

AVRIL 2013

www.afnor.org

Ce document est à usage exclusif et non collectif des clients AFNOR.
Toute mise en réseau, reproduction et rediffusion, sous quelque forme que ce soit,
même partielle, sont strictement interdites.

This document is intended for the exclusive and non collective use of AFNOR customers.
All network exploitation, reproduction and re-dissemination,
even partial, whatever the form (hardcopy or other media), is strictly prohibited.



**DOCUMENT PROTÉGÉ
PAR LE DROIT D'AUTEUR**

Droits de reproduction réservés. Sauf
prescription différente, 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 accord formel.

Contacter :
AFNOR – Norm'Info
11, rue Francis de Pressensé
93571 La Plaine Saint-Denis Cedex
Tél : 01 41 62 76 44
Fax : 01 49 17 92 02
E-mail : norminfo@afnor.org

afnor

AFNOR

Pour : VINCI ENERGIES

Email: ayoub.elbannany@cegelec.com

Identité: VINCI ENERGIES - ELBANNANY Ayoub

Code siren : 39163584400023

Client : 3610200

Le : 02/10/2023 à 12:55

Diffusé avec l'autorisation de l'éditeur

Distributed under licence of the publisher

norme française

NF EN 62271-101
6 avril 2013

Indice de classement : **C 64-471-101**

ICS : 29.130.10

Appareillage à haute tension -

Partie 101 : Essais synthétiques

E : High-voltage switchgear and controlgear -
Part 101: Synthetic testing

D : Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen -
Teil 101: Synthetische Prüfung

Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR.

Remplace la Norme homologuée NF EN 62271-101, de novembre 2006 et son amendement A1, de janvier 2011 qui restent en vigueur jusqu'en novembre 2015.

Correspondance

La Norme européenne EN 62271-101:2013 a le statut d'une Norme française et reproduit intégralement la Norme internationale CEI 62271-101:2012.

Résumé

Le présent document s'applique principalement aux disjoncteurs à courant alternatif définis dans le domaine d'application de la NF EN 62271-100. Il donne les règles générales d'essais de ces disjoncteurs, pour les pouvoirs de fermeture et de coupure dans la gamme des séquences d'essais décrites de 6.102 à 6.111 de la NF EN 62271-100:2009, à l'aide de méthodes d'essais synthétiques.

Le présent document doit être lu conjointement avec la norme homologuée NF EN 62271-100 de juin 2009.

Descripteurs

Appareillage haute tension, appareil de coupure électrique, disjoncteur, courant alternatif, définition, essai électrique, essai de type, essai de coupure, courant électrique, courant de court-circuit, circuit électrique, pouvoir de fermeture.

Modifications

Par rapport aux documents remplacés, publication d'une nouvelle édition qui inclut des modifications techniques majeures.

Corrections

La norme

La norme est destinée à servir de base dans les relations entre partenaires économiques, scientifiques, techniques et sociaux.

La norme par nature est d'application volontaire. Référencée dans un contrat, elle s'impose aux parties. Une réglementation peut rendre d'application obligatoire tout ou partie d'une norme.

La norme est un document élaboré par consensus au sein d'un organisme de normalisation par sollicitation des représentants de toutes les parties intéressées. Son adoption est précédée d'une enquête publique.

La norme fait l'objet d'un examen régulier pour évaluer sa pertinence dans le temps.

Toute norme est réputée en vigueur à partir de la date présente sur la première page.

Pour comprendre les normes

L'attention du lecteur est attirée sur les points suivants :

Seules les formes verbales **doit** et **doivent** sont utilisées pour exprimer une ou des exigences qui doivent être respectées pour se conformer au présent document. Ces exigences peuvent se trouver dans le corps de la norme ou en annexe qualifiée de "normative". Pour les méthodes d'essai, l'utilisation de l'infinitif correspond à une exigence.

Les expressions telles que, **il convient** et **il est recommandé** sont utilisées pour exprimer une possibilité préférée mais non exigée pour se conformer au présent document. Les formes verbales **peut** et **peuvent** sont utilisées pour exprimer une suggestion ou un conseil utiles mais non obligatoires, ou une autorisation.

En outre, le présent document peut fournir des renseignements supplémentaires destinés à faciliter la compréhension ou l'utilisation de certains éléments ou à en clarifier l'application, sans énoncer d'exigence à respecter. Ces éléments sont présentés sous forme de **notes ou d'annexes informatives**.

Commission de normalisation

Une commission de normalisation réunit, dans un domaine d'activité donné, les expertises nécessaires à l'élaboration des normes françaises et des positions françaises sur les projets de norme européenne ou internationale. Elle peut également préparer des normes expérimentales et des fascicules de documentation.

Si vous souhaitez commenter ce texte, faire des propositions d'évolution ou participer à sa révision, adressez vous à ute@ute.asso.fr.

La composition de la commission de normalisation qui a élaboré le présent document est donnée ci-après. Lorsqu'un expert représente un organisme différent de son organisme d'appartenance, cette information apparaît sous la forme : organisme d'appartenance (organisme représenté).

UTE

– III –

NF EN 62271-101

Appareillage

UTE/UF 17

Liste des organismes représentés dans la commission de normalisation

Secrétariat : UTE

EDF (ELECTRICITE DE FRANCE)

GIMELEC (GROUPEMENT DES INDUSTRIES DE L'EQUIPEMENT ELECTRIQUE, DU CONTRÔLE-COMMANDE ET DES SERVICES ASSOCIES)

JEANJEAN Robert

MINISTERE DU TRAVAIL, DES RELATIONS SOCIALES, DE LA FAMILLE, DE LA SOLIDARITE ET DE LA VILLE

RTE (RESEAU DE TRANSPORT DE L'ELECTRICITE)

SNCF (SOCIETE NATIONALE DES CHEMINS DE FER FRANCAIS)

SYCABEL (SYNDICAT PROFESSIONNEL DES FABRICANTS DE FILS ET CABLES ELECTRIQUES ET DE COMMUNICATION)

AVANT-PROPOS NATIONAL

Ce document constitue la version française complète de la Norme européenne EN 62271-101:2013 qui reproduit le texte de la publication CEI 62271-101:2012.

Les modifications du CENELEC (dans le présent document, l'annexe ZA uniquement) sont signalées par un trait vertical dans la marge gauche du texte.

Cette Norme française fait référence à des Normes internationales. Quand une Norme internationale citée en référence a été entérinée comme Norme européenne, ou bien quand une Norme d'origine européenne existe, la Norme française issue de cette Norme européenne est applicable à la place de la Norme internationale.

L'Union Technique de l'Électricité a voté favorablement au CENELEC sur le projet d'EN 62271-101, le 31 août 2012.

NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD

EN 62271-101

Janvier 2013

ICS 29.130.10

Remplace EN 62271-101:2006 + A1:2010

Version française

**Appareillage à haute tension -
Partie 101: Essais synthétiques
(CEI 62271-101:2012)**

Hochspannungs-Schaltgeräte und -
Schaltanlagen -
Teil 101: Synthetische Prüfung
(IEC 62271-101:2012)

High-voltage switchgear and controlgear -
Part 101: Synthetic testing
(IEC 62271-101:2012)

UTE

La présente Norme Européenne a été adoptée par le CENELEC le 2012-11-16. Les membres du CENELEC sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la Norme Européenne.

Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du CEN-CENELEC Management Centre ou auprès des membres du CENELEC.

La présente Norme Européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version dans une autre langue faite par traduction sous la responsabilité d'un membre du CENELEC dans sa langue nationale, et notifiée au CEN-CENELEC Management Centre, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CENELEC sont les comités électrotechniques nationaux des pays suivants: Allemagne, Ancienne République yougoslave de Macédoine, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse et Turquie.

CENELEC

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

Management Centre: Avenue Marnix 17, B - 1000 Bruxelles

Avant-propos

Le texte du document 17A/1015/FDIS, future édition 2 de la CEI 62271-101, préparé par le SC 17A, "Appareillage à haute tension", du CE 17 de la CEI, "Appareillage", a été soumis au vote parallèle CEI-CENELEC et approuvé par le CENELEC en tant que EN 62271-101:2013.

Les dates suivantes sont fixées :

- date limite à laquelle ce document (dop) 2013-08-16
doit être mis en application au niveau national par publication d'une norme nationale identique ou par entérinement
- date limite à laquelle les normes (dow) 2015-11-16 nationales conflictuelles doivent être annulées

Ce document remplace l'EN 62271-101:2006 + A1:2010.

L'EN 62271-101:2013 inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'EN 62271-101:2006:

- ajout des nouvelles tensions assignées 1 100 kV et 1 200 kV;
- révision de l'Annexe F qui traite des disjoncteurs équipés de résistances d'ouverture;
- alignement avec l'EN 62271-100:2009 + A1:2012.

Cette publication doit être lue conjointement avec l'EN 62271-100:2009, à laquelle elle se réfère. La numérotation des paragraphes de l'Article 6 reprend celle de l'EN 62271-100. Néanmoins, tous les paragraphes de l'EN 62271-100 ne sont pas concernés, uniquement ceux où les essais synthétiques ont introduit des changements.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. Le CENELEC [et/ou le CEN] ne saurait [sauraient] être tenu[s] pour responsable[s] de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

SOMMAIRE

Avant-propos	2
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives	8
3 Termes et définitions	8
4 Techniques et méthodes d'essais synthétiques pour les essais de coupure en court-circuit	10
4.1 Principes fondamentaux et exigences générales pour les méthodes d'essais synthétiques de coupure	10
4.2 Circuit synthétiques et exigences spécifiques relatives aux essais de coupure	13
4.3 Méthodes d'essais synthétiques triphasés	16
5 Techniques et méthodes d'essais synthétiques pour les essais d'établissement en court-circuit	18
5.1 Principes fondamentaux et exigences générales pour les méthodes d'essais synthétiques d'établissement	18
5.2 Circuit d'essais synthétiques pour essais d'établissement et exigences spécifiques s'y rapportant	19
6 Exigences spécifiques pour les essais synthétiques de fermeture et de coupure relatives aux exigences de 6.102 à 6.111 de la CEI 62271-100:2008	20
Annexe A (informative) Déformation du courant	42
Annexe B (informative) Méthodes par injection de courant	58
Annexe C (informative) Méthodes par injection de tension	62
Annexe D (informative) Circuit de Skeats ou double transformateur	65
Annexe E (normative) Indications à donner et résultats à enregistrer lors d'essais synthétiques	68
Annexe F (normative) Méthodes d'essais synthétiques pour les disjoncteurs équipés de résistances d'ouverture	69
Annexe G (informative) Méthodes d'essais synthétiques pour l'essai d'établissement et de coupure de courants capacitifs	77
Annexe H (informative) Méthodes de réallumage pour l'entretien de l'arc	89
Annexe I (normative) Réduction du di/dt et de la TTR pour la séquence d'essais T100a	92
Annexe J (informative) Circuits d'essais synthétiques triphasés	101
Annexe K (normative) Procédure d'essai utilisant un circuit de courant triphasé et un circuit de tension	109
Annexe L (normative) Séparation des séquences d'essais en séries d'essais en tenant compte de la TTR exacte de chaque pôle à couper	129
Annexe M (normative) Tolérances sur les paramètres d'essais lors des essais de type	151
Annexe N (informative) Circuits d'essai types pour les disjoncteurs sous enveloppe métallique et à cuve mise à la terre	154
Annexe O (informative) Combinaison des méthodes par injection de courant et par injection de tension	164
Annexe ZA (normative) Références normatives à d'autres publications internationales avec les publications européennes correspondantes	167
Bibliographie	168
Figure 1 – Processus de coupure – Périodes principales	33

Figure 2 – Exemples d'évaluation de la tension de rétablissement	34
Figure 3 – Impédance d'onde équivalente du circuit de tension pour la méthode par injection de courant	35
Figure 4 – Processus d'établissement – Instants principaux	36
Figure 5 – Circuit type d'essais synthétiques d'établissement pour les essais monophasés	37
Figure 6 – Circuit type d'essais synthétiques d'établissement pour les essais en discordance de phase	38
Figure 7 – Circuit type d'essais synthétiques d'établissement pour les essais triphasés ($k_{pp} = 1,5$)	39
Figure 8 – Comparaison des réglages de la durée d'arc pendant les essais directs triphasés (gauche) et les essais synthétiques triphasés (droite) pour T100s avec $k_{pp} = 1,5$..	40
Figure 9 – Comparaison des réglages de la durée d'arc pendant les essais directs triphasés (gauche) et les essais synthétiques triphasés (droite) pour T100a avec $k_{pp} = 1,5$..	41
Figure A.1 – Circuit direct, schéma simplifié	49
Figure A.2 – Courant de court-circuit présumé	49
Figure A.3 – Courant déformant	49
Figure A.4 – Courant déformant	50
Figure A.5 – Schéma de circuit simplifié	51
Figure A.6 – Caractéristiques du courant et de la tension d'arc pour courant symétrique	52
Figure A.7 – Caractéristiques de courant et de tension d'arc pour courant asymétrique	53
Figure A.8 – Réduction de l'amplitude et de la durée de la dernière alternance d'arc de courant	54
Figure A.9 – Réduction de l'amplitude et de la durée de la dernière alternance d'arc de courant	55
Figure A.10 – Réduction de l'amplitude et de la durée de la dernière alternance d'arc de courant	56
Figure A.11 – Réduction de l'amplitude et de la durée de la dernière alternance d'arc de courant	57
Figure B.1 – Circuit type à injection de courant où le circuit de tension est en parallèle avec le disjoncteur en essai	59
Figure B.2 – Séquence de l'injection du courant dans le circuit de la Figure B.1	60
Figure B.3 – Exemples de détermination de la durée de changement significatif de la tension d'arc à partir d'oscillogrammes	61
Figure C.1 – Schéma caractéristique de l'injection de tension avec le circuit de tension en parallèle avec le disjoncteur auxiliaire (schéma simplifié)	63
Figure C.2 – Formes d'ondes de TTR obtenues dans un circuit à injection de tension avec le circuit de tension en parallèle avec le disjoncteur auxiliaire	64
Figure D.1 – Circuit de Skeats ou par transformateur	66
Figure D.2 – Circuit de Skeats ou par transformateur déclenché	67
Figure F.1 – Circuit d'essais de vérification du réallumage thermique de l'interrupteur principal	73
Figure F.2 – Circuit d'essais de vérification du réallumage diélectrique de l'interrupteur principal	74
Figure F.3 – Circuit d'essais de l'interrupteur de résistance	75
Figure F.4 – Exemple de circuit d'essais pour essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs sur l'interrupteur principal	76

Figure F.5 – Exemple de circuit d'essais pour essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs sur l'interrupteur de résistance	76
Figure G.1 – Circuits de courant capacitif (mode parallèle)	80
Figure G.2 – Circuit à injection de courant.....	81
Figure G.3 – Circuit oscillant LC.....	82
Figure G.4 – Circuit de courant inductif en parallèle avec le circuit oscillant LC	83
Figure G.5 – Circuit à injection de courant, tension de rétablissement normale appliquée aux deux bornes du disjoncteur	84
Figure G.6 – Circuit d'essais synthétiques (circuit série), tension de rétablissement normale appliquée aux deux bornes du disjoncteur en essai	85
Figure G.7 – Circuit à injection de courant, tension de rétablissement appliquée aux deux bornes du disjoncteur	86
Figure G.8 – Circuit d'essai d'établissement	87
Figure G.9 – Circuit d'essai d'établissement du courant d'appel de fermeture.....	88
Figure H.1 – Schéma type du circuit de réallumage servant à prolonger la durée d'arc	90
Figure H.2 – Circuits combinés à injection de courant et de Skeats	90
Figure H.3 – Formes d'ondes typiques obtenues pendant un essai asymétrique en utilisant le circuit de la Figure H.2	91
Figure J.1 – Circuit combiné d'essais synthétiques triphasés	103
Figure J.2 – Formes d'ondes de courants, tensions phase-terre et entre phases pendant un essai synthétique triphasé (T100s; $k_{pp} = 1,5$) réalisé conformément au circuit combiné d'essais synthétiques triphasés	104
Figure J.3 – Circuit d'essais synthétiques triphasés avec injection dans toutes les phases pour $k_{pp} = 1,5$	105
Figure J.4 – Formes d'ondes de courants et tensions phase-terre pendant un essai synthétique triphasé (T100s; $k_{pp} = 1,5$) réalisé conformément au circuit d'essais synthétiques triphasés avec injection dans toutes les phases	106
Figure J.5 – Circuit d'essais synthétiques triphasés pour les essais de défauts aux bornes avec $k_{pp} = 1,3$ (méthode par injection de courant)	107
Figure J.6 – Formes d'ondes de courants, tensions phase-terre et entre phases pendant un essai synthétique triphasé (T100s; $k_{pp} = 1,3$) réalisé conformément au circuit d'essais synthétiques triphasés représenté à la Figure J.5.....	107
Figure J.7 – Formes d'ondes de la TTR du circuit d'essai décrit à la Figure J.5	108
Figure K.1 – Exemple d'un circuit de courant triphasé avec une injection synthétique monophasée.....	120
Figure K.2 – Représentation des conditions d'essais du Tableau K.1	121
Figure K.3 – Représentation des conditions d'essais du Tableau K.2	122
Figure K.4 – Représentation des conditions d'essais du Tableau K.3	123
Figure K.5 – Représentation des conditions d'essais du Tableau K.4	124
Figure K.6 – Représentation des conditions d'essais du Tableau K.5	125
Figure K.7 – Représentation des conditions d'essais du Tableau K.6	126
Figure K.8 – Représentation des conditions d'essais du Tableau K.7	127
Figure K.9 – Représentation des conditions d'essais du Tableau K.8	128
Figure L.1 – Représentation graphique de l'essai représenté au Tableau L.6	139
Figure L.2 – Représentation graphique de l'essai représenté au Tableau L.7	140
Figure N.1 – Circuit d'essai pour essais par éléments séparés (disjoncteur avec interaction due à la circulation de gaz)	155

Figure N.2 – Essais d'un demi-pôle d'un disjoncteur dans le circuit d'essai donné à la Figure N.1 – Exemple des TTR requises devant être appliquées entre les bornes de l'unité (des unités) soumise(s) à l'essai et entre les parties sous tension et l'enveloppe isolée	156
Figure N.3 – Circuit d'essai synthétique pour essais par éléments séparés (si l'essai par éléments séparés est autorisé par le 6.102.4.2 de la CEI 62271-100:2008).....	157
Figure N.4 – Essais d'un demi-pôle d'un disjoncteur dans le circuit d'essai de la Figure N.3 – Exemple des TTR requises devant être appliquées entre les bornes de l'unité (des unités) soumise(s) à l'essai et entre les parties sous tension et l'enveloppe isolée.....	158
Figure N.5 – Circuit pour essais capacitifs avec injection de courant avec enveloppe du disjoncteur sous tension	159
Figure N.6 – Circuit synthétique pour essais capacitifs utilisant deux sources à fréquence industrielle et avec l'enveloppe du disjoncteur sous tension	160
Figure N.7 – Circuit synthétique pour essais capacitifs avec injection de courant – Exemple d'essais par éléments séparés d'un demi-pôle d'un disjoncteur ayant deux éléments par pôle – Enveloppe alimentée par une source de tension c.c.....	161
Figure N.8 – Circuit d'essai synthétique symétrique pour les essais d'établissement et de coupure en discordance de phases d'un pôle complet de disjoncteur	162
Figure N.9 – Essai de pôle complet avec une tension appliquée aux bornes et à l'enveloppe métallique	163
Figure O.1 – Exemple de circuit combiné d'injection de courant et de tension avec application de la tension d'essai complète par rapport à la terre	165
Figure O.2 – Exemple de circuit combiné d'injection de courant et de tension avec application séparée de la tension d'essai	166
Tableau 1 – Circuits d'essais pour les séquences d'essais T100s et T100a.....	16
Tableau 2 – Paramètres d'essais pendant la coupure triphasée pour les séquences T10, T30, T60 et T100s $k_{pp} = 1,5$	17
Tableau 3 – Paramètres d'essais pendant la coupure triphasée pour les séquences T10, T30, T60 et T100s $k_{pp} = 1,3$	17
Tableau 4 – Paramètres d'essais pendant la coupure triphasée pour les séquences T10, T30, T60 et T100s $k_{pp} = 1,2$	18
Tableau 5 – Méthodes d'essais synthétiques pour les séquences d'essais T10, T30, T60, T100s, T100a, SP, DEF, OP et SLF.....	31
Tableau I.1 – Réduction du di/dt de la dernière alternance pour 50 Hz pour $k_{pp} = 1,3$ et 1,5.....	92
Tableau I.2 – Réduction du di/dt de la dernière alternance pour 50 Hz pour $k_{pp} = 1,2$	93
Tableau I.3 – Réduction du di/dt de la dernière alternance pour 60 Hz pour $k_{pp} = 1,3$ et 1,5	94
Tableau I.4 – Réduction du di/dt de la dernière alternance pour 60 Hz pour $k_{pp} = 1,2$	95
Tableau I.5 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle à couper pour $k_{pp} = 1,3$ et $f_r = 50$ Hz	96
Tableau I.6 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle à couper pour $k_{pp} = 1,3$ et $f_r = 60$ Hz	97
Tableau I.7 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle à couper pour $k_{pp} = 1,5$ et $f_r = 50$ Hz	98
Tableau I.8 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle à couper pour $k_{pp} = 1,5$ et $f_r = 60$ Hz	99
Tableau I.9 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle à couper pour $k_{pp} = 1,2$ et $f_r = 50$ Hz	99
Tableau I.10 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle à couper pour $k_{pp} = 1,2$ et $f_r = 60$ Hz	100

Tableau K.1 – Démonstration des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,5$	110
Tableau K.2 – Démonstration alternative des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,5$	111
Tableau K.3 – Démonstration des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,3$	112
Tableau K.4 – Démonstration alternative des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,3$	113
Tableau K.5 – Démonstration des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,5$	114
Tableau K.6 – Démonstration alternative des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,5$	115
Tableau K.7 – Démonstration des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,3$	116
Tableau K.8 – Démonstration alternative des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,3$	117
Tableau K.9 – Procédure de combinaison de $k_{pp} = 1,5$ et 1,3 pendant les séquences d'essais T10, T30, T60 et T100s(b).....	118
Tableau K.10 – Procédure de combinaison de $k_{pp} = 1,5$ et 1,3 pendant la séquence d'essais T100a	119
Tableau L.1 – Procédure d'essai pour $k_{pp} = 1,5$	131
Tableau L.2 – Procédure d'essai pour $k_{pp} = 1,3$	132
Tableau L.3 – Procédure d'essai simplifiée pour $k_{pp} = 1,3$	133
Tableau L.4 – Procédure d'essai pour $k_{pp} = 1,2$	134
Tableau L.5 – Procédure d'essai simplifiée pour $k_{pp} = 1,2$	135
Tableau L.6 – Procédure d'essai pour des courants asymétriques dans le cas $k_{pp} = 1,5$...	136
Tableau L.7 – Procédure d'essai pour des courants asymétriques dans le cas $k_{pp} = 1,3$...	137
Tableau L.8 – Procédure d'essai pour des courants asymétriques dans le cas $k_{pp} = 1,2$...	138
Tableau L.9 – Paramètres d'essais requis pour les différentes conditions asymétriques pour $k_{pp} = 1,5$, $f_r = 50$ Hz	141
Tableau L.10 – Paramètres d'essais requis pour les différentes conditions asymétriques pour $k_{pp} = 1,3$, $f_r = 50$ Hz	142
Tableau L.11 – Paramètres d'essais requis pour les différentes conditions asymétriques pour $k_{pp} = 1,2$, $f_r = 50$ Hz	143
Tableau L.12 – Paramètres d'essais requis pour les différentes conditions asymétriques pour $k_{pp} = 1,5$, $f_r = 60$ Hz	144
Tableau L.13 – Paramètres d'essais requis pour les différentes conditions asymétriques pour $k_{pp} = 1,3$, $f_r = 60$ Hz	146
Tableau L.14 – Paramètres d'essais requis pour les différentes conditions asymétriques pour $k_{pp} = 1,2$, $f_r = 60$ Hz	148
Tableau L.15 – Procédure de combinaison de $k_{pp} = 1,5$ et 1,3 pendant les séquences d'essais T10, T30, T60 et T100s(b).....	149
Tableau L.16 – Procédure de combinaison de $k_{pp} = 1,5$ et 1,3 pendant la séquence d'essais T100a	150
Tableau M.1 – Tolérances sur les paramètres d'essais lors des essais de type (1 de 2)	152

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION –

Partie 101: Essais synthétiques

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62271 s'applique principalement aux disjoncteurs à courant alternatif définis dans le domaine d'application de la CEI 62271-100. Elle donne les règles générales d'essais de ces disjoncteurs, pour les pouvoirs de fermeture et de coupure dans la gamme des séquences d'essais décrites de 6.102 à 6.111 de la CEI 62271-100:2008, à l'aide de méthodes d'essais synthétiques.

Il a été démontré que l'essai synthétique est un moyen économique et techniquement valable pour essayer les disjoncteurs à courant alternatif à haute tension selon les exigences de la CEI 62271-100, et qu'il est équivalent à un essai direct.

Les méthodes et techniques décrites sont celles d'usage courant. L'objet de la présente norme est d'établir des critères pour les essais synthétiques et pour l'évaluation correcte des résultats. Ces critères établissent la validité de la méthode d'essai sans limiter l'invention de nouveaux circuits d'essais.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 62271-100:2008, *Appareillage à haute tension – Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif*
Amendement 1:2012

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de la CEI 62271-100, ainsi que les suivants, s'appliquent.

3.1

essai direct

essai dans lequel la tension appliquée, le courant, la tension de rétablissement, transitoire et à fréquence industrielle, sont tous obtenus à partir d'un circuit ayant une seule source de puissance, laquelle peut être un réseau ou des alternateurs spéciaux comme ceux qui sont utilisés dans les stations d'essais de court-circuit ou une combinaison des deux

3.2

essai synthétique

essai dans lequel la totalité du courant ou la plus grande partie de celui-ci est obtenue à partir d'une source (circuit de courant) et dans lequel la tension appliquée et/ou les tensions de rétablissement (transitoire et à fréquence industrielle) sont obtenues en totalité ou en partie à partir d'une ou de plusieurs sources séparées (circuits de tension)

3.3

disjoncteur en essai

disjoncteur soumis aux essais

3.4

disjoncteur auxiliaire

disjoncteur introduit dans le circuit d'essais synthétiques et utilisé pour séparer ou relier les différents circuits au disjoncteur en essai

3.5

circuit de courant

partie du circuit d'essais synthétiques fournissant la plus grande part du courant à fréquence industrielle ou sa totalité

3.6

circuit de tension

partie du circuit d'essais synthétiques fournissant la plus grande part de la tension appliquée et/ou de la tension de rétablissement ou sa totalité

3.7

courant présumé (d'un circuit pour un disjoncteur donné)

courant qui circulerait dans le circuit si chaque pôle du disjoncteur en essai et du disjoncteur auxiliaire était remplacé par un conducteur d'impédance négligeable

[SOURCE: CEI 60050-441:1984, 441-17-01, modifiée]

3.8

courant réel

courant circulant dans le disjoncteur en essai (courant présumé modifié par les tensions d'arc des disjoncteurs en essai et auxiliaire)

3.9

courant déformant

courant calculé égal à la différence entre le courant présumé et le courant réel

3.10

courant post-arc

courant qui circule dans l'espace entre les contacts d'arc d'un disjoncteur lorsque le courant et la tension d'arc sont devenus nuls et que la tension transitoire de rétablissement a commencé à croître

3.11

méthode par injection de courant

méthode d'essais synthétiques dans laquelle le circuit de tension est appliqué au disjoncteur en essai avant le zéro de courant à fréquence industrielle

3.12

courant transitoire initial d'établissement

ITMC

courant transitoire circulant à travers le disjoncteur lors de l'établissement à l'instant du claquage en tension et avant le début du courant généré par le circuit de courant

3.13

courant injecté

courant fourni par le circuit de tension d'un circuit à injection de courant au moment où cette source est reliée au disjoncteur en essai

3.14

méthode par injection de tension

méthode d'essais synthétiques dans laquelle le circuit de tension est appliqué au disjoncteur en essai après le zéro de courant à fréquence industrielle

3.15

conditions du réseau de référence

conditions d'un réseau électrique ayant les paramètres constitutifs dont les valeurs assignées et les valeurs d'essais de la CEI 62271-100 sont dérivées

3.16

retard de l'enclencheur

t_m

intervalle de temps, au cours d'un essai synthétique d'établissement, entre l'instant du claquage de la tension appliquée et l'injection de courant à partir du circuit de courant

3.17

durée minimale d'interruption

somme de la durée minimale d'ouverture, de la durée minimale de la protection par relais (0,5 cycle), et de la durée d'arc minimale d'interruption du courant, dans le cas de coupure après une petite alternance par le premier pôle qui coupe, uniquement au cours de la séquence d'essais T100a, telle que spécifié par le constructeur

NOTE Il y a lieu que cette définition soit utilisée seulement pour la détermination des paramètres d'essais durant les essais de coupure en court-circuit selon la séquence d'essais T100a.

[SOURCE: 3.7.159 de la CEI 62271-100:2008]

3.18

pré-amorçage

claquage en tension entre les contacts au cours d'une manœuvre d'enclenchement qui provoque le passage du courant

4 Techniques et méthodes d'essais synthétiques pour les essais de coupure en court-circuit

4.1 Principes fondamentaux et exigences générales pour les méthodes d'essais synthétiques de coupure

4.1.1 Généralités

Toute méthode d'essai synthétique retenue doit contraindre le disjoncteur en essai de manière adéquate. L'adéquation est généralement établie dès que la méthode d'essai satisfait aux exigences exposées dans les paragraphes suivants.

Le disjoncteur a deux positions: fermé et ouvert. Fermé, il conduit le plein courant avec une chute de tension négligeable entre ses contacts. Ouvert, il ne laisse passer qu'un courant négligeable mais avec la pleine tension entre ses contacts. Cela définit les deux contraintes principales, la contrainte en courant et la contrainte en tension, qui sont séparées dans le temps.

Si l'on observe plus précisément les contraintes en tension et courant pendant le processus de coupure (Figure 1), trois périodes principales peuvent être distinguées:

- Période de fort courant

Cette période est définie par le temps entre la séparation des contacts et le début du changement significatif de la tension d'arc. La période de fort courant précède les périodes d'interaction et de haute tension.

- Période d'interaction

Cette période est définie par le temps séparant le début du changement significatif de la tension d'arc avant le zéro de courant, de la disparition du courant dans le disjoncteur en essai, y compris, s'il existe, le courant post-arc (voir aussi l'Article B.2).

- Période de haute tension

Cette période est définie par le temps séparant la disparition du courant dans le disjoncteur en essai, y compris le courant post-arc, s'il existe, de la fin de l'essai.

4.1.2 Période de fort courant

Pendant la durée de fort courant, le disjoncteur en essai doit être contraint par le circuit d'essai de manière telle que les conditions initiales de la durée d'interaction, avec des tolérances à préciser, soient les mêmes que celles apparaissant dans les conditions du réseau de référence.

Dans les circuits d'essais synthétiques, le rapport entre la tension à fréquence industrielle du circuit de courant et la tension d'arc est faible comparé à ce rapport lors d'essais dans les conditions du réseau de référence, pour deux raisons:

- la tension du circuit de courant est une fraction de la tension du réseau;
- les tensions d'arc des disjoncteurs en essai et auxiliaire s'ajoutent.

Il en résulte que la durée de l'alternance de courant et sa valeur à la crête en sont réduites. Cette déformation du courant est expliquée à l'Annexe A.

L'étude de l'énergie d'arc dégagée dans le disjoncteur en essai conduit à fixer les tolérances pour limiter l'influence de cette déformation sur deux grandeurs caractéristiques de la forme du courant, à savoir la valeur crête du courant et la durée de l'alternance de courant (voir Annexe A).

Les tolérances sur l'amplitude et la fréquence industrielle du courant de coupure présumé sont indiquées en 6.103.2 et 6.104.3 de la CEI 62271-100:2008. Par conséquent, les conditions suivantes concernant le courant réel circulant dans le disjoncteur en essai doivent être satisfaites:

- pour les essais symétriques, l'amplitude du courant et la durée de la dernière alternance ne doivent pas être inférieures à 90 % des valeurs requises issues du courant assigné;
- pour les essais asymétriques, l'amplitude du courant et la durée de la dernière alternance doivent être comprises entre 90 % et 110 % des valeurs requises, issues du courant assigné et de la constante de temps (voir Tableaux 15 à 22 de la CEI 62271-100:2008).

Mesures d'ajustement:

L'amplitude et la durée de la dernière alternance de courant peuvent être ajustées par plusieurs moyens, tels que

- augmentation ou diminution de la valeur efficace du courant d'essai de court-circuit,
- modification de la fréquence du courant d'essai,
- utilisation du pré-déclenchement ou du déclenchement retardé,
- modification de l'instant de l'injection de courant (composante continue initiale).

4.1.3 Période d'interaction

Pendant la période d'interaction, la contrainte provoquée par le courant de court-circuit se change en contrainte à haute tension et, selon le comportement du disjoncteur, les tensions et courant du circuit peuvent être fortement affectés. Quand le courant décroît vers zéro, la tension d'arc peut augmenter en chargeant une capacité parallèle et déformer le courant traversant l'arc. Après le zéro de courant, la conductivité post-arc peut introduire un amortissement supplémentaire de la tension transitoire de rétablissement et, par là, modifier la tension entre les contacts du disjoncteur et l'énergie fournie à l'espace ionisé entre les contacts. L'interaction entre circuit et disjoncteur immédiatement avant et après le zéro de courant (c'est-à-dire pendant la durée d'interaction) est d'une extrême importance pour le phénomène de coupure.

Pendant cette durée d'interaction, les formes d'ondes de courant et de tension doivent être les mêmes en essais synthétiques que dans le réseau de référence (voir 3.15), en prenant en compte les modifications possibles de ces courant et tension par rapport aux valeurs présumées, dues à l'interaction entre le circuit et le disjoncteur.

La durée d'interaction représente la période critique pour une défaillance de coupure du disjoncteur en mode thermique. Par conséquent, il est d'une extrême importance que la forme et l'amplitude de la tension transitoire de rétablissement (TTR) présumée correspondent à celles associées au courant présumé de la séquence d'essais concernée.

Cela impose des exigences strictes pour le circuit d'essai. Pour la méthode par injection de courant, les exigences sont indiquées en 4.2.1 et pour la méthode par injection de tension, les exigences sont indiquées en 4.2.2.

Selon le circuit d'essai utilisé, l'interaction entre le circuit et le disjoncteur en essai peut être perturbée par la présence du disjoncteur auxiliaire pendant la durée critique autour du zéro de courant.

Il convient que la tension d'arc du disjoncteur auxiliaire soit inférieure ou égale à la tension d'arc du disjoncteur en essai.

Si un disjoncteur auxiliaire à plus forte tension d'arc est utilisé, il peut être nécessaire d'augmenter la tension à fréquence industrielle du circuit de courant.

4.1.4 Période de haute tension

Pendant cette période, l'intervalle entre contacts du disjoncteur en essai est contraint par la tension de rétablissement.

La TTR présumée doit satisfaire aux exigences de 4.102, 4.105, 4.106 et 6.104.5 de la CEI 62271-100:2008.

Les méthodes permettant de déterminer la TTR présumée dans les circuits d'essais synthétiques peuvent être choisies parmi celles décrites dans l'Annexe F de la CEI 62271-100:2008.

L'impédance du circuit de tension doit être assez faible pour mettre en évidence les claquages, s'il y en a.

Si le disjoncteur en essai est équipé de résistances d'ouverture, une procédure spéciale peut être nécessaire (voir Annexe F).

Si la TTR est obtenue depuis plusieurs sources, il convient que la forme de l'onde résultante ne présente pas de discontinuité appréciable.

En principe, il convient que la tension de rétablissement à fréquence industrielle pour les séquences d'essais de court-circuit fondamentales soit de préférence alternative et qu'elle doive satisfaire aux exigences de 6.104.7 de la CEI 62271-100:2008. Pendant les essais synthétiques, la tension de rétablissement est fournie par le circuit de tension soit directement, soit mise en série avec le circuit de courant. Cela fait apparaître une tension alternative, une tension continue ou leur combinaison, qui, dans la plupart des cas, décroît du fait de l'énergie limitée du circuit de tension. Il peut alors ne pas être possible de maintenir la tension de rétablissement pendant au moins 0,3 s comme spécifié en 6.104.7 de la CEI 62271-100:2008. Les écarts par rapport à la tension de rétablissement spécifiée sont acceptés si les conditions suivantes sont remplies:

- La valeur instantanée de la tension de rétablissement pendant une période égale au 1/8 d'un cycle de la fréquence assignée du disjoncteur ne doit pas être inférieure à la valeur instantanée équivalente de la tension de rétablissement à fréquence industrielle indiquée en 6.104.7 de la CEI 62271-100:2008 qui, pour un essai avec un courant symétrique, apparaît avec une valeur crête minimale de $0,95 \times k_{pp} \times U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$

où

k_{pp} est le facteur de premier pôle;
 U_r est la tension assignée du disjoncteur.

- Si une tension de rétablissement continue, alternative, ou alternative et continue combinée décroissant exponentiellement, est utilisée, il convient que sa valeur instantanée (pour la tension continue) ou sa valeur crête (pour la tension alternative, ou alternative et continue combinées) soit, en principe, maintenue aussi près que possible de $U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$ et, dans tous les cas, ne doit pas descendre au-dessous de $0,5 U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$ en moins de 0,1 s.
- Si une tension de rétablissement continue ou continue et alternative combinées, décroissant exponentiellement, impose une contrainte incorrecte au disjoncteur par rapport à celle due à la tension de rétablissement alternative spécifiée dans les conditions du réseau de référence, un autre circuit d'essai satisfaisant mieux à 6.104.7 de la CEI 62271-100:2008 et aux limites indiquées ci-dessus peut alors être utilisé.
- La Figure 2 propose quelques exemples d'évaluation de la tension de rétablissement.

4.2 Circuit synthétiques et exigences spécifiques relatives aux essais de coupure

4.2.1 Méthodes par injection de courant

En termes généraux, ces méthodes peuvent se décrire ainsi (voir Annexe B):

- le courant du circuit de tension est superposé au courant à fréquence industrielle dans le disjoncteur en essai avant la période d'interaction;
- le disjoncteur auxiliaire coupe le courant à fréquence industrielle délivré par le circuit de courant avant la période d'interaction.

Si un quelconque dispositif ayant un pouvoir de coupure coupe le courant dans le disjoncteur en essai en même temps que le disjoncteur en essai, la méthode n'est pas une méthode par injection de courant valide et ne doit pas être mise en œuvre pour démontrer la phase thermique de la coupure du disjoncteur en essai.

Pendant la période d'interaction, le disjoncteur en essai est soumis à la tension du circuit de tension dont l'impédance représente celle du réseau de référence. Cela explique la validité des méthodes par injection de courant. Plusieurs méthodes par injection de courant sont connues, mais seule l'injection de courant parallèle est décrite ici puisque c'est celle utilisée par la plupart des laboratoires d'essais. Les conditions suivantes doivent être remplies:

a) Circuit de mise en forme d'onde de la TTR

- 1) La forme et l'amplitude de la TTR présumée doivent satisfaire aux valeurs spécifiées.
- 2) L'impédance d'onde équivalente Z_h (voir Figure 3) doit, idéalement, être égale à $(du/dt)/(di/dt)$ pendant la période d'interaction. du/dt est la vitesse d'accroissement de la tension transitoire de rétablissement spécifiée et di/dt est la vitesse de décroissance du courant de court-circuit spécifié.
- 3) La combinaison des capacités C_{dh} localisées ou réparties, en parallèle avec Z_h , provoque le temps de retard $t_d = Z_h \times C_{dh}$.

b) Inductance du circuit de tension

Sa valeur doit être comprise entre 1,0 et 1,5 fois l'inductance calculée à partir de la tension à fréquence industrielle équivalente divisée par le courant présumé.

c) Fréquence du courant injecté et instant d'injection

La fréquence du courant injecté doit être de préférence de l'ordre de 500 Hz avec une limite inférieure de 250 Hz et une limite supérieure de 1 000 Hz.

Afin d'éviter une influence anormale du courant à fréquence industrielle sur la forme d'onde, la limite inférieure de la fréquence du courant injecté est fixée à 250 Hz.

La fréquence maximale du courant injecté est déterminée par la durée de changement significatif de la tension d'arc, durée qui doit être plus courte que le temps pendant lequel l'arc est alimenté uniquement par le courant injecté. Pour cela, il convient que la période de la fréquence injectée soit d'au moins quatre fois la durée du changement significatif de tension d'arc (voir Annexe B).

L'instant initial du courant injecté doit être ajusté de façon telle que la durée durant laquelle le disjoncteur en essai est alimenté uniquement par le courant injecté soit égale à moins d'un quart de la période de la fréquence du courant injecté, avec un maximum de 500 µs.

Il convient de veiller à ne pas contraindre indûment le disjoncteur lorsque la durée pendant laquelle le disjoncteur en essai est alimenté seulement par le courant injecté est inférieure à 200 µs.

d) Forme de l'onde de courant injecté

La vitesse présumée de décroissance (di/dt) du courant injecté au zéro de courant doit correspondre à celle du courant présumé à fréquence industrielle.

Pratiquement, aucune oscillation ne doit perturber le courant injecté pendant au moins 100 µs avant le zéro de courant.

4.2.2 Méthode par injection de tension

Plusieurs méthodes par injection de tension sont connues, mais seule la méthode d'injection série est décrite ici en termes généraux comme suit (voir aussi Annexe C):

- la tension fournie par le circuit de tension est appliquée au disjoncteur en essai après la période d'interaction;
- un condensateur en parallèle avec le disjoncteur auxiliaire est utilisé pour appliquer la tension de rétablissement au disjoncteur en essai;
- pendant les périodes de fort courant et d'interaction, seul le circuit de courant alimente le disjoncteur en essai.

La méthode par injection de tension ne doit pas être utilisée pour vérifier le comportement du disjoncteur pendant la phase thermique.

Par exemple, dans le cas des essais de défaut proche en ligne, en complément du circuit à injection de tension alimentant la TTR du côté source, un circuit à injection de courant qui est relié au côté ligne du disjoncteur en essai doit être utilisé pour fournir la tension transitoire côté ligne.

Quand cette méthode est utilisée pour les essais relatifs au comportement diélectrique du disjoncteur, les conditions suivantes doivent être respectées:

- il convient que le disjoncteur auxiliaire ait une tension d'arc inférieure ou égale à celle du disjoncteur en essai (voir 4.1.3);
- le circuit de tension doit être conçu de manière à permettre la détection de réallumages ou de réamorçages s'ils apparaissent.

La capacité aux bornes du disjoncteur auxiliaire doit donc être d'au moins 20 fois la capacité en parallèle avec le disjoncteur en essai. Il convient de prendre des précautions pour éviter une déformation anormale du courant avant le zéro de courant à fréquence industrielle;

- aucune interruption de la contrainte ne doit provenir de la combinaison du circuit de courant et du circuit de tension.

4.2.3 Circuit de Skeats (ou par transformateur)

En termes généraux, cette méthode peut se décrire ainsi (voir aussi Annexe D):

- les courant et tension proviennent d'une même source;
- la tension de rétablissement à fréquence alternative est fournie par un transformateur élévateur dont le primaire est raccordé au circuit de courant;
- la tension de rétablissement est appliquée au disjoncteur en essai par l'intermédiaire d'une impédance (généralement une résistance).

Le disjoncteur auxiliaire coupe le courant avant le disjoncteur en essai, dans un intervalle de temps court (le plus souvent environ 10 µs). Pendant ce court intervalle de temps, la valeur de la pente de courant di/dt dans le disjoncteur en essai est diminuée.

Le circuit de Skeats n'est donc pas valable pour réaliser des essais destinés à vérifier l'absence de réallumages thermiques du disjoncteur en essai. Il convient pour soumettre à essai le comportement diélectrique d'un disjoncteur et peut être utilisé pour les essais d'établissement.

Le circuit de Skeats peut être facilement modifié pour fournir la pleine contrainte de tension pendant deux manœuvres d'une séquence (ou plus), par exemple aux fermeture et ouverture d'un cycle CO, aux ouvertures d'un cycle O – t – CO et même à des zéros de courant consécutifs d'une manœuvre d'ouverture. Voir Annexe D.

4.2.4 Autres méthodes d'essais synthétiques

D'autres méthodes peuvent être valables et avantageuses pour l'essai de disjoncteurs de caractéristiques spécifiques ou pour l'essai de disjoncteurs à des performances spécifiques. Même lorsque ces méthodes ne sont pas décrites dans la présente norme, il peut être possible de les appliquer sous réserve d'une étude détaillée des conditions d'utilisation et de l'accord du constructeur et de l'utilisateur.

Il convient que les méthodes concernant les disjoncteurs sous enveloppe métallique et à cuve mise à la terre prennent en considération les recommandations de l'Annexe O de la CEI 62271-100:2008.

Les exigences générales pour les disjoncteurs munis de résistances d'ouverture sont données en Annexe R de la CEI 62271-100:2008, Amendement 1. Une méthode d'essai applicable aux disjoncteurs munis de résistances d'ouverture est indiquée en Annexe F.

4.3 Méthodes d'essais synthétiques triphasés

Les méthodes d'essais synthétiques triphasés doivent être appliquées pour l'essai des disjoncteurs qui ne peuvent pas être essayés en unipolaire selon 6.102.4.1 de la CEI 62271-100:2008. Elles peuvent également être utilisées comme une alternative aux essais synthétiques monophasés, si approprié. Les séquences d'essais de court-circuit T10, T30 et T60 peuvent, dans tous les cas, être réalisées dans les circuits d'essais monophasés.

Afin de s'assurer que les contraintes appropriées dans l'élément de coupure et celles entre les pôles et, si approprié, l'enveloppe, sont appliquées, les exigences générales suivantes doivent être remplies:

- le courant triphasé complet doit être fourni au disjoncteur tripolaire en essai;
- les informations concernant les circuits d'essais requis pour les séquences d'essais T100s et T100a sont données au Tableau 1;
- les paramètres d'essais pour chaque pôle qui coupe sont donnés aux Tableaux 2 à 4;
- il convient d'appliquer de préférence toutes les contraintes ci-dessus dans le même essai. Si cela est impossible, une procédure d'essais en plusieurs parties peut être nécessaire;
- afin d'éviter de modifier le raccordement du circuit haute tension au disjoncteur entre les essais de chaque séquence d'essais, il est permis de garder le premier pôle qui coupe dans la même phase pendant toute la séquence, en tenant compte des exigences de 6.105.1 de la CEI 62271-100:2008.

Tableau 1 – Circuits d'essais pour les séquences d'essais T100s et T100a

k_{pp}	T100s		T100a	
	Premier pôle qui coupe	Autres pôles	Premier pôle qui coupe	Autres pôles
1,5	Application de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1 ou 4.2.2 lors de toutes les manœuvres	Application de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1, 4.2.2 ou 4.2.3 lors de toutes les manœuvres	Application de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1 ou 4.2.2 pendant au moins deux manœuvres. La troisième manœuvre peut être essayée avec 4.2.3	Application de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1 ou 4.2.2 au moins lors de la manœuvre avec la grande alternance étendue et la durée d'arc la plus longue
1,2 ou 1,3	Application de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1 ou 4.2.2 pendant au moins deux manœuvres. La troisième manœuvre peut être essayée avec 4.2.3	Application de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1 à 4.2.3 lors de toutes les manœuvres. Au deuxième pôle qui coupe lors de la manœuvre avec la durée d'arc la plus longue, application uniquement de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1 ou 4.2.2	Application de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1 ou 4.2.2 pendant au moins deux manœuvres. La troisième manœuvre peut être essayée avec 4.2.3	Application de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1 à 4.2.3 lors de toutes les manœuvres. Au deuxième pôle qui coupe lors de la manœuvre avec la grande alternance étendue et la durée d'arc la plus longue, application uniquement de circuits d'essais synthétiques de 4.2.1 ou 4.2.2

k_{pp} facteur de premier pôle.

L'injection de tension n'est permise que s'il n'y a pas d'exigences de TTRI ou si ces exigences sont couvertes par les essais de défaut proche en ligne.

