier segment de droite et la crête la plus élevée sont relativement éloignés l'un de l'autre. C'est le cas typique d'une courbe exponentielle ou d'une courbe sensiblement exponentielle.

Dans ce cas, le segment de droite doit être tangent à la courbe en un point tel que les aires de part et d'autre de ce point, comprises entre la courbe et l'enveloppe, soient sensiblement égales comme pour le cas 2.3.2 ci-dessus (voir segment BA sur la figure 14, page 134).

On obtient ainsi l'enveloppe à 4 paramètres O, B, A, C.

- b) Le point de contact du premier segment de droite et la crête la plus élevée sont relativement voisins l'un de l'autre. C'est le cas d'une courbe représentant une oscillation amortie à une seule fréquence ou d'une courbe de forme similaire.

Dans ce cas, on ne trace pas un 3e segment de droite et on adopte une représentation par deux paramètres correspondant aux deux premiers segments de droite (voir figure 15, page 134).

On obtient ainsi l'enveloppe à 2 paramètres O, A, C.

3. Détermination des paramètres

Les paramètres représentatifs sont, par définition, les coordonnées des points d'intersection des segments de droite constituant l'enveloppe.

Lorsque l'enveloppe est formée de trois segments de droite, les quatre paramètres u_1 , t_1 , u_c et t_2 , indiqués dans les figures 12, 13 et 14, peuvent être obtenus en prenant les coordonnées des points d'intersection B et A.

Lorsque l'enveloppe n'est formée que de deux segments de droite, les deux paramètres u_c et t_3 , indiqués sur la figure 15, peuvent être obtenus en prenant les coordonnées du point d'intersection A.

In this case, the segment to be used for the envelope is that which touches the curve at one point only, situated so that the areas on either side of this point between the curve and the envelope are approximately equal (see Figure 13, page 133, segment BA):

The 4-parameter envelope O, B, A, C is then obtained.

2.3.3 No segment can be drawn touching the curve at more than one point without cutting it:

In this case, the following distinction should be made:

- a) The point of contact of the first line segment and the highest peak are comparatively far apart from each other. This is typically the case for an exponential curve or a curve approximating to an exponential.

In this case, the line segment shall be tangential to the curve at a point such that the areas on either side of this point between the curve and the envelope are approximately equal, as in case 2.3.2 above (see Figure 14, page 134, segment BA).

The 4-parameter envelope O, B, A, C is then obtained.

- b) The point of contact of the first line segment and the highest peak are comparatively close to each other. This is the case for a curve representing a damped oscillation of single frequency or a curve of similar shape.

In this case a third line segment is not drawn, and representation by two parameters, corresponding to the first two line segments, is adopted (see Figure 15, page 134).

The 2-parameter envelope O, A, C is then obtained.

3. **Determination of parameters**

The representative parameters are, by definition, the co-ordinates of the points of intersection of the line segments constituting the envelope.

When the envelope is composed of three line segments, the *four parameters* u_1 , t_1 , u_c and t_2 , shown in Figures 12, 13 and 14, can be obtained as co-ordinates of the points of intersection B and A.

When the envelope is composed of two line segments only, the *two parameters* u_c and t_3 , shown in Figure 15, can be obtained as co-ordinates of the point of intersection A.