Tableau 2 – Paramètres d'essais pendant la coupure triphasée pour les séquences T10, T30, T60 et T100s $k_{pp} = 1,5$

Crête de TTR en %			Crête de tension de rétablissement p.u.	$\frac{du}{dt}$ %	$\frac{di}{dt}$ %	Angle de phase °	
	Au moment du premier pôle à couper	Au moment du deuxième et du troisième pôle à couper					
Phases	A	100	-	1	100	100	-
	B	0	58	1	70	87	90
	C	0	58	1	70	87	90
Entre phases	A – B	100	58	1,732			
	B – C	0	115	1,732			
	A – C	100	58	1,732			

Tableau 3 – Paramètres d'essais pendant la coupure triphasée pour les séquences T10, T30, T60 et T100s $k_{pp} = 1,3$

Crête de TTR en %			Crête de tension de rétablissement p.u.	du/dt %	di/dt %	Angle de phase °	
	Au moment du premier pôle à couper	Au moment du deuxième et du troisième pôle à couper					
Phases	A	100	- / -	1	100	100	-
	B	0	- / 77	1	70	57	120
	C	0	98 / -	1	95	89	77
Entre phases	A – B	100	- / 91	1,732			
	B – C	0	98 / 98	1,732			
	A – C	100	89 / -	1,732			

Tableau 4 – Paramètres d'essais pendant la coupure triphasée pour les séquences T10, T30, T60 et T100s $k_{pp} = 1,2$

Crête de TTR en %			Crête de tension de rétablissement p.u.	du/dt %	di/dt %	Angle de phase °	
	Au moment de la première phase couper	Au moment de la deuxième et de la troisième phase à couper					
Phases	A	100	- / -	1	100	100	-
	B	0	- / 83 ^a	1	83 ^a	75 ^a	120 ^a
	C	0	95 / -	1	95	92	71
Entre phases	A – B	100	- / 124	1,732			
	B – C	0	95 / 126	1,732			
	A – C			1,732			
TTR crête du premier pôle: $u_c = k_{af} \times k_{pp} \times U_r \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$ 1 p.u. = $U_r \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$ Le premier pôle à couper est en phase A. Le deuxième pôle à couper est en phase C. ^a Les paramètres d'essai pour le dernier pôle à couper sont donnés à titre de référence (voir Tableau 1). Les paramètres d'essais sont calculés sur la base des précautions de mise à la terre des circuits, comme décrit dans la CEI 62271-306 (à publier).							

5 Techniques et méthodes d'essais synthétiques pour les essais d'établissement en court-circuit

5.1 Principes fondamentaux et exigences générales pour les méthodes d'essais synthétiques d'établissement

5.1.1 Généralités

Pendant une fermeture sur un court-circuit, la distance entre contacts du disjoncteur est soumise à la tension appliquée selon 6.104.1 de la CEI 62271-100:2008. Après l'instant de claquage, le disjoncteur est soumis au courant d'établissement selon 6.104.2.1 de la CEI 62271-100:2008. Dans un circuit d'essais synthétiques, la tension appliquée est fournie par un circuit de tension séparé et le courant de court-circuit par un circuit de courant à tension réduite. Cette dernière est connectée au disjoncteur immédiatement après claquage de l'espace entre contacts au moyen d'un enclencheur rapide, par exemple un éclateur déclenché.

Toute méthode d'essai synthétique retenue doit contraindre le disjoncteur en essai de manière adéquate. L'adéquation est généralement établie dès que la méthode d'essai satisfait aux exigences exposées dans les paragraphes suivants.

Avant l'établissement, un disjoncteur supporte entre ses contacts la tension assignée entre phase et terre: à la fermeture, il est traversé par le courant de court-circuit assigné. Si les contraintes de tension et de courant sont plus finement étudiées pendant cet essai d'établissement (voir Figure 4), trois périodes principales peuvent apparaître:

- Période de haute tension
La période de haute tension est la durée entre le commencement de l'essai, disjoncteur ouvert, et le moment du claquage de l'espace entre contacts;
- Période de pré-amorçage
La période de pré-amorçage est la durée, pendant la fermeture des contacts du disjoncteur, entre l'instant de claquage de l'espace entre contacts et l'instant où les contacts se touchent;
- Période de fermeture et d'accrochage
La période de fermeture et d'accrochage est la durée, pendant la fermeture du disjoncteur, séparant l'instant où les contacts se touchent de l'instant où le mouvement des contacts s'arrête (position fermée).

5.1.2 Période de haute tension

Pendant cette durée, le disjoncteur doit être contraint par le circuit d'essai de manière telle que les conditions initiales de la durée de pré-amorçage, avec des tolérances à préciser, soient les mêmes que celles apparaissant dans les conditions suivantes du réseau de référence:

- la tension appliquée doit satisfaire à l'exigence exposée en 6.104.1 de la CEI 62271-100:2008;
- la relation de phase entre la tension appliquée et le courant de court-circuit doit correspondre au facteur de puissance assignée du circuit d'essai avec les tolérances indiquées en 6.103.1 de la CEI 62271-100:2008.

5.1.3 Période de pré-amorçage

Pendant cette période, des forces électrodynamiques sont produites par le courant sur le disjoncteur et l'énergie d'arc produit des dégradations. Le courant possède trois composantes:

- le courant transitoire initial de fermeture (ITMC);
- les composantes continue et alternative du courant de court-circuit.

Deux cas typiques peuvent se présenter selon l'instant de fermeture:

- le claquage apparaît près de la crête de la tension appliquée, établissant un courant presque symétrique. L'énergie de pré-arc et l'ITMC sont relativement élevés;
- le claquage apparaît près du zéro de la tension appliquée, établissant un courant asymétrique. L'énergie de pré-arc et l'ITMC sont négligeables.

5.1.4 Périodes en position accrochée et de fermeture complète

Pendant ces périodes, le disjoncteur doit se fermer en présence des forces électrodynamiques dues au courant, et des forces de frottement des contacts. Le courant d'établissement doit donc satisfaire à 4.103 de la CEI 62271-100:2008 pendant ces périodes.

5.2 Circuit d'essais synthétiques pour essais d'établissement et exigences spécifiques s'y rapportant

5.2.1 Généralités

Le circuit d'essai et les exigences spécifiques doivent être conformes à l'exigence a) de 6.104.2.1 de la CEI 62271-100:2008.

5.2.2 Circuit d'essai

Le circuit d'essai se compose de deux circuits, à savoir le circuit de courant et le circuit de tension. Des circuits types présentant des formes d'ondes de tension et de courant sont donnés aux Figures 5 et 6 pour le monophasé et à la Figure 7 pour le triphasé:

- le circuit de tension fournit
 - la tension appliquée pendant la période de haute tension,
 - l'ITMC pendant la période de pré-amorçage, par la décharge du circuit ITMC;
- le circuit de courant fournit le courant d'établissement pendant les périodes de pré-amorçage et d'accrochage.

5.2.3 Exigences spécifiques

Lors d'un essai synthétique de fermeture, la relation de phase entre la tension d'essai appliquée et le courant de court-circuit dépend des paramètres suivants:

- facteur de puissance ($\cos \varphi$) du circuit de courant;
- déphasage (β) entre U_{cs} et U_h (si U_h est une tension alternative);
- retard de l'enclencheur (t_m).

La condition de manœuvre de fermeture correcte est conforme lorsque:

$$\beta + t_m' + (90 - \varphi) \leq 27^\circ \text{ dans le cas où } U_h \text{ est une tension alternative et } t_m \text{ est aussi court que possible, mais en aucun cas supérieur à } 300 \mu\text{s}$$

où $t_m' = (t_m / T) \times 360^\circ$ (avec $T = 20 \text{ ms pour } 50 \text{ Hz et } T = 16,7 \text{ ms pour } 60 \text{ Hz}$).

Le circuit haute tension U_h peut être une source alternative, une source continue ou une combinaison des deux.

β peut être négatif, si la tension U_h est obtenue par une source séparée.

Le courant injecté fourni par le circuit de tension doit permettre au courant de pré-amorçage de s'établir avant l'amorçage de l'éclateur. En conséquence, la constante de temps du circuit ITMC doit être suffisamment longue pour assurer le passage du courant pendant le retard de l'enclencheur.

6 Exigences spécifiques pour les essais synthétiques de fermeture et de coupure relatives aux exigences de 6.102 à 6.111 de la CEI 62271-100:2008

Les Paragraphes 6.102 à 6.111 de la CEI 62271-100:2008 sont également applicables aux essais synthétiques. Cependant, des procédés spéciaux sont nécessaires dans certains cas. Ces cas sont exposés dans les paragraphes suivants. La numérotation des paragraphes correspond à celle de la CEI 62271-100:2008.

L'Annexe O de la CEI 62271-100:2008 donne les lignes directrices pour les essais des disjoncteurs sous enveloppe métallique ou à cuve mise à la terre.

6.102.4.2 Essais sur éléments séparés

Le paragraphe 6.102.4.2 de la CEI 62271-100:2008 est applicable, avec le complément suivant:

Pour l'application des méthodes d'essais synthétiques à une ou plusieurs unités d'un disjoncteur, les exigences de 6.102.4.2 de la CEI 62271-100:2008 sont applicables. Dans le cas de disjoncteurs sous enveloppe métallique ou à cuve mise à la terre, l'Annexe N donne des détails concernant des circuits d'essai typiques et l'Annexe O de la CEI 62271-100:2008 présente les lignes directrices appropriées pour les essais.

6.102.4.2.3 Conditions à remplir pour les essais sur éléments séparés

Afin de vérifier la performance d'isolement des disjoncteurs sous enveloppe métallique, entre les parties sous tension et les enveloppes, un essai supplémentaire doit être réalisé, dans les conditions suivantes:

- le courant de court-circuit assigné est coupé par toutes les unités dans la condition de durée d'arc maximale;
- la tension correspondante est appliquée entre la borne d'arrivée et la cuve pour les deux séquences T100s et T100a.

Une seule manœuvre de coupure suffit à démontrer cette performance. Le disjoncteur peut être remis en état avant cet essai supplémentaire.

6.102.4.3 Essais en plusieurs parties

Les manœuvres d'ouverture de disjoncteurs avec résistances de fermeture ne nécessitent pas de techniques d'essais particulières, étant donné que la résistance de fermeture n'influencera pas le circuit d'essai.

Les résistances de fermeture ne peuvent être soumises à essai que dans un circuit direct qui fournit les contraintes correctes de courant et de tension à partir d'une source unique de puissance.

Au cours des essais synthétiques de fermeture, il est nécessaire de retirer la résistance de fermeture, afin d'obtenir les contraintes correctes de courant de court-circuit et les conditions de pré-amorçage dans l'interrupteur principal.

Si toutes les exigences de la TTR et/ou de la tension de rétablissement ne peuvent pas être satisfaites simultanément, les essais en plusieurs parties peuvent être utilisés en tenant compte de 6.102.4.3 de la CEI 62271-100:2008.

Lorsqu'un essai en plusieurs parties est réalisé dans le seul but de vérifier la tension de rétablissement, il n'est pas nécessaire d'établir de nouveau la durée d'arc minimale.

6.102.10 Démonstration des durées d'arc

Les exigences fondamentales devant être satisfaites sont données en 6.102.10 de la CEI 62271-100:2008.

De manière à pouvoir réaliser les essais synthétiques avec les mêmes bases que les essais directs, il sera normalement nécessaire d'utiliser les méthodes spéciales de réallumage pour maintenir l'arc du disjoncteur en essai pendant le nombre nécessaire de zéros du courant à fréquence industrielle. L'Annexe H donne des méthodes de réallumage permettant la prolongation de l'arc.

La méthode «pas à pas», décrite en Annexe H, est celle utilisée dans la plupart des essais synthétiques. Elle est considérée comme étant une approximation suffisamment proche de la procédure d'essais directs.

La durée d'arc est prolongée par réallumages thermiques. Etant donné que cette méthode permet d'imposer que le disjoncteur en essai se réallume en toutes circonstances, on doit veiller à ne pas réallumer le disjoncteur à un zéro de courant où il peut interrompre. Pour cela, il est nécessaire de déterminer pour chaque séquence d'essai de défaut aux bornes, de défaut proche en ligne et de discordance de phase, la durée d'arc minimale du disjoncteur. Au moins deux essais de coupure, une interruption et un réallumage, sont nécessaires à cette détermination.

L'interruption à la durée d'arc minimale est la première coupure valable. L'autre essai est réalisé pour prouver que le réallumage à un zéro de courant prématûr se produirait entre les contacts d'arc. Cet essai de réallumage ne doit pas être le dernier de la séquence d'essais.

Les essais supplémentaires nécessaires pour prouver le comportement correct aux zéros de courant prématûres ne contribueront généralement que dans une faible mesure à l'usure des contacts, etc., étant donné la courte durée d'arc. C'est pourquoi il convient de ne pas nécessairement remettre en état l'appareil du fait de ces essais.

Le ou les réallumage(s) obtenu(s) durant la détermination de la durée d'arc minimale n'indique(nt) pas un défaut du disjoncteur. Cependant, il est important de vérifier que ce réallumage s'est produit entre les contacts d'arc uniquement. Lorsque l'on utilise une méthode par injection de courant, la coupure du courant injecté quelques alternances après le réallumage est souvent un moyen utile d'appréciation. Il convient aussi d'effectuer l'examen détaillé des écrans, des contacts d'arc et des contacts principaux, etc., pour vérifier que le comportement est correct.

6.102.10.1 Essais triphasés

Selon le circuit d'essai utilisé, les procédures d'essais données ici peuvent ne pas couvrir les conditions du troisième pôle qui coupe pour les réseaux mis directement à la terre ($k_{pp} = 1,3$). Pour ce cas, les mêmes procédures peuvent être appliquées, avec l'accord du constructeur, en combinant les paramètres de TTR et de di/dt pour le deuxième pôle qui coupe et la durée d'arc correspondant au troisième pôle qui coupe. En variante, un essai supplémentaire peut être réalisé avec la TTR, di/dt et la durée d'arc maximale correspondant au troisième pôle qui coupe.

Pour les autres procédures d'essais des disjoncteurs sous enveloppes multiples avec des caractéristiques de mécanisme d'entraînement qui nécessitent un courant triphasé, voir l'Annexe K.

6.102.10.1.1 Séquences d'essais T10, T30, T60, T100s, T100s(b), OP1 et OP2

La procédure d'essai est la suivante:

Pour la commodité des essais, le pôle de la phase A est maintenu comme le premier pôle qui coupe.

Premièrement, la durée d'arc minimale et le comportement de réallumage correct sont établis. Cela est réalisé en modifiant le réglage de l'ordre d'ouverture par pas de 18° (il est possible qu'il faille répéter cela plusieurs fois). Après avoir effectué cela, le réglage de la commande de l'ordre d'ouverture doit être avancé d'environ 40° , en commençant par la durée d'arc la plus courte avec laquelle le disjoncteur a coupé. Pour le dernier essai, le réglage de la commande de l'ordre d'ouverture doit être avancé d'environ 20° , en commençant par la durée d'arc la plus courte avec laquelle le disjoncteur a coupé:

- première coupure valable: $t_{arc\ min}$, durée d'arc minimale en phase A;
- essai de réallumage: $t_{arc\ reig} = t_{arc\ min} - 18^\circ$, réallumage en phase A;
- deuxième coupure valable: $t_{max} = t_{arc\ min} + 40^\circ$, durée d'arc la plus longue en phase A;
- troisième coupure valable: $t_{med} = t_{arc\ min} + 20^\circ$, durée d'arc moyenne en phase A.

La première coupure valable et l'essai de réallumage se composent de manœuvres simples d'ouverture. Les deuxième et troisième coupures valables sont effectuées comme partie de la séquence de manœuvre assignée. Si la séquence de manœuvre assignée est CO-15s-CO, la troisième coupure valable n'est pas requise (voir 6.102.10 de la CEI 62271-100:2008).

A titre de comparaison avec les réglages de durée d'arc utilisés dans les essais directs triphasés, voir la Figure 8.

6.102.10.1.2 Séquence d'essais T100a

La procédure d'essai est la suivante:

Tous les essais se composent de manœuvres simples d'ouverture.

Afin de simplifier la procédure d'essai, le pôle en phase A est maintenu comme le premier pôle qui coupe, mais le pôle en phase C sera soumis à une usure électrique accrue. Afin d'obtenir une usure électrique similaire sur les pôles des phases B et C, les essais peuvent être réalisés en échangeant les pôles des phases B et C pour la troisième coupure valable.

Premièrement, la durée d'arc minimale (première manœuvre valable) et le comportement de réallumage sont vérifiés avec la grande alternance étendue se produisant en phase C. Cela est réalisé en modifiant le réglage de l'ordre d'ouverture par pas de 18° (il est possible qu'il faille répéter cela plusieurs fois).

La seconde coupure valable est réalisée avec l'asymétrie requise transposée en phase A. En même temps l'injection du courant de court-circuit et le réglage de l'ordre d'ouverture doivent être avancés de 60° par rapport à l'essai de réallumage.

La troisième coupure valable est réalisée avec l'asymétrie requise en phase C. L'injection du courant de court-circuit est retardée de 60° tandis que l'ordre d'ouverture est avancé de 10°, en se référant à la deuxième coupure valable.

- Première coupure valable: $t_{arc \ min}$
 - durée d'arc minimale en phase A,
 - conditions d'asymétrie requises en phase C;
- Essai de réallumage: $t_{arc \ reig} = t_{arc \ min} - 18^\circ$
 - réallumage en phase A,
 - conditions d'asymétrie requises en phase C;
- Deuxième coupure valable: $t_{arc \ max \ major}$ dans le premier pôle qui coupe
 - injection du courant de court-circuit et réglage de l'ordre d'ouverture avancés de 60°, en se référant à $t_{arc \ reig}$,
 - conditions d'asymétrie requises en phase A;
- Troisième coupure valable: $t_{arc \ max \ major \ extended}$
 - durée d'arc la plus longue en phase A,
 - conditions d'asymétrie requises en phase C;
 - injection du courant de court-circuit retardé de 60° et réglage de l'ordre d'ouverture avancé de 10°, en se référant à $t_{arc \ max \ major}$.

L'ordre des essais est donné uniquement pour des raisons pratiques.

A titre de comparaison avec les réglages de durée d'arc utilisés dans les essais directs triphasés, voir la Figure 9.

Les deuxième et troisième coupures valables peuvent être interchangées comme suit:

- Deuxième coupure valable: $t_{arc \ max \ major \ extended}$
 - durée d'arc la plus longue en phase A,
 - conditions d'asymétrie requises en phase C,
 - réglage de l'ordre d'ouverture avancé de 70°, en se référant à $t_{arc \ reig}$;
- Troisième coupure valable: $t_{arc \ max \ major}$ dans le premier pôle qui coupe:
 - injection du courant de court-circuit avancée de 60° et réglage de l'ordre d'ouverture retardé de 10°, en se référant à $t_{arc \ max \ major \ extended}$;
 - conditions d'asymétrie requise en phase A.

Etant donné que certains disjoncteurs ne couperont pas à l'issue de la grande alternance, un essai est encore valable si le disjoncteur coupe après la petite alternance suivante.

Pour certains types de disjoncteurs, il peut apparaître que pour le troisième essai valable ($t_{arc \ max \ major \ extended}$), la petite alternance du courant au zéro de courant précédent pourrait déjà être interrompue en phase B. Cela n'est pas vérifié dans la procédure décrite ci-dessus, mais peut être vérifié en retardant à la fois l'établissement du court-circuit et le réglage de l'ordre d'ouverture de 60°, en se référant à $t_{arc \ max \ major \ extended}$. Par conséquent, si une interruption se produit lors de la petite alternance précédente, la troisième coupure valable peut être répétée avec une durée d'arc plus courte, selon la durée d'arc à laquelle le disjoncteur n'interrompra pas cette petite alternance de courant.

6.102.10.2 Essais monophasés en substitution des essais triphasés

Les procédures décrites en 6.102.10.2 de la CEI 62271-100:2008 sont applicables.

6.102.10.2.5 Séparation des séquences d'essais en séries d'essais en tenant compte de la TTR exacte de chaque pôle qui s'ouvre

Les procédures décrites en 6.102.10.2.5 de la CEI 62271-100:2008 sont applicables et la procédure d'essai pour les essais synthétiques est donnée à l'Annexe L.

6.104.5.4 Séquence d'essais T30

Pour les tensions assignées inférieures ou égales à 72,5 kV, il peut être difficile de satisfaire aux petites valeurs de t_3 . Il convient d'utiliser la plus petite durée qui peut être obtenue, mais sans être inférieure aux valeurs spécifiées au Tableau 13 de la CEI 62271-100:2008. Les valeurs utilisées doivent être indiquées dans le rapport d'essai.

6.104.5.5 Séquence d'essais T10

Pour les tensions assignées inférieures ou égales à 72,5 kV, il peut être difficile de satisfaire aux petites valeurs de t_3 . Il convient d'utiliser la plus petite durée qui peut être obtenue, mais sans être inférieure aux valeurs spécifiées au Tableau 13 de la CEI 62271-100:2008. Les valeurs utilisées doivent être indiquées dans le rapport d'essai.

6.106 Séquences d'essais de court-circuit fondamentales

Les exigences fondamentales sont données en 6.106 de la CEI 62271-100:2008. Les méthodes d'essais synthétiques sont données au Tableau 5.

Les abréviations utilisées en 6.106 et au Tableau 5 sont données ci-dessous.

Cd	Maneuvre de fermeture dans un circuit direct à la tension du circuit de courant qui peut être inférieure à la tension spécifiée en 6.104.1 de la CEI 62271-100:2008
Cs	Manœuvre de fermeture avec des paramètres spécifiés dans un circuit d'essais synthétiques
Cd _{asy}	Manœuvre de fermeture avec le pouvoir d'établissement assigné en court-circuit selon 6.104.2 de la CEI 62271-100:2008 dans un circuit direct aux conditions décrites en Cd
Cs _{sym}	Manœuvre de fermeture avec un courant symétrique égal au pouvoir de coupure assigné en court-circuit, effectuée à la tension appliquée requise dans un circuit d'essais synthétiques
Od	Manœuvre de coupure à la tension du circuit de courant uniquement et avec le courant de coupure spécifié
Os	Manœuvre de coupure avec des paramètres spécifiés dans un circuit d'essais synthétiques
t	Intervalle de temps entre les manœuvres (0,3 s ou 3 min selon la séquence de manœuvre assignée)
t'	Intervalle de temps entre les manœuvres (3 min)
t''	Intervalle de temps entre les manœuvres (15 s)
SP	Essai monophasé tel que défini en 6.108 de la CEI 62271-100:2008
DEF	Essai de double défaut à la terre tel que défini en 6.108 de la CEI 62271-100:2008

NOTE Du fait des caractéristiques des essais synthétiques, il peut être difficile de satisfaire aux intervalles de temps spécifiés des séquences de manœuvres assignées. Voir 6.105.1 de la CEI 62271-100:2008.

Pour satisfaire à toutes les exigences d'essai, il peut être nécessaire de réaliser plus de manœuvres que spécifié dans la séquence d'essais normale. Dans de tels cas, le disjoncteur peut être remis en état et la séquence d'essais répétée.



6.106.1 Séquence d'essais T10

Plusieurs procédures peuvent être utilisées pour réaliser la séquence de manœuvre assignée en synthétique avec les paramètres spécifiés (voir Tableau 5).

6.106.2 Séquence d'essais T30

Plusieurs procédures peuvent être utilisées pour réaliser la séquence de manœuvre assignée en synthétique avec les paramètres spécifiés (voir Tableau 5).

6.106.3 Séquence d'essais T60

Plusieurs procédures peuvent être utilisées pour réaliser la séquence de manœuvre assignée en synthétique avec les paramètres spécifiés (voir Tableau 5).

6.106.4 Séquence d'essais T100s

Plusieurs procédures peuvent être utilisées pour réaliser la séquence de manœuvre assignée en synthétique avec les paramètres spécifiés (voir Tableau 5), comme suit.

6.106.4.1 Cas où la constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai est égale à la valeur spécifiée

L'une des méthodes suivantes doit être utilisée lorsque la constante de temps du circuit d'essai est égale à la valeur spécifiée associée au pouvoir de coupure assigné en court-circuit défini en 4.101.2 de la CEI 62271-100:2008.

Méthode 1

La procédure préférentielle consiste à effectuer la séquence de manœuvre assignée complète comme suit:

Os – t – Cs Os – t' – CsOs ou

CsOs – t'' – CsOs

avec une Cs satisfaisant à l'exigence a) et l'autre Cs satisfaisant à l'exigence b) de 6.104.2.1 de la CEI 62271-100:2008.

Méthode 2

La procédure consiste à effectuer la séquence de manœuvre assignée complète comme suit:

Os suivie de

Od – t – Cs_{sym} Os – t' – Cd_{asy} Os ou

Cs_{sym} Od – t'' – Cd_{asy} Os

avec Od ayant la même condition de durée d'arc minimale que la Os précédente et Cd_{asy} satisfaisant à l'exigence b) de 6.104.2.1 de la CEI 62271-100:2008.

L'objet de la première Os est

- de satisfaire à l'exigence d'avoir le nombre spécifié de manœuvres de coupure aux valeurs spécifiées,
- de donner les renseignements nécessaires pour permettre le réglage de l'ordre d'ouverture conformément aux exigences applicables pendant la séquence de la manœuvre suivante. Cela permet de déterminer les conditions de la durée d'arc minimale, comme si des essais directs avaient été réalisés aux valeurs spécifiées. Ces conditions doivent être reproduites pendant la manœuvre Od dans la séquence de manœuvre suivante.

L'objet de la Cs_{sym} est de satisfaire à l'exigence a) de 6.104.2.1 de la CEI 62271-100:2008, d'établir un courant symétrique résultant d'un pré-amorçage initié à la crête de la tension appliquée.

Méthode 3

La procédure consiste à effectuer la séquence de manœuvre assignée complète comme suit:

Cs_{sym} et Os suivies de

Od – t – CdOs – t' – CdOs ou

CdOd – t'' – CdOs

avec Od ayant la même condition de durée d'arc minimale que la Os précédente et l'une des deux Cd satisfaisant à l'exigence b) de 6.104.2.1 de la CEI 62271-100:2008.

L'objet de la première Os est

- de respecter l'exigence d'avoir le nombre spécifié de manœuvres de coupure aux valeurs spécifiées,
- de donner les renseignements nécessaires pour permettre le réglage de l'ordre d'ouverture conformément aux exigences applicables pendant la séquence de la manœuvre suivante. Cela permet de déterminer les conditions de la durée d'arc minimale, comme si des essais directs avaient été réalisés aux valeurs spécifiées. Ces conditions doivent être reproduites pendant la manœuvre Od dans la séquence de manœuvre suivante.

L'objet de la Cs_{sym} est de satisfaire à l'exigence a) de 6.104.2.1 de la CEI 62271-100:2008, d'établir un courant symétrique résultant d'un pré-amorçage initié à la crête de la tension appliquée.

6.106.4.2 Cas où la constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai est inférieure à la valeur spécifiée

L'une des méthodes suivantes doit être utilisée lorsque la constante de temps du circuit d'essai est inférieure à la valeur spécifiée associée au pouvoir de coupure assigné en court-circuit selon 4.101.2 de la CEI 62271-100:2008.

Méthode 1

La procédure consiste à effectuer la séquence de manœuvre assignée complète comme suit:

Cd_{asy} et Os suivies de

Od – t – Cs_{sym} Os – t' – CdOs ou

Cs_{sym} Od – t'' – Cd Os

avec Od ayant la même condition de durée d'arc minimale que la Os précédente et Cd_{asy} satisfaisant à l'exigence b) de 6.104.2.1 de la CEI 62271-100:2008.

L'objet de la première Os est

- de respecter l'exigence d'avoir le nombre spécifié de manœuvres de coupure aux valeurs spécifiées,
- de donner les renseignements nécessaires pour permettre le réglage de l'ordre d'ouverture conformément aux exigences applicables pendant la séquence de la manœuvre suivante. Cela permet de déterminer les conditions de la durée d'arc minimale, comme si des essais directs avaient été réalisés aux valeurs spécifiées. Ces conditions doivent être reproduites pendant la manœuvre Od dans la séquence de manœuvre suivante.

L'objet de la Cs_{sym} est de satisfaire à l'exigence a) de 6.104.2.1 de la CEI 62271-100:2008, d'établir un courant symétrique résultant d'un pré-amorçage initié à la crête de la tension appliquée.

Méthode 2

La procédure consiste à effectuer la séquence de manœuvre assignée complète comme suit:

Cd_{asy} , Cs_{sym} et Os suivies de

Od – t – CdOs – t' – CdOs ou

CdOd – t'' – CdOs

avec Od ayant la même condition de durée d'arc minimale que la Os précédente et Cd_{asy} satisfaisant à l'exigence b) de 6.104.2.1 de la CEI 62271-100:2008.

L'objet de la première Os est

- de respecter l'exigence d'avoir le nombre spécifié de manœuvres de coupure aux valeurs spécifiées,
- de donner les renseignements nécessaires pour permettre le réglage de l'ordre d'ouverture conformément aux exigences applicables pendant la séquence de la manœuvre suivante. Cela permet de déterminer les conditions de la durée d'arc minimale, comme si des essais directs avaient été réalisés aux valeurs spécifiées. Ces conditions doivent être reproduites pendant la manœuvre Od dans la séquence de manœuvre suivante.

L'objet de la Cs_{sym} est de satisfaire à l'exigence a) de 6.104.2.1 de la CEI 62271-100:2008, d'établir un courant symétrique résultant d'un pré-amorçage initié à la crête de la tension appliquée.

6.106.4.3 Constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai supérieure à la valeur spécifiée

L'une des méthodes suivantes doit être utilisée lorsque la constante de temps du circuit d'essai est supérieure à la valeur spécifiée associée au pouvoir de coupure assigné en court-circuit selon 4.101.2 de la CEI 62271-100:2008.

Méthode 1

La procédure consiste à effectuer la séquence de manœuvre assignée complète comme suit:

Os suivie de

$Od - t - Cs_{sym}Os - t' - Cd_{asy}Os$ ou

$Cs_{sym}Od - t'' - Cd_{asy}Os$

avec Od ayant la même condition de durée d'arc minimale que la Os précédente et Cd_{asy} satisfaisant à l'exigence b) de 6.104.2.1 de la CEI 62271-100:2008.

L'objet de la première Os est

- de satisfaire à l'exigence d'avoir le nombre spécifié de manœuvres de coupure aux valeurs spécifiées,
- de donner les renseignements nécessaires pour permettre le réglage de l'ordre d'ouverture conformément aux exigences applicables pendant la séquence de la manœuvre suivante. Cela permet de déterminer les conditions de la durée d'arc minimale, comme si des essais directs avaient été réalisés aux valeurs spécifiées. Ces conditions doivent être reproduites pendant la manœuvre Od dans la séquence de manœuvre suivante.

L'objet de la Cs_{sym} est de satisfaire à l'exigence a) de 6.104.2.1 de la CEI 62271-100:2008, d'établir un courant symétrique résultant d'un pré-amorçage initié à la crête de la tension appliquée.

Méthode 2

La procédure consiste à effectuer la séquence de manœuvre assignée complète comme suit:

Cs_{sym} et Os suivies de

$Od - t - CdOs - t' - CdOs$ ou

$CdOd - t'' - CdOs$

avec Od ayant la même condition de durée d'arc minimale que la Os précédente et l'une des deux Cd satisfaisant à l'exigence b) de 6.104.2.1 de la CEI 62271-100:2008.

L'objet de la première Os est

- de satisfaire à l'exigence d'avoir le nombre spécifié de manœuvres de coupure aux valeurs spécifiées,
- de donner les renseignements nécessaires pour permettre le réglage de l'ordre d'ouverture conformément aux exigences applicables pendant la séquence de la manœuvre suivante. Cela permet de déterminer les conditions de la durée d'arc minimale, comme si des essais directs avaient été réalisés aux valeurs spécifiées. Ces conditions doivent être reproduites pendant la manœuvre Od dans la séquence de manœuvre suivante.

L'objet de la Cs_{sym} est de satisfaire à l'exigence a) de 6.104.2.1 de la CEI 62271-100:2008, d'établir un courant symétrique résultant d'un pré-amorçage initié à la crête de la tension appliquée.

6.106.5 Séquence d'essais T100a

Trois manœuvres de coupure doivent être réalisées comme spécifié en 6.106.5 de la CEI 62271-100:2008 (voir Tableau 5).

Pendant les essais avec courant asymétrique, la pente di/dt et la TTR sont modifiées par la présence de la composante continue. Pour les essais synthétiques, ces modifications doivent être préparées comme suit:

- a) Selon la constante de temps apériodique requise, les critères d'asymétrie suivants doivent être remplis comme indiqué ci-dessous et en 6.106.6 de la CEI 62271-100:2008.

Les valeurs requises du courant de court-circuit de crête et de la durée de l'alternance doivent être conformes aux valeurs des Tableaux 15 à 22 de la CEI 62271-100:2008.

Les critères pour les valeurs réelles sont donnés en 4.1.2.

Il convient d'utiliser le niveau d'asymétrie requise au zéro de courant pour calculer le di/dt et la TTR applicables.

Lorsque l'on utilise une méthode par injection de tension, les critères concernant le di/dt au zéro de courant peuvent être ignorés.

- b) Réduction de di/dt au zéro de courant

La réduction de di/dt peut être obtenue pour les méthodes par injection de courant, en réduisant la tension de charge du circuit de tension.

Les valeurs corrigées correspondantes sont indiquées aux Tableaux 15 à 22 de la CEI 62271-100:2008 pour la condition de premier pôle qui coupe et aux Tableaux I.1 à I.4 pour la condition de deuxième pôle qui coupe dans la phase ayant le courant avec la pleine asymétrie.

- c) Correction de la TTR

- 1) Méthode simplifiée

Pour les TTR dont le temps t_2 ou t_3 n'excède pas 500 µs, une méthode simplifiée peut être utilisée.

Il convient que la tension de charge du circuit d'essais synthétiques soit fixée pour obtenir les paramètres d'essais les plus contraignants. Pour les essais sur la petite alternance, il s'agit de u_C , et pour la grande alternance, di/dt .

- 2) Pour les TTR dont le temps t_2 excède 500 µs, d'autres corrections et/ou des modifications de circuit doivent être utilisées. Pour les valeurs de TTR présumées requises, voir les Tableaux I.5 à I.10.

Différents circuits d'essais pour la grande et la petite alternances peuvent être nécessaires afin d'obtenir les valeurs requises. Un essai avec un seul circuit d'essai peut surcharger le disjoncteur et nécessite l'accord du constructeur.

- d) Correction de la tension de rétablissement

Quand l'essai représente la coupure à la fin d'une grande alternance, la tension de rétablissement réduite couvrira correctement le premier quart de période de la tension de rétablissement (de l'essai direct correspondant).

Pour la coupure à la fin d'une petite alternance de courant, la tension de rétablissement réduite ne couvrira pas les conditions du réseau de référence, puisque la tension de rétablissement à fréquence industrielle continue de croître après l'établissement de la TTR.

Avec les séquences d'essais symétriques, on a assez d'éléments pour prouver les caractéristiques du disjoncteur.

6.108 Essais de défaut monophasé ou de double défaut à la terre

Les exigences d'essai fondamentales sont données en 6.108 de la CEI 62271-100:2008. La méthode d'essai est présentée au Tableau 5.

6.109 Essais de défaut proche en ligne

Les exigences d'essai fondamentales sont données en 6.109 de la CEI 62271-100:2008.

Les méthodes d'essais pour les essais de défaut proche en ligne sont données au Tableau 5.

La dernière alternance de courant avant l'interruption doit avoir une amplitude égale au courant d'essai fois $\sqrt{2}$ avec une tolérance de $\pm 10\%$ y compris les dispositions de 4.1.2.

Pour les essais synthétiques de défaut proche en ligne, les paramètres du circuit de défaut proche en ligne doivent être ceux indiqués en 4.105 de la CEI 62271-100:2008 et le circuit côté ligne doit être inséré dans le circuit de courant pendant la totalité de la durée d'interaction.

Avec des circuits à injection de courant, le circuit de défaut proche en ligne peut se mettre en série avec le circuit de tension, et son inductance est ajoutée à L_h , comme indiqué à la Figure B.1.

Ce circuit de défaut proche en ligne introduit dans le circuit de tension peut engendrer des oscillations qui se superposent à l'onde de courant injecté. Il convient que ces oscillations soient amorties (pour être conformes à d) de 4.2.1), de manière à ne pas perturber le courant pendant la durée de changement significatif de la tension d'arc ou au moins pendant 100 μ s avant le zéro de courant.

Une résistance peut être connectée en série avec le circuit de mise en forme de TTR. Dans la plupart des cas, cette résistance, destinée à imposer la vitesse de montée initiale de la tension de rétablissement, est suffisante pour assurer l'amortissement nécessaire.

NOTE 1 Un soin particulier est apporté à la répartition des tensions et au mesurage des TTR présumées lorsque, pour les essais de défaut proche en ligne, la ligne est connectée du même côté du disjoncteur en essai comme l'impédance du circuit de tension.

Si une capacité additionnelle est utilisée pour ajuster les retards selon 6.109.3 de la CEI 62271-100:2008, il convient de veiller à l'endroit où cette capacité doit être appliquée:

- en utilisant une capacité côté ligne, elle doit être connectée aux bornes de la section ligne du circuit d'essai pour simuler les mêmes conditions que dans les essais directs;
- en utilisant une capacité côté source, elle doit être connectée aux bornes de la section source du circuit de tension.

Une capacité aux bornes du disjoncteur est normalement considérée comme faisant partie de l'objet d'essai. Dans certains cas, il peut être nécessaire d'appliquer une capacité supplémentaire aux bornes du disjoncteur pour ajuster le retard du circuit d'essai.

NOTE 2 Une capacité aux bornes du disjoncteur auxiliaire influence le temps de retard et est considérée comme faisant partie de la capacité de retard du circuit d'essai.

Selon 6.109.5 de la CEI 62271-100:2008, les essais de défaut proche en ligne peuvent également être réalisés avec un circuit à injection de courant basé sur une tension à fréquence industrielle réduite, les dispositions de 6.109.3 de la CEI 62271-100:2008 étant suivies.

Ces dispositions doivent être satisfaites autant que possible et, pour la tension transitoire de rétablissement, au moins jusqu'à trois fois la durée spécifiée de la première crête du côté ligne.

Pour l'applicabilité de cette méthode, voir 6.109.5 de la CEI 62271-100:2008.

NOTE 3 Il est reconnu que les exigences de 4.2.1 b) sur l'inductance du circuit de tension s'appliquent au circuit direct équivalent de puissance réduite.

6.110 Essais d'établissement et de coupure en discordance de phases

Les exigences fondamentales sont données en 6.110 de la CEI 62271-100:2008.

Les méthodes d'essais pour OP1 et OP2 sont données au Tableau 5.

Tableau 5 – Méthodes d'essais synthétiques pour les séquences d'essais T10, T30, T60, T100s, T100a, SP, DEF, OP et SLF

Séquence d'essais	Essai synthétique		Séquence de manœuvre assignée	
			O – t – CO – t' – CO $t = 0,3 \text{ s ou } 3 \text{ min}$ $t' = 3 \text{ min}$	CO – t" – CO $t" = 15 \text{ s}$
	Paragraphe	Méthode		
T10, T30 et T60	6.106.1 à 6.106.3	1	Os – t – (Cd)Os – t' – (Cd)Os ^a	(Cd)Os – t" – (Cd)Os ^a
		2	Os Od – t – (Cd)Os – t' – (Cd)Os ^a	Os (Cd)Od – t" – (Cd)Os ^a
T100s	6.106.4.1 constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai égale à la valeur spécifiée	1	Os – t – CsOs – t' – CsOs	CsOs – t" – CsOs
		2	Os Od – t – Cs _{sym} Os – t' – Cd _{asy} Os	Os Cs _{sym} Od – t" – Cd _{asy} Os
		3	Cs _{sym} Os Od – t – CdOs – t' – CdOs ^d	Cs _{sym} Os CdOd – t" – CdOs ^d
	6.106.4.2 constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai inférieure à la valeur spécifiée	1	Cd _{asy} Os Od – t – Cs _{sym} Os – t' – CdOs ^b	Cd _{asy} Os Cs _{sym} Od – t" – CdOs ^b
		2	Cd _{asy} Cs _{sym} Os Od – t – CdOs – t' – CdOs ^b	Cd _{asy} Cs _{sym} Os CdOd – t" – CdOs ^b
	6.106.4.3 constante de temps de la composante apériodique du circuit d'essai supérieure à la valeur spécifiée	1	Os Od – t – Cs _{sym} Os – t' – Cd _{asy} Os ^c	Os Cs _{sym} Od – t" – Cd _{asy} Os ^c
		2	Cs _{sym} Os Od – t – CdOs – t' – CdOs ^{c, d}	Cs _{sym} Os CdOd – t" – CdOs ^{c, d}
T100a	6.106.5		Os – t' – Os – t' – Os	
SP et DEF	6.108		Os	
SLF	6.109	1	Os – t – (Cd)Os – t' – (Cd)Os ^a	
		2	Os Od – t – (Cd)Os – t' – (Cd)Os ^a	
OP1	6.110		Os, Os, Os	
OP2	6.110	1	Cs _{sym} Os, Os, Os	
		2	Cs _{sym} (Cd)Os, Os, Os ^a	

^a (Cd) est une manœuvre de fermeture comme Cd, qui peut être effectuée à vide.

^b Du fait que la constante de temps de la composante continue du circuit d'essai est plus faible que la valeur spécifiée utilisée pour le pouvoir de coupure assigné en court-circuit, il sera nécessaire que la valeur symétrique du courant pendant Cd_{asy} soit plus grande que la valeur assignée. De même, pendant Cd, la crête de courant, déjà vérifiée pendant Cd_{asy}, sera plus faible que le pouvoir de fermeture assigné en court-circuit.

^c Etant donné que la constante de temps de la composante continue du circuit d'essai est plus grande que la valeur spécifiée utilisée pour le court-circuit assigné, la valeur de crête du courant pendant la fermeture asymétrique peut être plus grande que le pouvoir de fermeture assigné en court-circuit. Un circuit de réduction du courant de crête peut être utilisé ou la manœuvre de fermeture peut être réalisée en synchronisant l'ordre par rapport à l'onde de tension pour obtenir le pouvoir de fermeture assigné en court-circuit requis. L'utilisation d'une synchronisation de l'ordre par rapport à l'onde de tension est soumise à l'accord du constructeur.

^d L'une des deux Cd doit être Cd_{asy}.

6.111 Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs

Les exigences fondamentales sont données en 6.111 de la CEI 62271-100:2008.

Pour les disjoncteurs sous enveloppe métallique ou à cuve mise à la terre, des circuits d'essai typiques sont donnés à l'Annexe N et des lignes directrices supplémentaires sont données à l'Annexe O de la CEI 62271-100:2008.

6.111.2 Généralités

Un circuit d'essai avec un circuit de courant de 50 Hz peut être utilisé pour prouver la capacité d'établissement et de coupure de courants capacitifs pour des caractéristiques assignées de 60 Hz, à condition que la tension de rétablissement satisfasse aux exigences de 60 Hz (voir Note 4 de 6.111.2 de la CEI 62271-100:2008). Il convient que le réglage de la séparation des contacts soit basé sur la fréquence du circuit de courant. Cependant, pour les manœuvres d'ouverture, la durée d'arc minimale est déterminée en faisant varier le moment de la séparation des contacts lors de l'ouverture par intervalles d'environ 6° basés sur la fréquence assignée du disjoncteur en essais.

6.111.3 Caractéristiques des circuits d'alimentation

Lorsque les caractéristiques du circuit d'essai ne satisfont pas aux exigences de 6.111.3 de la CEI 62271-100:2008, la tension de rétablissement présumée spécifiée en 6.111.10 de la CEI 62271-100:2008 doit être appliquée.

Les effets de l'arrachement du courant, tels que décrits à l'Article G.6, peuvent modifier la tension de rétablissement au cours des essais de coupure de courants capacitifs.

6.111.7 Tension d'essai

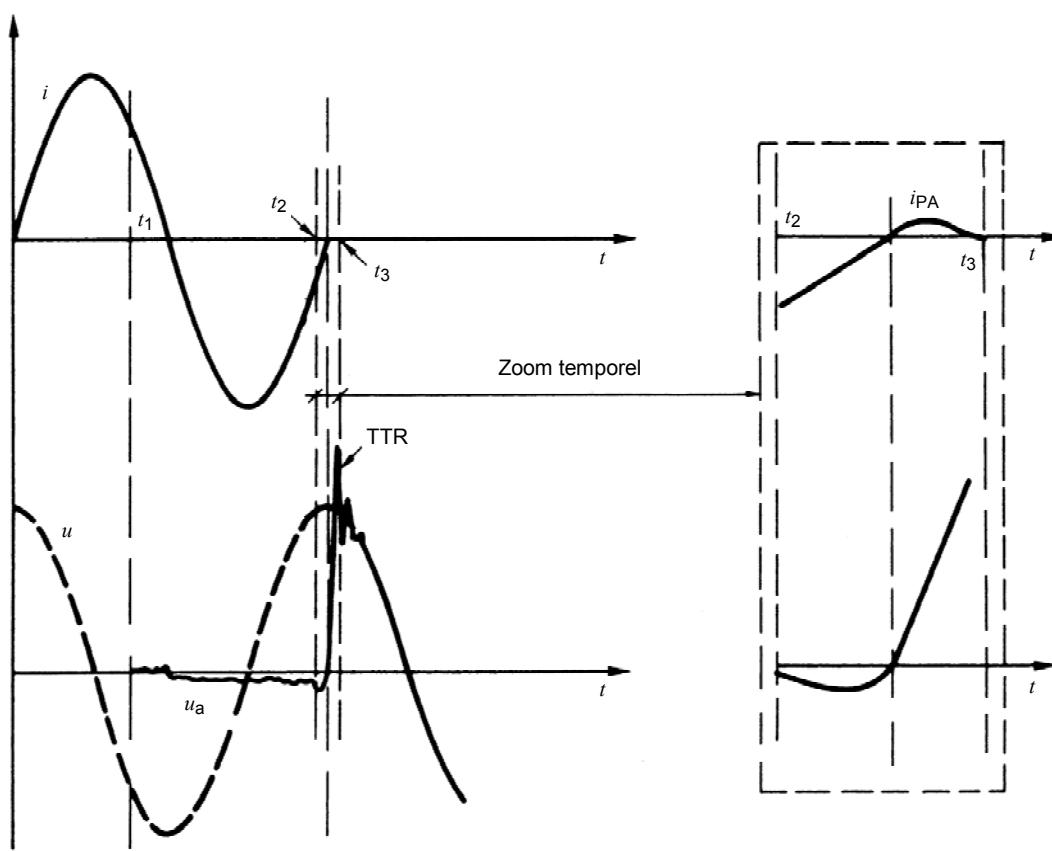
Pour les essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs synthétiques monophasés, la tension d'essai spécifiée pour les essais directs en 6.111.7 de la CEI 62271-100:2008 doit être appliquée.

Des exemples de circuits d'établissement et de coupure de courants capacitifs synthétiques sont donnés à l'Annexe G.

UTE

- 33 -

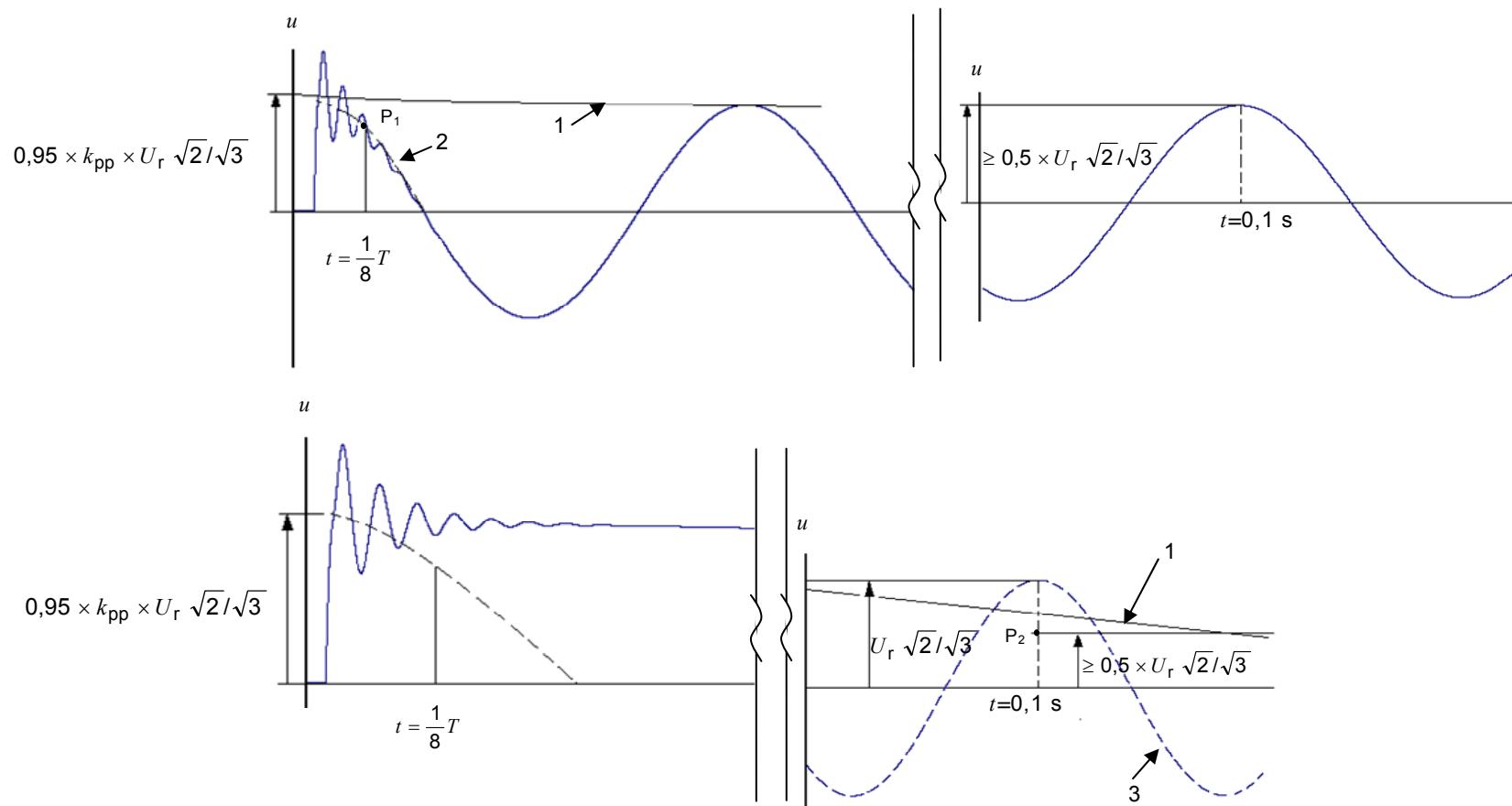
EN 62271-101:2013



Légende

i	courant de coupure	t_2	début du changement significatif de la tension d'arc
u	tension à fréquence industrielle	t_3	instant de disparition du courant post-arc
u_a	tension d'arc	$t_2 - t_1$	période de fort courant
TTR	tension transitoire de rétablissement	$t_3 - t_2$	période d'interaction
i_{PA}	courant post-arc	Après t_3	période de haute tension
t_1	instant de séparation des contacts		

Figure 1 – Processus de coupure – Périodes principales

**Légende**

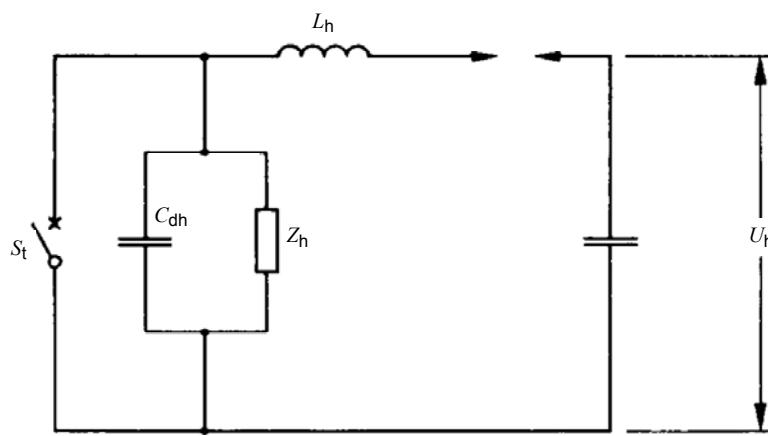
- | | | | |
|---|---|-------|---|
| 1 | tension de rétablissement avec décroissance exponentielle, aux bornes d'un disjoncteur en essai synthétique | P_1 | la tension de rétablissement (1) ne doit pas se trouver au-dessous de la valeur spécifiée (2) en ce point |
| 2 | tension de rétablissement à fréquence industrielle pour le premier pôle qui coupe lors de l'essai direct équivalent, par exemple avec un facteur de premier pôle $k_{pp} = 1,3$ | P_2 | point au-dessous duquel la tension de rétablissement (1) durant l'essai synthétique ne doit pas tomber |
| 3 | tension de rétablissement à fréquence industrielle après la coupure des courants dans chacun des trois pôles pendant l'essai direct équivalent | T | période de la fréquence industrielle |

Figure 2 – Exemples d'évaluation de la tension de rétablissement

UTE

– 35 –

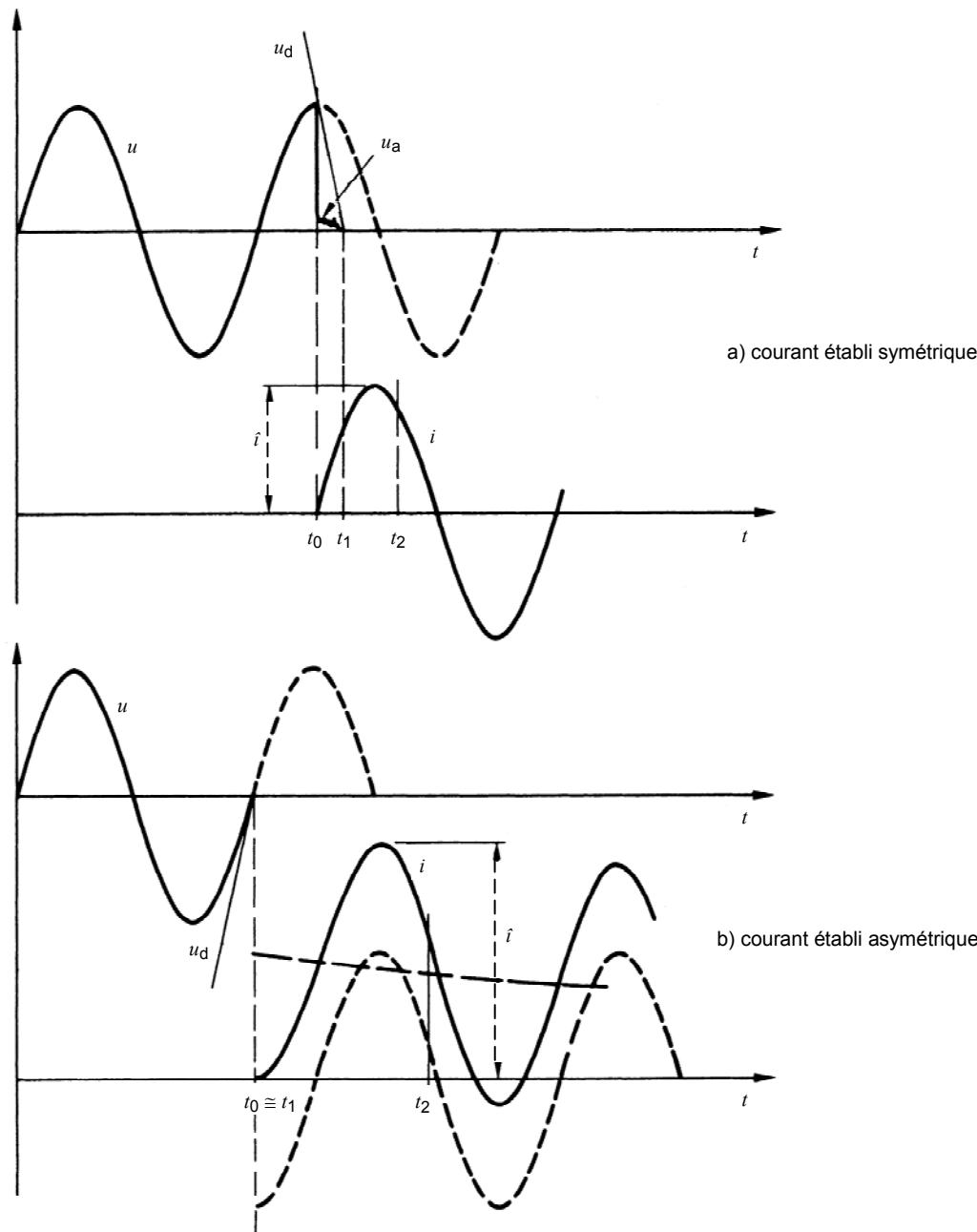
EN 62271-101:2013



Légende

- U_h tension de charge du circuit de tension
- L_h inductance du circuit de tension
- Z_h impédance d'onde équivalente
- C_{dh} capacité pour le retard du circuit de tension
- S_t disjoncteur en essai

Figure 3 – Impédance d'onde équivalente du circuit de tension pour la méthode par injection de courant



Légende

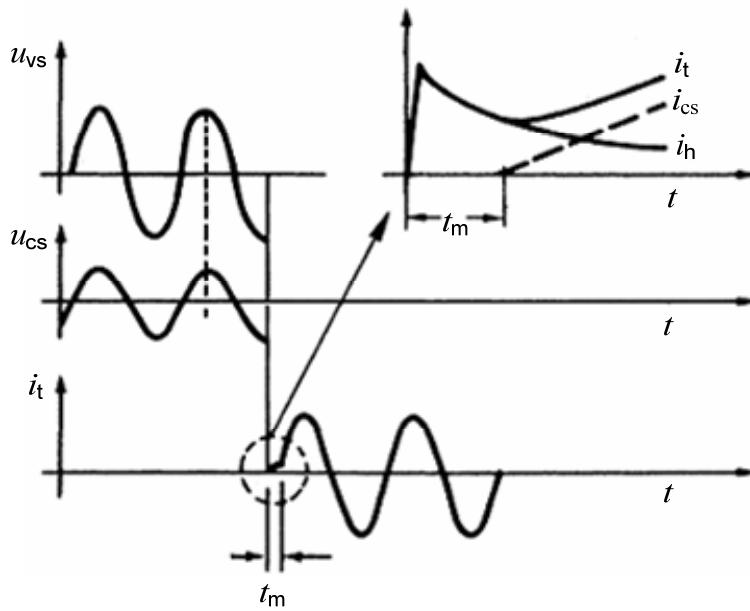
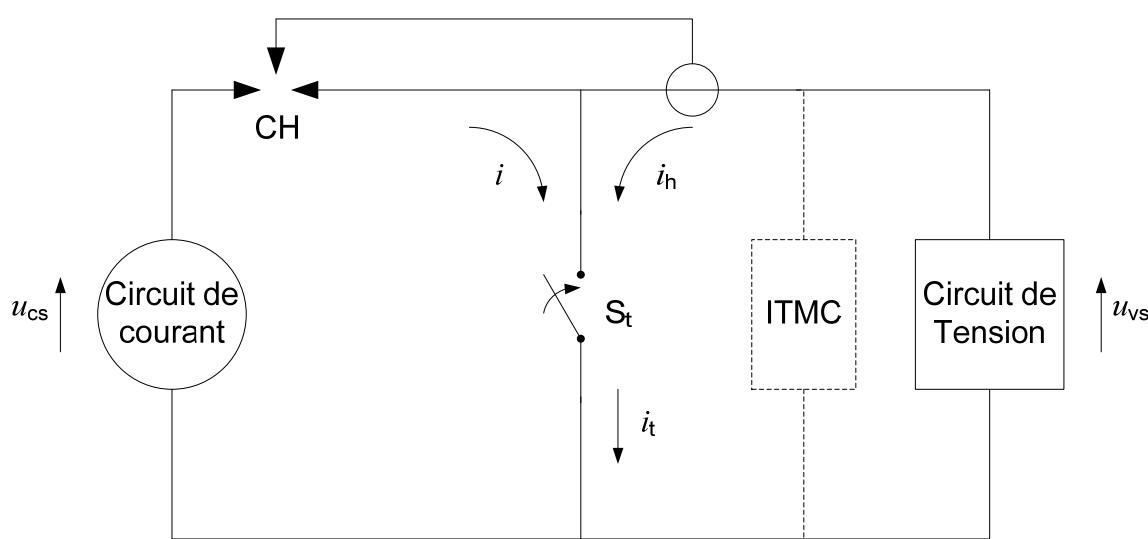
i	courant	u_a	tension d'arc
\hat{i}	valeur crête du courant établi	t_0	instant de pré-amorçage
u	tension à fréquence industrielle	t_1	instant où les contacts se touchent
u_d	caractéristique diélectrique en fermeture	t_2	instant d'obtention de la position totalement fermée

Figure 4 – Processus d'établissement – Instants principaux

UTE

- 37 -

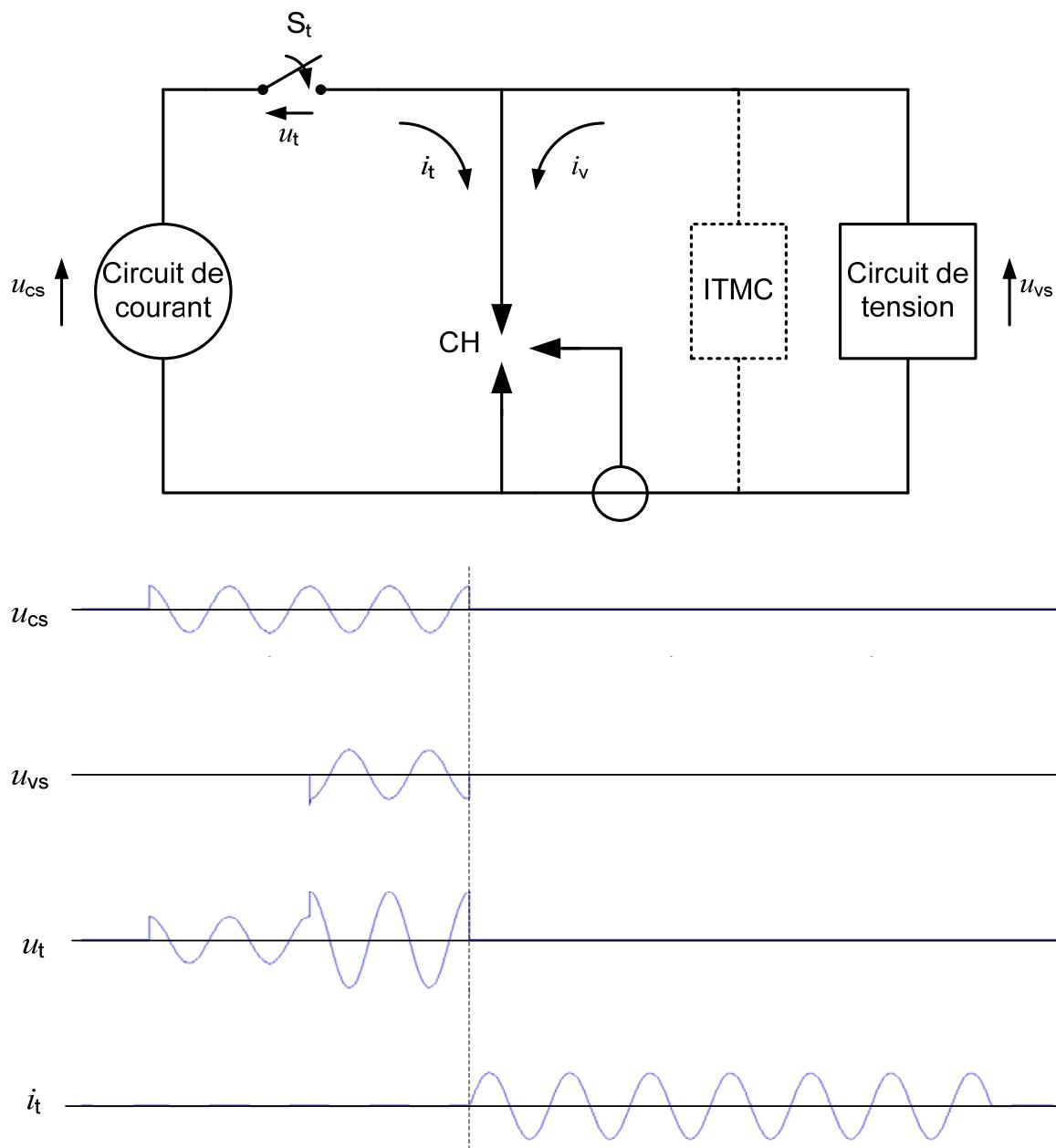
EN 62271-101:2013



Légende

u_{cs}	tension du circuit de courant	u_{vs}	tension du circuit de tension
CH	enclencheur (éclateur déclenché)	i_h	courant transitoire initial établi (ITMC)
i	courant à fréquence industrielle fourni par le circuit de courant	i_t	courant dans le disjoncteur en essai
S_t	disjoncteur en essai	t_m	retard de l'enclencheur

Figure 5 – Circuit type d'essais synthétiques d'établissement pour les essais monophasés

**Légende**

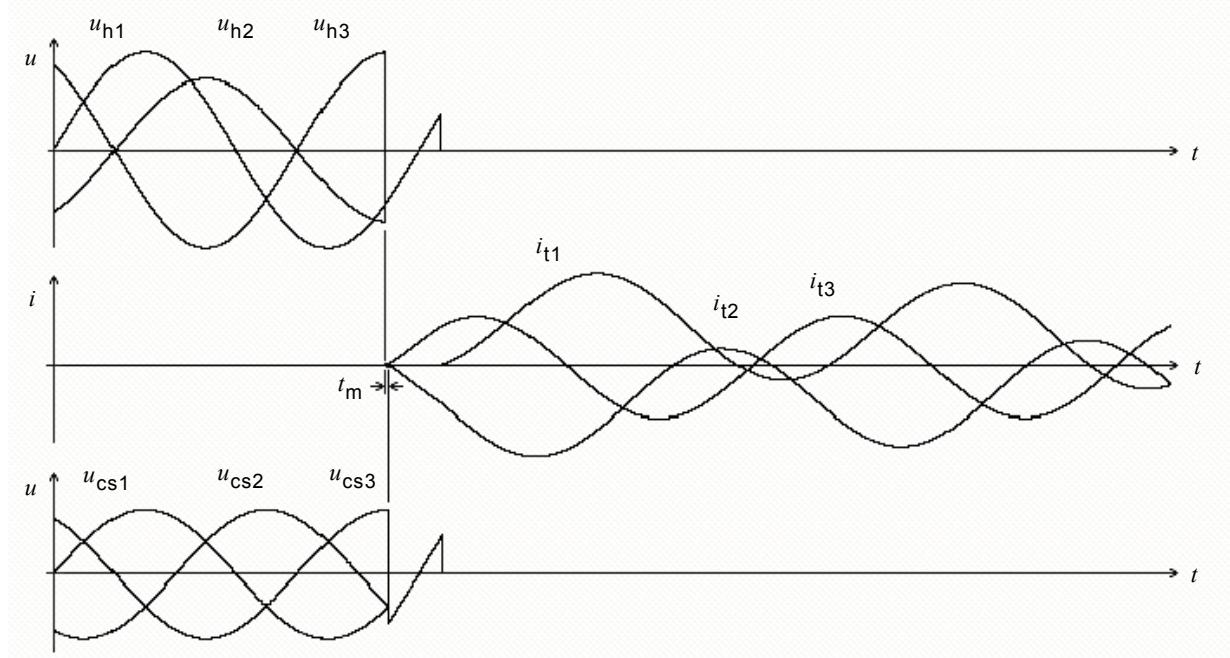
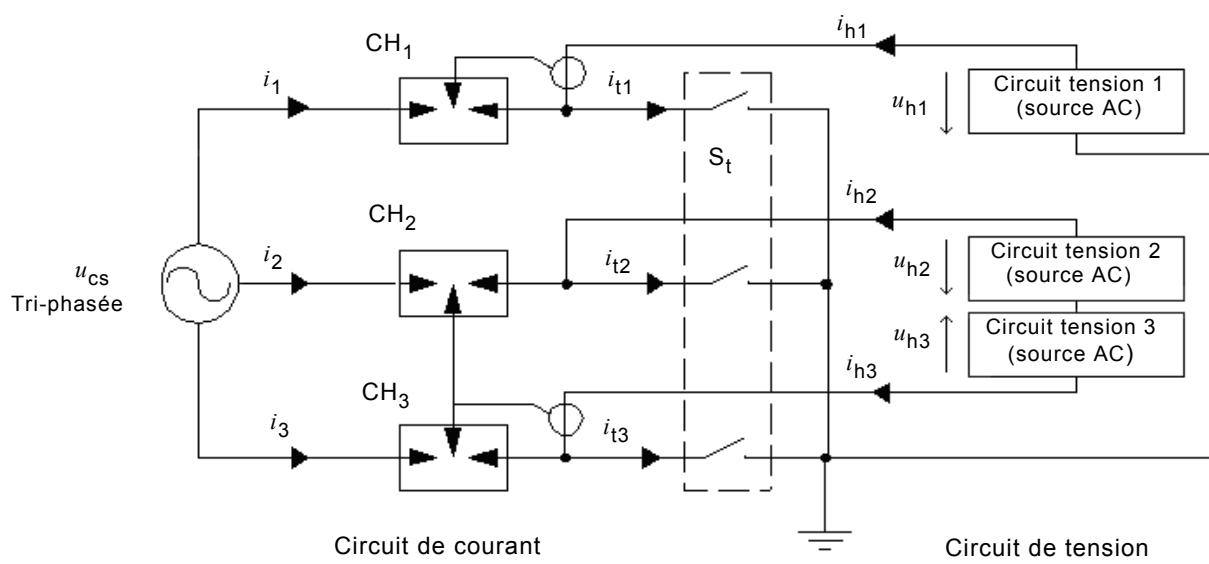
u_{cs}	tension du circuit de courant	u_{vs}	tension du circuit de tension
CH	enclencheur (éclateur déclenché)	i_t	courant dans le disjoncteur en essai
i	courant à fréquence industrielle fourni par le circuit de courant	u_t	tension d'essai aux bornes du disjoncteur en essai
S_t	disjoncteur en essai		

Figure 6 – Circuit type d'essais synthétiques d'établissement pour les essais en discordance de phase

UTE

– 39 –

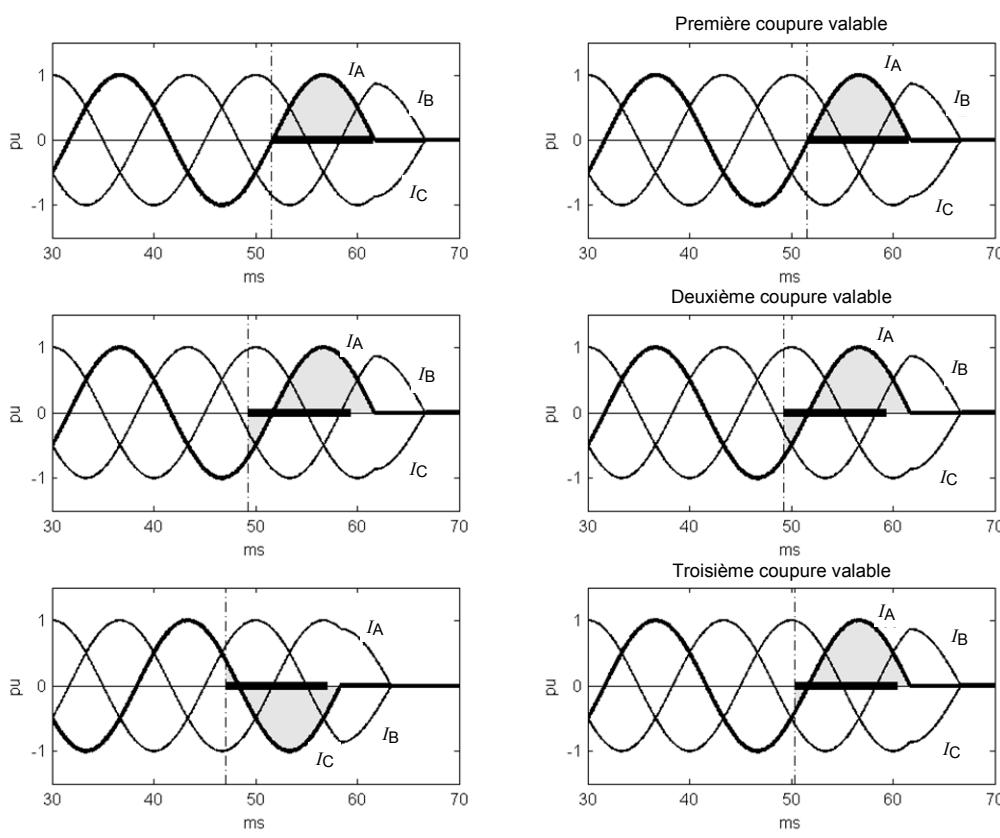
EN 62271-101:2013



Légende

$u_{cs1}, u_{cs2}, u_{cs3}$	tension du circuit de courant	u_{h1}, u_{h2}, u_{h3}	tension appliquée
i_1, i_2, i_3	courant fourni par le circuit de courant	CH_1, CH_2, CH_3	enclencheur
i_{t1}, i_{t2}, i_{t3}	courant traversant l'objet en essai	S_t	disjoncteur en essai
i_{h1}, i_{h2}, i_{h3}	courant transitoire initial établi (ITMC)	t_m	retard de l'enclencheur

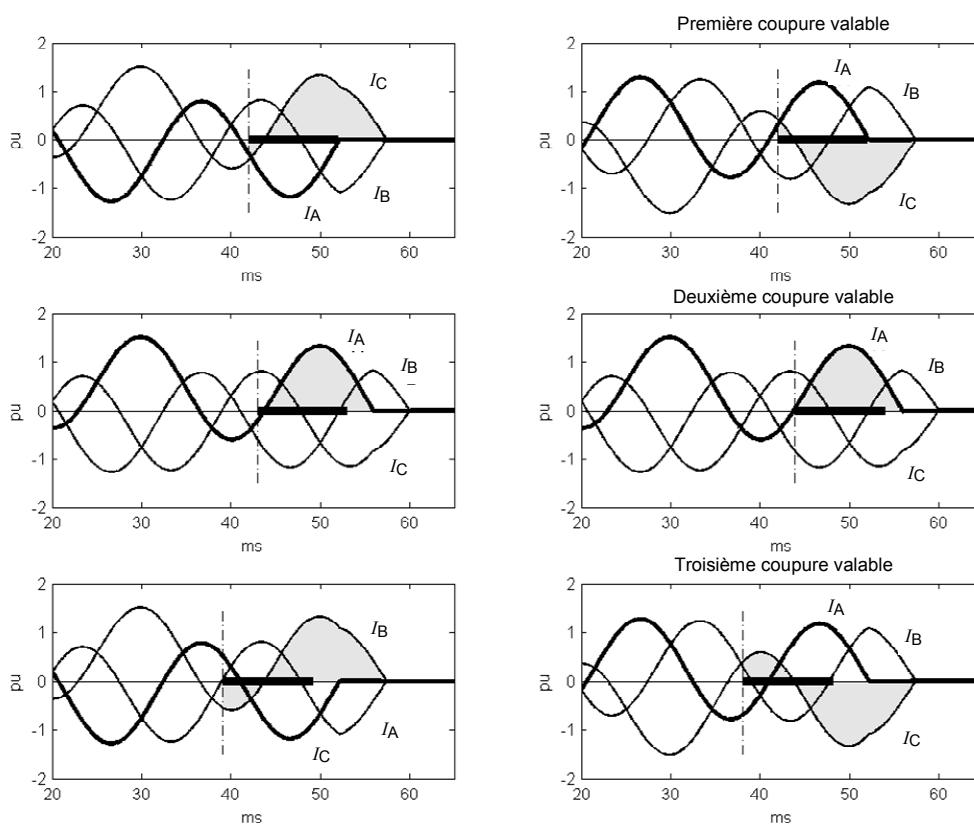
Figure 7 – Circuit type d'essais synthétiques d'établissement pour les essais triphasés ($k_{pp} = 1,5$)



NOTE 1 I_A , I_B , I_C : sont les courants dans les phases A, B et C, respectivement.

NOTE 2 La barre horizontale solide représente la durée d'arc minimale.

Figure 8 – Comparaison des réglages de la durée d'arc pendant les essais directs triphasés (gauche) et les essais synthétiques triphasés (droite) pour T100s avec $k_{pp} = 1,5$



NOTE 1 I_A , I_B , I_C : sont les courants dans les phases A, B et C, respectivement.

NOTE 2 La barre horizontale solide représente la durée d'arc minimale.

Figure 9 – Comparaison des réglages de la durée d'arc pendant les essais directs triphasés (gauche) et les essais synthétiques triphasés (droite) pour T100a avec $k_{pp} = 1,5$

Annexe A (informative)

Déformation du courant

A.1 Généralités

La déformation du courant est un facteur bien connu qu'il convient de prendre en considération pendant les essais synthétiques. Les Articles A.2, A.3 et A.4 donnent une analyse de base utilisant des méthodes simplifiées. En pratique, des calculs par ordinateur peuvent être plus appropriés lorsque diverses formes d'ondes de tensions d'arc peuvent être introduites.

A.2 Déformation du courant immédiatement avant le zéro de courant

La durée d'interaction commence lorsque la tension d'arc change de façon significative et que le courant tend vers zéro. La variation de la tension d'arc pendant cette période modifie la forme et la pente du courant juste avant le zéro de courant.

Cet écart par rapport au courant présumé a pour origine le courant déformant, qui s'écoule principalement dans l'impédance à faible constante de temps et dépend bien sûr de tous les paramètres du circuit réel.

La manière particulière dont le courant approche de zéro est responsable des conditions physiques du milieu inter-contacts du disjoncteur au moment du zéro de courant. L'interaction la plus importante entre le circuit et le disjoncteur résulte de la charge et de la décharge des capacités par la tension d'arc et de l'influence de cette dernière sur la pente du courant di/dt avant le zéro.

Sur un circuit simplifié tel que celui de la Figure A.1 représentant un court-circuit dans le réseau ou en essai direct, la tension u alimente le courant d'arc i avec la tension d'arc appropriée u_a . Parallèlement à l'arc se trouve le condensateur C .

Si l'on admet que la tension d'arc $u_a = 0$, alors le courant présumé de court-circuit i_p circulera à travers l'arc (voir Figure A.2), l'amplitude et la forme d'onde de ce courant étant fonction de l'inductance L , de la tension u , de la fréquence de cette tension et de l'instant d'injection du courant.

Si l'on admet que la tension d'alimentation $u = 0$ et qu'une tension d'arc existe, alors cette tension d'arc provoquera la circulation d'un courant. Ce courant i_d (voir Figure A.3) est le courant déformant qui se partagera en deux courants i_{dL} à travers l'inductance L , et i_{dC} à travers la capacité C . Dans ces conditions, les équations suivantes s'appliquent:

$$u_a - L \times \frac{d}{dt}(i_{dL}) = 0$$

et

$$C \frac{d}{dt}(u_a) - i_{dC} = 0$$

On peut en déduire l'équation suivante pour i_d :

$$i_d = i_{dL} + i_{dC} = \frac{1}{L} \int u_a dt + C \times \frac{d}{dt}(u_a)$$

Si à la fois les tensions u et u_a existent (voir Figure A.4), alors le courant résultant réel est donné par:

$$i = i_p - i_d$$

A.3 Déformation du courant pendant la période de fort courant

A.3.1 Généralités

Pendant cette période, la tension d'arc engendre un courant déformant i_d , dans le circuit. i_d se superpose au courant total.

En le comparant au courant présumé, le courant d'arc résultant présente des différences au niveau de quatre aspects: l'amplitude du courant, la durée de l'alternance, l'énergie d'arc et di/dt .

Pour évaluer l'influence de la tension d'arc, il suffit, en pratique, de considérer l'amplitude du courant et la durée de l'alternance.

En première approximation, deux caractéristiques différentes de tension d'arc peuvent être considérées, à savoir:

- a) une tension d'arc constante $u_a = U_a$
- b) une tension d'arc linéairement croissante $u_a = S \times t$

Puisque le courant à travers le condensateur C (voir Figure A.1) est petit pendant cette période d'arc, le schéma simplifié de la Figure A.5 est adéquat.

A.3.2 Déformation due à un courant d'arc symétrique pendant une alternance

Les équations suivantes sont obtenues en négligeant la résistance de la Figure A.5, ce qui est licite pour une seule alternance. Quelques résultats sont donnés aux Figures A.8 et A.9.

Les calculs utilisent les caractéristiques indiquées aux Figures A.6 et A.7.

$\hat{u} = \omega L \times \hat{i}_p$	valeur de crête de la tension du circuit de courant
\hat{i}_p	valeur de crête du courant présumé
\hat{i}	valeur de crête du courant réel (réduite par la tension d'arc)
t_m	instant de la valeur de crête \hat{i}

a) Rapport des amplitudes de courant

- pour une tension d'arc constante:

$$\frac{\hat{i}}{\hat{i}_p} = \sin(\omega \times t_m) - \frac{U_a}{\hat{u}} \times \omega t_m$$

- pour une tension d'arc linéairement croissante:

$$\frac{\hat{i}}{\hat{i}_p} = \sin(\omega \times t_m) - \frac{S\omega}{2\hat{u}} t_m^2$$

b) Durée réelle de l'alternance de courant T_1 (réduite par la tension d'arc)

– pour une tension d'arc constante:

$$\sin(\omega T)_1 = \frac{U_a \omega}{\hat{u}} T_1$$

– pour une tension d'arc linéairement croissante:

$$\sin(\omega T)_1 = \frac{S\omega}{2\hat{u}} T_1^2$$

Les Figures A.8 et A.9 montrent la réduction relative de l'amplitude du courant $\Delta i/\hat{i}_p$ et de la durée de l'alternance de courant $\Delta t/T_p$ en fonction respectivement du rapport U_a/\hat{u} pour une tension d'arc constante et du rapport $S \times T_a/2 \times \hat{u}$ pour une tension d'arc linéairement croissante, où:

$$\Delta i = \hat{i}_p - i,$$

$$\Delta t = T_p - T_1$$

T_p = durée présumée de l'alternance de courant

T_a = durée d'arc réelle ($T_a = T_1$ pour une seule alternance d'arc, voir Figures A.6 et A.7).

A.3.3 Déformation dans le cas général

Les courants déformants en cas de courants symétrique et asymétrique avec un arc durant plus d'une alternance sont obtenus à l'aide des équations suivantes qui sont applicables dans les deux cas de tensions d'arc constante et linéairement croissante. Ces calculs sont basés sur la Figure A.5 où la constante de temps L/R de l'impédance d'alimentation est introduite. Le courant présumé par unité est donné par:

$$i_p/\hat{i}_p = \sin(\omega t + \omega t_1 - \varphi) - \sin(\omega t_1 - \varphi) \times e^{-\frac{R}{L}t}$$

où

t est la coordonnée de temps comptée à partir du début du courant;

t_1 est l'intervalle de temps compris entre le début de l'alternance positive de tension et le début du courant;

$\varphi = \arctan \frac{\omega L}{R}$ pour un courant symétrique $\varphi = \omega t_1$.

Les courants déformants, par unité, sont

$i_d/\hat{i}_p = C$ pour la première alternance de l'arc,

$i_d/\hat{i}_p = D - E$ pour la deuxième alternance de l'arc,

$i_d/\hat{i}_p = D - F + G$ pour la troisième alternance de l'arc,

où C, D, E, F et G sont définis comme suit:

a) pour une tension d'arc constante:

$$C = \frac{M}{\cos \varphi} \left[1 - e^{-\frac{R}{L}(t-t_{cs})} \right]$$

$$D = \frac{M}{\cos \varphi} \left[1 - e^{-\frac{R}{L}(t'_0-t_{cs})} \right] e^{-\frac{R}{L}(t-t'_0)}$$

$$E = \frac{M}{\cos \varphi} \left[1 - e^{-\frac{R}{L}(t-t'_0)} \right]$$

$$F = \frac{M}{\cos \varphi} \left[1 - e^{-\frac{R}{L}(t''_0-t'_0)} \right] e^{-\frac{R}{L}(t-t''_0)}$$

$$G = \frac{M}{\cos \varphi} \left[1 - e^{-\frac{R}{L}(t-t_0'')} \right]$$

où

$$M = \frac{U_a}{\hat{u}} = \text{rapport entre la tension d'arc et la valeur de crête de la tension à fréquence industrielle}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

t_{cs} = instant de séparation des contacts

t_0', t_0'' = instants à la fin de chaque alternance de courant

b) pour une tension d'arc linéairement croissante:

$$C = \frac{M}{\cos \varphi} \left[(t - t_{cs}) - \frac{L}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}(t - t_{cs})}) \right]$$

$$D = \frac{M}{\cos \varphi} \left[(t_0' - t_{cs}) - \frac{L}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}(t_0' - t_{cs})}) \right] e^{-\frac{R}{L}(t - t_0')}$$

$$E = \frac{M}{\cos \varphi} \left[(t - t_0') - \frac{L}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}(t - t_0')}) + (t_0' - t_{cs}) \times (1 - e^{-\frac{R}{L}(t - t_0')}) \right]$$

$$F = \frac{M}{\cos \varphi} \left[(t_0'' - t_0') - \frac{L}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}(t_0'' - t_0')}) + (t_0' - t_{cs}) \times (1 - e^{-\frac{R}{L}(t_0'' - t_0')}) \right] e^{-\frac{R}{L}(t - t_0'')}$$

$$G = \frac{M}{\cos \varphi} \left[(t - t_0'') - \frac{L}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}(t - t_0'')}) + (t_0'' - t_{cs}) \times (1 - e^{-\frac{R}{L}(t - t_0'')}) \right]$$

où

$$M = \frac{S \times T_a}{2 \hat{u}}$$

Les réductions relatives de l'amplitude et de la durée de l'alternance du courant sont données aux Figures A.8 à A.11 dans quelques cas caractéristiques en fonction de la dernière alternance d'arc.

Pour un courant symétrique, les valeurs sont données à la Figure A.8 en fonction du rapport U_a/\hat{u} dans le cas d'une tension d'arc constante et à la Figure A.9 en fonction du rapport $S \times T_a / 2\hat{u}$ dans le cas d'une tension d'arc linéairement croissante. Les Figures A.10 et A.11 donnent les résultats correspondant à un courant asymétrique.

Pour les différentes durées d'arc, on a considéré trois cas caractéristiques: 1, 2 et 2,5 alternances. Pour les courants asymétriques, la position de séparation des contacts a été fixée à 1,5 cycle après l'injection du courant.

L'effet de la tension d'arc dépend beaucoup non seulement de la tension d'arc elle-même mais aussi de la durée d'arc et de l'asymétrie du courant. Par conséquent, chaque cas nécessite une évaluation précise.

NOTE Pour comparer les courbes correspondant aux deux types d'arcs, des valeurs adaptées ont été choisies pour les tensions d'arc: la valeur au moment du dernier zéro de courant pour la tension d'arc croissant linéairement est égale à deux fois la valeur U_a pour la tension d'arc constante.

A.4 Exemples d'estimation des paramètres du courant déformant

A.4.1 Généralités

Quelques exemples d'application des méthodes d'évaluation du courant déformant proposées ci-dessus aux Articles A.2 et A.3 sont donnés, ci-après, pour l'essai unipolaire d'un disjoncteur 123 kV.

Pour les exemples d'essais synthétiques, on a supposé égales les tensions d'arc et les positions de séparation des contacts pour le disjoncteur en essai et pour le disjoncteur auxiliaire.

A.4.2 Essai avec un courant symétrique

A.4.2.1 Tension d'arc constante

Essai direct

Tension assignée

$$U_r = 123 \text{ kV}$$

Tension d'essai monophasé

$$U_t = \frac{123 \times 1,3}{\sqrt{3}} = 92 \text{ kV}$$

Valeur moyenne de la tension d'arc constante
(dernière alternance)

$$U_a = 1 \text{ kV}$$

En conséquence:

$$\frac{U_a}{\hat{u}} = \frac{1}{92 \times \sqrt{2}} = 0,0077$$

par le calcul pour une alternance d'arc (voir A.3.2):

$$\frac{\Delta i}{i_p} = -1,2 \%$$

et

$$\frac{\Delta t}{T_p} = -0,7 \%$$

Essai synthétique

Tension du circuit de courant

$$U_1 = 31 \text{ kV}$$

Valeur moyenne d'une tension d'arc constante
(disjoncteurs en essai et auxiliaire, dernière alternance)

$$U_{as} = 2U_a = 2 \text{ kV}$$

donc:

$$\frac{U_{as}}{\hat{u}} = \frac{2}{31 \times \sqrt{2}} = 0,046$$

à partir de la Figure A.8 pour une alternance d'arc

$$\frac{\Delta i}{i_p} = -7 \%$$

et:

$$\frac{\Delta t}{T_p} = -4,5 \%$$

A.4.2.2 Tension d'arc croissant linéairement

Essai direct

Tension d'essai monophasé

$$U_t = 92 \text{ kV} \text{ comme ci-dessus}$$

Tension d'arc croissant linéairement

$$\frac{S T_a}{2} = 3 \text{ kV}$$

donc:

$$\frac{S T_a}{2 \hat{u}} = \frac{3}{92 \sqrt{2}} = 0,023$$

à partir de la Figure A.9 pour une alternance d'arc

$$\frac{\Delta i}{i_p} = -1,7 \%$$

et

$$\frac{\Delta t}{T_p} = -2,2 \%$$

Essai synthétique

Tension du circuit de courant

$$U_1 = 31 \text{ kV} \text{ comme ci-dessus}$$

Tension d'arc croissant linéairement
(disjoncteur en essai et disjoncteur auxiliaire)

$$\frac{S T_a}{2} = 2 \times 3 \text{ kV} = 6 \text{ kV}$$

donc:

$$\frac{S T_a}{2 \hat{u}} = \frac{6}{31 \sqrt{2}} = 0,137$$

à partir de la Figure A.9 pour une alternance d'arc

$$\frac{\Delta i}{i_p} = -10 \%$$

et

$$\frac{\Delta t}{T_p} = -11,2 \%$$

Dans le premier exemple, il convient que les tolérances sur l'amplitude et la durée de l'alternance de courant à fréquence industrielle ne soient pas, en principe, dépassées pendant l'essai synthétique réel, selon 4.1. Cependant, cela n'est possible que si la décroissance de la composante alternative du courant est négligeable.

Dans le deuxième exemple, la tension du circuit de courant doit être augmentée ou d'autres mesures doivent être prises, comme indiqué en 4.1, lorsque les tolérances sur la durée de l'alternance sont dépassées. Alors que la tolérance sur l'amplitude du courant n'est apparemment pas dépassée, elle peut l'être en pratique quand il existe une décroissance de la composante alternative du courant présumé.

A.4.3 Essai avec un courant asymétrique

Si la tension d'arc est présumée presque constante ou croissante linéairement, on peut utiliser les courbes des Figures A.10 et A.11. La méthode d'évaluation est similaire à celle décrite pour le cas symétrique. Par exemple, dans le cas de la tension d'arc constante:

Essai direct

Tension d'essai monophasé

$$u_t = \frac{123 \times 1,3}{\sqrt{3}} = 92 \text{ kV}$$

(comme ci-dessus)

Tension d'arc constant

$$U_a = 1 \text{ kV}$$

donc:

$$\frac{U_a}{\hat{u}} = \frac{1}{92 \times \sqrt{2}} = 0,0077$$

pour une séparation des contacts environ 1,5 cycles après l'injection du courant et une alternance d'arc

$$\frac{\Delta i}{i_p} = -1\%$$

et:

$$\frac{\Delta t}{T_p} = -0,6\% \text{ (Figure A.10)}$$

Essai synthétique

Tension du circuit de courant

$$U_1 = 14,2 \text{ kV}$$

Tension d'arc constante (disjoncteurs en essai et auxiliaire)

$$U_a = 2 \text{ kV}$$

donc:

$$\frac{U_a}{\hat{u}} = \frac{2}{14,2 \sqrt{2}} = 0,10$$

pour le même cas que ci-dessus:

$$\frac{\Delta i}{i_p} = -12,6\%$$

et

$$\frac{\Delta t}{T_p} = -8,0\% \text{ (Figure A.10)}$$

La tension d'arc réelle peut ne pas présenter l'une des caractéristiques simplifiées. Dans un tel cas, la réduction de courant pendant l'essai synthétique peut être mesurée à partir des enregistrements oscilloscopes réels ou calculés. Le courant réel de l'essai direct qui est nécessaire pour déterminer la tension du circuit de courant d'essai synthétique peut seulement être calculé.

Pour les disjoncteurs ayant une tension d'arc relativement faible (par exemple $u_a = 2\% U_1$), l'effet de la tension d'arc sur le courant d'arc dans le réseau et dans le circuit direct est négligeable. Par conséquent, on admet pour courant de référence, le courant présumé spécifié.

NOTE Si l'ouverture du disjoncteur auxiliaire est retardée par rapport à l'ouverture du disjoncteur en essai, ou si un disjoncteur auxiliaire avec une tension d'arc plus faible est utilisé, son influence sur le courant de coupure sera plus faible que celle du disjoncteur en essai.

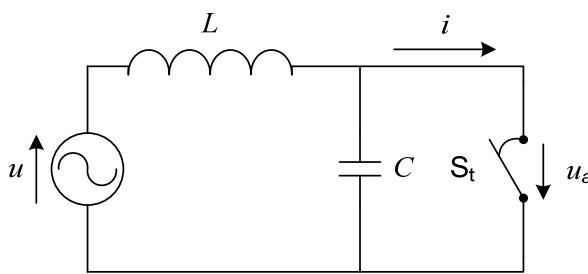


Figure A.1 – Circuit direct, schéma simplifié

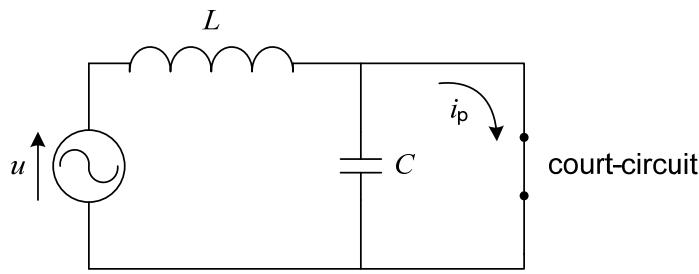


Figure A.2 – Courant de court-circuit présumé

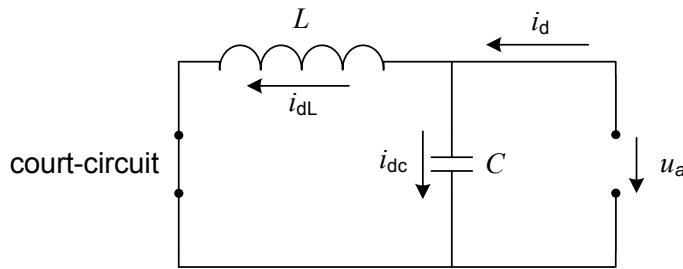
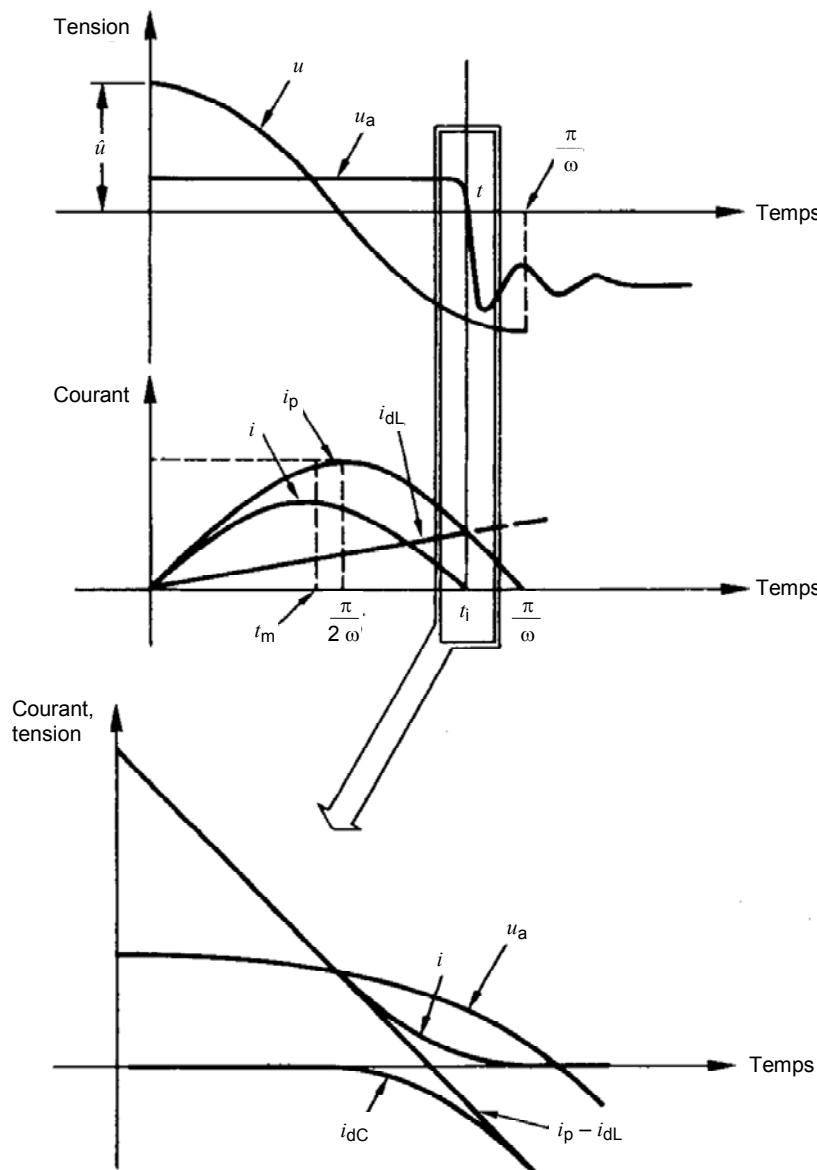


Figure A.3 – Courant déformant

Légende des Figures A.1, A.2 et A.3

u	tension alimentant le circuit direct	C	capacité du circuit direct à pleine puissance, avec L contrôlant la tension de rétablissement transitoire du circuit
u_a	tension d'arc du disjoncteur	S_t	disjoncteur
L	inductance du circuit direct à pleine puissance, avec u contrôlant le courant de court-circuit	i	courant réel
i_p	courant de court-circuit présumé	i_{dL}	courant déformant traversant L
i_{dc}	courant déformant traversant C		

**Légende**

u	tension alimentant le circuit direct
u_a	tension d'arc du disjoncteur
i_p	courant de court-circuit présumé

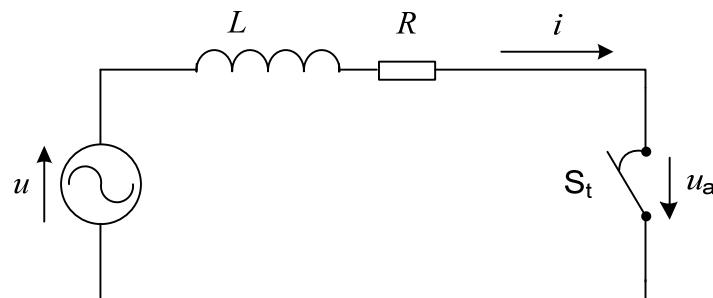
i_{dc}	courant déformant traversant C
i	courant réel
i_{dL}	courant déformant traversant L

Figure A.4 – Courant déformant

UTE

– 51 –

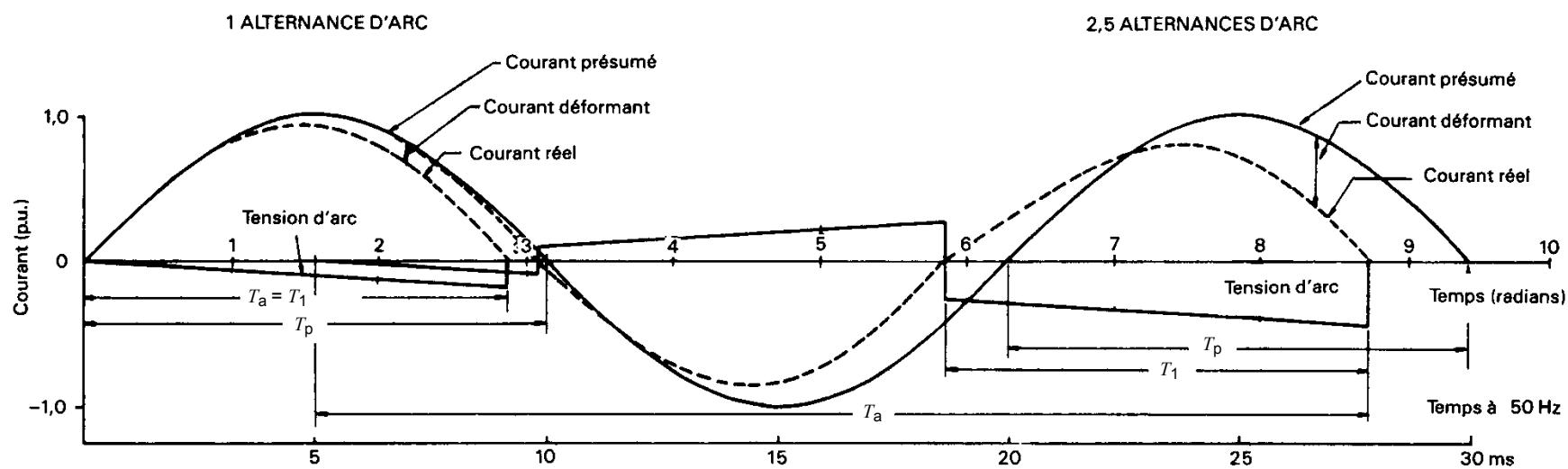
EN 62271-101:2013



Légende

u	tension alimentant le circuit direct	R	résistance du circuit direct
u_a	tension d'arc du disjoncteur	i	courant réel
L	inductance du circuit direct à pleine puissance, avec u contrôlant le courant de court-circuit		

Figure A.5 – Schéma de circuit simplifié

**Légende** T_a durée d'arc réelle T_1 durée de l'alternance du courant réel T_p durée de l'alternance du courant présumé**Figure A.6 – Caractéristiques du courant et de la tension d'arc pour courant symétrique**

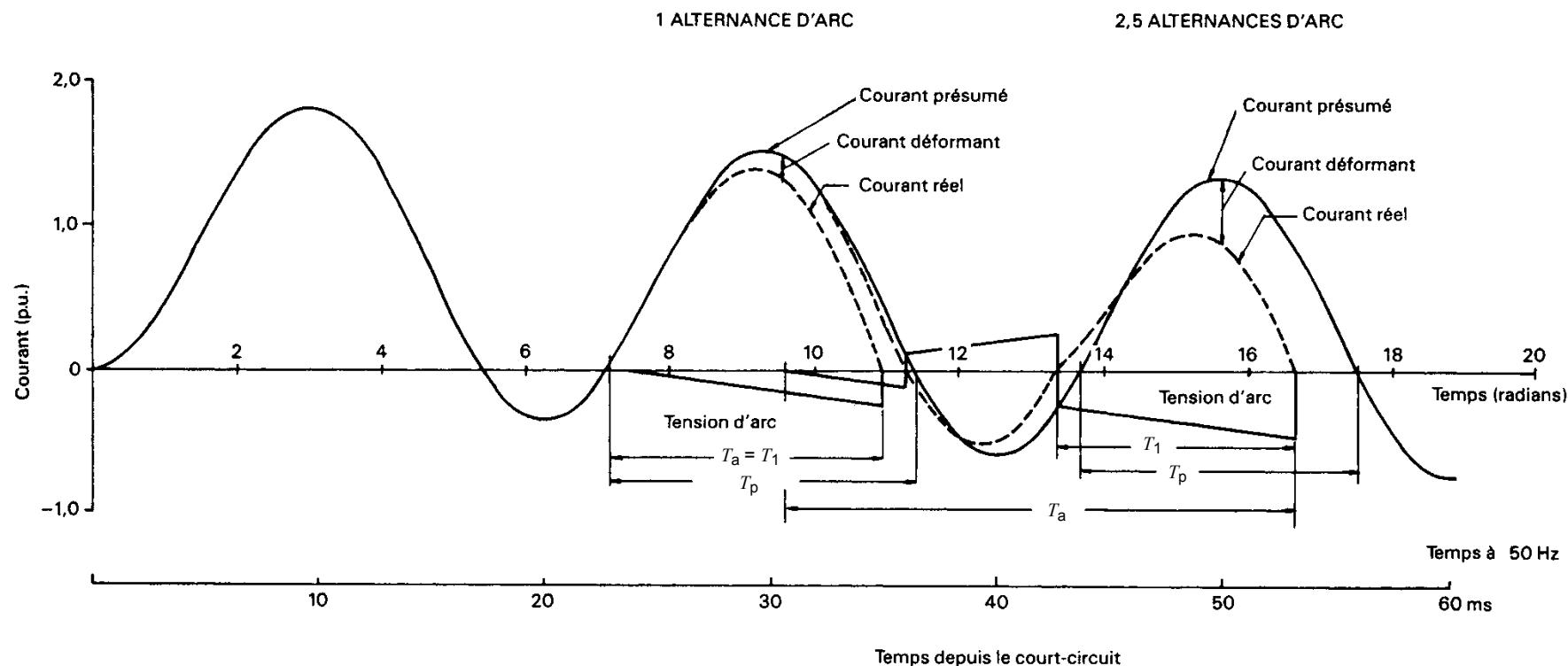
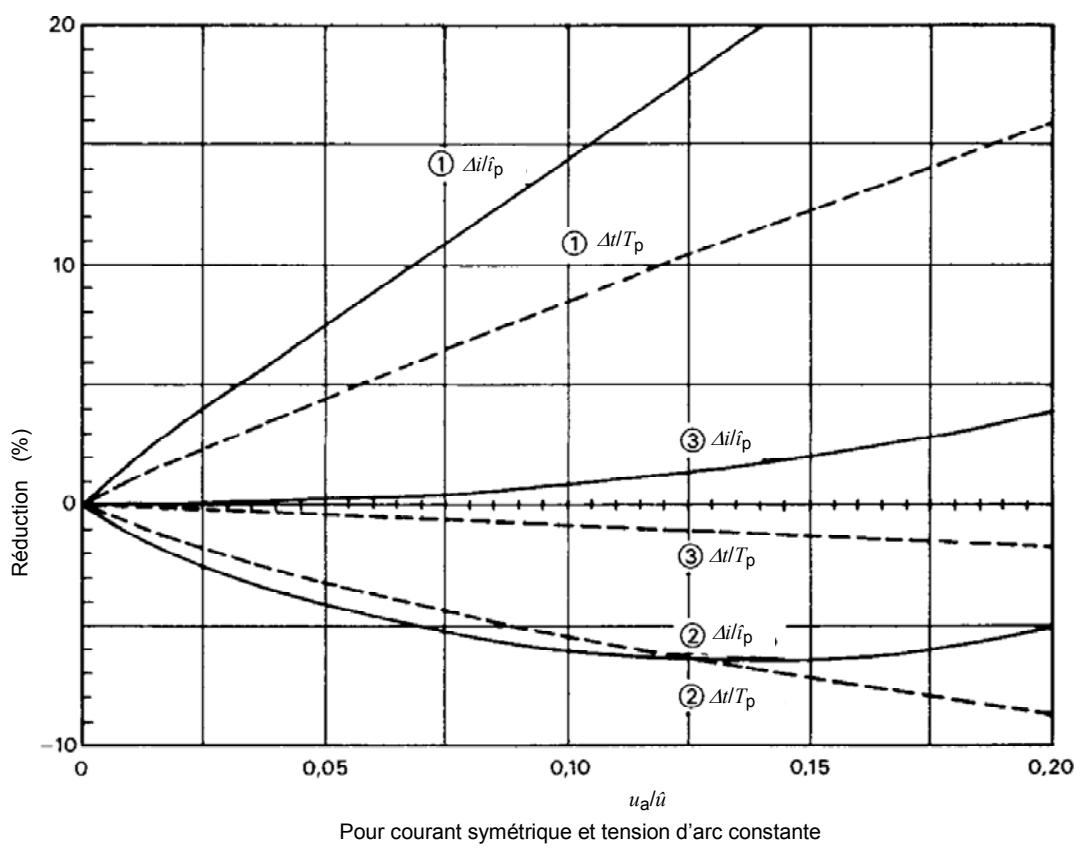


Figure A.7 – Caractéristiques de courant et de tension d'arc pour courant asymétrique



① 1 alternance d'arc

② 2 alternances d'arc

③ 2,5 alternances d'arc

Voir Figure A.6.

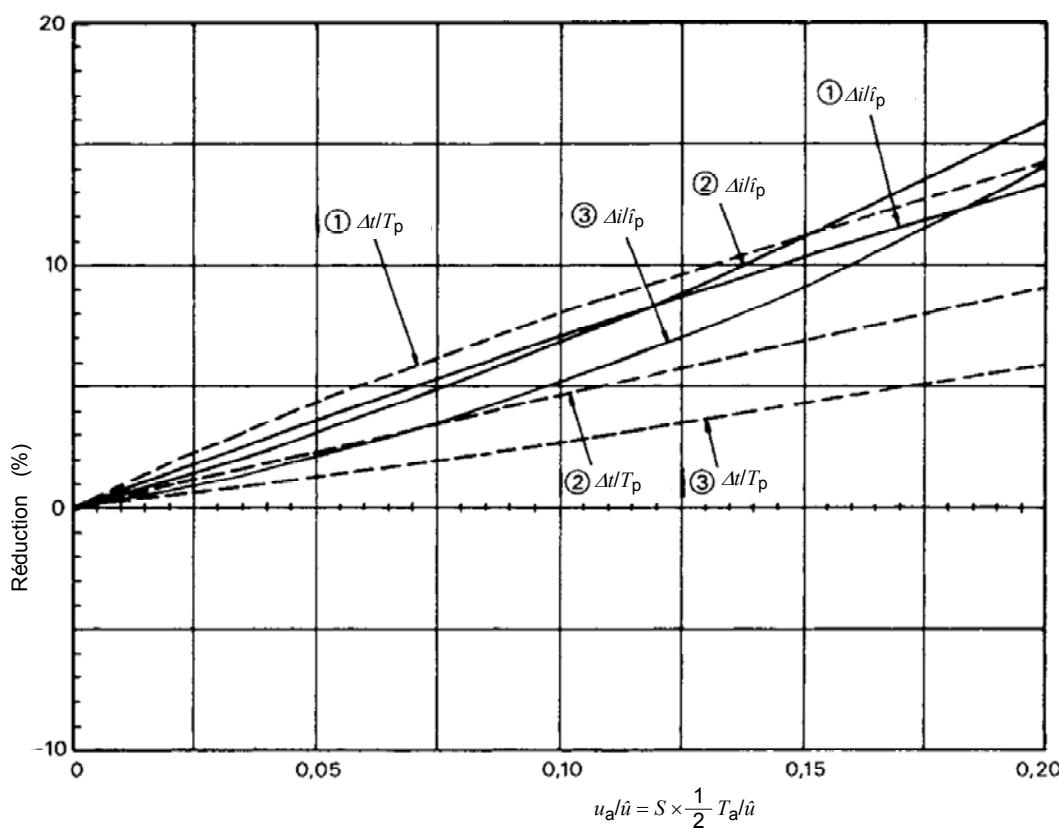
Légende

$\Delta i/\hat{i}_p$ réduction relative de l'amplitude du courant

u_a/\hat{u} rapport de la tension d'arc sur la tension d'alimentation

$\Delta t/T_p$ réduction relative de la durée de l'alternance de courant

Figure A.8 – Réduction de l'amplitude et de la durée de la dernière alternance d'arc de courant



Pour courant symétrique et tension d'arc croissant linéairement

- ① 1 alternance d'arc
- ② 2 alternances d'arc
- ③ 2,5 alternances d'arc

Voir Figure A.6.

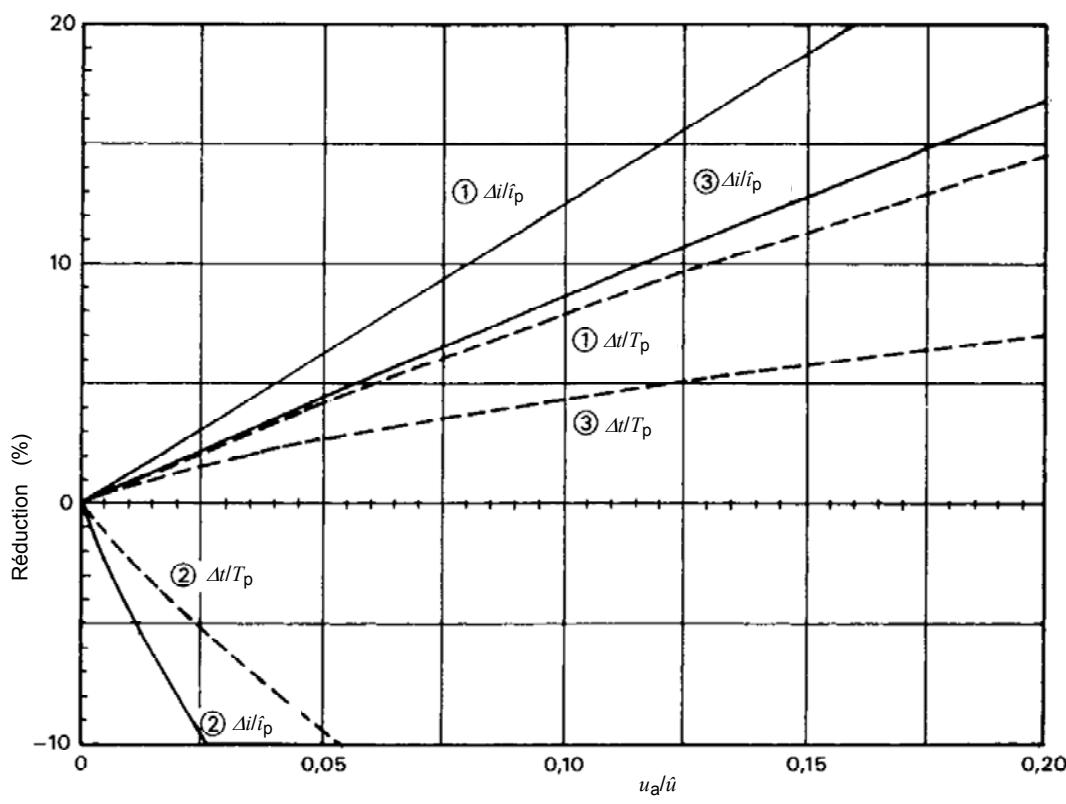
Légende

$\Delta i/i_p$ réduction relative de l'amplitude du courant

u_a/\hat{u} rapport de la tension d'arc sur la tension d'alimentation

$\Delta t/T_p$ réduction relative de la durée de l'alternance de courant

Figure A.9 – Réduction de l'amplitude et de la durée de la dernière alternance d'arc de courant



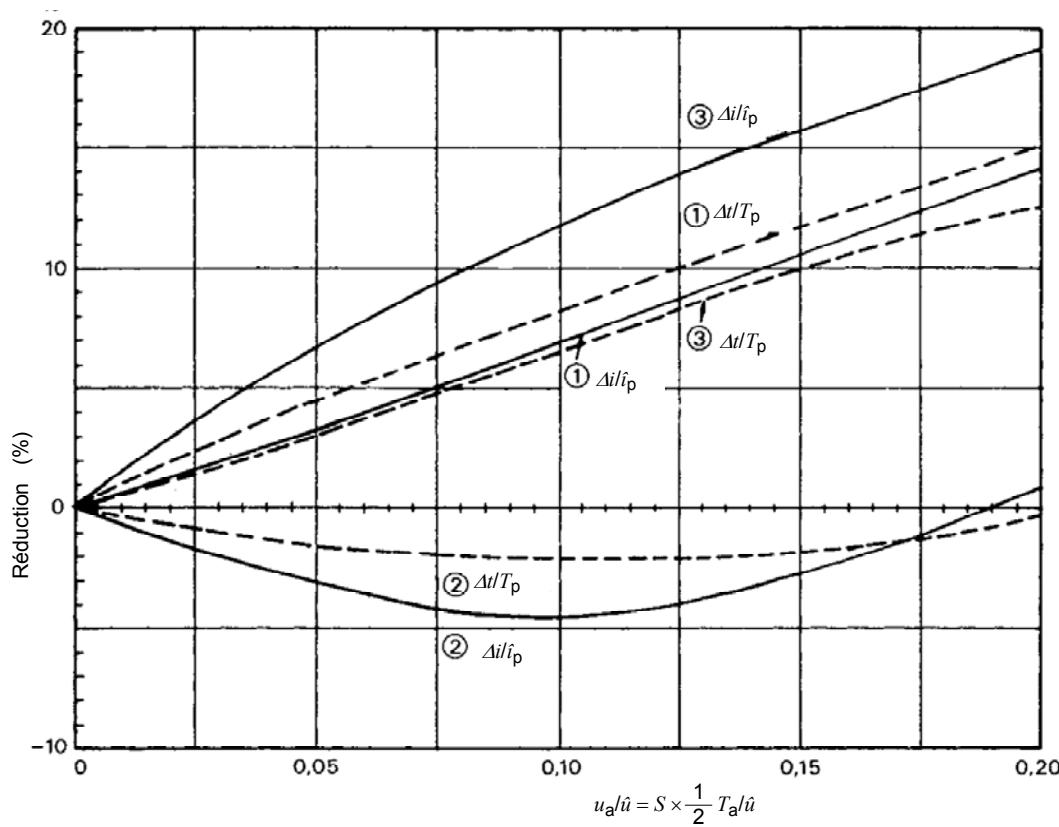
- ① 1 alternance d'arc
- ② 2 alternances d'arc
- ③ 2,5 alternances d'arc

Voir Figure A.7.

Légende

$\Delta i/i_p$	réduction relative de l'amplitude du courant	u_a/\hat{u}	rapport de la tension d'arc sur la tension d'alimentation
$\Delta t/T_p$	réduction relative de la durée de l'alternance de courant		

Figure A.10 – Réduction de l'amplitude et de la durée de la dernière alternance d'arc de courant



Pour courant asymétrique et tension d'arc croissant linéairement

- ① 1 alternance d'arc
- ② 2 alternances d'arc
- ③ 2,5 alternances d'arc

Voir Figure A.7.

Légende

$\Delta i/\hat{i}_p$	réduction relative de l'amplitude du courant	u_a/\hat{u}	rapport de la tension d'arc sur la tension d'alimentation
$\Delta t/T_p$	réduction relative de la durée de l'alternance de courant		

Figure A.11 – Réduction de l'amplitude et de la durée de la dernière alternance d'arc de courant

Annexe B (informative)

Méthodes par injection de courant

B.1 Injection de courant

B.1.1 Généralités

Dans un circuit d'essais synthétiques utilisant l'injection de courant, la superposition des courants a lieu légèrement avant le zéro du courant de court-circuit à fréquence industrielle. Un courant d'amplitude plus petite mais de fréquence plus élevée, obtenu à partir du circuit de tension, est superposé au courant existant dans le disjoncteur en essai ou dans le disjoncteur auxiliaire. L'instant de commutation de ce courant injecté est choisi au moyen d'un circuit de commande dépendant du courant. Il convient que cet instant soit tel que l'onde de courant résultant dans le disjoncteur en essai corresponde à celle du courant de coupure spécifié avant le zéro de courant pendant la durée de changement significatif de tension d'arc.

De cette manière, le disjoncteur en essai est relié automatiquement au circuit de tension après l'interruption du courant par le disjoncteur auxiliaire, de telle sorte qu'il n'y a aucun décalage entre la contrainte de courant et l'application de la contrainte de tension.

B.1.2 Circuit à injection de courant avec circuit de tension en parallèle avec le disjoncteur en essai (circuit parallèle)

La Figure B.1 montre le schéma simplifié d'un circuit à injection de courant dont le circuit de tension est connecté en parallèle avec le disjoncteur en essai.

Le circuit de tension est commuté un court instant avant le zéro du courant de court-circuit à fréquence industrielle, avant la durée d'interaction. A cet instant, un courant oscillatoire à haute fréquence i_h est superposé au courant de court-circuit à fréquence industrielle i , avec la même polarité pour obtenir le courant d'essai résultant dans le disjoncteur en essai.

Lorsque le disjoncteur auxiliaire coupe le courant de court-circuit à fréquence industrielle i , le disjoncteur en essai est seulement relié au circuit de tension et i_h est le seul courant restant. Le circuit de tension fournit aussi la tension de rétablissement aux bornes du disjoncteur en essai après la coupure de ce courant.

La Figure B.2 montre un exemple de séquence de l'injection. Les deux points d'infexion indiquent de façon typique le début de l'injection de courant dans le disjoncteur en essai et la coupure du courant de court-circuit à fréquence industrielle par le disjoncteur auxiliaire. La forme d'onde de la tension transitoire de rétablissement peut être réglée en ajustant Z_h et C_{dh} (Figure B.1), pour être conformes aux exigences de la CEI 62271-100 (voir 4.1.4).

B.1.3 Circuit à injection de courant avec circuit de tension en parallèle avec le disjoncteur auxiliaire (circuit série)

La méthode par injection de courant en série n'étant plus utilisée par les laboratoires, elle n'est plus prise en considération dans la présente norme.

B.2 Détermination de la période de changement significatif de la tension d'arc

Pour déterminer la période de changement significatif de la tension d'arc qui apparaît immédiatement avant le zéro de courant, la méthode suivante peut être appliquée, selon les caractéristiques de chaque tension d'arc.

Les tensions d'arc des disjoncteurs ont des formes générales très variées. Dans nombre de cas, la tension d'arc n'est pas stable mais fluctue autour d'une valeur moyenne. Cette valeur moyenne est obtenue en traçant une courbe lissée située au milieu des minimum et maximum de la tension d'arc

(Figure B.3). Cette courbe peut être utilisée pour identifier des changements majeurs. La forme des caractéristiques de tension d'arc moyenne peut aussi varier considérablement.

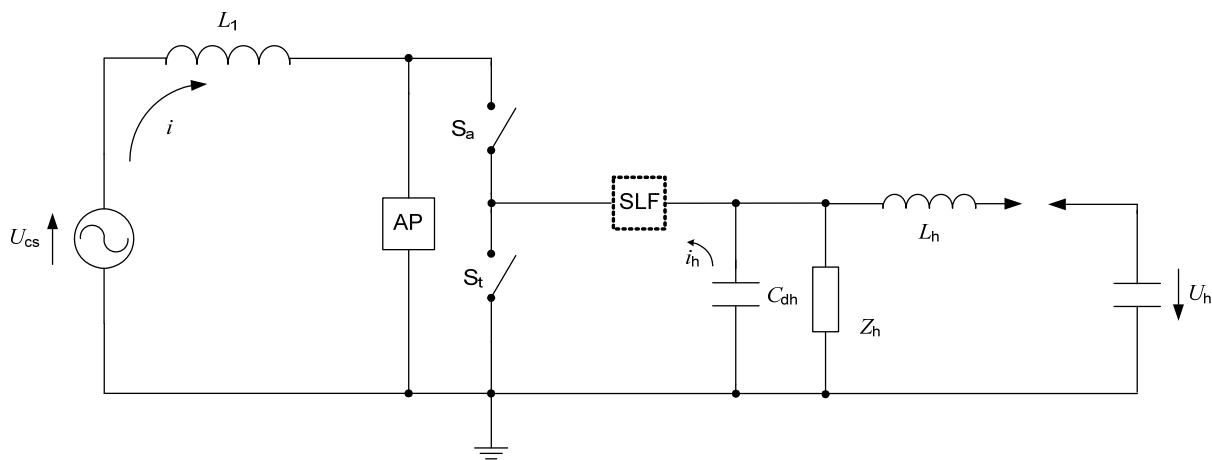
La plupart des disjoncteurs présente une tension d'arc approximativement constante ou croissant régulièrement pendant l'alternance de courant avec une augmentation appréciable juste avant le zéro de courant. Dans de tels cas, il n'est pas difficile de déterminer à partir des oscillogrammes l'instant à partir duquel le changement significatif commence. Dans ce but, il est préférable d'utiliser un oscilloscopie donnant un tracé d'amplitude relativement grand pour la tension d'arc et ayant une échelle de temps suffisamment rapide pour permettre une mesure précise de la durée de changement significatif de la tension d'arc.

Dans certains cas, il peut être difficile de déterminer cette durée de changement significatif de la tension d'arc parce que

a) la tension d'arc reste quasi constante ou croît régulièrement pendant l'alternance de courant presque jusqu'à l'instant du zéro de courant,

des changements de tension d'arc apparaissent très longtemps avant le zéro de courant.

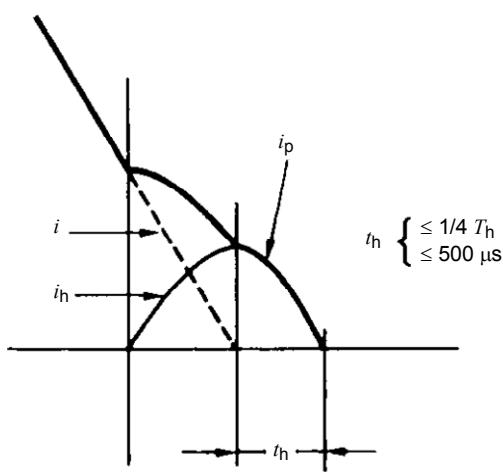
Dans ces cas, la fréquence du courant d'injection doit être aussi basse que possible, en tenant compte des exigences de 4.2.1.



Légende

U_{cs}	tension du circuit de courant	C_{dh}	capacité pour le retard du circuit de tension
L_1	inductance du circuit de courant	L_h	inductance du circuit de tension
AP	circuit d'entretien de l'arc	U_h	tension de charge du circuit de tension
S_a	disjoncteur auxiliaire	i	courant du circuit de courant
S_t	disjoncteur en essai	i_h	courant injecté
Z_h	impédance d'onde équivalente du circuit de tension	SLF	circuit de défaut proche en ligne (pour les essais correspondants)

Figure B.1 – Circuit type à injection de courant où le circuit de tension est en parallèle avec le disjoncteur en essai



Légende

i	courant dans le disjoncteur auxiliaire	T_h	durée d'une période du courant injecté
i_h	courant injecté	t_h	durée pendant laquelle l'arc n'est alimenté que par le courant injecté
i_p	courant dans le disjoncteur en essai		

Figure B.2 – Séquence de l'injection du courant dans le circuit de la Figure B.1

UTE

– 61 –

EN 62271-101:2013

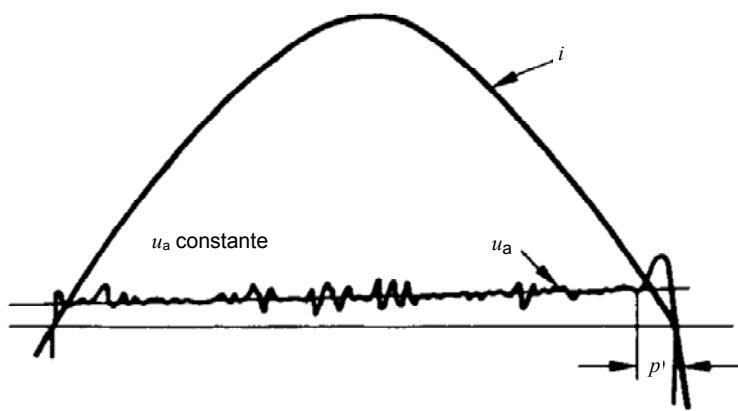


Figure B.3a

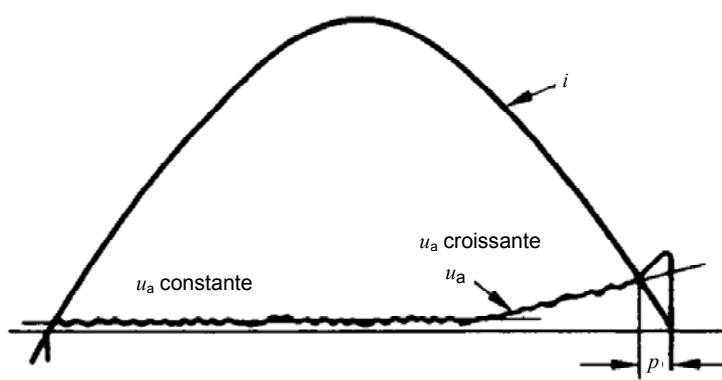


Figure B.3b

Légende

i courant
 u_a tension d'arc

p durée du changement significatif de la tension d'arc

Figure B.3 – Exemples de détermination de la durée de changement significatif de la tension d'arc à partir d'oscilloscopes

Annexe C (informative)

Méthodes par injection de tension

C.1 Généralités

Dans un circuit d'essais synthétiques utilisant l'injection de tension, le circuit de courant fournit la totalité du courant de court-circuit au disjoncteur en essai et aussi, après le zéro de courant, la première partie de la tension transitoire de rétablissement.

Les valeurs correctes du facteur de puissance, du courant et de la première partie de la TTR peuvent être obtenues par le choix judicieux de la tension et de la fréquence propre du circuit de courant à fréquence industrielle.

Le circuit de tension est commuté à un temps voisin de celui de la première crête de la tension transitoire de rétablissement du circuit de courant, au moyen d'un circuit de commande dépendant de la tension et de manière telle que la tension transitoire de rétablissement spécifiée soit poursuivie sans qu'il n'y ait de retard entre les contraintes de courant et les contraintes de tension.

C.2 Circuit d'injection de tension où le circuit de tension est en parallèle du disjoncteur auxiliaire (circuit série)

La Figure C.1 montre le schéma simplifié du circuit d'injection de tension dans lequel le circuit de tension est connecté en parallèle avec le disjoncteur auxiliaire. Le circuit de courant fournit la contrainte totale du courant de court-circuit. Un condensateur de valeur appropriée est connecté en parallèle avec le disjoncteur auxiliaire. Après le zéro du courant de court-circuit à fréquence industrielle, ce condensateur transmet la tension de rétablissement transitoire totale du circuit de courant au disjoncteur en essai, transmettant l'énergie nécessaire au courant post-arc.

A un temps voisin de celui où la tension transitoire atteint sa première crête, le circuit de tension est commuté et, à partir de ce moment, les tensions transitoires de rétablissement des deux circuits s'ajoutent pour constituer la tension transitoire de rétablissement entre les bornes du disjoncteur en essai.

La Figure C.2 présente le courant dans le disjoncteur en essai et les formes d'ondes de tension aux bornes du disjoncteur auxiliaire et du disjoncteur en essai. Le disjoncteur auxiliaire est seulement soumis aux contraintes de tension du circuit de tension. Les deux composantes de la tension entre les bornes du disjoncteur en essai sont superposées pour produire la tension transitoire de rétablissement dont la forme d'onde peut être réglée en ajustant C_h et C_1 avec éventuellement d'autres composantes additionnelles, non indiquées à la Figure C.1, afin d'être conformes aux exigences de la CEI 62271-100 (voir 4.1.4).

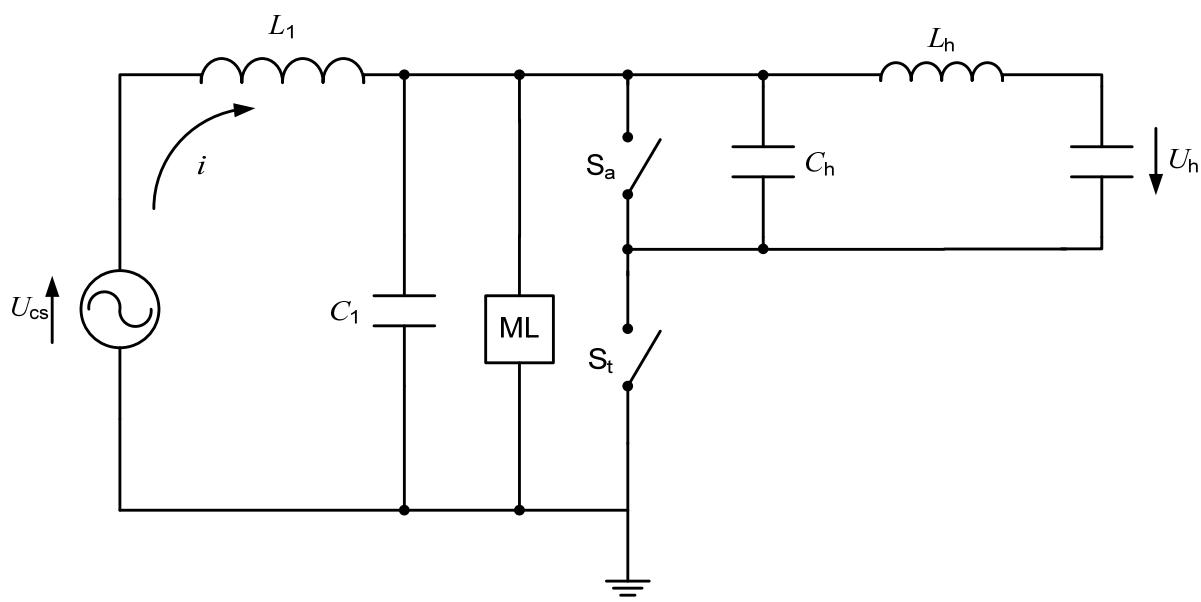
C.3 Circuit d'injection de tension où le circuit de tension est en parallèle du disjoncteur en essai

Ce circuit à injection de tension est semblable à celui décrit ci-dessus, sauf que le circuit de tension est en parallèle avec le disjoncteur en essai au lieu de l'être avec le disjoncteur auxiliaire. Ce circuit n'est pas d'usage courant.

UTE

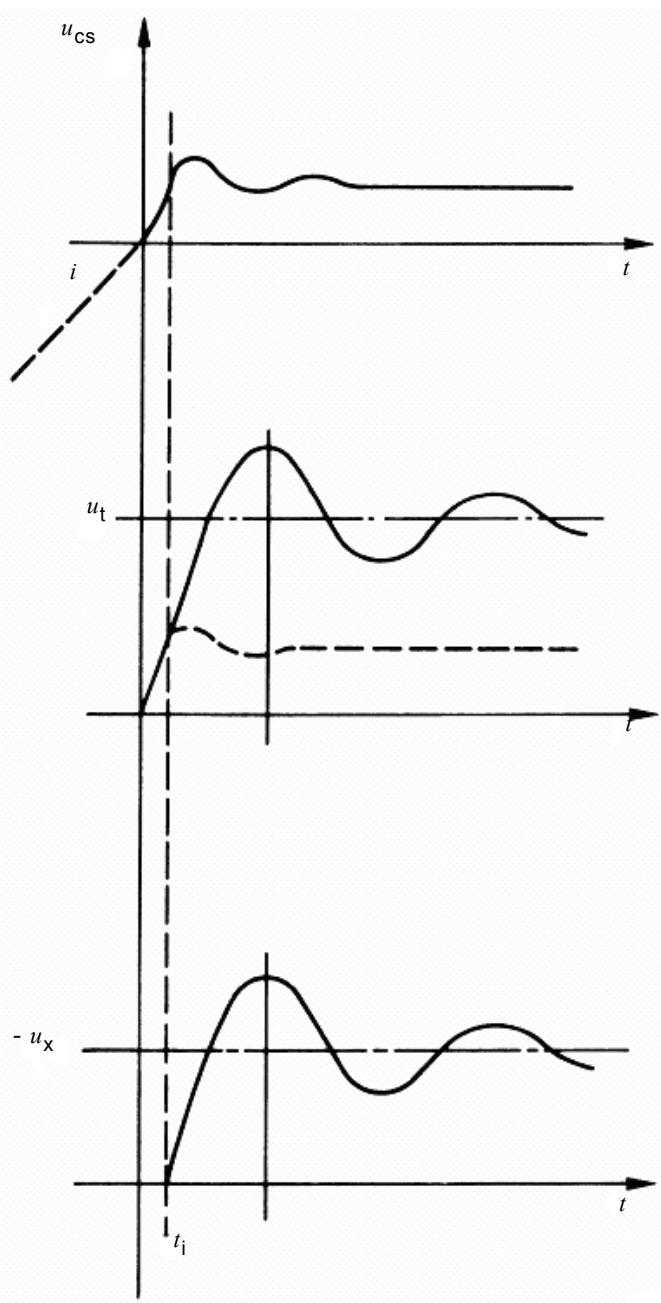
– 63 –

EN 62271-101:2013

**Légende**

U_{cs}	tension du circuit de courant	S_t	disjoncteur en essai
L_1	inductance du circuit de courant	C_h	capacité du circuit de tension qui règle la plus grande partie de la TTR avec L_h
C_1	capacité du circuit de courant qui régit avec L_1 la première partie de la TTR	L_h	inductance du circuit de tension
ML	circuit de réallumage multi-alternances	U_h	tension de charge du circuit de tension
S_a	disjoncteur auxiliaire	i	courant du circuit de courant

Figure C.1 – Schéma caractéristique de l'injection de tension avec le circuit de tension en parallèle avec le disjoncteur auxiliaire (schéma simplifié)



Légende

i	courant à fréquence industrielle dans les disjoncteurs en essai et auxiliaire	u_t	tension aux bornes du disjoncteur en essai
u_{cs}	TTR fournie par le circuit de courant	u_x	tension aux bornes du disjoncteur auxiliaire

Figure C.2 – Formes d'ondes de TTR obtenues dans un circuit à injection de tension avec le circuit de tension en parallèle avec le disjoncteur auxiliaire

Annexe D
(informative)**Circuit de Skeats ou double transformateur****D.1 Principe de la méthode**

Dans ce circuit d'essai, le courant est fourni par un circuit de courant au disjoncteur auxiliaire et au disjoncteur en essai disposés en série. La haute tension est appliquée au disjoncteur en essai à travers une résistance, à partir d'un transformateur (ou d'un auto-transformateur), dont le primaire est connecté au circuit de courant aux bornes du disjoncteur en essai et du disjoncteur auxiliaire. La Figure D.1 montre la configuration générale du circuit.

Pendant la durée de fort courant, les tensions d'arc du disjoncteur en essai et du disjoncteur auxiliaire imposent dans le circuit haute tension un courant i_R qui s'ajoute au courant aux bornes du disjoncteur en essai, $i_2 = i_1 + i_R$. Ainsi, dans le disjoncteur auxiliaire, le courant atteint zéro et s'interrompt avant celui du disjoncteur en essai. Si l'on suppose que les tensions d'arc sont quasi constantes, le courant du disjoncteur en essai passe par zéro au temps Δt après l'interruption du disjoncteur auxiliaire, approximativement donné par la formule:

$$\Delta t = \frac{n(u_{aa} + u_{at}) - u_{at}}{n \times \hat{u}_{cs}} \times \frac{L_2}{R}$$

où

n est le rapport du transformateur;

u_{aa} , u_{at} sont les tensions d'arc dans S_a et S_t respectivement;

\hat{u}_{cs} est la tension crête du circuit de courant;

$L_2 = n^2 L_1 + L_T$ (inductance effective dans le circuit haute tension);

L_T est l'inductance de fuite de T .

Pendant la durée Δt , la vitesse de variation du courant di_2/dt aux bornes du disjoncteur en essai atteint une valeur voisine de:

$$\frac{di_2}{dt} = -\frac{n \times \hat{u}_{cs}}{L_2} = -\frac{n \hat{u}_{cs}}{n^2 L_1 + L_T}$$

c'est-à-dire que di_2/dt aura une valeur plus faible que la valeur présumée qui serait obtenue sans influence. Cette valeur est réduite d'un facteur de la même amplitude que le rapport n du transformateur.

Si l'on choisit une résistance R de valeur suffisante, l'intervalle Δt peut être court. D'autre part, une valeur élevée augmente l'amortissement de la TTR. Pour les disjoncteurs avec courant post-arc, des valeurs plus restreintes peuvent être nécessaires. On utilise généralement pour R des valeurs de l'ordre de quelques $k\Omega$, ce qui donne $\Delta t \leq 10 \mu s$.

Le circuit d'essai n'est donc pas valable pour les essais de défaillance en mode thermique d'un disjoncteur, pour les raisons suivantes:

- l'impédance côté source ne correspond pas aux conditions en réseau (ou en circuit d'essais directs) pendant la durée d'interaction,
- le di/dt s'écarte de la valeur présumée pendant un intervalle de temps (court) immédiatement avant le zéro de courant.

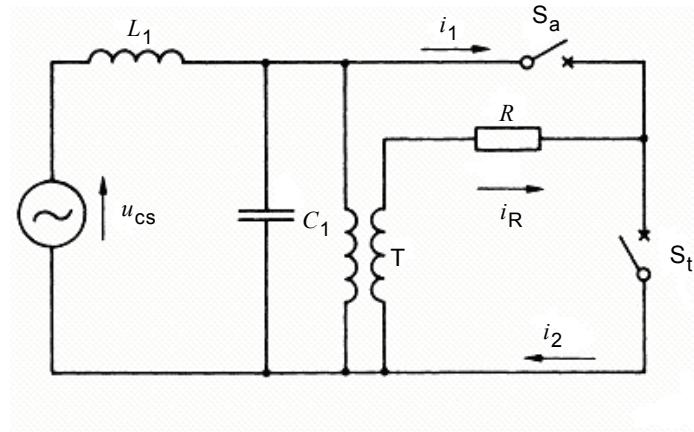
Le circuit d'essai peut être utilisé pour les essais de tenue diélectrique de rétablissement d'un disjoncteur. Il peut aussi être utilisé pour les essais de fermeture et peut être adapté pour fonctionner avec plusieurs applications à pleine tension.

D.2 Configuration pratique du circuit

On peut voir une configuration pratique du circuit à la Figure D.2. Il peut être utilisé pour l'application de la pleine tension de rétablissement sur trois zéros de courant consécutifs dans une manœuvre d'ouverture en ouvrant les disjoncteurs auxiliaires S_{a1} , S_{a2} et S_{a3} l'un après l'autre. Les éclateurs G_1 et G_2 sont déclenchés pour rétablir le courant au cas où le disjoncteur en essai ne coupe pas aux premier et second zéros de courant respectivement.

Il peut aussi appliquer les contraintes de pleine tension à la fermeture et à l'ouverture d'un cycle CO. Le disjoncteur en essai S_t est fermé sous haute tension (S_{a1} est ouvert) et, au moment où il pré-amorce, l'un des éclateurs, par exemple G_2 , est déclenché pour fermer le circuit de courant (S_{a2} est fermé). S_{a3} est fermé avant l'ouverture du disjoncteur en essai et sert de disjoncteur auxiliaire au premier zéro de courant. On peut, si nécessaire, tester un deuxième zéro de courant au moyen de G_1 et S_{a1} .

Les deux manœuvres d'ouverture d'une opération de réenclenchement automatique peuvent être entièrement soumises à essai de façon similaire.



Légende

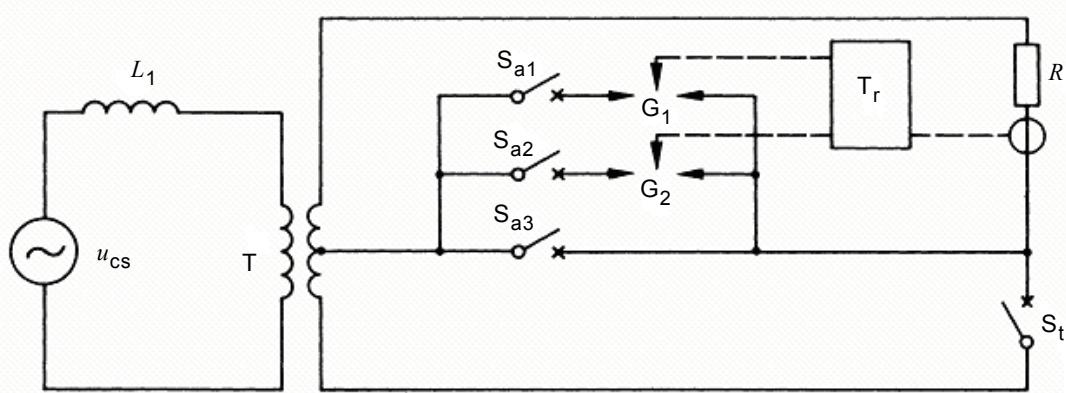
u_{cs}	tension du circuit de courant	i_1	courant traversant le disjoncteur auxiliaire
L_1	inductance du circuit de courant	i_2	courant traversant le disjoncteur en essai
C_1	capacité du circuit de courant qui régit avec L_1 la première partie de la TTR	i_R	courant traversant la résistance R
T	transformateur	S_a	disjoncteur auxiliaire
R	résistance de déphasage	S_t	disjoncteur en essai

Figure D.1 – Circuit de Skeats ou par transformateur

UTE

- 67 -

EN 62271-101:2013



Légende

u_{cs}	tension du circuit de courant	S_{a1}, S_{a2}, S_{a3}	disjoncteurs auxiliaires
L_1	inductance du circuit de courant	S_t	disjoncteur en essai
T	transformateur	T_r	circuit de déclenchement
R	résistance de déphasage	G_1, G_2	éclateurs déclenchés

Figure D.2 – Circuit de Skeats ou par transformateur déclenché

Annexe E (normative)

Indications à donner et résultats à enregistrer lors d'essais synthétiques

E.1 Généralités

En plus des exigences de l'Annexe C de la CEI 62271-100:2008, les informations suivantes doivent être fournies dans les rapports d'essais synthétiques.

E.2 Disjoncteur auxiliaire

- a) Identification.
- b) Description, incluant le nombre d'éléments par pôle, le fluide utilisé pour l'extinction et, le cas échéant, les condensateurs de répartition.

E.3 Conditions d'essais

- a) Paramètres du circuit de tension.
- b) Ajustement de la durée d'arc recherchée pour le disjoncteur en essai, y compris l'utilisation de circuit(s) de réallumage.

E.4 Grandeurs à consigner

E.4.1 Généralités

La résolution des enregistrements de la déviation et de l'échelle de temps doit être telle que les informations recherchées puissent être évaluées avec suffisamment de précision.

E.4.2 Tensions

- a) Tension du circuit de courant.
- b) Tension aux bornes du disjoncteur en essai.

E.4.3 Courants

- a) Courant traversant le disjoncteur en essai.
- b) Courant provenant du circuit de tension.

Pour certaines grandeurs, il peut être nécessaire d'effectuer plusieurs enregistrements avec des déviations et/ou des échelles de temps différentes. Ce sera normalement le cas pour les mesures décrites en E.4.2b) et E.4.3a).

NOTE D'autres informations et enregistrements sont ajoutés pour obtenir des données d'essais ou du modèle.

Annexe F (normative)

Méthodes d'essais synthétiques pour les disjoncteurs équipés de résistances d'ouverture

F.1 Généralités

Du fait de la limitation de l'énergie disponible dans les circuits d'essais synthétiques, les essais synthétiques doivent être réalisés en deux parties:

- essais sur l'interrupteur principal;
- essais sur l'interrupteur de résistance.

Lorsque ces essais sont réalisés sans résistance d'ouverture, l'effet de la résistance est pris en compte en appliquant des paramètres modifiés de courant et de tension déterminés par le calcul ou la simulation dans les conditions de coupure.

La tension transitoire de rétablissement présumée du circuit d'essais synthétiques doit être telle que spécifiée en Annexe R de la CEI 62271-100:2008, Amendement 1 (2012) et sa tension de rétablissement telle que spécifiée en 4.1.4.

Les méthodes décrites ici sont appropriées pour démontrer la performance de l'interrupteur principal et de l'interrupteur de résistance. Pour les essais de l'empilage de résistances, voir R.2.3 de la CEI 62271-100:2008, Amendement 1 (2012).

F.2 Conditions

F.2.1 Généralités

Les exigences concernant le circuit principal d'essais synthétiques, voir 4.1, doivent être satisfaites en prenant en considération l'influence de la résistance comme décrit dans l'Annexe R de la CEI 62271-100:2008, Amendement 1 (2012). Des exigences supplémentaires durant la période de haute tension sont données ci-dessous.

F.2.2 Période de tension transitoire de rétablissement

La tension transitoire de rétablissement correcte doit apparaître aux bornes du disjoncteur, l'influence de la résistance d'ouverture incorporée dans le disjoncteur et la tension d'arc étant prises en compte. A titre de référence, voir Annexe R de la CEI 62271-100:2008, Amendement 1 (2012).

F.2.3 Durée de tension de rétablissement à fréquence industrielle

La tension de rétablissement à fréquence industrielle doit être égale à la valeur spécifiée dans la CEI 62271-100.

Il est permis d'utiliser une tension de rétablissement à fréquence industrielle d'amplitude correcte ayant un déphasage différent de celui qui peut être obtenu en réseau. Il convient que le sens de ce déphasage soit tel que la tension de rétablissement dans l'essai synthétique soit retardée par rapport à celle obtenue en réseau. Il en résulte une extension de la première alternance de la tension de rétablissement, ce qui est acceptable à condition que le déphasage ne dépasse pas 20°.

F.3 Procédure d'essai en plusieurs étapes

F.3.1 Généralités

La procédure d'essai en plusieurs étapes est constituée de trois séquences d'essais décrites en F.3.2, F.3.3 et F.3.4. Pour l'application de cette procédure d'essai, voir F.4 et 6.102.4.3.

Du fait de la limitation de l'énergie disponible dans les circuits d'essais synthétiques, les essais sur l'interrupteur principal peuvent être réalisés en deux séquences d'essais séparées:

- essai de vérification du réallumage thermique de l'interrupteur principal;
- essai de vérification du réallumage diélectrique de l'interrupteur principal.

Pour que ces procédures d'essais séparées soient recevables, il est essentiel que le fonctionnement et le comportement de l'interrupteur de la résistance ne soient pas affectés par le fonctionnement de l'interrupteur principal, par exemple sous l'influence de gaz chauds ou de la modification de la vitesse de déplacement du contact.

F.3.2 Essai de vérification de la performance de réallumage thermique de l'interrupteur principal

Cette procédure d'essais ne s'applique que lorsqu'il n'est pas possible de vérifier le réallumage thermique et le comportement diélectrique avec le même circuit à injection de courant.

Le but de ces essais est d'établir la durée d'arc minimale et de démontrer la capacité de coupure thermique de l'interrupteur principal pendant la période d'interaction pour toutes les conditions d'arc.

Il convient que l'essai soit réalisé de préférence avec la résistance d'ouverture montée et connectée en position normale sur le disjoncteur.

Alternativement, les essais pourront aussi être réalisés sans la présence de la résistance d'ouverture, sous réserve, que la coupure par l'interrupteur principal ne soit pas affectée ou n'affecte pas l'interrupteur de résistance.

La méthode par injection de courant est obligatoire pour cet essai.

Si à cause des limitations, il n'est pas possible de réaliser l'essai avec la TTR assignée, l'essai peut alors être réalisé à une tension réduite mais non inférieure à 30 % de la TTR assignée ou, pour l'essai de défaut proche en ligne, en application de 6.109.5 de la CEI 62271-100:2008. Dans ce cas, le circuit d'essais doit être réglé de manière à prendre en compte l'effet de la modification de la TTR présumée (dU/dt et temps de retard) par la résistance d'ouverture parallèle. Ceci se fait par calcul ou par simulation numérique.

La Figure F.1 illustre un exemple de circuit d'essais de réallumage thermique sur l'interrupteur principal.

F.3.3 Essai de vérification de la performance de coupure diélectrique de l'interrupteur principal

La Figure F.2 illustre un exemple de circuit d'essais. La résistance d'ouverture doit, dans la plupart des cas, être enlevée et remplacée par une maquette adaptée construite en un matériau isolant.

Le circuit peut être un circuit synthétique de tout type décrit en 4.2. Lorsque la méthode d'essais par injection de courant est utilisée, l'essai vérifie également la performance de réallumage thermique comme décrit en F.3.2.

NOTE Des problèmes peuvent être rencontrés lors de la réalisation de cet essai sur plusieurs unités montées en série. Le retrait des résistances d'ouverture parallèles peut affecter la distribution de la tension entre les unités. Cela peut entraîner des contraintes excessives sur certaines unités.

F.3.4 Essais sur le ou les interrupteurs de résistance

La Figure F.3 illustre un exemple de circuit d'essais. Les résistances sont court-circuitées ou remplacées par un conducteur approprié.

Le courant et la TTR sont donnés en R.2.2 de la CEI 62271-100:2008, Amendement 1(2012).

L'essai peut être réalisé à l'aide d'un circuit direct ou de tout type de circuit synthétique décrit en 4.2.

F.4 Exigences d'essais

F.4.1 Généralités

Les paragraphes suivant décrivent l'application de l'Annexe R de la CEI 62271-100:2008, Amendement 1(2012) pour les essais synthétiques.

NOTE La plupart des essais sont menés en suivant une procédure d'essais à plusieurs étapes en essais monophasés.

F.4.2 Essais de l'interrupteur principal

F.4.2.1 Essais de défauts aux bornes et de manœuvre en discordance de phase

Les essais de défauts aux bornes et de manœuvre en discordance de phase doivent être réalisés conformément au R.2.2.1 de la CEI 62271-100:2008, Amendement 1(2012) en suivant les procédures d'essais décrites en F.3.2 et F.3.3.

Si la procédure d'essais décrite en F.3.2 est suivie pour T100s ou T100a, il n'est pas nécessaire de la répéter pour T10, T30, T60 et OP2.

Si la procédure d'essais en F.3.2 est appliquée pour la séquence L90, il n'est pas nécessaire de la répéter pour les séquences T100s et T100a.

F.4.2.2 Essais de défaut proche en ligne (SLF)

Les essais de défaut proche en ligne doivent être réalisés conformément au R.2.2.2 de la CEI 62271-100:2008, Amendement 1(2012) en suivant les procédures d'essais décrites en F.3.2 et F.3.3.

La vérification de la performance de coupure diélectrique n'est pas exigée si le T100s est effectué conformément à la procédure d'essais décrite en F.3.3 à condition que le 6.109.5 de la CEI 62271-100:2008 soit vérifié.

F.4.2.3 Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs

Les essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs doivent être réalisés conformément à la procédure d'essais décrite en F.3.3.

Un exemple de circuit d'essais utilisant la procédure d'essais décrite en F.3.3 est illustré en Figure F.4.

F.4.3 Essais de l'interrupteur de résistance

F.4.3.1 Essais de défauts aux bornes et de manœuvre en discordance de phase

Les séries d'essais de défauts aux bornes T10 et de manœuvre en discordance de phase OP2 doivent être réalisés conformément au R.2.3.1 de la CEI 62271-100:2008, Amendement 1(2012) en suivant les procédures d'essais décrites en F.3.4. Il n'est pas nécessaire de répéter les autres séries d'essais de défaut aux bornes (T30, T60, T100a et T100s).

F.4.3.2 Essais de défaut proche en ligne (SLF)

Les essais de défaut proche en ligne doivent être réalisés conformément au R.2.3.2 de la CEI 2271-100:2008, Amendement 1(2012) en suivant les procédures d'essais décrites en F.3.4.

Si la série d'essais de défaut aux bornes T10 est réalisée conformément au F.4.2.1, aucun essai de défaut proche en ligne n'est exigé pour l'interrupteur de résistance.

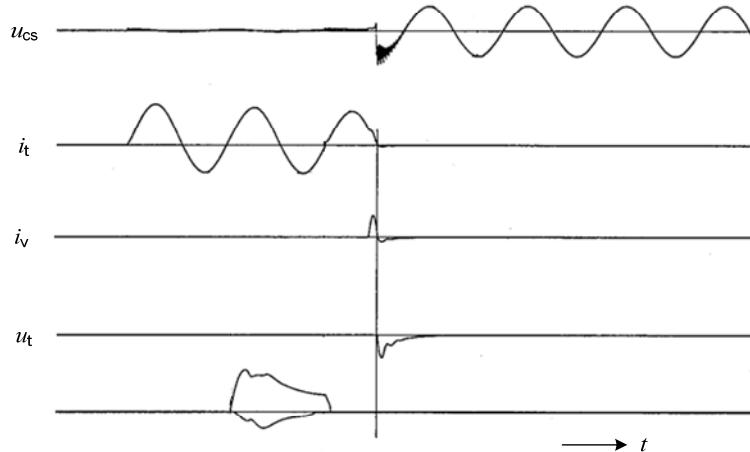
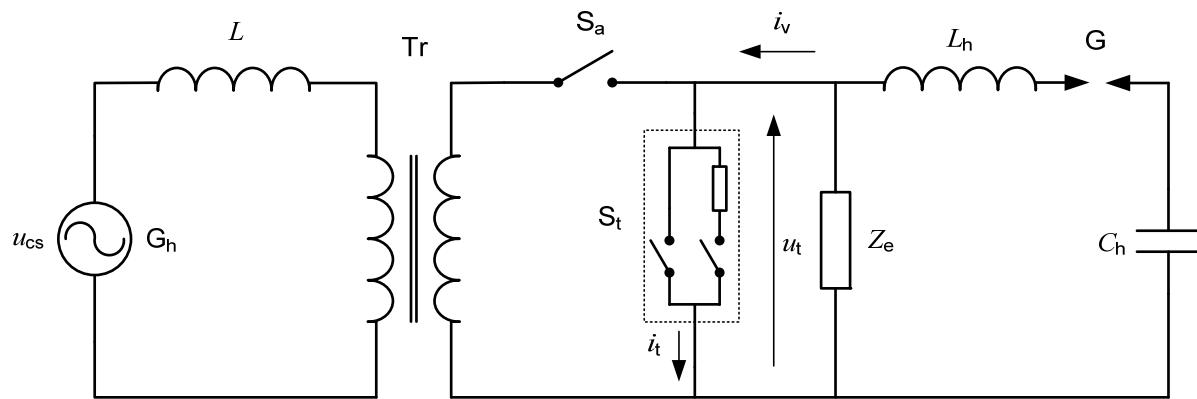
F.4.3.3 Essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs

Les essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs doivent être réalisés conformément au R.2.3.3 de la CEI 62271-100:2008, Amendement 1(2012), en suivant la procédure d'essais décrite en F.3.4.

Un exemple de circuit d'essais pour l'établissement et la coupure de courants capacitifs conformément à la procédure d'essais F.3.4 est illustré par la Figure F.5.

F.4.4 Essais de l'empilage de résistances

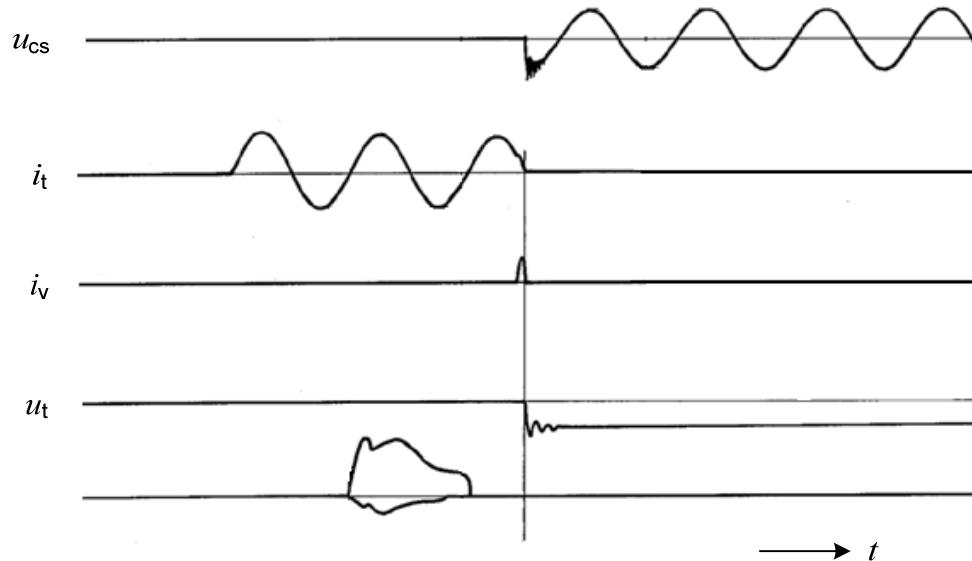
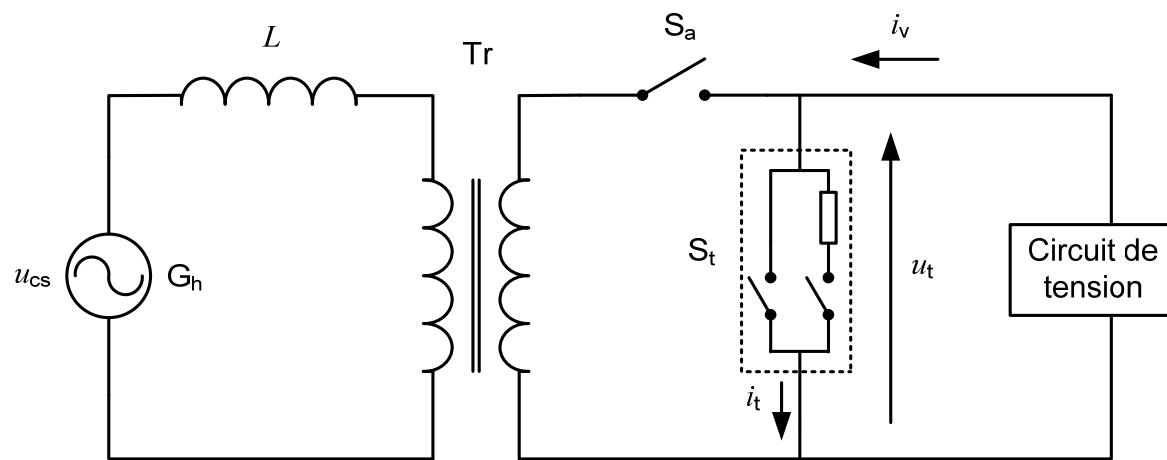
Pour l'essai de l'empilage de résistances, se référer au R.2.4 de la CEI 62271-100:2008, Amendement 1(2012).



Légende

u_{cs}	tension du circuit de courant	u_t	tension appliquée
i_t	courant dans le disjoncteur en essai	i_v	courant dans le circuit de tension
G_h	générateur de court-circuit	Tr	transformateur
C_h	batterie de condensateurs principale	Z_e	composants de réglage de la TTR
G	éclateur de déclenchement	L_h	inductance du circuit de tension
L	inductance du circuit de courant	S_t	disjoncteur en essai
S_a	disjoncteur auxiliaire		

Figure F.1 – Circuit d'essais de vérification du réallumage thermique de l'interrupteur principal



Légende

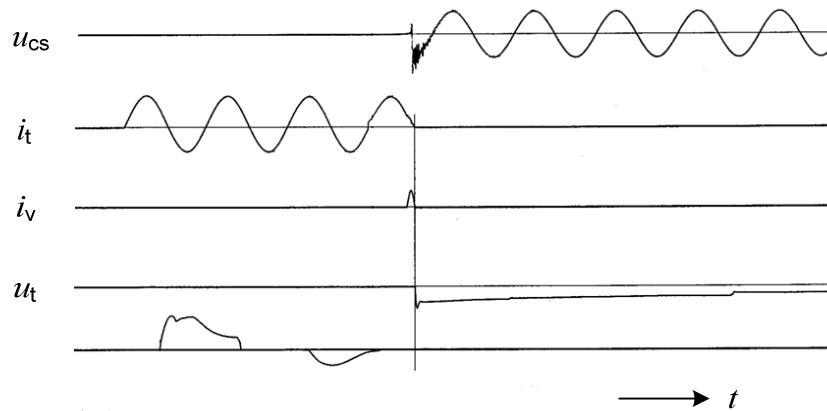
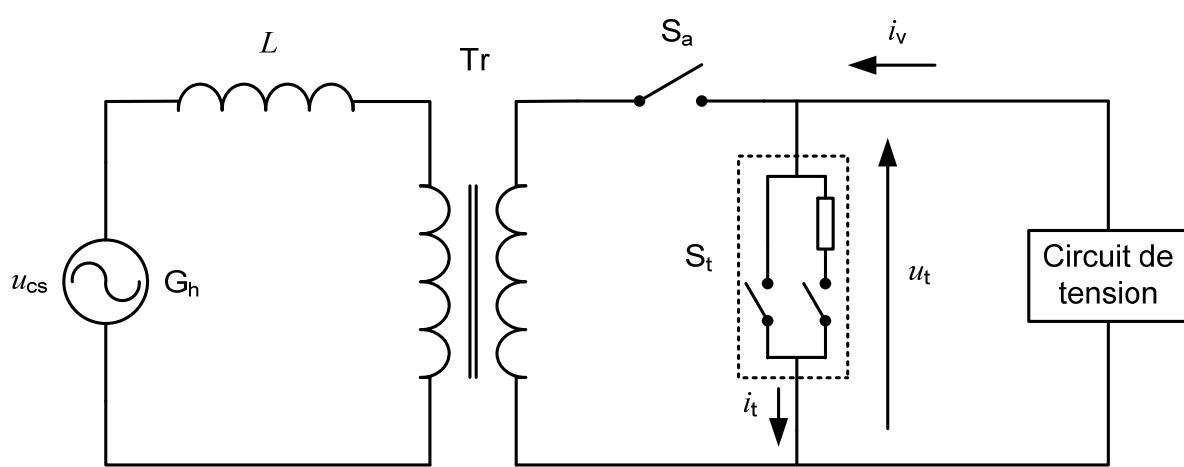
u_{cs}	tension du circuit de courant	u_t	tension appliquée
i_t	courant dans le disjoncteur en essai	i_v	courant dans le circuit de tension
G_h	générateur de court-circuit	Tr	transformateur
L	inductance du circuit de courant	S_t	disjoncteur en essai
S_a	disjoncteur auxiliaire		

Figure F.2 – Circuit d'essais de vérification du réallumage diélectrique de l'interrupteur principal

UTE

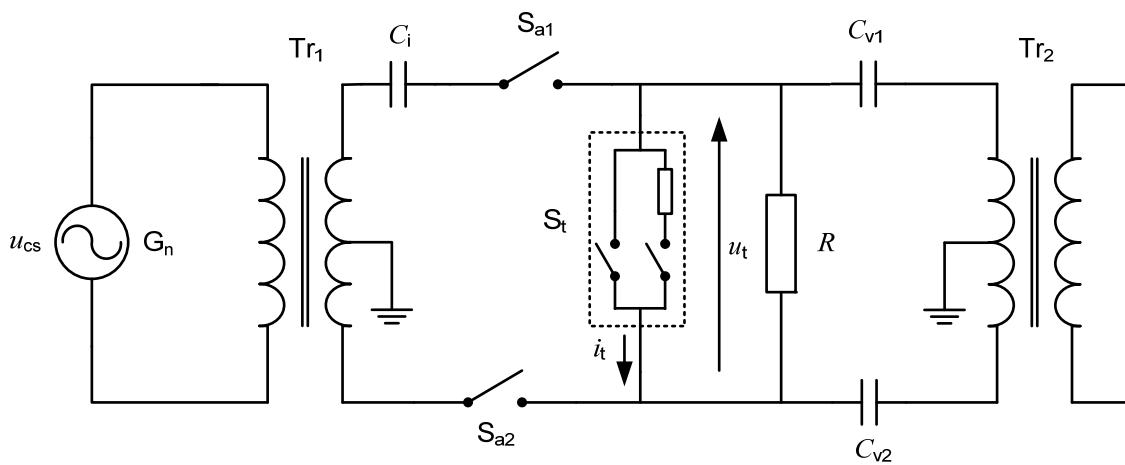
– 75 –

EN 62271-101:2013

**Légende**

u_{cs}	tension du circuit de courant	u_t	tension appliquée
i_t	courant dans le disjoncteur en essai	i_v	courant dans le circuit de tension
G_h	générateur de court-circuit	Tr	transformateur
L	inductance du circuit de courant	S_t	disjoncteur en essai
		S_a	disjoncteur auxiliaire

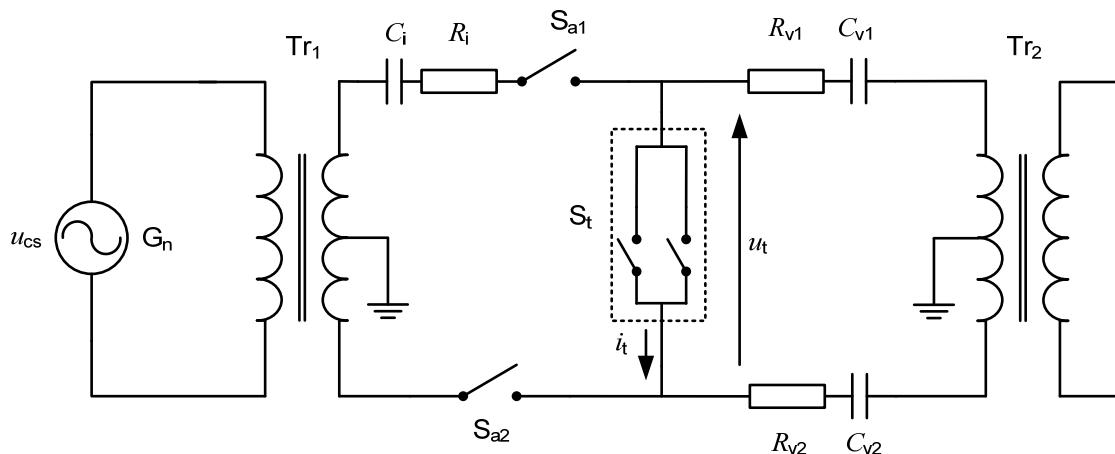
Figure F.3 – Circuit d'essais de l'interrupteur de résistance



Légende

u_{cs}	tension du circuit de courant	u_t	tension appliquée
i_t	courant dans le disjoncteur en essai	G_h	générateur de court-circuit
Tr_1	transformateur du circuit de courant	Tr_2	transformateur du circuit de tension
C_i	condensateur du circuit de courant	R	résistance équivalente
C_{v1}, C_{v2}	condensateur du circuit de tension	S_t	disjoncteur en essai
S_{a1}, S_{a2}	disjoncteurs auxiliaires		

Figure F.4 – Exemple de circuit d'essais pour essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs sur l'interrupteur principal



Légende

u_{cs}	tension du circuit de courant	u_t	tension appliquée
i_t	courant dans le disjoncteur en essai	G_h	générateur de court-circuit
Tr_1	transformateur du circuit de courant	Tr_2	transformateur du circuit de tension
C_i	condensateur du circuit de courant	R_i	résistance du circuit de courant
C_{v1}, C_{v2}	condensateur du circuit de tension	R_{v1}, R_{v2}	résistance du circuit de tension
S_t	disjoncteur en essai	S_{a1}, S_{a2}	disjoncteurs auxiliaires

Figure F.5 – Exemple de circuit d'essais pour essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs sur l'interrupteur de résistance

Annexe G (informative)

Méthodes d'essais synthétiques pour l'essai d'établissement et de coupure de courants capacitifs

G.1 Généralités

Les essais synthétiques d'établissement et de coupure de courants capacitifs sont généralement effectués en utilisant des circuits d'essais monophasés. Il existe principalement deux types de circuits:

a) Circuits combinés de courant et de tension

Le circuit d'essai est composé de deux circuits combinés: un circuit de courant et un circuit de tension. Les deux circuits ont une nature capacitive, mais on peut également utiliser un circuit de courant inductif ou résistif, à condition que l'angle de phase entre les deux sources soit modifié en conséquence.

Les deux sources peuvent être soit des transformateurs alimentés par générateur, soit des condensateurs chargés, ou encore une combinaison des deux. L'application de ce type de circuit implique l'utilisation d'un disjoncteur auxiliaire afin d'isoler le disjoncteur en essai du circuit de courant.

Circuits oscillants LC

Le circuit d'essai se compose d'un circuit oscillant LC qui fournit à la fois le courant et la tension à partir d'une seule source. L'application de ce type de circuit ne nécessite pas l'utilisation d'un disjoncteur auxiliaire.

Pour l'applicabilité des méthodes mentionnées dans le cas de disjoncteurs sous enveloppe métallique ou à cuve mise à la terre, voir l'Annexe N et l'Annexe O de la CEI 62271-100:2008.

NOTE Les phénomènes qui surviennent suite à un réamorçage ou un réallumage ne sont pas représentatifs des conditions de service, étant donné que les circuits d'essais ne reproduisent pas de manière adéquate les conditions de tensions apparaissant suite à de tels événements.

G.2 Généralités

De nombreux circuits d'essais sont possibles avec des caractéristiques différentes. Les Figures G.1 à G.7 en donnent quelques exemples.

Une impédance peut être ajoutée pour protéger le circuit d'essai et/ou contrôler le courant d'appel, à condition que la tension de rétablissement présumée soit conforme à 6.111.10 de la CEI 62271-100:2008.

G.3 Tension de rétablissement

En principe, la tension de rétablissement se compose d'une tension alternative appliquée à une borne du disjoncteur en essai, tandis qu'une tension continue décroissant lentement contraint l'autre borne.

Dans certains circuits d'essais, les deux tensions sont superposées sur l'une des bornes du disjoncteur en essai, l'autre borne étant reliée à la terre. Cette méthode implique une contrainte plus sévère sur l'isolation par rapport à la terre. Les sources combinées de courant et de tension des Figures G.6 et G.7 peuvent être utilisées pour appliquer les contraintes de tension correctes à chaque borne du disjoncteur. Pour les disjoncteurs sous enveloppe métallique, cet effet peut être compensé en appliquant une tension supplémentaire à la cuve, conformément aux recommandations d'O.4.3 de la CEI 62271-100:2008.

G.4 Circuits combinés de courant et de tension

Lorsque des essais sont effectués en utilisant les circuits décrits au point a) de l'Article G.1, la connexion des sources de courant et de tension aux disjoncteurs auxiliaires et en essai peut, en mode parallèle, soustraire la tension du disjoncteur auxiliaire ou, en mode série, ajouter cette tension sur le disjoncteur en essai.

Selon que le circuit de tension est connecté de façon permanente ou commutée avant ou après le zéro de courant à fréquence industrielle, on peut faire une distinction entre la superposition de courants à fréquence industrielle, les circuits à injection de courants et les circuits à injection de tension.

G.5 Essais d'établissement

Des exemples de circuits d'essais sont donnés aux Figures G.8 et G.9.

Le circuit de tension fournit la tension d'essai pendant la fermeture des contacts jusqu'au moment du claquage diélectrique, provoquant la circulation du courant transitoire initial de fermeture.

G.6 Arrachement du courant

Les phénomènes d'arrachement de courant, causés par l'interaction entre un disjoncteur et son circuit (en service ou pendant des essais de laboratoire), provoquent généralement une réduction de la tension côté charge et, en conséquence, de la contrainte diélectrique du disjoncteur.

En service ou pendant les essais de laboratoire dans les circuits d'essais directs, les arrachements de faibles courants capacitifs peuvent se produire. Dans les circuits d'essais synthétiques, la probabilité d'apparition de ces événements est augmentée, pour les raisons suivantes:

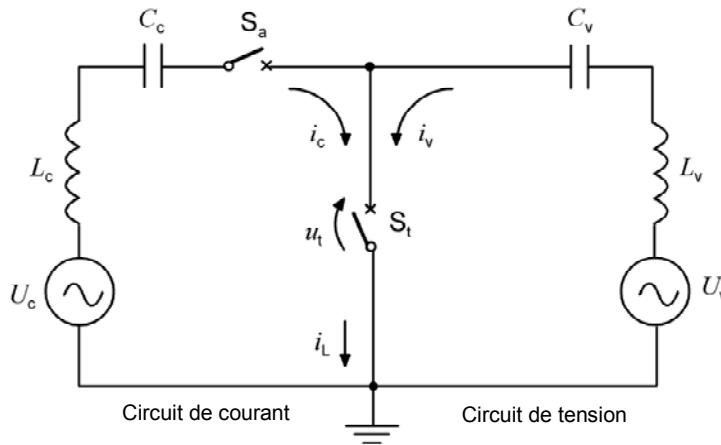
- en termes généraux, les paramètres caractéristiques des éléments répartis et des éléments localisés de certains circuits d'essais synthétiques sont différents et peuvent influencer le comportement d'arrachement de courant du disjoncteur;
- l'effet du montage en série des disjoncteurs supplémentaires (auxiliaires) avec le disjoncteur en essai dans les circuits combinés de courant et de tension;
- l'augmentation du rapport de la tension d'arc à la tension à fréquence industrielle.

En conséquence, quand on effectue des essais synthétiques en utilisant les circuits d'essais décrits au point a) de l'Article G.1, il peut être difficile de déterminer si les arrachements de courant représentent une caractéristique significative du disjoncteur en essai ou non. Pour réduire les arrachements de courant, les mesures suivantes peuvent être prises:

- modification des capacités vues des bornes du disjoncteur;
- utilisation d'un disjoncteur auxiliaire avec une courte durée minimale d'arc et une basse tension d'arc dans les circuits combinés de courant et de tension.

Les Figures G.1 à G.9 montrent des exemples typiques de circuits synthétiques pour les essais de manœuvre capacitive. La liste des symboles et explications relatives aux figures, est donnée ci-dessous pour alléger leur contenu et éviter les répétitions.

C_c	= capacité du circuit de courant
C_v	= capacité du circuit de tension
C_h, L_{pf}	= fréquence du circuit oscillant
f_{appel}	= fréquence du courant d'appel de fermeture
f_r	= fréquence assignée
f_{RV}	= fréquence de la tension de rétablissement
G	= éclateur
i_c	= courant du circuit de courant
$i_{max \ crête}$	= valeur crête du courant d'appel de fermeture
i_L	= courant de charge (courant à travers le disjoncteur S_t)
i_v	= courant du circuit de tension
L_c	= inductance du circuit de courant
L_v	= inductance du circuit de tension
m	= rapport du courant i_L sur le courant i_v
n	= rapport de la tension u_t sur la tension U_c
S_a	= disjoncteur auxiliaire
S_{a1}, S_{a2}, S_{a3}	= disjoncteurs auxiliaires
S_t	= disjoncteur en essai
\hat{t}	= temps jusqu'à la crête du courant injecté
U_c	= tension du circuit de courant
U_h	= tension de charge de C_h
U_{hb}	= tension de charge de C_{hb}
U_v	= tension du circuit de tension
u_A, u_B	= tension par rapport à la terre aux points A et B, respectivement
u_t	= tension aux bornes du disjoncteur en essai S_t



$U_c = u_t/n$	$U_v = u_t$
$i_c = i_L(1-1/m)$	$i_v = i_L/m$
$\omega L_c \ll 1/\omega C_c$	$\omega L_v \ll 1/\omega C_v$
$C_c = n(1-1/m)C_L$	$C_v = C_L/m$
C_L = capacité de charge équivalente	

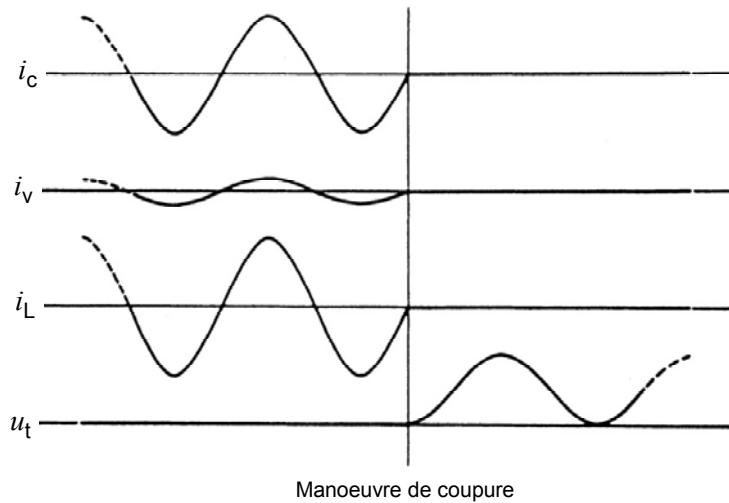
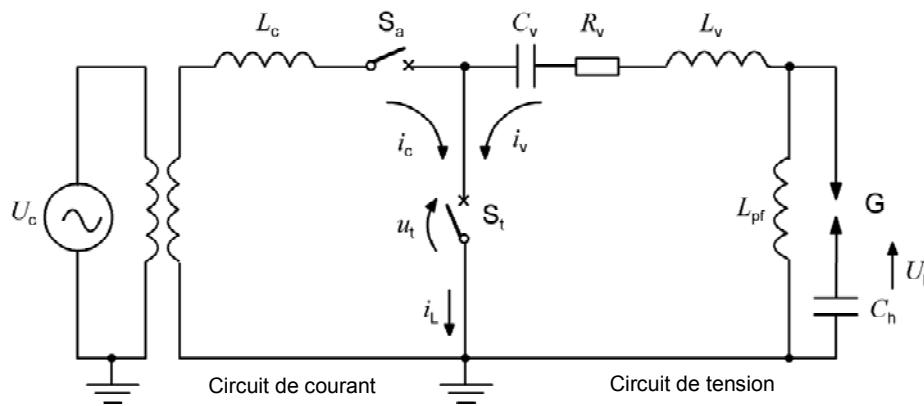


Figure G.1 – Circuits de courant capacitif (mode parallèle)

UTE

– 81 –

EN 62271-101:2013



$U_c = u_t/n$	$U_h = \frac{(C_v + C_h)}{C_h} U_t \sqrt{2}$
$i_c = I_l$	$i_v = \frac{U_h}{\omega_0 L_v} e^{-\alpha t} \sin \omega_0 t$, avec $\alpha = \frac{R_v}{2 L_v}$ et $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L_v} \left(\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_v} \right) - \left(\frac{R_v}{2 L_v} \right)^2}$
$\omega L_c = \frac{1}{n \times \omega \times C_L}$	$L_v = \frac{U_h}{i_L \times \omega \times \sqrt{2}}$
C_L = capacité de charge équivalente	

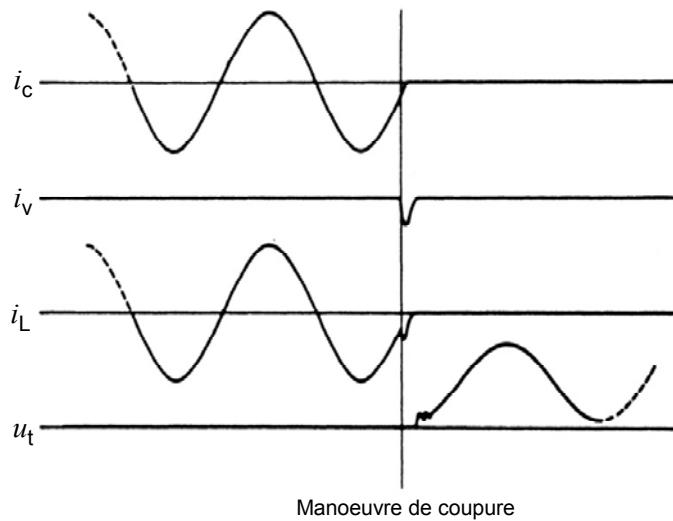
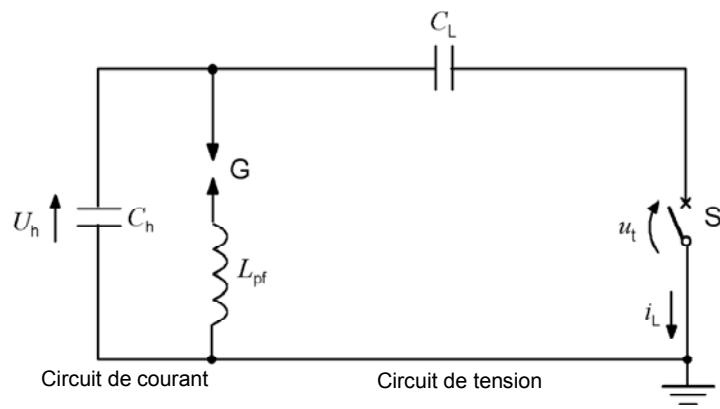
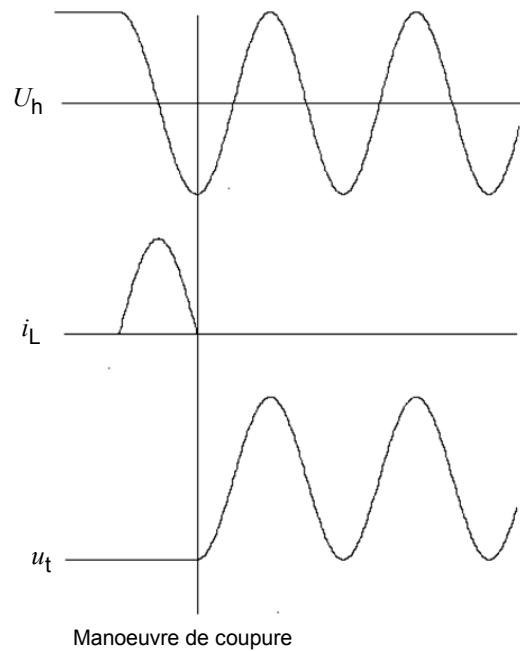


Figure G.2 – Circuit à injection de courant



$U_h = U_t \sqrt{2}$	$i_L = 2\pi f_L \times C_L \times U_h$
$f_{RV} = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_h \times L_{pf}}}$	$f_L = \frac{1}{2\pi \sqrt{(C_h + C_L) \times L_{pf}}}$
C_L = capacité de charge	



C_h et C_L sont préchargées à la tension U_h .

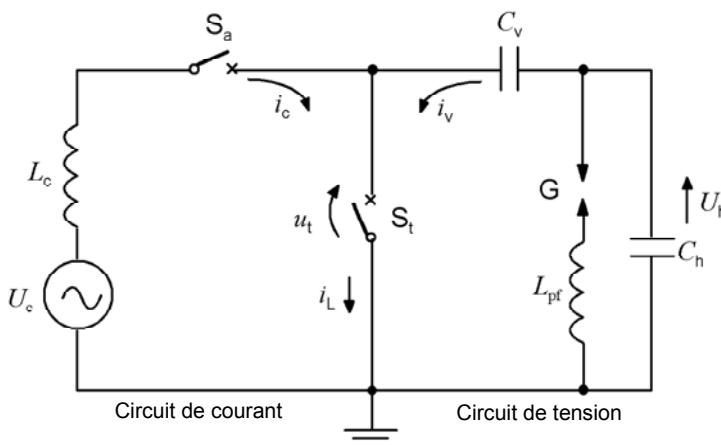
La capacité de charge C_L peut également être insérée entre le disjoncteur en essais et la terre.

Figure G.3 – Circuit oscillant LC

UTE

– 83 –

EN 62271-101:2013



$i_c = i_L - i_v$	$U_h = U_t \times \sqrt{2}$
$i_c = U_c / \omega_r L_c$, avec $\omega_r = 2\pi f_r$	$f_L = \frac{1}{2\pi \sqrt{(C_h + C_v) \times L_{pf}}}$
$i_v = U_h \times 2\pi f_L \times C_v$	$f_{RV} = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_h \times L_{pf}}}$

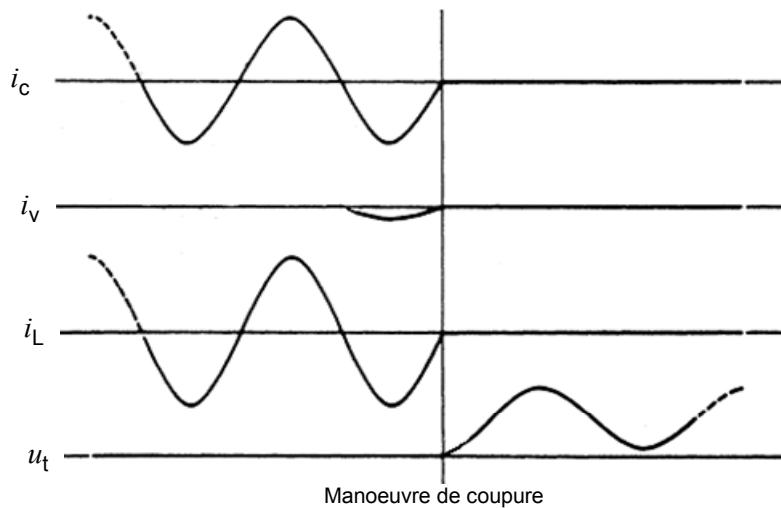
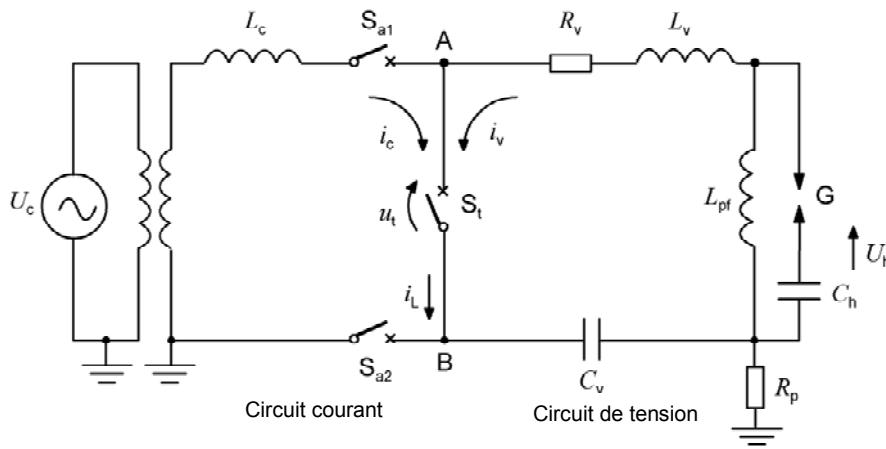


Figure G.4 – Circuit de courant inductif en parallèle avec le circuit oscillant LC



$U_c = U_t / n$	$U_h = \left(\frac{C_v + C_h}{C_h} \right) \times U_t \sqrt{2}$
$i_c = i_L$	$i_v = \frac{U_h}{\omega_0 L_v} \times e^{-\alpha t} \times \sin \omega_0 t$, avec $\alpha = \frac{R_v}{2L_v}$ et $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L_v} \left(\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_v} \right) - \left(\frac{R_v}{2L_v} \right)^2}$
$\omega L_c = \frac{1}{n \times \omega \times C_L}$	$L_v = \frac{U_h}{i_L \times \omega \times \sqrt{2}}$

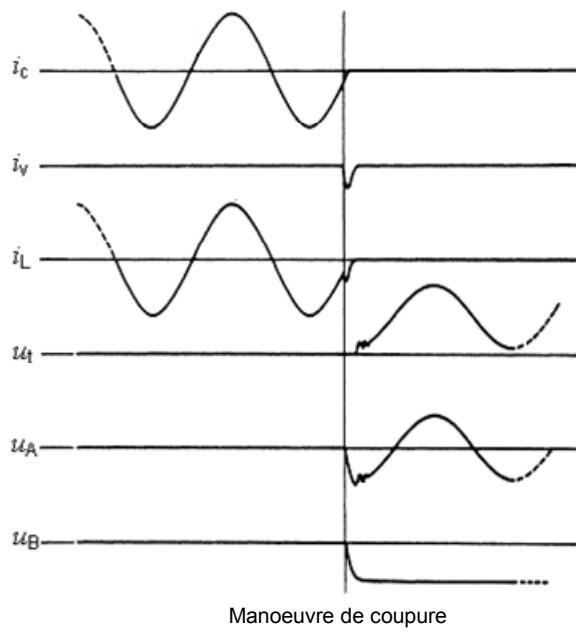
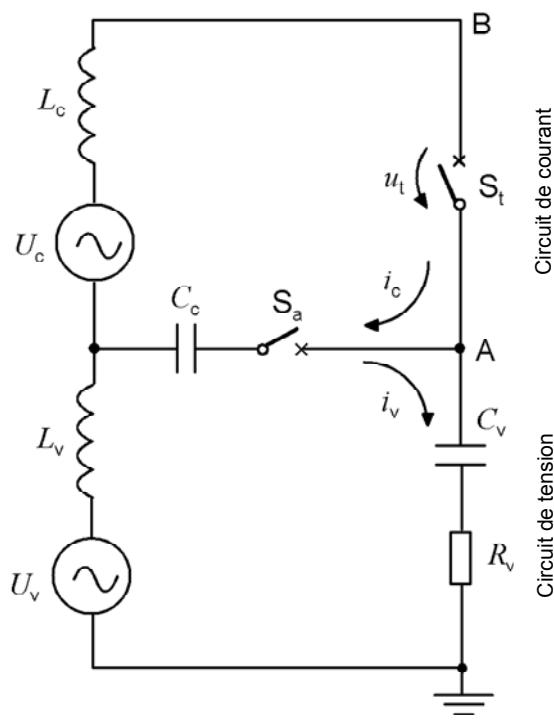


Figure G.5 – Circuit à injection de courant, tension de rétablissement normale appliquée aux deux bornes du disjoncteur

UTE

– 85 –

EN 62271-101:2013



$U_c = u_t / n$
$i_c = U_c \times \omega \times C_c$
$\omega L_c \ll 1/\omega C_c$
$C_c = n C_L$
$i_c = i_L$
$U_v = u_t - U_c$
$i_v = U_t \omega C_v$
$\omega L_c \ll 1/\omega C_v$
$C_v = C_L / m$

C_L = capacité de charge équivalente

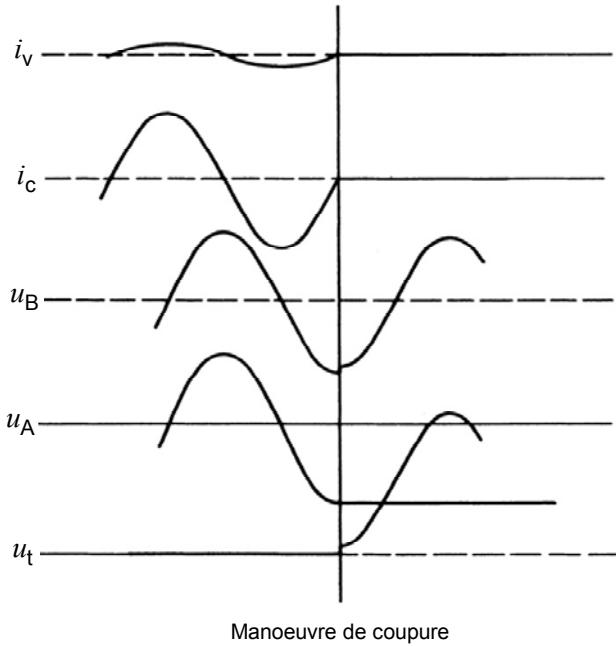
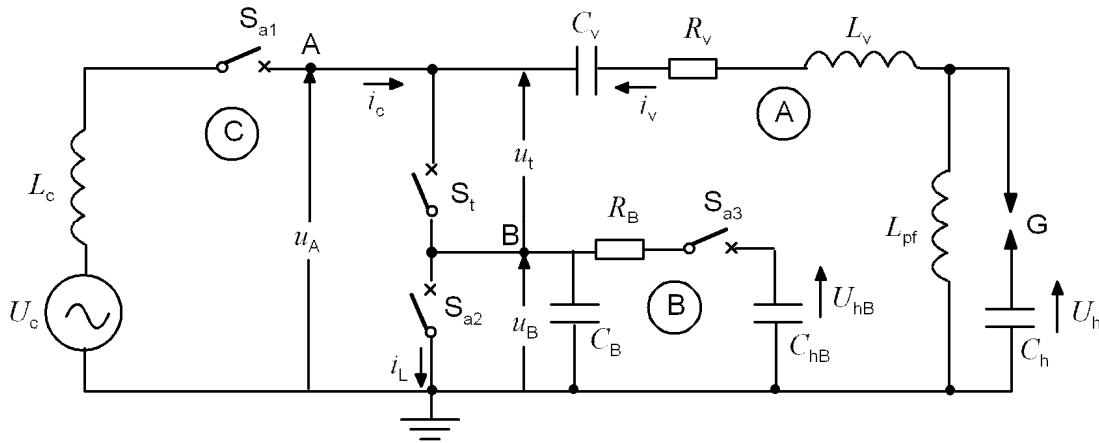


Figure G.6 – Circuit d'essais synthétiques (circuit série), tension de rétablissement normale appliquée aux deux bornes du disjoncteur en essai



Ce circuit d'essai se compose de trois circuits:

- le circuit A est un circuit à injection de courant conventionnel connecté à une borne du disjoncteur en essai, fournissant une tension de rétablissement U_A de forme $(1-\cos)$;
- le circuit B est connecté à l'autre borne du disjoncteur en essai, fournissant une tension de rétablissement exponentielle (de forme $1-\exp(-t/t_0)$). Son amplitude, sa vitesse de décroissance et sa position dans le temps sont choisies en prenant en considération la tension appliquée sur l'autre borne du disjoncteur en essai, de telle sorte que la tension de rétablissement correcte (u_t) soit appliquée entre les contacts;
- le circuit C fournit le courant d'essai.

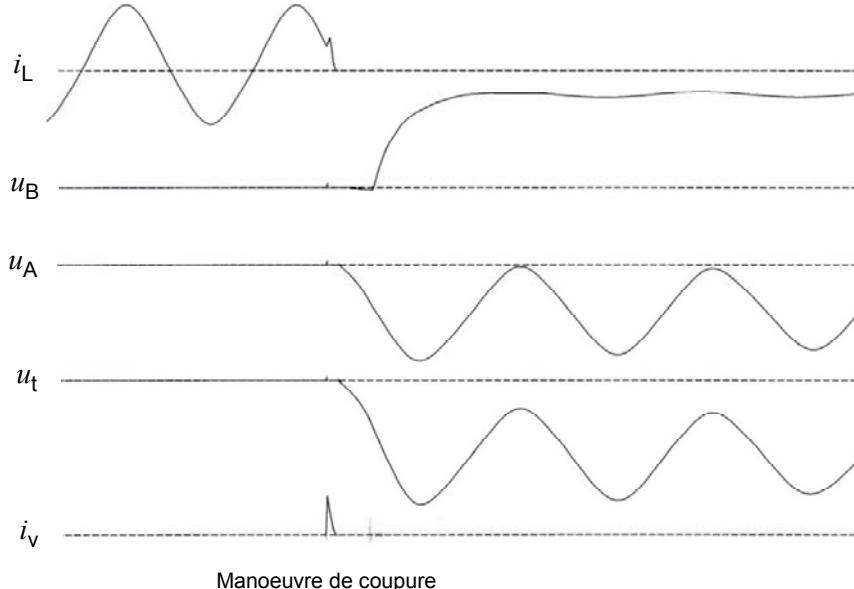


Figure G.7 – Circuit à injection de courant, tension de rétablissement appliquée aux deux bornes du disjoncteur

UTE

– 87 –

EN 62271-101:2013

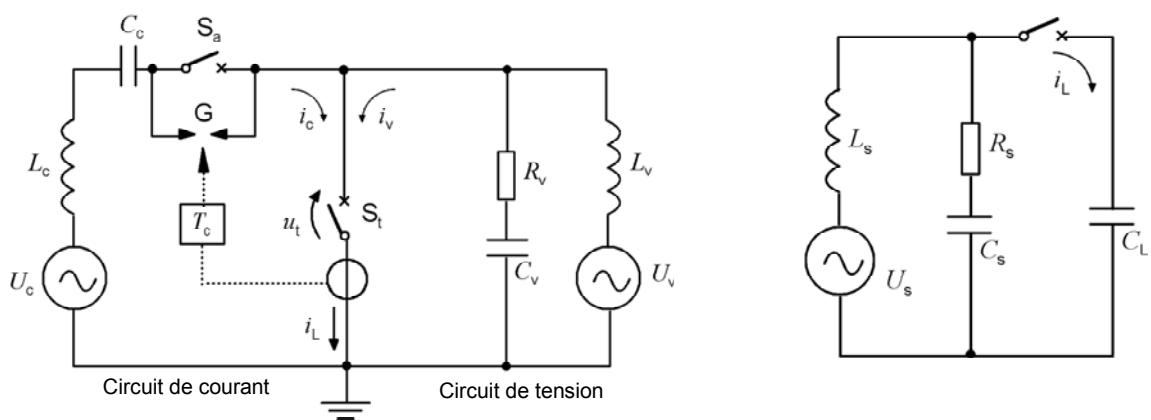


Schéma de circuit équivalent pour définir
 R_s , C_s et L_s

$U_c = U_t / n$	$U_v = U_t$
$i_c = i_L$	$i_v = U_v / \omega L_v$
$L_c = L_s / n$	$R_v = R_s$
$C_c = n C_L$	$C_v = \frac{C_s C_L}{C_s + C_L}$, où $C_v = C_L$ si $C_s \ll C_L$
C_L = capacité de charge équivalente R_s et C_s définissent le courant transitoire initial de fermeture L_s et C_L définissent le courant transitoire de fermeture	

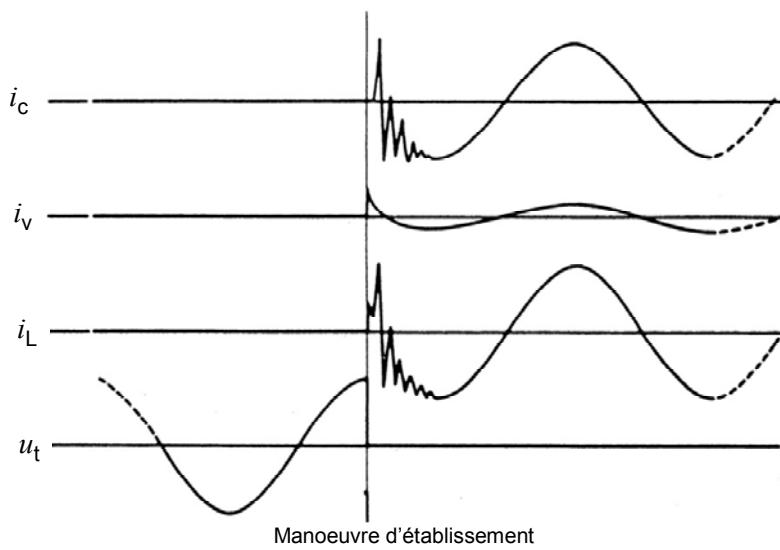
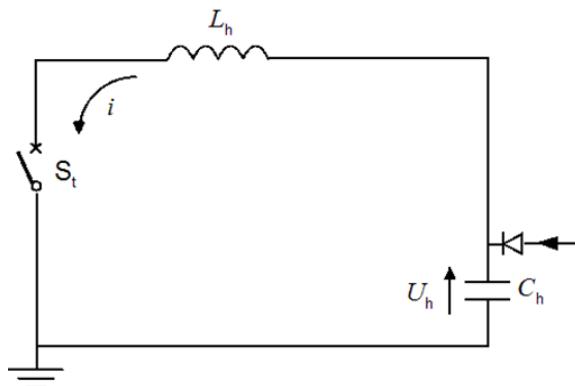


Figure G.8 – Circuit d'essai d'établissement



$U_h = U_t \times \sqrt{2}$	$i_{\max \text{ crête}} = U_h \times C_h \times 2\pi \times f_{\text{appel}}$
$f_{\text{appel}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_h \times L_v}}$	

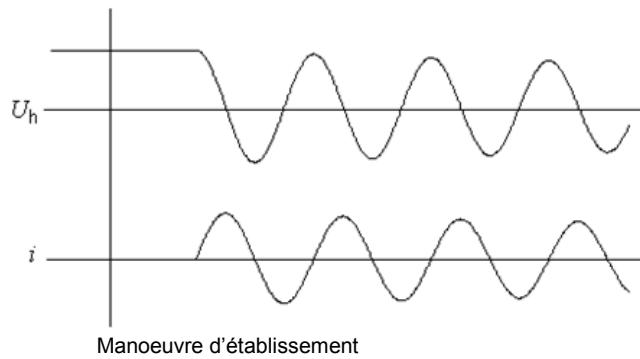


Figure G.9 – Circuit d'essai d'établissement du courant d'appel de fermeture

Annexe H (informative)

Méthodes de réallumage pour l'entretien de l'arc

H.1 Méthode «pas à pas»

Cette méthode n'utilise qu'une seule source de tension. Le disjoncteur en essai est artificiellement réallumé soit par un circuit spécial de réallumage, soit par d'autres moyens, afin de prolonger le courant d'arc jusqu'au zéro de courant pour lequel le circuit de tension doit être appliqué. Cette méthode «pas à pas» nécessite moins d'installations supplémentaires que la méthode décrite à l'Article H.2. Cependant, des essais supplémentaires peuvent s'avérer nécessaires pour satisfaire les durées d'arc spécifiées.

a) Méthode utilisant un circuit de réallumage séparé

Un circuit de réallumage séparé fournit une impulsion de courant croissant rapidement et dont la polarité est opposée à celle du courant à fréquence industrielle, environ $10 \mu\text{s}$ avant le zéro de courant. Le courant dans le disjoncteur est ainsi inversé rapidement et la conduction dans l'espace entre les courants d'arc est maintenue pendant une alternance supplémentaire de courant à fréquence industrielle. A titre d'exemple, un circuit de réallumage est représenté à la Figure H.1. Plusieurs circuits de ce type peuvent être utilisés afin de prolonger le courant d'arc pendant plusieurs alternances de courant. Le circuit de réallumage peut, en principe, être utilisé pour réallumer le disjoncteur en essai et le disjoncteur auxiliaire. Toutefois, on évite généralement d'avoir à réallumer les deux disjoncteurs en retardant convenablement la séparation des contacts du disjoncteur auxiliaire.

Méthode utilisant une plus grande sévérité du circuit à fréquence industrielle

Dans certains cas, la durée d'arc du disjoncteur en essai peut être prolongée en augmentant la vitesse de montée de la tension transitoire de rétablissement dans le circuit de courant à fréquence industrielle. L'efficacité de cette méthode dépend des caractéristiques du circuit de courant à fréquence industrielle et du disjoncteur en essai.

H.2 Méthode utilisant un circuit double

Une configuration de circuit, combinant le circuit de Skeats et le circuit à injection de courant, est représentée à la Figure H.2. Le courant et la tension correspondants pour un essai de coupure de courant asymétrique sont indiqués à la Figure H.3.

Au premier zéro de courant, le disjoncteur en essai est contraint par le circuit de Skeats, réalisant ainsi un réallumage diélectrique. De cette manière, la forme d'onde du courant de court-circuit est équivalente à celle d'un essai direct. Au zéro de courant suivant, le circuit à injection de courant est appliqué au disjoncteur en essai.

Premier zéro de courant:

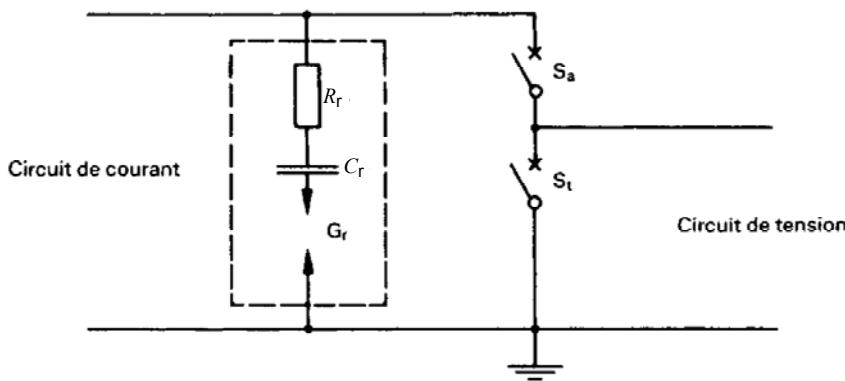
- S_1 est ouvert et joue le rôle de disjoncteur auxiliaire;
- G_2 est déclenché quand un réallumage apparaît;
- S_2 reste fermé;
- S_3 reste fermé;
- S_4 reste ouvert.

Pendant la période de fort courant:

- S_3 est ouvert;
- S_4 est fermé.

Deuxième zéro de courant:

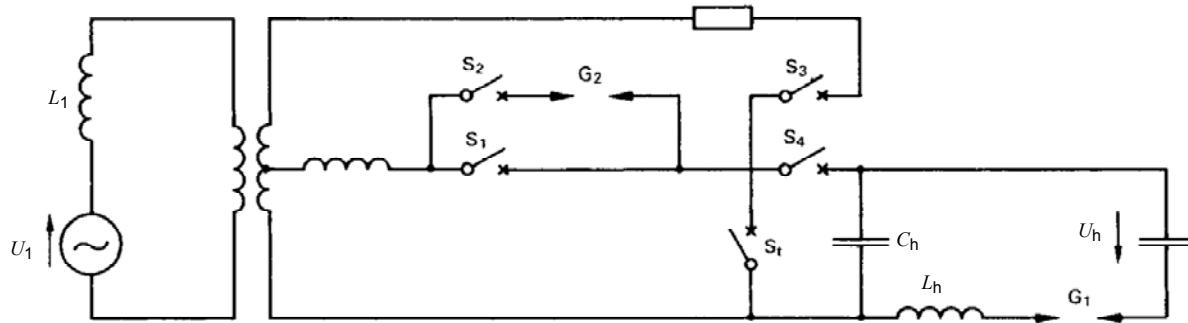
- S_1 reste ouvert;
- S_2 est ouvert et joue le rôle de disjoncteur auxiliaire;
- G_1 est déclenché.



Légende

S_t	disjoncteur en essai	C_r	condensateur du circuit de réallumage
S_a	disjoncteur auxiliaire	G_r	éclateur pour fermer le circuit de réallumage
R_r	résistance du circuit de réallumage		

Figure H.1 – Schéma type du circuit de réallumage servant à prolonger la durée d'arc



Légende

U_1	tension du circuit de courant
L_1	inductance du circuit de courant
S_1, S_2, S_3, S_4	disjoncteurs auxiliaires
S_t	disjoncteur en essai
L_h	inductance du circuit de tension
C_h	capacité du circuit de tension qui règle la plus grande partie de la TTR avec L_h
U_h	tension de charge du circuit de tension
G_1, G_2	éclateurs

Figure H.2 – Circuits combinés à injection de courant et de Skeats

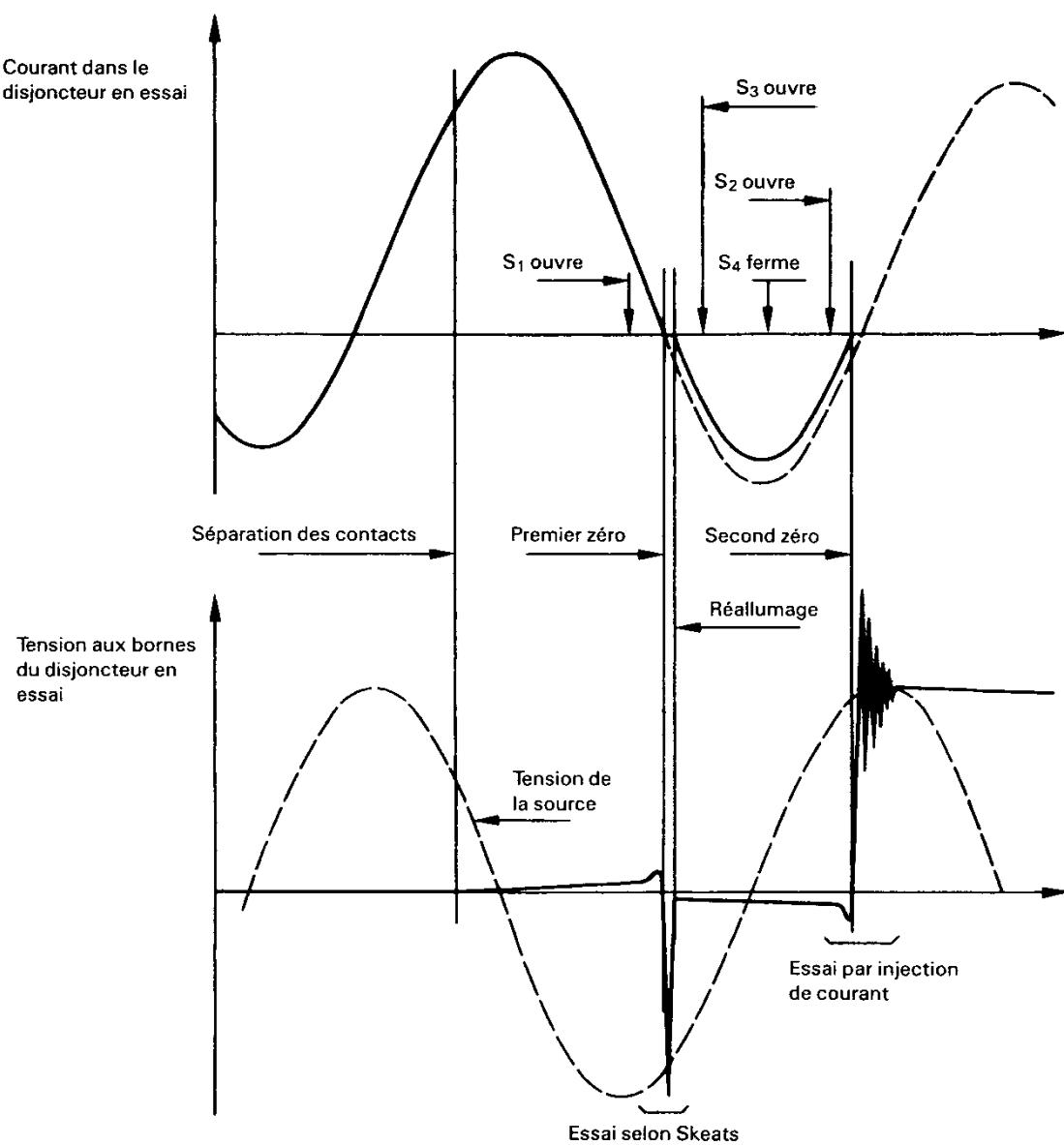


Figure H.3 – Formes d'ondes typiques obtenues pendant un essai asymétrique en utilisant le circuit de la Figure H.2

Annexe I
(normative)

Réduction du di/dt et de la TTR pour la séquence d'essais T100a

Pour les paramètres de la dernière alternance de courant, se référer aux Tableaux 15 à 22 de la CEI 62271-100:2008.

Les Tableaux I.1 à I.4 traitent de la réduction de di/dt de la dernière alternance pour 50 Hz et 60 Hz, respectivement, dans des conditions triphasées avec le premier pôle qui coupe en phase A avec asymétrie intermédiaire et l'asymétrie requise en phase C ayant la grande alternance étendue.

Les Tableaux I.5 à I.10 traitent des valeurs corrigées de la TTR pour k_{pp} 1,5, 1,3 et 1,2 pour $f_r = 50$ Hz et $f_r = 60$ Hz.

Tableau I.1 – Réduction du di/dt de la dernière alternance pour 50 Hz pour $k_{pp} = 1,3$ et 1,5

τ	k_{pp}	1,5			1,3		
		Durée minimale de coupure	Phase A	Phase B	Phase C	Phase A	Phase B ^a
ms	ms	%	%	%	%	%	%
45	10,0 < $t \leq 22,5$	99	82	82	99	57	84
	22,5 < $t \leq 43,5$	100	85	85	100	57	88
	43,5 < $t \leq 64,0$	100	86	86	100	57	90
60	10,0 < $t \leq 22,5$	97	79	79	97	55	80
	22,5 < $t \leq 43,0$	99	83	83	99	57	85
	43,0 < $t \leq 63,5$	100	85	85	100	57	88
	63,5 < $t \leq 84,0$	100	86	86	100	57	89
75	10,0 < $t \leq 22,0$	96	76	76	96	55	76
	22,0 < $t \leq 43,0$	98	81	81	98	56	82
	43,0 < $t \leq 63,5$	99	84	84	99	57	86
	63,5 < $t \leq 84,0$	100	85	85	100	57	87
	84,0 < $t \leq 104$	100	86	86	100	57	88
120	10,0 < $t \leq 22,0$	94	69	69	94	54	67
	22,0 < $t \leq 42,5$	96	75	75	96	55	74
	42,5 < $t \leq 63,5$	97	78	78	97	56	79
	63,5 < $t \leq 83,5$	98	81	81	98	56	82
	83,5 < $t \leq 103,5$	99	83	83	99	56	32

^a Phase B est le dernier pôle qui coupe.

NOTE 1 La constante de temps du réseau $\tau = 45$ ms est la valeur normalisée; $\tau = 60$ ms, 75 ms et 120 ms sont des valeurs spéciales selon 4.1.

NOTE 2 Pour $k_{pp} = 1,3$, une impédance neutre purement réactive sans composante résistive est admise.

Tableau I.2 – Réduction du di/dt de la dernière alternance pour 50 Hz pour $k_{pp} = 1,2$

τ ms	k_{pp} Durée minimale de coupe ms	1,2		
		Phase A %	Phase B %	Phase C %
120	10,0 < $t \leq 22,0$	94	70	66
	22,0 < $t \leq 42,5$	96	72	74
	42,5 < $t \leq 63,5$	97	73	80
	63,5 < $t \leq 83,5$	98	73	83
	83,5 < $t \leq 103,5$	99	74	86
Phase B est le dernier pôle qui coupe.				
NOTE Pour $k_{pp} = 1,2$, une impédance neutre purement réactive sans composante résistive est admise.				

Tableau I.3 – Réduction du di/dt de la dernière alternance pour 60 Hz pour $k_{pp} = 1,3$ et 1,5

τ ms	k_{pp}	1,5			1,3		
		Durée minimale de coupure ms	Phase A %	Phase B %	Phase C %	Phase A %	Phase B ^a %
45	8,5 < $t \leq 19,0$	98	81	81	98	56	81
	19,0 < $t \leq 36,0$	100	84	84	100	57	86
	36,0 < $t \leq 53,0$	100	86	86	100	57	89
	53,0 < $t \leq 70,0$	100	87	87	100	57	89
	70,0 < $t \leq 87,0$	100	87	87	100	57	90
60	8,5 < $t \leq 18,5$	96	77	77	96	55	76
	18,5 < $t \leq 36,0$	98	81	81	98	56	83
	36,0 < $t \leq 53,0$	99	84	84	99	57	86
	53,0 < $t \leq 70,0$	100	85	85	100	57	88
	70,0 < $t \leq 87,0$	100	86	86	100	57	89
75	8,5 < $t \leq 18,5$	95	73	73	95	55	72
	18,5 < $t \leq 35,5$	97	79	79	97	56	79
	35,5 < $t \leq 52,5$	98	82	82	98	56	83
	52,5 < $t \leq 69,5$	99	84	84	99	57	86
	69,5 < $t \leq 86,5$	100	85	85	100	57	87
	86,5 < $t \leq 103,5$	100	86	86	100	57	88
120	8,5 < $t \leq 18,0$	93	67	67	93	53	63
	18,0 < $t \leq 35,0$	95	72	72	95	54	70
	35,0 < $t \leq 52,0$	96	76	76	96	55	76
	52,0 < $t \leq 69,0$	97	80	80	97	56	80
	69,0 < $t \leq 86,0$	98	81	81	98	56	82
	86,0 < $t \leq 102$	99	82	82	99	56	84

^a Phase B est le dernier pôle qui coupe.

NOTE 1 La constante de temps du réseau $\tau = 45$ ms est la valeur normalisée; $\tau = 60$ ms, 75 ms et 120 ms sont des valeurs spéciales selon 4.1.

NOTE 2 Pour $k_{pp} = 1,3$, une impédance neutre purement réactive sans composante résistive est admise.

Tableau I.4 – Réduction du di/dt de la dernière alternance pour 60 Hz pour $k_{pp} = 1,2$

τ ms	k_{pp} Durée minimale de coupe ms	1,2		
		Phase A %	Phase B %	Phase C %
120	8,5 < $t \leq 18,0$	93	70	62
	18,0 < $t \leq 35,0$	95	71	71
	35,0 < $t \leq 52,0$	96	72	76
	52,0 < $t \leq 69,0$	97	73	81
	69,0 < $t \leq 86,0$	98	74	84
	86,0 < $t \leq 103$	99	74	86
Phase B est le dernier pôle qui coupe.				
NOTE Pour $k_{pp} = 1,2$, une impédance neutre purement réactive sans composante résistive est admise.				

Tableau I.5 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle à couper pour $k_{pp} = 1,3$ et $f_r = 50$ Hz

Durée minimale de coupe ms		10 < $t \leq 22,5$		22,5 < $t \leq 43,5$		43,5 < $t \leq 64,0$		64,0 < $t \leq 84,5$		84,5 < $t \leq 104,5$	
	U_r kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV
$\tau = 45 \text{ ms}$ petite alternance	100	61	117	72	137	76	144	a	a	a	a
	123	75	145	88	169	94	177				
	145	88	171	104	199	110	209				
	170	103	203	122	235	129	246				
	245	149	298	176	342	187	356				
	300	183	370	216	421	229	438				
	362	222	454	261	513	276	532				
	420	258	534	303	600	321	620				
	550	340	723	399	801	421	821				
	800	501	1 117	585	1 206	615	1 221				
$\tau = 45 \text{ ms}$ grande alternance	100	74	135	78	144	80	147	a	a	a	a
	123	90	165	96	176	97	180				
	145	106	193	112	206	114	211				
	170	124	226	132	242	134	248				
	245	179	320	190	345	194	355				
	300	219	389	232	420	237	434				
	362	264	464	280	503	286	521				
	420	308	532	324	580	331	602				
	550	399	679	424	748	433	781				
	800	576	940	614	1 058	628	1 116				
Durée minimale de coupe ms		10 < $t \leq 22,5$		22,5 < $t \leq 43,0$		43,0 < $t \leq 63,5$		63,5 < $t \leq 84$		84 < $t \leq 104,5$	
	U_r kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV
$\tau = 60 \text{ ms}$ petite alternance	100	56	108	68	130	74	140	a	a	a	a
	123	68	133	83	160	90	172				
	145	80	158	98	189	106	203				
	170	94	187	115	224	125	239				
	245	137	276	167	327	180	348				
	300	168	344	205	404	221	429				
	362	203	424	247	494	267	522				
	420	237	501	288	579	310	609				
	100	69	126	75	137	78	143				
	123	85	154	92	168	95	175				
$\tau = 60 \text{ ms}$ grande alternance	145	99	179	108	197	112	206	a	a	a	a
	170	117	210	126	231	131	241				
	245	168	296	182	328	189	344				
	300	205	359	223	399	232	419				
	362	247	426	268	476	279	502				
	420	286	487	311	547	323	579				
	100	69	126	75	137	78	143				
	123	85	154	92	168	95	175				
	145	99	179	108	197	112	206				
	170	117	210	126	231	131	241				
Durée minimale de coupe ms		10 < $t \leq 22,0$		22,0 < $t \leq 43,0$		43,0 < $t \leq 63,5$		63,5 < $t \leq 84$		84 < $t \leq 104$	
	U_r kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV
$\tau = 75 \text{ ms}$ petite alternance	550	291	648	360	752	394	797	413	817	423	825
	800	430	1 024	529	1 156	577	1 206				
$\tau = 75 \text{ ms}$ grande alternance	550	349	568	388	659	409	714	422	748	429	770
	800	502	760	560	908	592	1 000				

**Tableau I.6 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle à couper
pour $k_{pp} = 1,3$ et $f_r = 60$ Hz**

Durée minimale de coupure ms		8,5 < $t \leq 19,0$		19,0 < $t \leq 36$		36 < $t \leq 53$		53 < $t \leq 70$		70 < $t \leq 87$			
	U_r kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV		
$\tau = 45$ ms petite alternance	100	58	112	70	133	75	142	a	a	a	a		
	123	71	139	85	164	92	175						
	145	83	164	100	194	108	206						
	170	98	195	118	229	127	243						
	245	142	289	171	335	183	353						
	300	174	360	210	415	225	436						
	362	211	444	253	508	271	530						
	420	245	526	294	596	315	620						
	550	325	720	388	801	414	826						
	800	480	1 133	570	1 224	606	1 242						
$\tau = 45$ ms grande alternance	100	71	129	76	140	79	145	a	a	a	a		
	123	87	157	93	171	96	177						
	145	102	183	110	200	113	207						
	170	120	214	128	234	132	243						
	245	172	302	185	333	191	347						
	300	210	366	227	404	234	423						
	362	253	433	273	482	281	507						
	420	393	495	316	553	326	584						
	550	381	624	412	708	426	753						
	800	549	842	595	984	617	1 064						
Durée minimale de coupure ms		8,5 < $t \leq 18,5$		18,5 < $t \leq 36$		36 < $t \leq 53$		53 < $t \leq 70$		70 < $t \leq 87$			
	U_r kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV		
$\tau = 60$ ms petite alternance	100	52	102	65	125	72	136	a	a	a	a		
	123	64	127	80	155	88	168						
	145	75	151	94	183	103	198						
	170	89	179	110	217	121	234						
	245	129	267	160	319	175	342						
	300	159	334	297	396	215	424						
	362	192	414	238	486	260	517						
	420	224	492	277	572	302	606						
	100	66	119	72	132	76	139						
	123	81	145	89	161	93	170						
$\tau = 60$ ms grande alternance	145	94	169	104	188	109	199	a	a	a	a		
	170	111	197	122	220	128	234						
	245	159	276	176	312	185	332						
	300	195	332	215	377	226	403						
	362	234	392	258	448	272	481						
	420	270	445	299	513	315	553						
Durée minimale de coupure ms		8,5 < $t \leq 18,5$		18,5 < $t \leq 35,5$		35,5 < $t \leq 52,5$		52,5 < $t \leq 69,5$		69,5 < $t \leq 86,5$		86,5 < $t \leq 103,5$	
	U_r kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV
$\tau = 75$ ms petite alternance	550	275	646	345	749	382	819	417	830	425	835	425	833
	800	409	1 042	509	1 171	561	1 244						
$\tau = 75$ ms grande alternance	550	327	498	369	599	395	664	410	707	420	737	427	759
	800	468	638	531	802	569	910						

^a La séquence d'essais T100a n'est pas applicable, niveau d'asymétrie inférieur à 20 % pour les deux alternances de courant.

**Tableau I.7 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle à couper
pour $k_{pp} = 1,5$ et $f_r = 50$ Hz**

Durée minimale de coupure ms		10 < $t \leq 22,5$		22,5 < $t \leq 43,5$		43,5 < $t \leq 64,0$		64,0 < $t \leq 84,5$		84,5 < $t \leq 104,5$	
	U_r kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV
$\tau = 45$ ms petite alternance	72,5 100 123 145 170	b 70 86 101 119	96 135 168 200 235	b 83 102 120 141	113 157 195 231 271	b 88 108 127 149	119 165 204 242 284	a	a	a	a
$\tau = 45$ ms grande alternance	72,5 100 123 145 170	b 85 104 123 144	113 154 190 222 259	b 90 110 130 152	120 164 202 238 277	b 91 112 132 155	123 168 208 244 285	a	a	a	a
Durée minimale de coupure ms		10 < $t \leq 22,5$		22,5 < $t \leq 43,0$		43,0 < $t \leq 63,5$		63,5 < $t \leq 84$		84 < $t \leq 104,5$	
	U_r kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV
$\tau = 60$ ms petite alternance	72,5 100 123 145 170	b 64 79 93 109	88 124 154 184 217	b 78 96 113 133	107 149 185 220 258	b 85 104 123 144	115 161 199 235 276	b 88 108 128 150	119 166 205 243 284	a	a
$\tau = 60$ ms grande alternance	72,5 100 123 145 170	b 80 98 115 135	106 144 176 207 240	b 86 106 125 146	115 157 194 227 264	b 89 110 129 151	120 164 202 237 277	b 91 112 131 154	122 167 206 243 283	a	a

^a La séquence d'essais T100a n'est pas applicable, niveau d'asymétrie inférieur à 20 % pour les deux alternances de courant.

^b u_1 n'est pas défini pour une TTR à deux paramètres.

**Tableau I.8 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle à couper
pour $k_{pp} = 1,5$ et $f_r = 60$ Hz**

Durée minimale de coupure ms		8,5 < $t \leq 19,0$		19,0 < $t \leq 36$		36 < $t \leq 53$		53 < $t \leq 70$		70 < $t \leq 87$	
	U_r kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV
$\tau = 45$ ms petite alternance	72,5 100 123 145 170	b 66 81 96 113	91 129 161 192 227	b 80 99 116 136	109 153 190 226 265	b 86 106 125 146	117 163 202 239 280	b 89 109 129 151	120 167 206 244 286	a	a
$\tau = 45$ ms grande alternance	72,5 100 123 145 170	b 82 100 118 138	109 147 181 211 245	b 88 108 127 148	117 160 196 230 268	b 90 111 130 153	121 166 204 240 279	b 91 112 132 155	123 169 208 245 285	a	a
Durée minimale de coupure ms		8,5 < $t \leq 18,5$		18,5 < $t \leq 36$		36 < $t \leq 53$		53 < $t \leq 70$		70 < $t \leq 87$	
	U_r kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV
$\tau = 60$ ms petite alternance	72,5 100 123 145 170	b 60 74 87 103	83 118 147 176 208	b 75 92 109 128	103 144 179 213 251	b 82 101 119 140	112 157 194 231 271	b 86 106 125 147	117 163 202 240 281	b 89 109 128 151	120 166 206 244 286
$\tau = 60$ ms grande alternance	72,5 100 123 145 170	b 76 93 109 128	100 135 166 194 224	b 83 102 120 141	111 151 217 252	b 87 107 126 148	117 159 230 268	b 90 110 129 152	120 164 202 238 277	b 91 112 131 154	122 167 206 242 283
<p>a La séquence d'essais T100a n'est pas applicable, niveau d'asymétrie inférieur à 20 % pour les deux alternances de courant.</p> <p>b u_1 n'est pas défini pour une TTR à deux paramètres.</p>											

**Tableau I.9 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle à couper
pour $k_{pp} = 1,2$ et $f_r = 50$ Hz**

Durée minimale de coupure ms		10,0 < $t \leq 22,0$		22,0 < $t \leq 42,5$		42,5 < $t \leq 63,5$		63,5 < $t \leq 83,5$		83,5 < $t \leq 103,5$	
	U_r kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV						
$\tau = 120$ ms petite alternance	1 100 1 200	490 539	1 250 1 400	612 671	1 451 1 613	682 747	1 556 1 723	726 794	1 614 1 782	755 825	1 646 1 814
$\tau = 120$ ms grande alternance	1 100 1 200	514 557	791 832	602 653	1 002 1 067	659 717	1 148 1 229	700 761	1 254 1 349	728 793	1 333 1 438

**Tableau I.10 – Valeurs corrigées de TTR pour le premier pôle à couper
pour $k_{pp} = 1,2$ et $f_r = 60$ Hz**

Durée minimale de coupure ms		8,5 < $t \leq$ 18,0		18,0 < $t \leq$ 35,0		35,0 < $t \leq$ 52		52 < $t \leq$ 69,0		69,0 < $t \leq$ 86		86,0 < $t \leq$ 103	
	U_r kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV	u_1 kV	u_c kV
$\tau=120$ ms petite alternance	1 100 1 200	466 503	1267 1338	584 633	1 460 1 554	656 712	1 565 1 647	703 764	1 626 1 745	736 800	1 662 1 788	758 825	1 682 1 813
$\tau=120$ ms grande alternance	1 100 1 200	468 516	636 734	557 612	853 964	619 679	1 009 1 131	663 727	1 128 1 256	636 762	1 218 1 352	721 789	1 291 1 428

Annexe J
(informative)

Circuits d'essais synthétiques triphasés

La présente annexe présente des circuits types d'essais synthétiques triphasés.

J.1 Circuit combiné d'essais synthétiques triphasés

Ce circuit est représenté à la Figure J.1 et se compose:

- d'un circuit de courant triphasé;

Lorsque le circuit de la Figure 26a de la CEI 62271-100:2008 est utilisé, avec un facteur de premier pôle de 1,3, une inductance supplémentaire, selon la Figure 13 de la CEI 62271-100:2008, est connectée au point neutre du circuit de courant.

- d'un disjoncteur auxiliaire triphasé;

- d'un circuit de tension: circuit parallèle à injection de courant, conformément aux Figures B.1 et B.2, connecté entre une phase et la terre;

Une TTR à quatre paramètres est appliquée dans ce circuit. De plus, à l'aide d'une inductance L_{ac} supplémentaire, il est possible d'obtenir une tension de rétablissement oscillante à la fréquence industrielle assignée.

- de deux sources de tension: circuits doubles (de Skeats), conformément à la Figure D.1, connectés entre chacune des deux autres phases et la terre;

Dans ces circuits, des TTR à deux paramètres, dont l'enveloppe est conforme au tracé de référence de la TTR à quatre paramètres spécifiés, sont appliquées.

- de circuits de réallumage connectés à chaque phase pour empêcher une coupure prématurée du disjoncteur en essai et pour vérifier la durée d'arc la plus longue possible.

Les trois sources de tension doivent être connectées aux différentes phases conformément aux exigences du Tableau 1.

La Figure J.2 présente les formes d'ondes de courants, les tensions phase-terre et entre phases pendant un essai de coupure synthétique triphasé ($T100s$; $k_{pp} = 1,5$) réalisé conformément au circuit combiné d'essais synthétiques triphasés.

J.2 Circuit d'essais synthétiques triphasés avec une injection dans toutes les phases

Ce circuit est représenté à la Figure J.3 et se compose:

- d'un circuit de courant triphasé;

- d'un disjoncteur auxiliaire triphasé;

- d'un circuit de tension: circuit parallèle à injection de courant, conformément aux Figures B.1 et B.2, connecté entre une phase et la terre;

- d'un circuit de tension, comme ci-dessus, connecté entre les deux autres phases.

Ce circuit diffère d'un circuit en parallèle à injection de courant normal, seulement dans le fait que le conducteur de retour doit être correctement isolé de la terre. La tension de rétablissement peut être distribuée de façon égale entre les deux derniers pôles qui coupent avec des condensateurs de répartition.

- de circuits de réallumage connectés à chaque phase pour empêcher une coupure prématurée du disjoncteur en essai et pour vérifier la durée d'arc la plus longue possible.

Une TTR à quatre paramètres est appliquée dans ces circuits. De plus, à l'aide d'une inductance L_{ac} supplémentaire, il est possible d'obtenir une tension de rétablissement oscillante à la fréquence industrielle assignée.

Les deux sources de tension doivent être connectées aux différentes phases conformément aux exigences du Tableau 1.

La Figure J.4 présente les formes d'ondes de courants et les tensions phase-terre pendant un essai de coupure synthétique triphasé (T100s; $k_{pp} = 1,5$) réalisé conformément au circuit d'essais synthétiques triphasés avec une injection dans toutes les phases.

J.3 Circuit d'essais synthétiques triphasés avec une injection en deux phases

Ce circuit est représenté à la Figure J.5 et se compose:

- d'un circuit de courant triphasé;

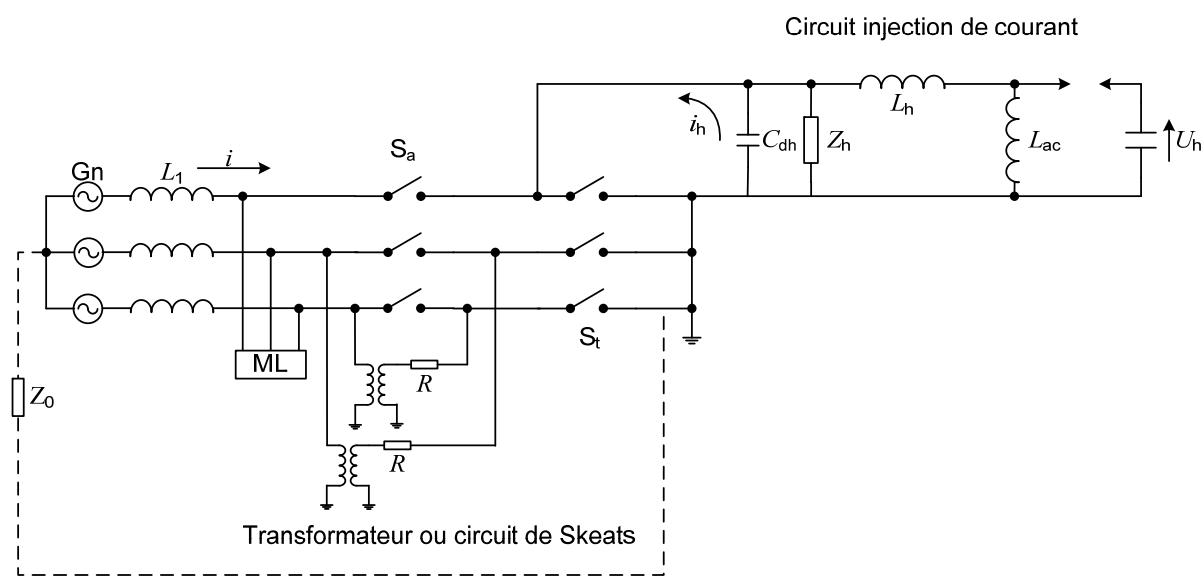
Lorsque le circuit de la Figure 26a de la CEI 62271-100:2008 est utilisé, avec un facteur de premier pôle qui coupe de 1,3, une inductance supplémentaire, selon la Figure 13 de la CEI 62271-100:2008, est connectée au point neutre du circuit de courant.

- d'un disjoncteur auxiliaire triphasé;
- d'un circuit de tension: circuit parallèle à injection de courant, conformément aux Figures B.1 et B.2, connecté entre une phase et la terre;
- d'un circuit de tension, comme ci-dessus, connecté entre l'une des deux autres phases et la terre. En variante, ce circuit pourrait être un circuit parallèle à injection de tension, conformément aux Figures C.1 et C.2;
- de circuits de réallumage connectés à chaque phase pour empêcher une coupure prématurée du disjoncteur en essai et pour vérifier la durée d'arc la plus longue possible.

Une TTR à quatre paramètres est appliquée dans ces circuits. De plus, à l'aide d'une inductance L_{ac} supplémentaire, il est possible d'obtenir une tension de rétablissement oscillante à la fréquence industrielle assignée.

Les deux sources de tension doivent être connectées aux différentes phases conformément aux exigences du Tableau 1.

Les Figures J.6 et J.7 présentent les formes d'ondes de courants, les tensions phase-terre et entre phases pendant un essai de coupure synthétique triphasé (T100s; $k_{pp} = 1,3$) réalisé conformément au circuit d'essais synthétiques triphasés avec injection de courant en deux phases.



Légende

Gn	Source de courant	C _{dh}	Capacité pour le retard du circuit de tension
S _a	Disjoncteur auxiliaire	L _h	Inductance du circuit de tension
S _t	Disjoncteur en essai	U _h	Tension de charge du circuit de tension
Z ₀	Impédance au point neutre (lorsqu'un circuit avec k _{pp} = 1,3 est utilisé)	i	Courant du circuit de courant
L ₁	Inductance du circuit de courant	i _h	Courant injecté
ML	Circuit de réallumage multi-alternances	L _{ac}	Réactance supplémentaire lorsqu'une tension de rétablissement alternative est demandée
Z _h	Impédance d'onde équivalente du circuit de tension		

Figure J.1 – Circuit combiné d'essais synthétiques triphasés

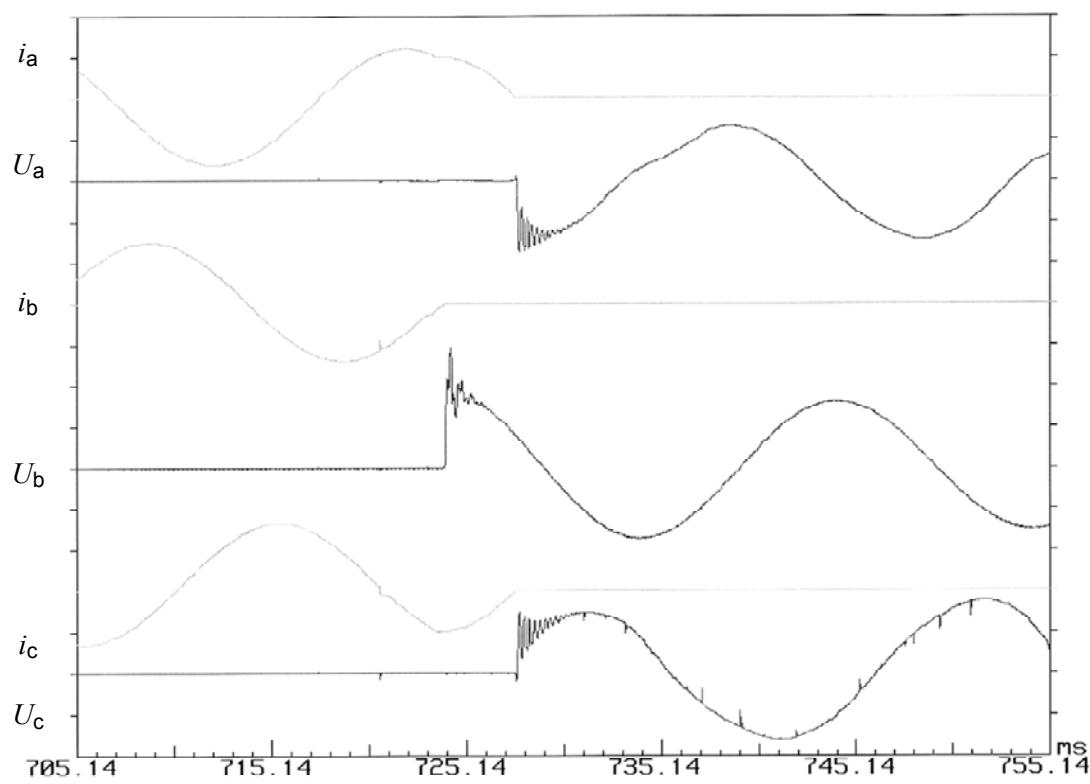
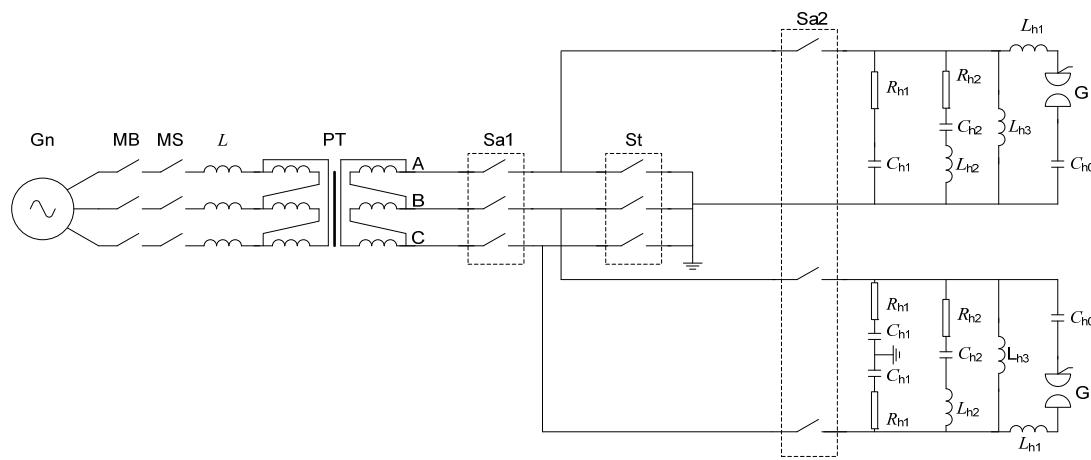


Figure J.2 – Formes d'ondes de courants, tensions phase-terre et entre phases pendant un essai synthétique triphasé (T100s; $k_{pp} = 1,5$) réalisé conformément au circuit combiné d'essais synthétiques triphasés

UTE

– 105 –

EN 62271-101:2013

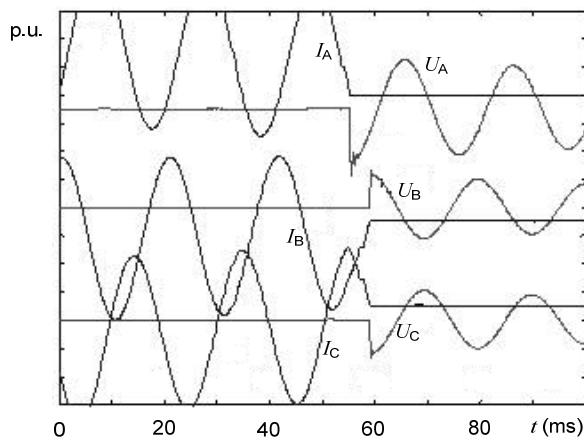
**Légende***Circuit de courant*

Gn	Alternateur
MB	Disjoncteur de protection
MS	Contacteur de fermeture
L	Inductance du circuit de courant
PT	Transformateur de puissance
S _t	Disjoncteur en essai
S _{a1, 2}	Disjoncteurs auxiliaires

Circuit de tension

C _{h0}	Condensateur principal
C _{h1, 2}	Condensateur de réglage de la TTR
R _{h1, 2}	Résistances d'amortissement
L _{h1, 2}	Inductance du circuit de tension
L _{h3}	Inductances du circuit de tension

Figure J.3 – Circuit d'essais synthétiques triphasés avec injection dans toutes les phases pour $k_{pp} = 1,5$



Légende

U_A , U_B , U_C tensions dans les pôles A, B et C du disjoncteur, respectivement

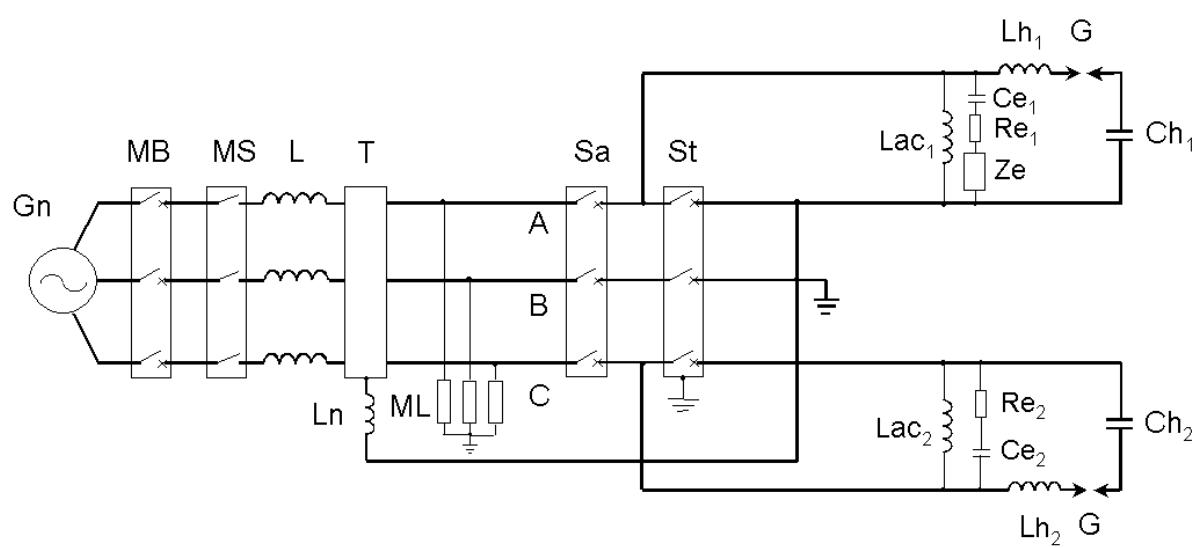
I_A , I_B , I_C courant dans les pôles A, B et C du disjoncteur, respectivement

Figure J.4 – Formes d’ondes de courants et tensions phase-terre pendant un essai synthétique triphasé (T100s; $k_{pp} = 1,5$) réalisé conformément au circuit d’essais synthétiques triphasés avec injection dans toutes les phases

UTE

- 107 -

EN 62271-101:2013



Légende

Gn	Alternateur	MB	Disjoncteur de protection
MS	Contacteur de fermeture	T	Transformateur
S _a	Disjoncteur auxiliaire	S _t	Disjoncteur en essai
L	Inductance du circuit de courant	Ln	Inductance au point neutre
ML	Circuit de réallumage multi-alternances	G	Eclateur de déclenchement
Lac ₁ , Lac ₂	Inductances pour une tension de rétablissement alternative	R _e , C _e , Z _e	Composants de réglage de la TTR
Lh ₁ , Lh ₂	Inductance du circuit de tension	Ch ₁ , Ch ₂	Batteries de condensateurs principales

Figure J.5 – Circuit d'essais synthétiques triphasés pour les essais de défauts aux bornes avec $k_{pp} = 1,3$ (méthode par injection de courant)

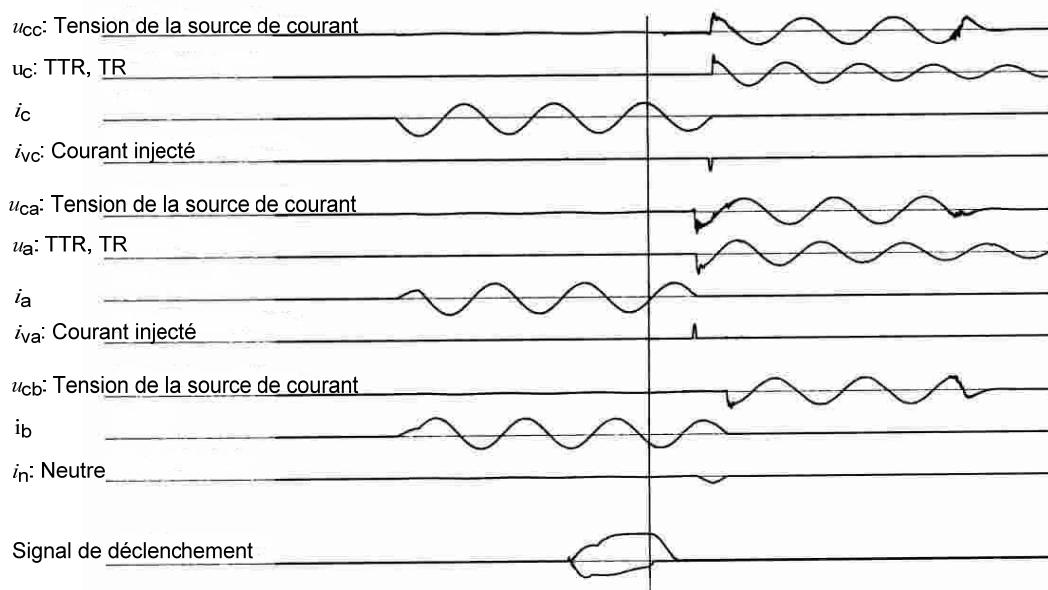
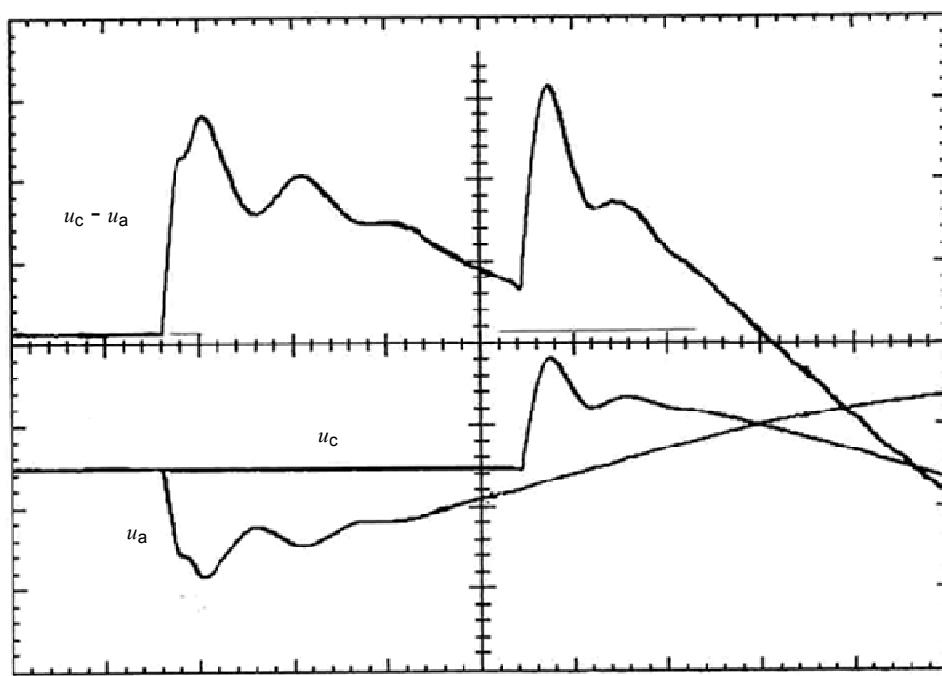


Figure J.6 – Formes d'ondes de courants, tensions phase-terre et entre phases pendant un essai synthétique triphasé (T100s; $k_{pp} = 1,3$) réalisé conformément au circuit d'essais synthétiques triphasés représenté à la Figure J.5

**Légende**

u_a, u_c tensions dans les pôles A et C du disjoncteur en essai, respectivement

Figure J.7 – Formes d'ondes de la TTR du circuit d'essai décrit à la Figure J.5

Annexe K (normative)

Procédure d'essai utilisant un circuit de courant triphasé et un circuit de tension

K.1 Circuit d'essai

Le disjoncteur doit être connecté dans un circuit d'essai, dont un exemple est donné à la Figure K.1 avec les exigences suivantes:

- a) Un circuit de courant triphasé avec le point neutre de l'alimentation isolé et le point de court-circuit mis à la terre, comme représenté à la Figure 25a de la CEI 62271-100:2008. Cela donne un facteur de premier pôle qui coupe de 1,5. En variante, le point neutre de l'alimentation peut être connecté à la terre par une impédance appropriée et le point de court-circuit mis à la terre, comme représenté à la Figure 26a de la CEI 62271-100:2008, pour donner un facteur de premier pôle qui coupe de 1,3.
- b) Un disjoncteur auxiliaire utilisé pour séparer le circuit courant du circuit tension.

Un circuit de tension à injection de courant parallèle, comme représenté aux Figures B.1 et B.2. Ce circuit est utilisé pour appliquer la TTR et la tension de rétablissement. Il est connecté entre le pôle représentant le premier pôle qui coupe ou le dernier pôle qui coupe et la terre, conformément aux procédures d'essais données aux Tableaux K.1 à K.8. Il est possible de fournir la tension de rétablissement alternative à fréquence industrielle à l'aide d'une impédance supplémentaire, L_{ac} .

Des circuits de réallumage connectés à chaque phase pour prolonger l'arc du disjoncteur en essai pendant le nombre nécessaire de zéros du courant à fréquence industrielle.

K.2 Méthode d'essai

K.2.1 Généralités

Une combinaison des facteurs de premier pôle qui coupe de 1,5 et 1,3 peut être exécutée, conformément à 6.102.10.2.4 de la CEI 62271-100:2008, tout en découplant les séquences d'essais en tenant compte de la TTR associée à chaque pôle qui coupe, conformément à K.2.3.

K.2.2 Séquence d'essais T100s(b)

La procédure d'essais triphasés pour la démonstration des durées d'arc conformément à 6.102.10.2.1.1 et 6.102.10.2.1.2 de la CEI 62271-100:2008 est donnée aux Tableaux K.1 et K.2 pour un facteur de premier pôle de 1,5 et aux Tableaux K.3 et K.4 pour un facteur de premier pôle de 1,3.

Il est reconnu que les essais des Tableaux K.1 et K.3 sont plus sévères que les essais triphasés, parce que la durée d'arc du dernier pôle qui coupe est utilisée avec la TTR du premier pôle qui coupe. En variante, le constructeur peut choisir de diviser chaque séquence d'essais en deux ou trois séries d'essais différentes, pour une démonstration des durées d'arc conformément à 6.102.10.2.5 de la CEI 62271-100:2008. Les procédures sont données au Tableau K.2 pour un facteur de premier pôle de 1,5 et au Tableau K.4 pour un facteur de premier pôle de 1,3. Pour les essais réalisés conformément aux Tableaux K.2 et K.4, chaque série d'essais doit démontrer une coupure réussie avec la durée d'arc minimale, maximale et moyenne pour chaque pôle qui coupe avec sa TTR associée. La remise en état du disjoncteur après chaque série d'essais est autorisée et doit satisfaire aux exigences de 6.102.9.5 de la CEI 62271-100:2008.

Si une défaillance se produit en démontrant les durées d'arc maximale ou intermédiaire à l'aide de la procédure des Tableaux K.1 et K.3, il est alors admissible de continuer les essais en utilisant la procédure d'essai des Tableaux K.2 et K.4. Dans ce cas, à condition qu'aucune remise en état du disjoncteur n'ait eu lieu, les essais démontrant la durée d'arc minimale sur le premier pôle qui coupe peuvent être omis.

Pour éviter de modifier la connexion du circuit à haute tension entre les essais sur les 1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} pôles qui coupent, toutes les durées d'arc requises peuvent être appliquées sur le même pôle avec la même polarité de la tension de rétablissement.

Tableau K.1 – Démonstration des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,5$

Essai No.	Séquence d'essais ^a	Conditions d'arc		TTR		Courant injecté di/dt %
		Degrés électriques (valeurs relatives au premier pôle qui coupe)	Durée d'arc	Application (par rapport au circuit de courant triphasé)	Valeur de u_c p.u.	
1	Os	0	$t_{arc \min}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
2	Os	-18	Réallumage dans le 1 ^{er} pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc \min}$	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
3	Od- t -CdOs	42 (132 relative au dernier pôle qui coupe)	$t_{arc \max}$ (dernier pôle qui coupe)	Dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée	1,0	100
4	CdOs	66	$t_{arc \text{med}}$	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100

NOTE 1 Démonstration des durées d'arc selon 6.102.10.2.1.1 de la CEI 62271-100:2008.

NOTE 2 Conditions d'arc selon la Figure 38 de la CEI 62271-100:2008.

NOTE 3 La Figure K.2 donne une représentation des conditions d'essais.

NOTE 4 Dans le cas d'une séquence de manœuvres CO- t'' -CO, il convient que l'essai n° 3 soit remplacé par CdOd- t'' -CdOs et l'essai n° 4 n'est pas requis.

^a Les abréviations sont conformes à 6.106.

Tableau K.2 – Démonstration alternative des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,5$

Essai No.	Séquence d'essais ^a	Conditions d'arc		TTR		Courant injecté di/dt %
		Degrés électriques	Durée d'arc	Application (par rapport au circuit de courant triphasé)	Valeur de u_c p.u.	
1	Os	0	$t_{arc\ min}$ (premier pôle qui coupe)	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
2	Os	-18	Réallumage dans le 1 ^{er} pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc\ min}$	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
3	Od- t -CdOs	42	$t_{arc\ max}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
4	CdOs	21	$t_{arc\ med}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
5	Os	90	$t_{arc\ min}$ (dernier pôle qui coupe)	Dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée	0,58	87
6	Od- t -CdOs	132	$t_{arc\ max}$ (dernier pôle qui coupe)	Dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée	0,58	87
7	CdOs	111	$t_{arc\ med}$ (dernier pôle qui coupe)	Dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée	0,58	87

NOTE 1 Démonstration des durées d'arc selon 6.102.10.2.5 de la CEI 62271-100:2008.

NOTE 2 Conditions d'arc selon la Figure 38 de la CEI 62271-100:2008.

NOTE 3 La Figure K.3 donne une représentation des conditions d'essais.

NOTE 4 Dans le cas d'une séquence de manœuvres CO-*t*⁻¹-CO, il convient que les essais n° 3 et 6 soient remplacés par CdOd-*t*⁻¹-CdOs et les essais n° 4 et 7 ne sont pas requis.

a Les abréviations sont conformes à 6.106.

Tableau K.3 – Démonstration des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,3$

Essai No.	Séquence d'essais ^a	Conditions d'arc		TTR		Courant injecté di/dt %
		Degrés électriques (valeurs relatives au premier pôle qui coupe)	Durée d'arc	Application (par rapport au circuit de courant triphasé)	Valeur de u_c p.u.	
1	Os	0	$t_{arc\ min}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
2	Os	-18	Réallumage dans le 1 ^{er} pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc\ min}$	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
3	Od- t -CdOs	42 (162 relative au 3 ^{ème} pole qui coupe)	$t_{arc\ max}$ (3 ^{ème} pôle qui coupe)	3 ^{ème} pôle qui coupe	1,0	100
4	CdOs	4 (81 relative au 2 nd pole qui coupe)	$t_{arc\ med}$	2 ^{ème} pôle qui coupe	1,0	100

Tableau K.4 – Démonstration alternative des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,3$

Essai No.	Séquence d'essais ^a	Conditions d'arc		TTR		Courant injecté (di/dt) %
		Degrés électriques	Durée d'arc	Application (par rapport au circuit de courant triphasé)	Valeur de u_c p.u.	
1	Os	0	$t_{arc \ min}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
2	Os	-18	Réallumage dans le 1 ^{er} pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc \ min}$	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
3	Od- t -CdOs	42	$t_{arc \ max}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
4	CdOs	21	$t_{arc \ med}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
5	Os	77	$t_{arc \ min}$ (2 ^{ème} pôle qui coupe)	2 ^{ème} pôle qui coupe	0,98	89
6	Od- t -CdOs	119	$t_{arc \ max}$ (2 ^{ème} pôle qui coupe)	2 ^{ème} pôle qui coupe	0,98	89
7	CdOs	98	$t_{arc \ med}$ (2 ^{ème} pôle qui coupe)	2 ^{ème} pôle qui coupe	0,98	89
8	Od- t -CdOs	162	$t_{arc \ max}$ (3 ^{ème} pôle qui coupe)	3 ^{ème} pôle qui coupe	0,77	57
NOTE 1 Démonstration des durées d'arc selon 6.102.10.2.5 de la CEI 62271-100:2008.						
NOTE 2 Conditions d'arc selon la Figure 37 de la CEI 62271-100:2008.						
NOTE 3 La Figure K.5 donne une représentation des conditions d'essais.						
En raison de l'augmentation du nombre des essais entre 5-8 sans remise en état, une défaillance peut se produire au cours de l'essai 8. Dans ce cas, la remise en état du disjoncteur est autorisée et il convient de réaliser une série d'essais supplémentaire sur le 3 ^{ème} pôle qui coupe comme suit:						
Répéter trois essais sans maintenance et avec les réglages des essais 5, 6 et 7 mais avec l'application de la TTR sur le troisième pôle qui coupe. La valeur de u_c de la TTR sera de 0,77 (p.u.) et le courant injecté (di / dt) sera de 57 %. Les valeurs d'essais réelles seront réduites conformément à l'Annexe I.						
NOTE 4 Dans le cas d'une séquence de manœuvres CO- t'' -CO, les essais n° 3, 6 et 8 sont remplacés par CdOd- t'' -CdOs et les essais n°4 et 7 ne sont pas requis.						
a Les abréviations sont conformes à 6.106.						

K.2.3 Séquence d'essais T100a

La procédure d'essais triphasés pour la démonstration des durées d'arc conformément à 6.102.10.1.2 est donnée aux Tableaux K.5 et K.6 pour un facteur de premier pôle de 1,5 et aux Tableaux K.7 et K.8 pour un facteur de premier pôle de 1,3.

L'utilisation de la procédure d'essais triphasés pour la démonstration des durées d'arc conformément à 6.102.10.1.2 est nécessaire pour reproduire les contraintes requises, en termes de conditions d'arc, de pourcentage d'asymétrie, de durée de la petite alternance, de la grande alternance et de l'alternance étendue sur les trois pôles.

Il est reconnu que les essais des Tableaux K.5 et K.7 sont plus sévères que les essais triphasés, parce que la durée d'arc du dernier pôle qui coupe est utilisée avec la TTR du premier pôle qui coupe. En variante, le constructeur peut choisir de diviser chaque séquence d'essais en deux ou trois séries d'essais différentes, pour une démonstration des durées d'arc conformément à 6.102.10.2.5 de la CEI 62271-100:2008. Les procédures sont données au Tableau K.6 pour un facteur de premier pôle de 1,5 et au Tableau K.8 pour un facteur de premier pôle de 1,3. Pour les essais réalisés conformément aux Tableaux K.6 et K.8, chaque série d'essais doit démontrer une coupure réussie avec la durée d'arc minimale, maximale et moyenne pour chaque pôle qui coupe avec sa TTR associée. La remise en état du disjoncteur après chaque série d'essais est autorisée et doit satisfaire aux exigences de 6.102.9.5 de la CEI 62271-100:2008.

Si une défaillance se produit en démontrant les durées d'arc maximale ou médium à l'aide de la procédure des Tableaux K.5 et K.7, il est alors admissible de continuer les essais en utilisant la procédure d'essai des Tableaux K.6 et K.8. Dans ce cas, à condition qu'aucune remise en état du disjoncteur n'ait eu lieu, les essais démontrant la durée d'arc minimale sur le premier pôle qui coupe peuvent être omis.

Pour éviter de modifier la connexion du circuit à haute tension entre les essais sur les 1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} pôles qui coupent, toutes les durées d'arc requises peuvent être appliquées sur le même pôle avec la même polarité de la tension de rétablissement.

Tableau K.5 – Démonstration des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,5$

Essai No.	Séquence d'essais	Conditions d'arc		TTR		Courant injecté (di/dr) %
		Degrés électriques	Durée d'arc et asymétrie	Application (par rapport au circuit de courant triphasé)	Valeur de u_c p.u.	
1	Os	0	$t_{arc \min}$ (1 ^{er} pôle qui coupe) Asymétrie requise sur le dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
2	Os	-18	Réallumage dans le 1 ^{er} pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc \min}$ Asymétrie requise sur le dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
3	Os	Voir Note 1	$t_{arc \max}$ avec une grande alternance et asymétrie requise sur le 1 ^{er} pôle qui coupe	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
4	Os	Voir Note 1	$t_{arc \max}$ sur le 1 ^{er} pôle qui coupe et asymétrie requise sur le dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée	Dernier pôle qui coupe avec une alternance étendue	1,0	100

NOTE 1 Démonstration des durées d'arc selon 6.102.10.1.2.

NOTE 2 La Figure K.6 donne une représentation des conditions d'essais.

NOTE 3 Les valeurs pour la durée et l'amplitude de la dernière alternance et le niveau d'asymétrie au zéro de courant final concernant le 1^{er} pôle qui coupe et aussi les valeurs de réduction de la TTR peuvent être trouvées à l'Annexe I.

Tableau K.6 – Démonstration alternative des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,5$

Essai No.	Séquence d'essais	Conditions d'arc		TTR		Circuit injecté (di/dt) %
		Degrés électriques	Durée d'arc et asymétrie	Application (par rapport au circuit de courant triphasé)	Valeur de u_c p.u.	
1	Os	0	$t_{arc\ min}$ sur le 1 ^{er} pôle qui coupe et asymétrie requise sur le dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
2	Os	-18	Réallumage dans le 1 ^{er} pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc\ min}$ avec asymétrie requise sur le dernier pôle qui coupe	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
3	Os	Voir Note 1	$t_{arc\ max}$ avec une grande alternance et asymétrie requise sur le 1 ^{er} pôle qui coupe	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
4	Os	Voir Note 1	$t_{arc\ max}$ sur le 1 ^{er} pôle qui coupe et asymétrie requise sur le dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
5	Os	Pareil que pour l'essai n°1	$t_{arc\ min}$ sur le dernier pôle qui coupe et asymétrie requise sur le dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée	Dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée	0,58	87
6	Os	Pareil que pour l'essai n°3	$t_{arc\ max}$ sur le dernier pôle qui coupe et asymétrie requise sur le 1 ^{er} pôle qui coupe	Dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée	0,58	87
7	Os	Pareil que pour l'essai n°4	$t_{arc\ max\ major\ extended}$ et asymétrie requise sur le dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée	Dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée	0,58	87

NOTE 1 Démonstration des durées d'arc selon 6.102.10.1.2.

NOTE 2 La Figure K.7 donne une représentation des conditions d'essais.

Si les essais sont réalisés après une défaillance de l'essai 4 du Tableau K.5 et qu'aucune remise en état du disjoncteur n'a été effectuée, les essais peuvent alors continuer à partir de l'essai 4 du Tableau K.6.

Tableau K.7 – Démonstration des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,3$

Essai No.	Séquence d'essais	Conditions d'arc		TTR		Courant injecté (di/dt) %
		Degrés électriques	Durée d'arc et asymétrie	Application (par rapport au circuit de courant triphasé)	Valeur de u_c p.u.	
1	Os	0	$t_{arc \ min}$ (1 ^{er} pôle qui coupe) Asymétrie requise sur le 2 ^{ème} pôle qui coupe avec une alternance rallongée	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
2	Os	-18	Réallumage dans le 1 ^{er} pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc \ min}$ Asymétrie requise sur le 2 ^{ème} pôle qui coupe avec une alternance rallongée	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
3	Os	Voir Note 1	$t_{arc \ max}$ avec une grande alternance et asymétrie requise sur le 1 ^{er} pôle qui coupe	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
4	Os	Voir Note 1	$t_{arc \ max}$ et asymétrie requise sur le 2 ^{ème} pôle qui coupe avec une alternance rallongée; $t_{arc \ max}$ sur le 1 ^{er} pôle qui coupe	2 ^{ème} pôle qui coupe	1,0	100

NOTE 1 Démonstration des durées d'arc selon 6.102.10.1.2.

NOTE 2 La Figure K.8 donne une représentation des conditions d'essais.

Les valeurs pour la durée et l'amplitude de la dernière alternance et le niveau d'asymétrie au zéro de courant final concernant le 1^{er} pôle qui coupe et aussi les valeurs de réduction de la TTR peuvent être trouvées à l'Annexe I.

Tableau K.8 – Démonstration alternative des durées d'arc pour $k_{pp} = 1,3$

Essai No.	Séquence d'essais	Conditions d'arc		TTR		Courant injecté (di/dt) %
		Degrés électriques	Durée d'arc et asymétrie	Application (par rapport au circuit de courant triphasé)	Valeur de u_c p.u.	
1	Os	0	$t_{arc \ min}$ (1 ^{er} pôle qui coupe) Asymétrie requise sur le 2 ^{ème} pôle qui coupe avec une alternance rallongée	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
2	Os	-18	Réallumage dans le 1 ^{er} pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc \ min}$ du 1 ^{er} pôle qui coupe Asymétrie requise sur le 2 ^{ème} pôle qui coupe avec une alternance rallongée	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
3	Os	Voir Note 1	$t_{arc \ max}$ avec une grande alternance et asymétrie requise sur le 1 ^{er} pôle qui coupe	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
4	Os	Voir Note 1	$t_{arc \ max}$ sur le 1 ^{er} pôle qui coupe, asymétrie requise sur le 2 ^{ème} pôle qui coupe avec une alternance rallongée	1 ^{er} pôle qui coupe	1,0	100
5	Os	Pareil que pour l'essai n°1	$t_{arc \ min}$ 2 ^{ème} pôle qui coupe	2 ^{ème} pôle qui coupe	0,98	89
6	Os	Pareil que pour l'essai n°3	$t_{arc \ max}$ 2 ^{ème} pôle qui coupe	2 ^{ème} pôle qui coupe	0,98	89
7	Os	Pareil que pour l'essai n°4	$t_{arc \ med}$ 2 ^{ème} pôle qui coupe	2 ^{ème} pôle qui coupe	0,98	89
8	Os	Pareil que pour l'essai n°4	Asymétrie sur le 2 ^{ème} pôle qui coupe avec une alternance rallongée; ($t_{arc \ max}$ sur le 3 ^{ème} pôle qui coupe)	3 ^{ème} pôle qui coupe	0,77	57

NOTE 1 Démonstration des durées d'arc selon 6.102.10.1.2.

NOTE 2 La Figure K.9 donne une représentation des conditions d'essais.

Si les essais sont réalisés après une défaillance de l'essai 4 du Tableau K.7 et qu'aucune remise en état du disjoncteur n'a été effectuée, les essais peuvent alors continuer à partir de l'essai 4 du Tableau K.8.

En raison de l'augmentation du nombre des essais entre 5-8 sans remise en état, une défaillance peut se produire au cours de l'essai 8. Dans ce cas, la remise en état du disjoncteur est autorisée et il convient de réaliser une série d'essais supplémentaire sur le 3^{ème} pôle qui coupe comme suit:

Répéter les essais 5, 6 et 7 sans maintenance et l'application de la TTR sur le troisième pôle qui coupe avec les durées d'arc conformes à 6.102.10.1.2 de la CEI 62271-100:2008. La valeur de u_c de la TTR sera de 0,77 (p.u.) et le courant injecté (di/dt) sera de 57 %. Les valeurs d'essais réelles seront réduites conformément à l'Annexe I.

K.2.4 Combinaison des facteurs de premier pôle à couper 1,3 et 1,5**K.2.4.1 Généralités**

Il est reconnu que certaines des conditions d'essai sont plus sévères que celles indiquées dans les tableaux pour le facteur de premier pôle qui coupe correspondant. Cependant, tous les essais indiqués aux Tableaux K.9 et K.10 doivent être réalisés afin de maintenir l'équivalence avec les essais spécifiés dans la norme pour chaque séquence d'essais.

K.2.4.2 Séquences d'essais T10, T30, T60 et T100s(b)

Les essais correspondants peuvent être trouvés au Tableau K.9.

Tableau K.9 – Procédure de combinaison de $k_{pp} = 1,5$ et $1,3$ pendant les séquences d'essais T10, T30, T60 et T100s(b)

Essai No.	Séquence d'essais	Conditions d'arc		TTR u_c basé sur k_{pp}	Courant injecté min. di/dt
		Degrés électriques	Durées d'arc correspondant à		
1	Os	0	$t_{arc \min}$ premier pôle qui coupe ($k_{pp} = 1,3$ et $1,5$)	1,5	100 %
2	Os	-18	réallumage	1,5	100 %
3	Od-CdOs	42	$t_{arc \max}$ premier pôle qui coupe ($k_{pp} = 1,3$ et $1,5$)	1,5	100 %
4	CdOs	90	$t_{arc \min}$ deuxième pôle qui coupe ($k_{pp} = 1,3$) dernier pôle qui coupe ($k_{pp} = 1,5$)	1,3	89 %
5	Od-CdOs	132	$t_{arc \max}$ deuxième pôle qui coupe ($k_{pp} = 1,3$) dernier pôle qui coupe ($k_{pp} = 1,5$)	1,3	89 %
6	Od-CdOs	162	$t_{arc \max}$ dernier pôle qui coupe ($k_{pp} = 1,3$)	1,0	57 %

En cas de défaillance de l'essai 5 ou 6, les essais 4, 5 et 6 doivent être répétés après remise en état du disjoncteur.

Une tolérance de $\pm 0,5$ ms s'applique aux durées d'arc réelles obtenues durant les essais 3 et 6.

Une tolérance de ± 1 ms s'applique aux durées d'arc réelles obtenues durant les essais 4 et 5.

Pour les essais 1 à 3, le circuit d'essais synthétiques doit être appliqué au premier pôle qui coupe.

Si le circuit de courant est à neutre isolé, pour les essais 4 à 6, le circuit synthétique pourra être appliqué au dernier pôle qui coupe (avec grande alternance étendue).

Si le circuit de courant est à neutre à la terre, pour les essais 4 et 5, le circuit synthétique pourra être appliqué au second pôle qui coupe. Pour l'essai 6, le circuit synthétique pourra être appliqué au dernier pôle qui coupe.

K.2.4.3 Séquences d'essais T100a

Les essais correspondants peuvent être trouvés au Tableau K.10.

Tableau K.10 – Procédure de combinaison de $k_{pp} = 1,5$ et $1,3$ pendant la séquence d'essais T100a

Essai No.	Séquence d'essais	Condition d'asymétrie	Conditions d'arc		TTR u_c basé sur k_{pp}	Courant injecté min. di/dt
			Degrés électriques	Durées d'arc correspondant à		
1	Os	Grande alternance intermédiaire (Tableau L.9 ou L.12 col. 8 et 9)	0	$t_{arc \min}$ premier pôle qui coupe ($k_{pp}=1,5$ et 1,3)	1,5	100 %
2	Os	Grande alternance intermédiaire (Tableau L.9 ou L.12 col. 8 et 9)	-18	réallumage	1,5	100 %
3	Os	Grande alternance assignée (Tableau L.9 ou L.12 col. 3 et 4)	(Tableau L.9 ou L.12 colonne 12)	$t_{arc \max}$ premier pôle qui coupe ($k_{pp}=1,3$ et 1,5)	1,5	100 %
4	Os	Grande alternance assignée (Tableau L.9 ou L.12 col. 3 et 4)	(Tableau L.9 ou L.12 colonne 13)	$t_{arc \text{med}}$ deuxième pôle qui coupe ($k_{pp}=1,3$) dernier pôle qui coupe ($k_{pp}=1,5$)	1,3	89 %
5	Os	Grande alternance assignée (Tableau L.9 ou L.12 col. 3, 4)	(Tableau L.10 ou L.13 colonne 14)	$t_{arc \max}$ deuxième pôle qui coupe ($k_{pp}=1,3$)	1,3	89 %
6	Os	Grande alternance assignée (Tableau L.9 ou L.12 col. 3, 4)	(Tableau L.10 ou L.13 colonne 15)	$t_{arc \max}$ dernier pôle qui coupe ($k_{pp}=1,3$ et 1,5)	1,0	87 %
NOTE Les conditions d'asymétrie et les degrés électriques se réfèrent aux colonnes respectives des Tableaux suivants de l'Annexe L: – pour 50 Hz dans les Tableaux L.9 et L.10; – pour 60 Hz dans les Tableaux L.12 et L.13.						

En cas de défaillance de l'essai 5 ou 6, les essais 4, 5 et 6 doivent être répétés après remise en état du disjoncteur.

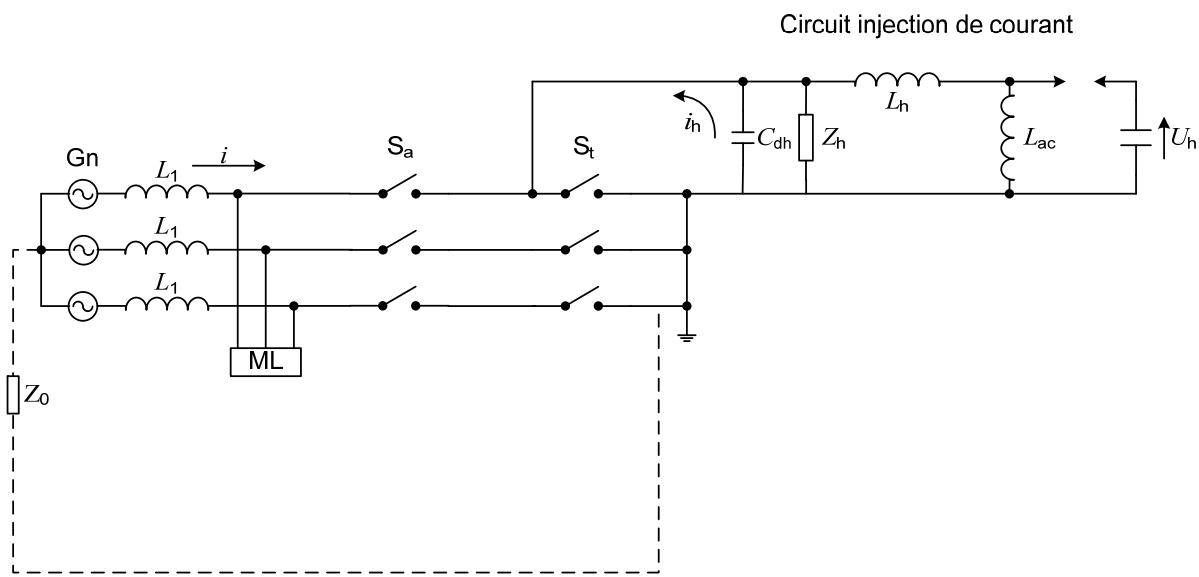
Une tolérance de $\pm 0,5$ ms s'applique aux durées d'arc réelles obtenues durant les essais 3, 5 et 6.

Une tolérance de ± 1 ms s'applique à la durée d'arc réelle obtenue durant l'essai 4.

Pour les essais 1 à 3, le circuit d'essais synthétiques doit être appliqué au premier pôle qui coupe.

Si le circuit de courant est à neutre isolé, pour les essais 4 à 6, le circuit synthétique pourra être appliqué au dernier pôle qui coupe (avec la grande alternance étendue).

Si le circuit de courant est à neutre à la terre, pour les essais 4 à 6, le circuit synthétique pourra être appliqué au second pôle qui coupe.

**Légende**

Gn	Source de courant triphasée	Z_h	Impédance d'onde équivalente du circuit de tension
S_a	Disjoncteur auxiliaire	C_{dh}	Capacité pour le retard du circuit de tension
S_t	Disjoncteur en essai	L_h	Inductance du circuit de tension
Z_0	Impédance au point neutre (lorsqu'un circuit avec $k_{pp} = 1,3$ est utilisé)	U_h	Tension de charge du circuit de tension
L_1	Inductance du circuit de courant	i	Courant du circuit de courant
ML	Circuit de réallumage multi-alternances	i_h	Courant injecté
		L_{ac}	Réactance supplémentaire lorsqu'une tension de rétablissement alternatif est demandée

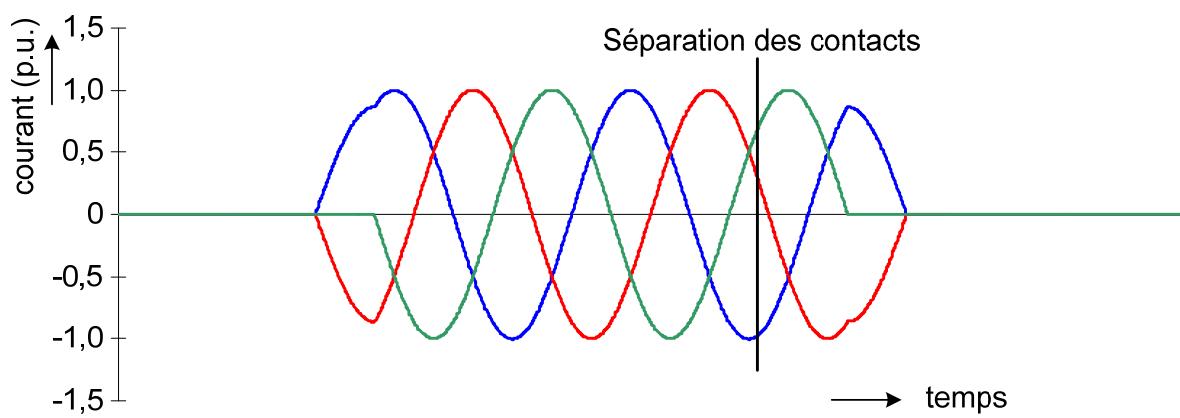
Le circuit de tension doit être connecté entre le premier ou le dernier pôle qui coupe et la terre, conformément aux exigences des tableaux.

Figure K.1 – Exemple d'un circuit de courant triphasé avec une injection synthétique monophasée

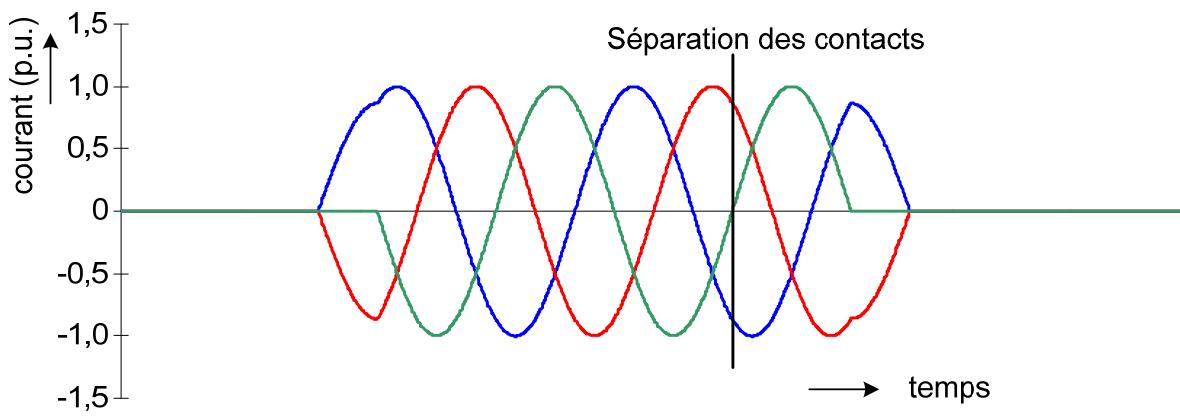
UTE

- 121 -

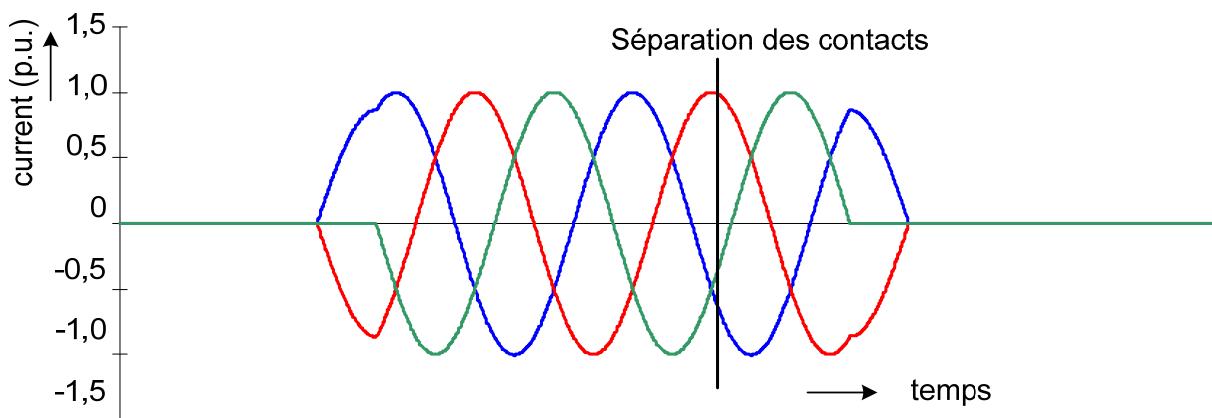
EN 62271-101:2013



Essais no. 1 et 2: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe

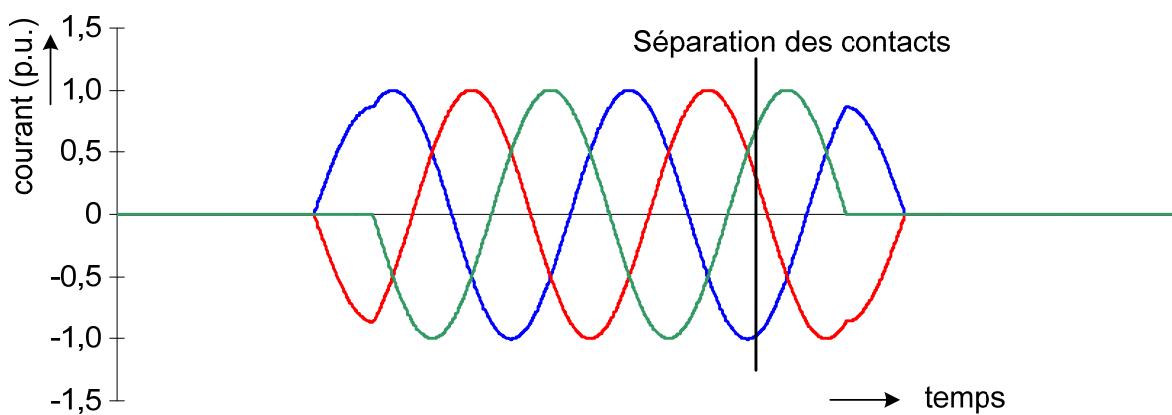


Essai no. 3: Application de la TTR sur le dernier pôle qui coupe avec une alternance rallongée



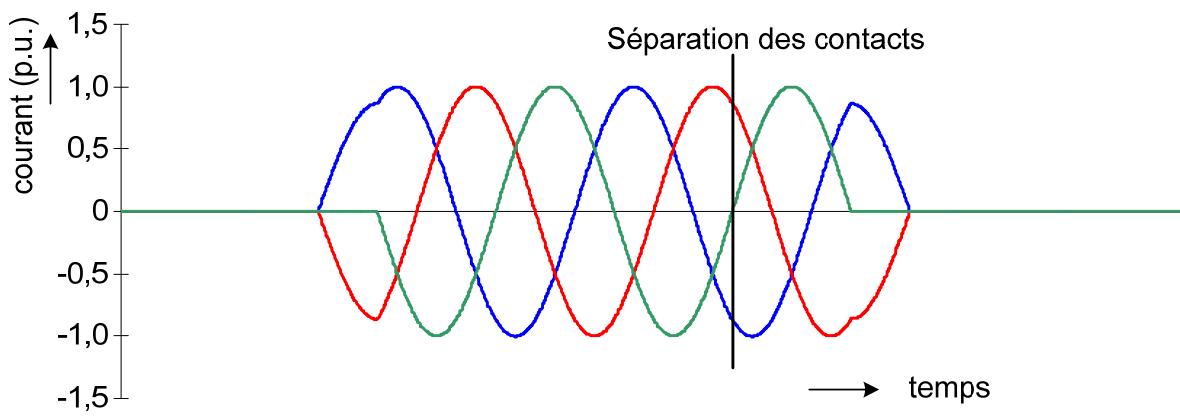
Essai no. 4: Application de la TTR sur le 1^{er} pôle qui coupe

Figure K.2 – Représentation des conditions d'essais du Tableau K.1



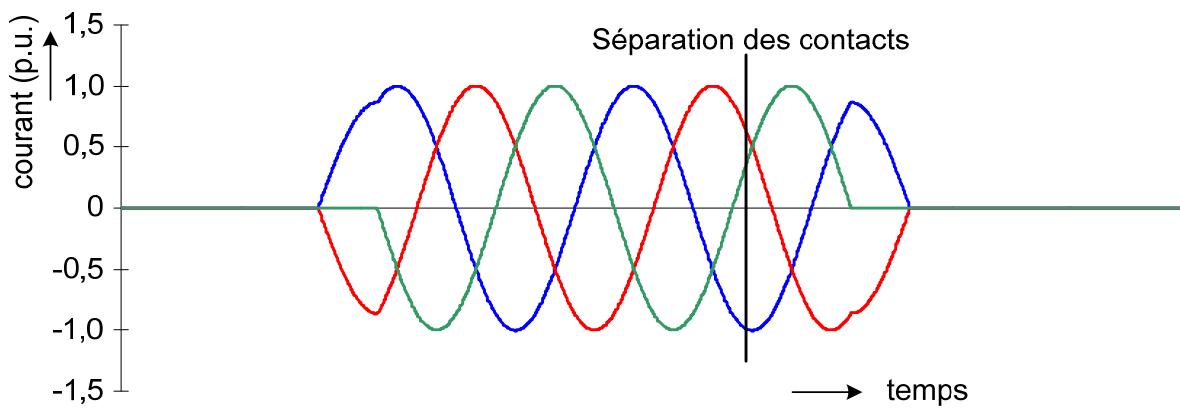
Essais no. 1 et 2: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe

Essai no. 5: Application de la TTR sur le dernier pôle qui coupe avec l'alternance rallongée



Essai no. 3: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe

Essai no. 6: Application de la TTR sur le dernier pôle qui coupe avec l'alternance rallongée



Essai no. 4: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe

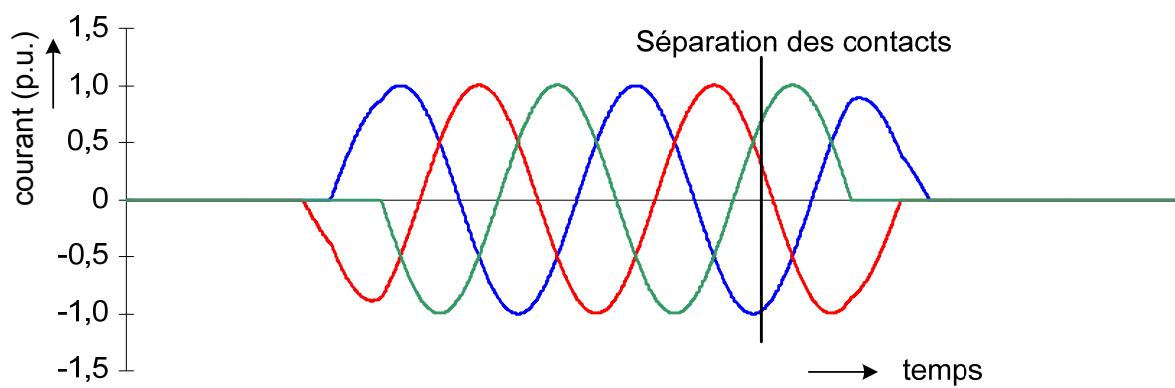
Essai no. 7: Application de la TTR sur le dernier pôle qui coupe avec l'alternance rallongée

Figure K.3 – Représentation des conditions d'essais du Tableau K.2

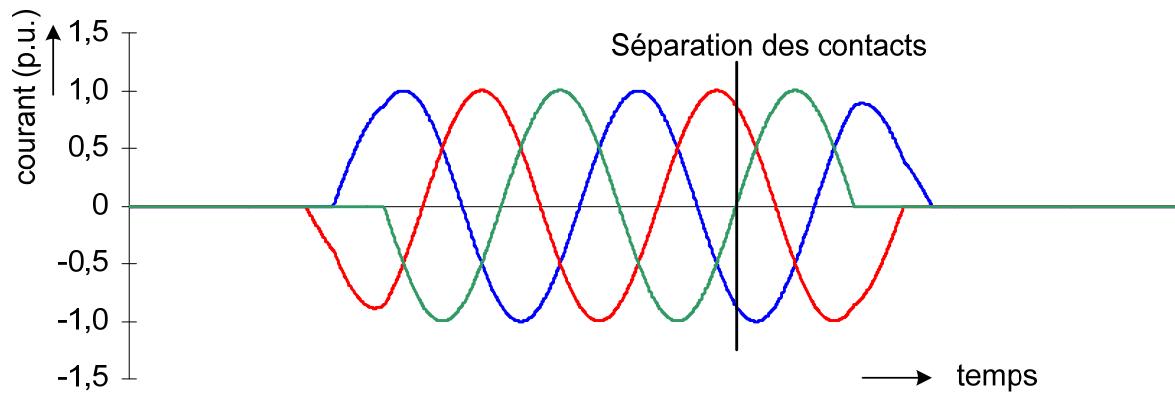
UTE

- 123 -

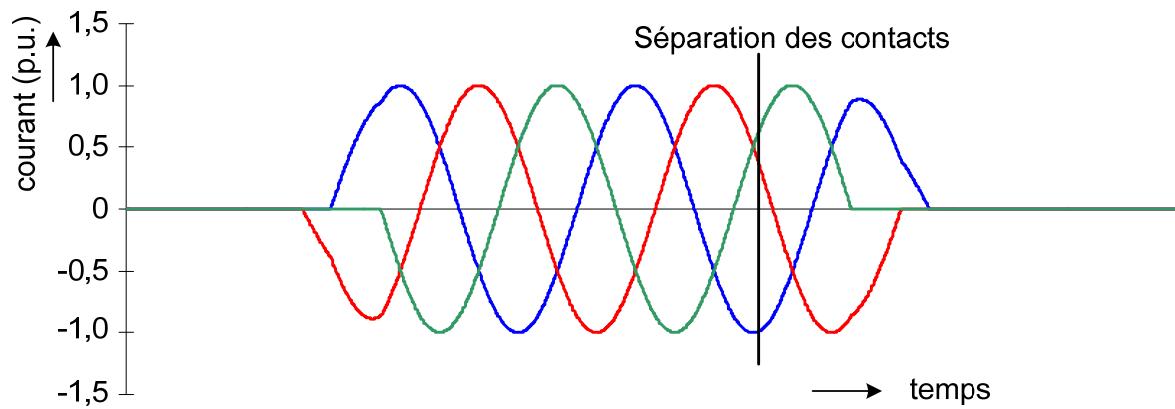
EN 62271-101:2013



Essais no. 1 et 2: Application de la TTR sur le premier pôle qui coupe

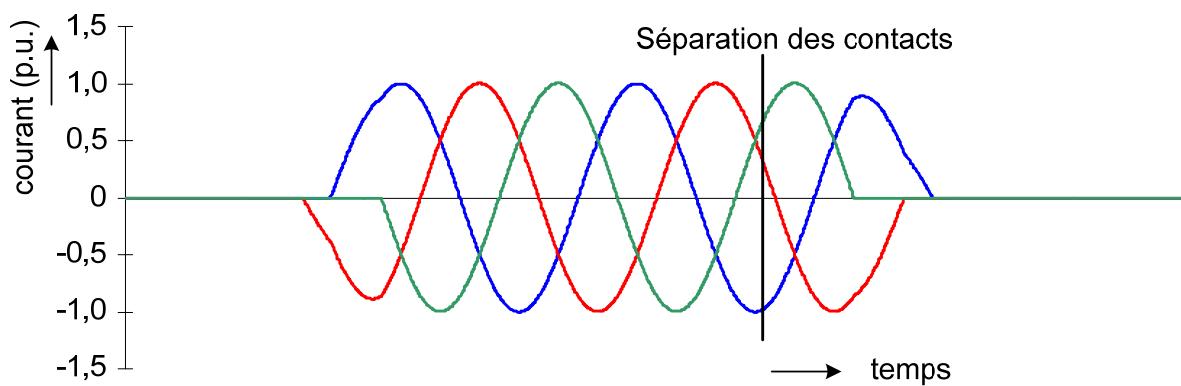


Essai no. 3: Application de la TTR sur le troisième pôle qui coupe

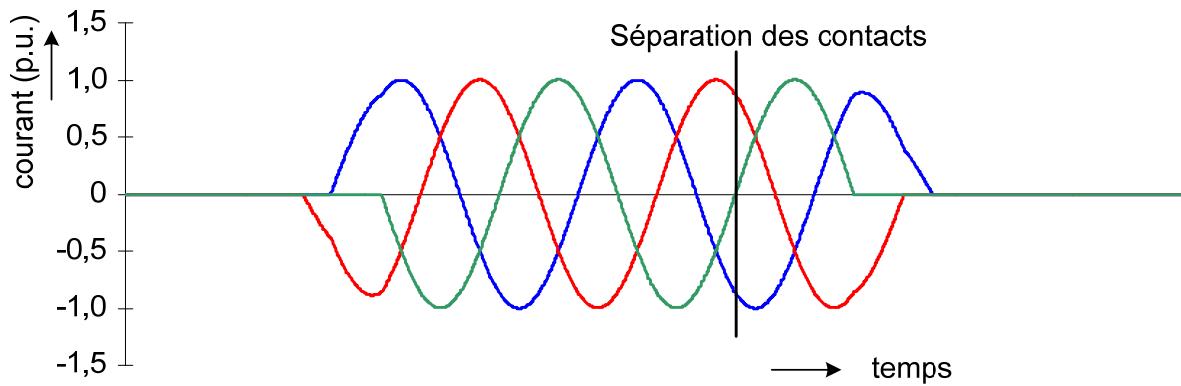


Essai no. 4: Application de la TTR sur le second pôle qui coupe

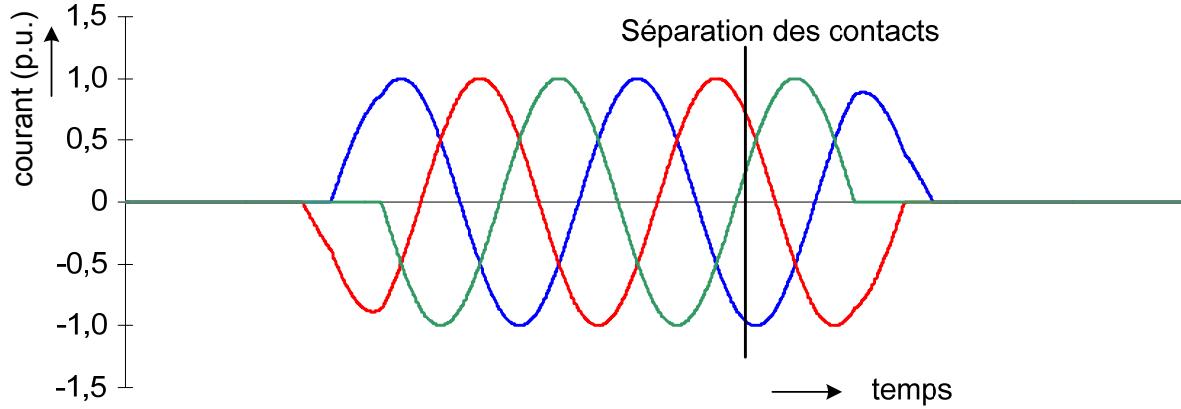
Figure K.4 – Représentation des conditions d'essais du Tableau K.3



Essais no. 1 et 2: Application de la TTR sur le 1^{er} pôle qui coupe
Essai no. 5: Application de la TTR sur le 2nd pôle qui coupe



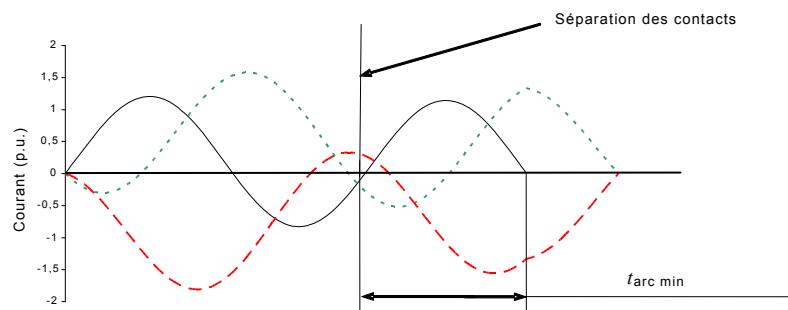
Essai no. 3: Application de la TTR sur le 1st pôle qui coupe
Essai no. 6: Application de la TTR sur le 2nd pôle qui coupe
Essai no. 8: Application de la TTR sur le 3^{ème} pôle qui coupe



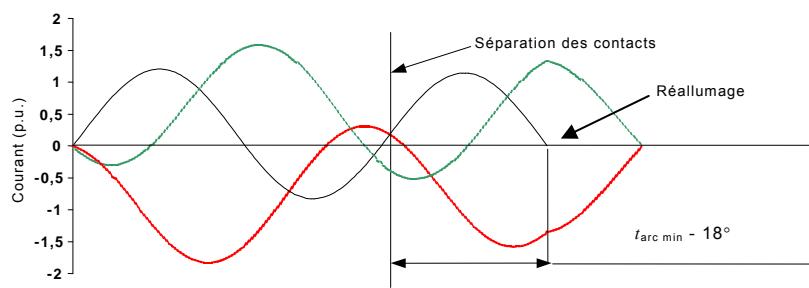
Essai no. 4: Application de la TTR sur le 1st pôle qui coupe
Essai no. 7: Application de la TTR sur le 2nd pôle qui coupe

Figure K.5 – Représentation des conditions d'essais du Tableau K.4

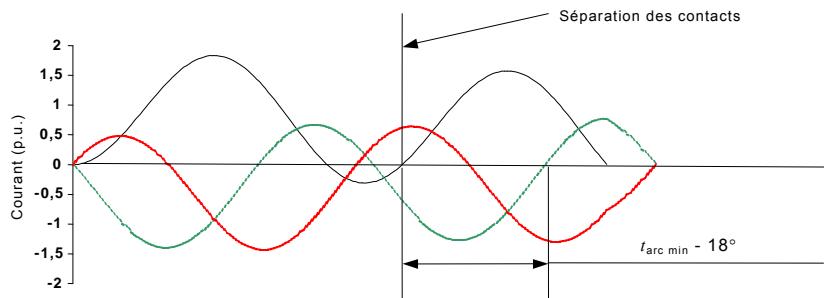
Essai no. 1: Application de la TTR sur le 1^{er} pôle qui coupe



Essai no. 2: Application de la TTR sur le 1^{er} pôle qui coupe



Essai no. 3: Application de la TTR sur le 1^{er} pôle qui coupe avec une grande alternance



Essai no. 4: Application de la TTR sur le dernier pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée

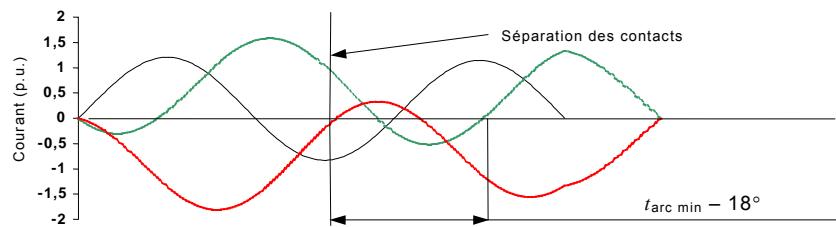
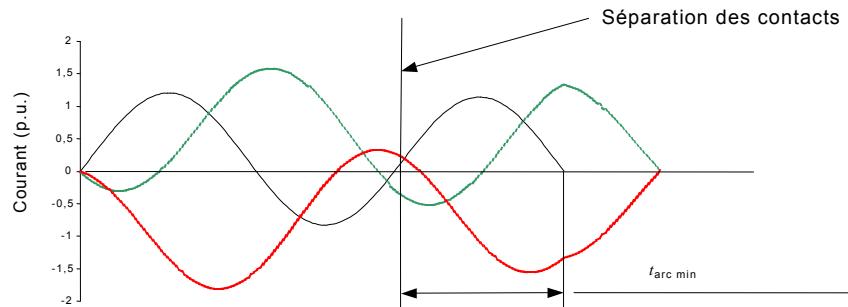
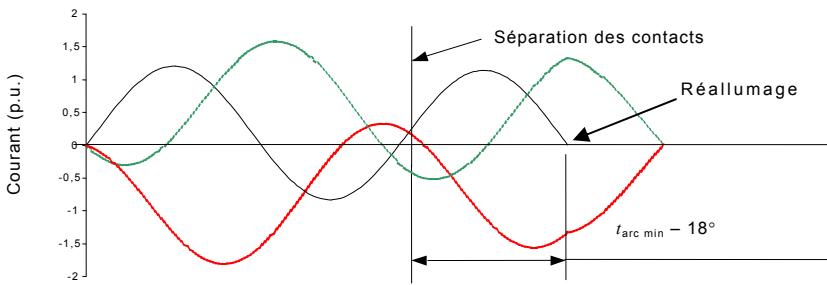


Figure K.6 – Représentation des conditions d'essais du Tableau K.5

Essai no. 1: Application de la TTR sur le 1^{er} pôle qui coupe
 Essai no. 5: Application de la TTR sur le dernier pôle qui coupe avec
 une grande alternance rallongée

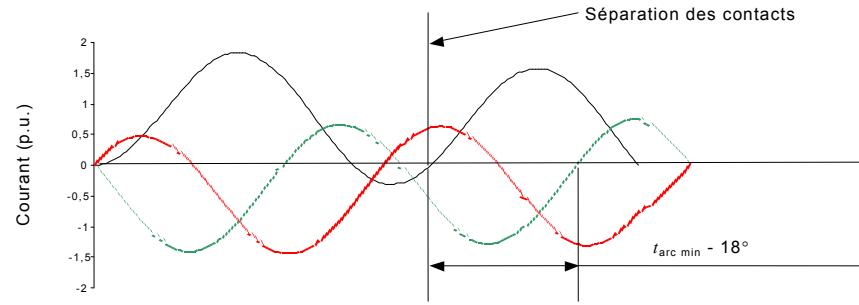


Essai no. 2: Application de la TTR sur le 1^{er} pôle qui coupe



Essai no. 3: Application de la TTR sur le 1^{er} pôle qui coupe avec une grande alternance

Essai no. 6: Application de la TTR sur le dernier pôle qui coupe avec
 une grande alternance rallongée



Essai no. 4: Application de la TTR sur le 1^{er} pôle qui coupe

Essai no. 7: Application de la TTR sur le dernier pôle qui coupe avec
 une grande alternance rallongée

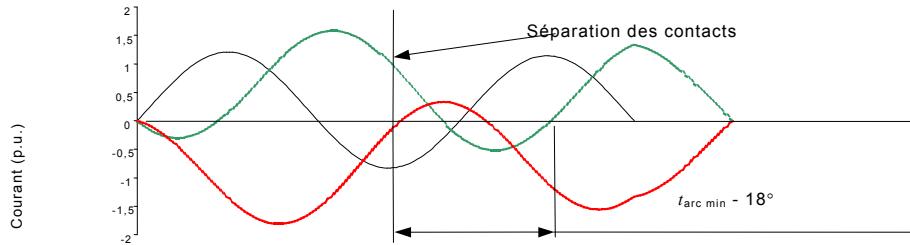
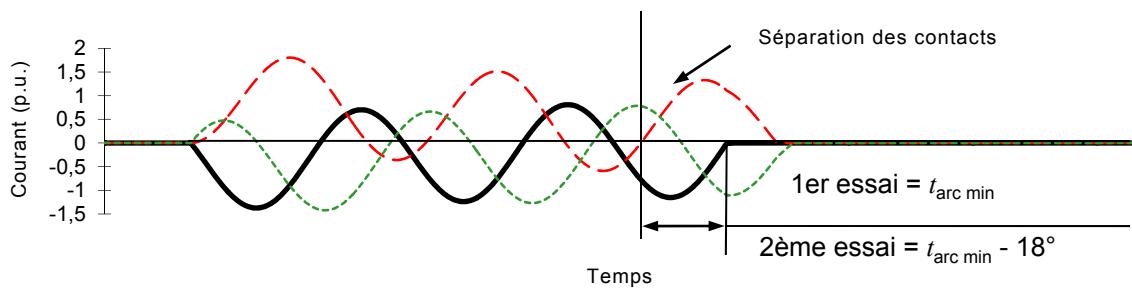
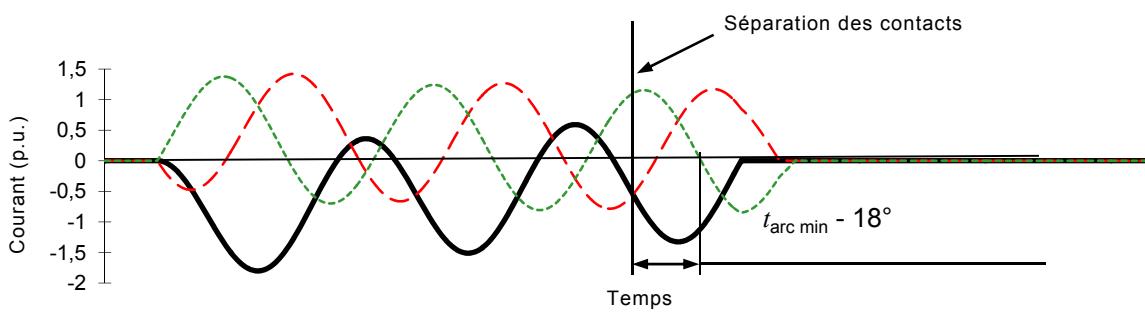


Figure K.7 – Représentation des conditions d'essais du Tableau K.6

Essais no. 1 et 2: Application de la TTR sur le 1er pôle qui coupe



Essai no. 3: Application de la TTR sur le 1er pôle qui coupe avec une grande alternance.



Essai no. 4: Application de la TTR sur le 2ème pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée.

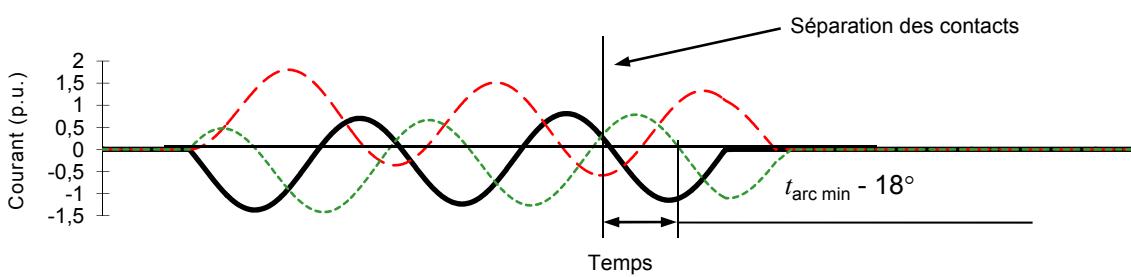
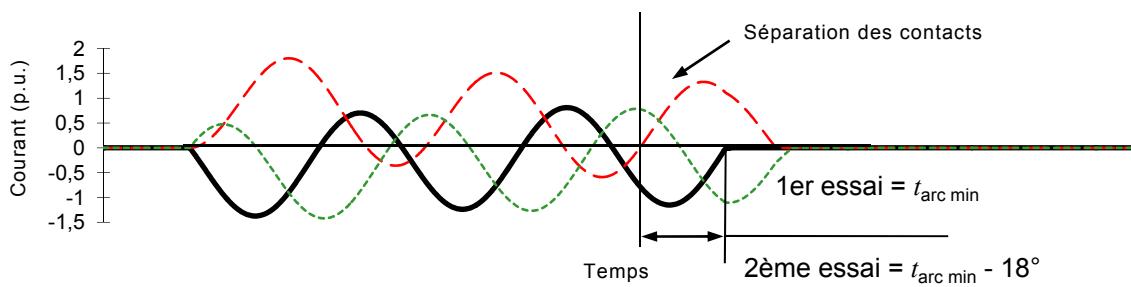


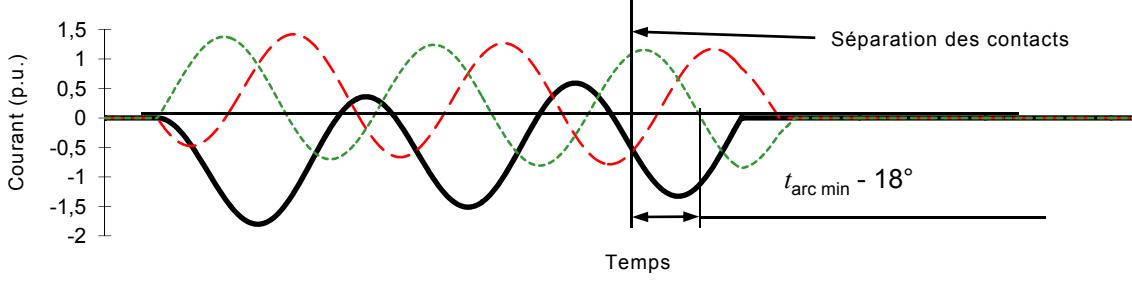
Figure K.8 – Représentation des conditions d'essais du Tableau K.7

Essais no. 1 et 2: Application de la TTR sur le 1er pôle qui coupe
 Essai no. 5: Application de la TTR sur le 2ème pôle qui coupe



Essai no. 3: Application de la TTR sur le 1er pôle qui coupe avec une grande alternance

Essai no. 6: Application de la TTR sur le 2ème pôle qui coupe



Essai n° 4: Application de la TTR sur le 1^{er} pôle qui coupe

Essai n° 7: Application de la TTR sur le 2^{ème} pôle qui coupe avec une grande alternance rallongée

Essai n° 8: Application de la TTR sur le 3^{ème} pôle qui coupe

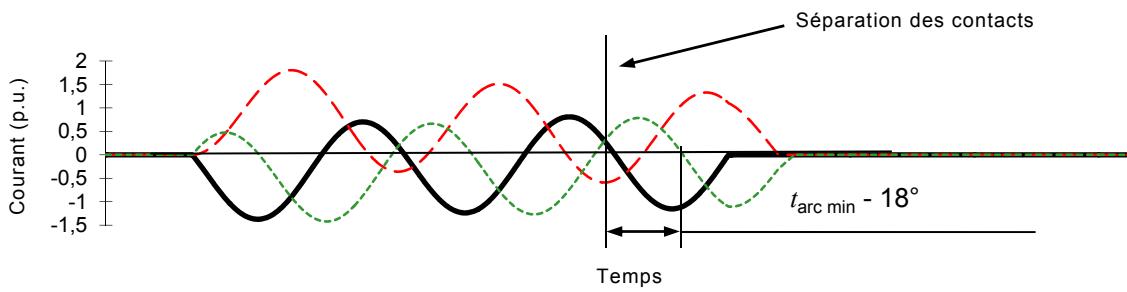


Figure K.9 – Représentation des conditions d'essais du Tableau K.8



Annexe L (normative)

Séparation des séquences d'essais en séries d'essais en tenant compte de la TTR exacte de chaque pôle à couper

L.1 Généralités

Selon la limitation d'un laboratoire, les essais triphasés ne sont pas toujours possibles. Il est habituel de réaliser de tels essais en utilisant un circuit monophasé avec une TTR unique qui couvre le premier, le deuxième et le dernier pôle qui coupent. Cette procédure d'essai peut entraîner des contraintes plus élevées sur le disjoncteur en essai par rapport à la procédure d'essais triphasés directs correspondante.

Cette procédure peut être utilisée en substitution à des essais triphasés lorsque des essais monophasés sont autorisés.

Etant donné que l'arc est prolongé à l'aide de réallumages thermiques, il est possible d'imposer que le disjoncteur en essai réallume en toutes circonstances. On doit veiller à ne pas réallumer le disjoncteur à un zéro de courant où il peut couper.

Une combinaison des facteurs de premier pôle à couper de 1,5 et 1,3, conformément à 6.102.10.2.4 de la CEI 62271-100:2008, et dans le même temps la division des séquences d'essais, peut être exécutée, conformément à L.3.

L.2 Séquences d'essais T10, T30, T60 et T100s(b)

Les procédures d'essais monophasés pour la séparation des séquences d'essais pour démontrer des durées d'arc avec la TTR correcte pour chaque pôle qui coupe conformément à 6.102.10.2.5 de la CEI 62271-100:2008 sont données au Tableau L.1 pour un facteur de premier pôle de 1,5, aux Tableaux L.2 et L.3 pour un facteur de premier pôle de 1,3 et aux Tableaux L.4 et L.5 pour un facteur de premier pôle de 1,2.

Des procédures simplifiées sont données aux Tableaux L.3 et L.5, qui sont plus sévères que les procédures données aux Tableaux L.2 et L.4.

En cas de défaillance au cours de l'essai no. 5 ou 6, tel qu'indiqué aux Tableaux L.2 et L.4, les essais no. 4, 5 et 6 doivent être répétés après la remise en état du disjoncteur.

En cas de défaillance au cours de l'essai no. 5, tel qu'indiqué aux Tableaux L.3 et L.5, les essais no. 3 et 5 doivent être répétés après la remise en état du disjoncteur. Dans ce cas, l'essai no. 3 peut être réalisé comme une seule manœuvre d'ouverture, dans les mêmes conditions que l'essai no. 5.

La remise en état du disjoncteur, si nécessaire, doit satisfaire aux exigences du paragraphe 6.102.9.5 de la CEI 62271-100:2008.

L.3 Séquence d'essais T100a

L.3.1 Généralités

La procédure d'essais décrite ici est basée sur la détermination de la durée d'arc minimale après une grande alternance avec une asymétrie intermédiaire. Cette durée d'arc est considérée comme étant la même dans toutes les conditions (petite ou grande alternance). Du fait de cette supposition, une éventuelle interruption à un zéro de courant précédent à la fin d'une petite alternance n'est pas prise en compte.

L.3.2 Procédure d'essais pour un facteur de premier pôle de 1,5

La série d'essais montre la capacité d'interruption pour les différentes conditions asymétriques et leurs valeurs de TTR associées. L'objectif est d'obtenir une série de 5 essais valables.

Les essais correspondants peuvent être trouvés au Tableau L.6.

Les Tableaux L.9 et L.12 montrent les durées d'extinction d'arc en fonction des conditions données.

En cas de défaillance au cours de l'essai no. 5, tel qu'indiqué au Tableau L.6, les essais no. 3 à 5 doivent être répétés après la remise en état du disjoncteur.

La remise en état du disjoncteur, si nécessaire, doit satisfaire aux exigences de 6.102.9.5 de la CEI 62271-100:2008.

L.3.3 Procédure d'essais pour un facteur de premier pôle de 1,3

La série d'essais montre la capacité de coupure pour les différentes conditions asymétriques et leurs valeurs de TTR associées. L'objectif est d'obtenir une série de 6 essais valables.

Les essais correspondants peuvent être trouvés au Tableau L.7.

Les Tableaux L.10 et L.13 montrent les durées d'extinction d'arc en fonction des conditions données.

En cas de défaillance au cours de l'essai no. 5 ou 6, tel qu'indiqué au Tableau L.7, les essais nos. 4 à 6 doivent être répétés après la remise en état du disjoncteur.

La remise en état du disjoncteur, si nécessaire, doit satisfaire aux exigences de 6.102.9.5 de la CEI 62271-100:2008.

L.3.4 Procédure d'essais pour un facteur de premier pôle de 1,2

La série d'essais montre la capacité de coupure pour les différentes conditions asymétriques et leurs valeurs de TTR associées. L'objectif est d'obtenir une série de 6 essais valables.

Les essais correspondants peuvent être trouvés au Tableau L.8.

Les Tableaux L.11 et L.14 montrent les durées d'extinction d'arc en fonction des conditions données.

En cas de défaillance au cours de l'essai no. 5 ou 6, tel qu'indiqué au Tableau L.8, les essais nos. 4 à 6 doivent être répétés après la remise en état du disjoncteur.

La remise en état du disjoncteur, si nécessaire, doit satisfaire aux exigences de 6.102.9.5 de la CEI 62271-100:2008.

L.4 Combinaison des facteurs de premier pôle qui coupe 1,3 et 1,5

L.4.1 Généralités

Il est reconnu que certaines des conditions d'essai sont plus sévères que celles indiquées dans les tableaux pour le facteur de premier pôle qui coupe respectif. Cependant, tous les essais indiqués aux Tableaux L.15 et L.16 ont été réalisés afin de maintenir l'équivalence avec les essais spécifiés dans la norme pour chaque séquence d'essais.

L.4.2 Séquences d'essais T10, T30, T60 et T100s(b)

Les essais correspondants peuvent être trouvés au Tableau L.15.

En cas de défaillance de l'essai 5 ou 6, les essais 4, 5 et 6 doivent être répétés après remise en état du disjoncteur.

Une tolérance de ± 1 ms s'applique aux durées d'arc réelles obtenues durant l'essai 4.

Pour les essais 3,5 et 6, la tolérance applicable est de $\pm 0,5$ ms.

L.4.3 Séquence d'essais T100a

Les essais correspondants peuvent être trouvés au Tableau L.16.

En cas de défaillance de l'essai 5 ou 6, les essais 4, 5 et 6 doivent être répétés après remise en état du disjoncteur.

Une tolérance de ± 1 ms s'applique aux durées d'arc réelles obtenues durant l'essai 4.

Pour les essais 3,5 et 6, la tolérance applicable est de $\pm 0,5$ ms.

Tableau L.1 – Procédure d'essai pour $k_{pp} = 1,5$

Essai No.	Séquence d'essais ^a	Conditions d'arc		TTR		Courant injecté (di/dt) %
		Degrés électriques	Durée d'arc	VATR (p.u.)	Valeur de u_c (p.u.)	
1	Os	0	$t_{arc \ min}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1,0	1,0	100
2	Os	-18	Réallumage dans le 1 ^{er} pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc \ min}$	1,0	1,0	100
3	Od- t -CdOs	42	$t_{arc \ max}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1,0	1,0	100
4	Os	90	$t_{arc \ min}$ (dernier pôle qui coupe)	0,7	0,58	87
5	CdOs	132	$t_{arc \ max}$ (dernier pôle qui coupe)	0,7	0,58	87

Pour T10, T30 et T60, la manœuvre Cd peut être effectuée à vide.

^a Les abréviations sont conformes à 6.106.

Tableau L.2 – Procédure d'essai pour $k_{pp} = 1,3$

Essai No.	Séquence d'essais ^a	Conditions d'arc		TTR		Courant injecté (di/dt) %
		Degrés électriques	Durée d'arc	VATR p.u.	Valeur de u_c p.u.	
1	Os	0	$t_{arc\ min}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1,0	1,0	100
2	Os	-18	Réallumage dans le 1 ^{er} pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc\ min}$	1,0	1,0	100
3	Od- t -CdOs	42	$t_{arc\ max}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1,0	1,0	100
4	CdOs	77	$t_{arc\ min}$ (2 ^{ème} pôle qui coupe)	0,95	0,98	89
5	Od- t -CdOs	119	$t_{arc\ max}$ (2 ^{ème} pôle qui coupe)	0,95	0,98	89
6	Od- t -CdOs	162	$t_{arc\ max}$ (3 ^{ème} pôle qui coupe)	0,70	0,77	57

NOTE Les essais 1, 2 et 3 démontrent la plage de coupure en triphasé du premier pôle qui coupe. Les essais 4 et 5 démontrent la plage de coupure du deuxième pôle qui coupe. Les essais 5 et 6 démontrent la plage de coupure du troisième pôle qui coupe.

Pour T10, T30 et T60, la manœuvre Cd peut être effectuée à vide.

Tableau L.3 – Procédure d'essai simplifiée pour $k_{pp} = 1,3$

Essai No.	Séquence d'essais ^a	Conditions d'arc		TTR		Courant injecté (di/dr) %
		Degrés électriques	Durée d'arc	VATR p.u.	Valeur de u_c p.u.	
1	Os	0	$t_{arc \ min}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1,0	1,0	100
2	Os	-18	Réallumage dans le 1 ^{er} pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc \ min}$	1,0	1,0	100
3	Od- <i>t</i> -CdOs	119	$t_{arc \ max}$ (2 ^{ème} pôle qui coupe)	1,0	1,0	100
4	CdOs	60	$t_{arc \ med}$ (1 ^{er} et 2 ^{ème} pôles qui coupent)	1,0	1,0	100
5	Od- <i>t</i> -CdOs	162	$t_{arc \ max}$ (3 ^{ème} pôle qui coupe)	0,70	0,77	57

Tableau L.4 – Procédure d'essai pour $k_{pp} = 1,2$

Essai No.	Séquence d'essais ^a	Conditions d'arc		TTR		Courant injecté (di/dt) %
		Degrés électriques	Durée d'arc	VATR p.u.	Valeur de u_c p.u.	
1	Os	0	$t_{arc\ min}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1,0	1,0	100
2	Os	-18	Réallumage dans le 1 ^{er} pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc\ min}$	1,0	1,0	100
3	Od- <i>t</i> -CdOs	42	$t_{arc\ max}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1,0	1,0	100
4	CdOs	71	$t_{arc\ max}$ (2 ^{ème} pôle qui coupe)	0,95	0,95	92
5	Od- <i>t</i> -CdOs	113	$t_{arc\ max}$ (2 ^{ème} pôle qui coupe)	0,95	0,95	92
6	Od- <i>t</i> -CdOs	162	$t_{arc\ max}$ (3 ^{ème} pôle qui coupe)	0,83	0,83	75

Tableau L.5 – Procédure d'essai simplifiée pour $k_{pp} = 1,2$

Essai No.	Séquence d'essais ^a	Conditions d'arc		TTR		Courant injecté (di/dt) %
		Degrés électriques	Durée d'arc	VATR p.u.	Valeur de u_c p.u.	
1	Os	0	$t_{arc \ min}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1,0	1,0	100
2	Os	-18	Réallumage dans le 1 ^{er} pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc \ min}$	1,0	1,0	100
3	Od- t -CdOs	113	$t_{arc \ max}$ (2 ^{ème} pôle qui coupe)	1,0	1,0	100
4	CdOs	57	$t_{arc \ med}$ (1 ^{er} et 2 ^{ème} pôles qui coupent)	1,0	1,0	100
5	Od- t -CdOs	162	$t_{arc \ max}$ (3 ^{ème} pôle qui coupe)	0,83	0,83	75

NOTE Les essais 1, 2, 3 et 4 démontrent la plage de coupure en triphasé pour le premier et le deuxième pôles qui coupent. Les essais 3 et 5 démontrent la plage de coupure du troisième pôle qui coupe.

Pour T10, T30 et T60, la manœuvre Cd peut être effectuée à vide.

a Les abréviations sont conformes à 6.106.

Tableau L.6 – Procédure d'essai pour des courants asymétriques dans le cas $k_{pp} = 1,5$

Essai No.	Séquence d'essais	Condition d'asymétrie	Conditions d'arc		TTR ^{acd}		Courant injecté (di /dt) %
			Degrés électriques	Durée d'arc	VATR p.u.	Valeur de u_c p.u.	
1	Os	Grande alternance intermédiaire (col. 8 et 9)	0	$t_{arc\ min}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1,0	1,0	(col. 10)
2	Os	Grande alternance intermédiaire (col. 8 et 9)	-18 ^b	Réallumage dans le 1 ^{er} pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc\ min}$	1,0	1,0	(col. 10)
3	Os	Grande alternance assignée (col. 3 et 4)	(col. 12)	$t_{arc\ max}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1,0	1,0	(col. 5)
4	Os	Grande alternance assignée (col. 3 et 4)	(col. 13)	$t_{arc\ med}$ (dernier pôle qui coupe)	0,7	0,58	(col. 6)
5	Os	Grande alternance assignée (col. 3 et 4)	(col. 14)	$t_{arc\ max}$ (dernier pôle qui coupe)	0,7	0,58	(col. 7)

NOTE Les références aux numéros de colonne (par exemple col. 1) se rapportent aux colonnes numérotées aux Tableaux L.9 et L.12.

Tableau L.7 – Procédure d'essai pour des courants asymétriques dans le cas $k_{pp} = 1,3$

Essai No.	Séquence d'essais	Condition d'asymétrie	Conditions d'arc		TTR acd		Courant injecté (di /dt) %
			Degrés électriques	Durée d'arc	VATR p.u.	Valeur de u_c p.u.	
1	Os	Grande alternance intermédiaire (col. 8 et 9)	0	$t_{\text{arc min}}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1,0	1,0	(col. 10)
2	Os	Grande alternance intermédiaire (col. 8 et 9)	-18 ^b	Réallumage dans le 1 ^{er} pôle qui coupe pour confirmer $t_{\text{arc min}}$	1,0	1,0	(col. 10)
3	Os	Grande alternance assignée (col. 3 et 4)	(col.12)	$t_{\text{arc max}}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1,0	1,0	(col. 5)
4	Os	Grande alternance assignée (col. 3 et 4)	(col.13)	$t_{\text{arc med}}$ (2 ^{ème} pôle qui coupe)	0,95	0,98	(col.6)
5	Os	Grande alternance assignée (col. 3 et 4)	(col.14)	$t_{\text{arc max}}$ (2 ^{ème} pôle qui coupe)	0,95	0,98	(col.6)
6	Os	Grande alternance assignée (col. 3 et 4)	(col.15)	$t_{\text{arc max}}$ (dernier pôle qui coupe)	0,70	0,77	(col.7)

Tableau L.8 – Procédure d'essai pour des courants asymétriques dans le cas $k_{pp} = 1,2$

Essai No.	Séquence d'essais	Condition d'asymétrie	Conditions d'arc		TTR acd		Courant injecté (di /dt) %
			Degrés électriques	Durée d'arc	VATR p.u.	Valeur de u_c p.u.	
1	Os	Grande alternance intermédiaire (col. 8 et 9)	0	$t_{arc \min}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1,0	1,0	(col. 10)
2	Os	Grande alternance intermédiaire (col. 8 et 9)	-18 ^b	Réallumage dans le 1 ^{er} pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc \min}$	1,0	1,0	(col. 10)
3	Os	Grande alternance assignée (col. 3 et 4)	(col.12)	$t_{arc \max}$ (1 ^{er} pôle qui coupe)	1,0	1,0	(col. 5)
4	Os	Grande alternance assignée (col. 3 et 4)	(col.13)	$t_{arc \text{med}}$ (2 ^{ème} pôle qui coupe)	0,95	0,95	(col.6)
5	Os	Grande alternance assignée (col. 3 et 4)	(col.14)	$t_{arc \max}$ (2 ^{ème} pôle qui coupe)	0,95	0,95	(col.6)
6	Os	Grande alternance assignée (col. 3 et 4)	(col.15)	$t_{arc \max}$ (dernier pôle qui coupe)	0,83	0,83	(col.7)

NOTE Les références aux numéros de colonne (par exemple col. 8) se rapportent aux colonnes numérotées aux Tableaux L.11 et L.14.

a Les valeurs données ici se rapportent à des conditions symétriques. Pour l'essai 3, voir les tableaux de l'Annexe I pour les valeurs corrigées de la TTR.

b Pour démontrer la durée d'arc minimale.

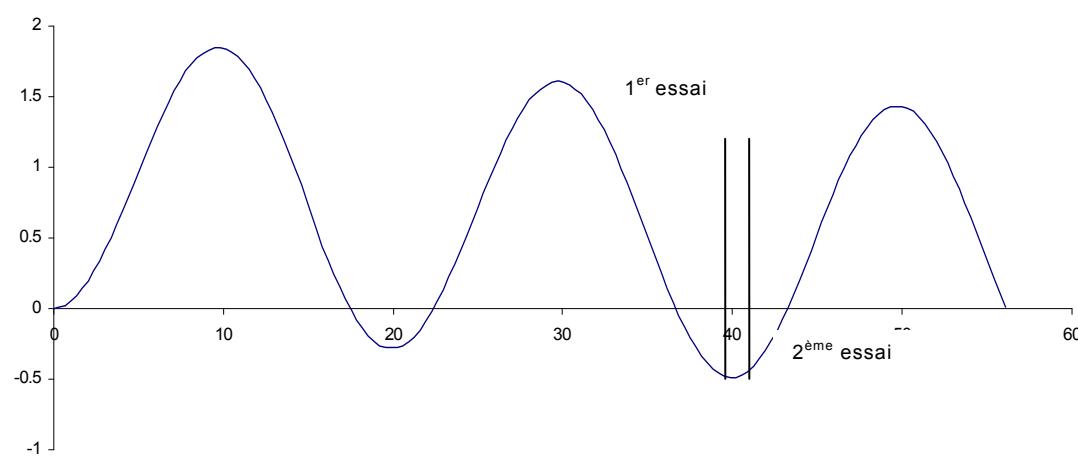
c La réduction de la TTR peut être appliquée à l'aide de l'Annexe P de la CEI 62271-100:2008 pour les essais 1 et 2.

d La réduction simplifiée de la TTR pour les essais 4 et 5 peut être réalisée en utilisant les facteurs VATR et u_c de ce tableau dans les tableaux de l'Annexe I.

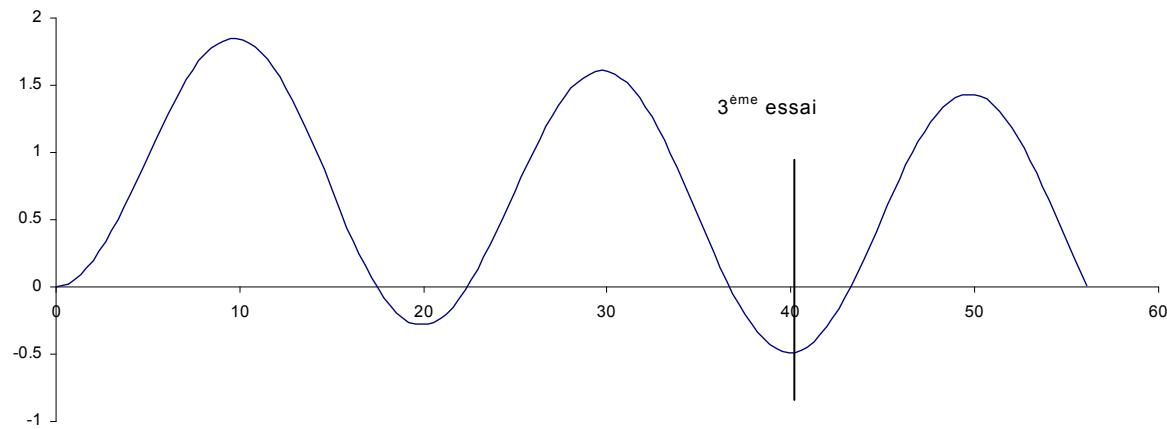
UTE

- 139 -

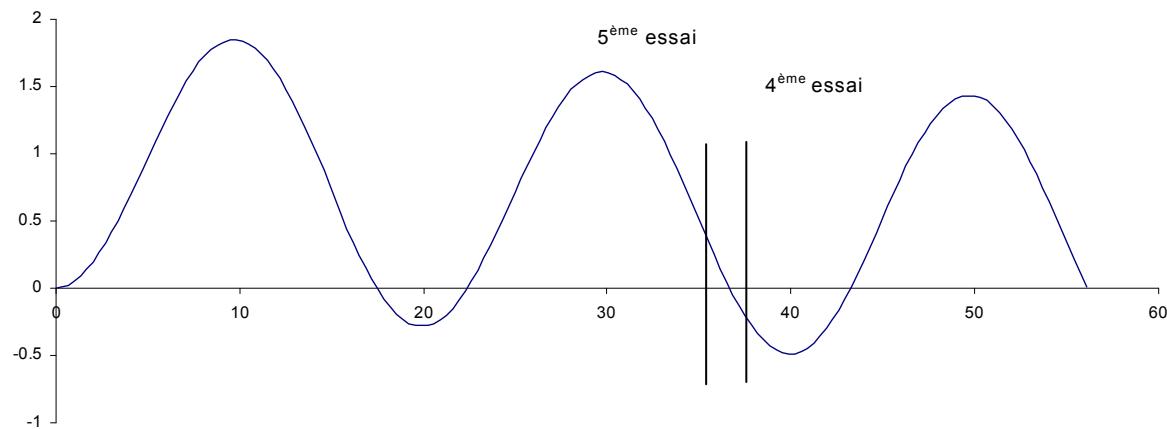
EN 62271-101:2013



Asymétrie intermédiaire, TTR 1,0 p.u.

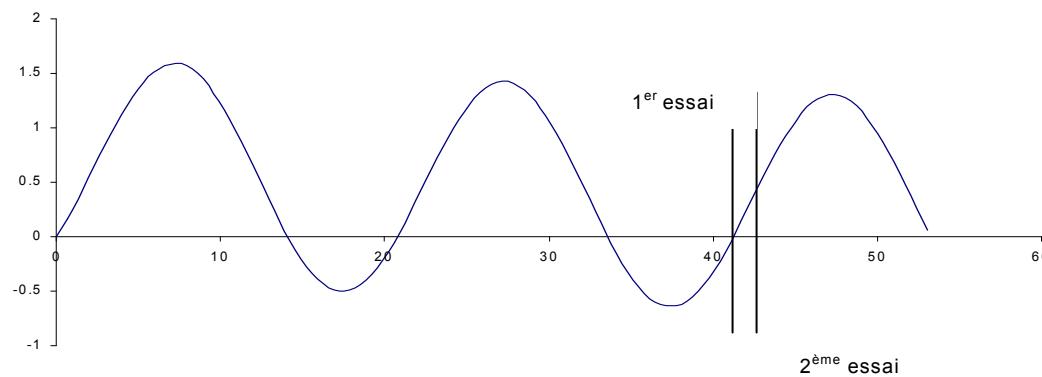


Asymétrie assignée, TTR 1 p.u.

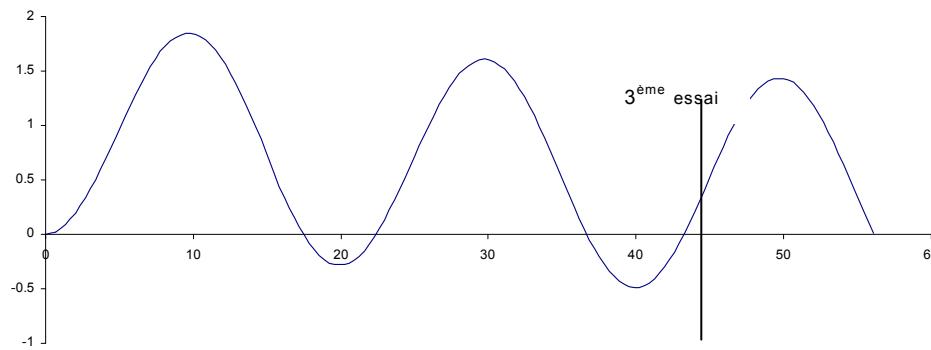


Asymétrie assignée, TTR 0,58 p.u.

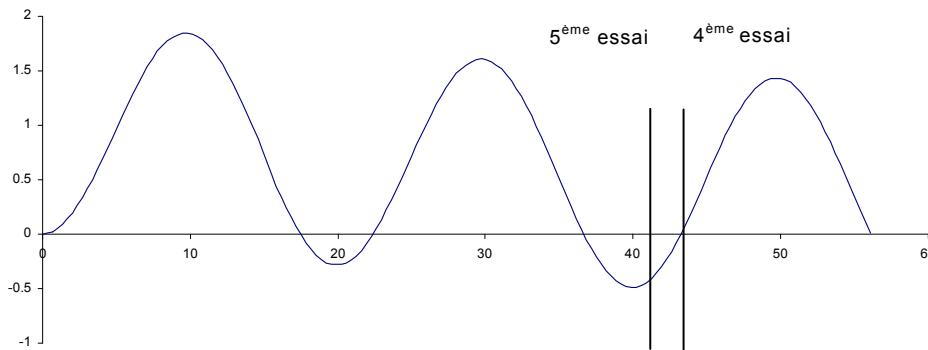
Figure L.1 – Représentation graphique de l'essai représenté au Tableau L.6



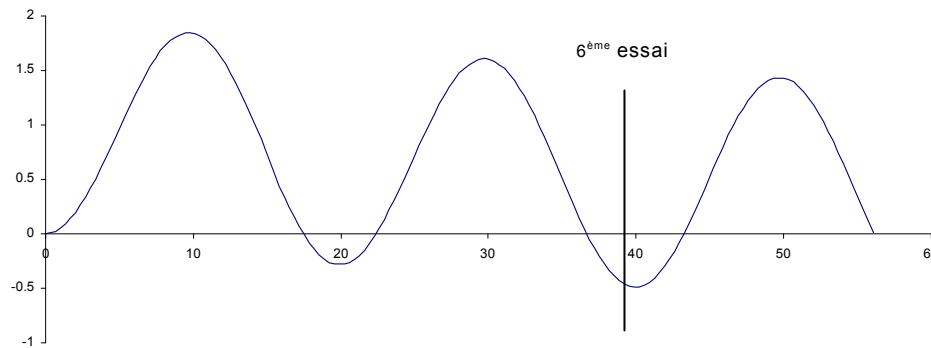
Asymétrie intermédiaire, TTR 1 p.u.



Asymétrie assignée, TTR 1 p.u.



Asymétrie assignée, TTR 0,95 p.u.



Asymétrie assignée, TTR 0,7 p.u.

Figure L.2 – Représentation graphique de l'essai représenté au Tableau L.7

Tableau L.9 – Paramètres d'essais requis pour les différentes conditions asymétriques pour $k_{pp} = 1,5, f_r = 50 \text{ Hz}$

Crête de la TTR (p.u.) pour les courants symétriques				Asymétrie assignée				Asymétrie intermédiaire ^a			Conditions d'arc			
Colonne 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
τ (ms)	Durée minimale de coupure (ms)	$I_{\text{crête}}$ (p.u.)	Durée de l'alternance (ms)	di/dt 1 ^{er} pôle qui coupe ^b (%)	di/dt 2 ^{ème} pôle qui coupe ^b (%)	di/dt 3 ^{ème} pôle qui coupe ^b (%)	$I_{\text{crête}}$ (p.u.)	Durée de l'alternance (ms)	di/dt 1 ^{er} pôle qui coupe ^b (%)	1 ^{er} pôle qui coupe (°)	Durée d'arc maximale après la grande alternance avec TTR par le 1 ^{er} pôle qui coupe (°)	Durée d'arc moyenne 2 ^{ème} pôle qui coupe après la grande alternance (°)	Durée d'arc maximale 2 ^{ème} pôle qui coupe après la grande alternance (°)	
45	10 < $t \leq 22,5$	1,52	13,5	93	83	83	1,24	11,5	99	0	56	101	173	
	22,5 < $t \leq 43,5$	1,33	12,0	98	86	86	1,16	11,0	100	0	51	97	158	
	43,5 < $t \leq 64$	1,21	11,5	100	87	87	1,10	10,5	100	0	48	94	148	
60	10 < $t \leq 22,5$	1,61	14,0	87	79	79	1,29	12,0	97	0	59	103	181	
	22,5 < $t \leq 43$	1,44	13,0	94	83	83	1,21	11,5	99	0	54	99	166	
	43 < $t \leq 63,5$	1,31	12,0	97	85	85	1,15	11,0	100	0	51	96	156	
	63,5 < $t \leq 84$	1,22	11,5	99	86	86	1,11	10,5	100	0	48	95	149	
75	10 < $t \leq 22$	1,67	15,0	82	76	76	1,33	12,0	96	0	62	105	186	
	22 < $t \leq 43$	1,51	13,5	90	81	81	1,25	11,5	98	0	57	101	173	
	43 < $t \leq 63,5$	1,39	12,5	95	84	84	1,19	11,0	99	0	53	98	163	
	63,5 < $t \leq 84$	1,30	12,0	97	85	85	1,15	11,0	100	0	50	96	156	
	84 < $t \leq 104$	1,23	11,5	98	86	86	1,11	10,5	100	0	48	95	150	
120	10 < $t \leq 22$	1,78	15,5	70	69	69	1,38	12,5	94	0	68	108	196	
	22 < $t \leq 42,5$	1,66	14,5	80	75	75	1,32	12,0	96	0	62	105	185	
	42,5 < $t \leq 63$	1,56	14,0	86	78	78	1,27	12,0	97	0	59	102	177	
	63 < $t \leq 83,5$	1,47	13,0	91	81	81	1,23	11,5	98	0	56	100	169	
	83,5 < $t \leq 103,5$	1,40	12,5	94	83	83	1,20	11,5	99	0	54	98	164	

a L'asymétrie intermédiaire est le niveau d'asymétrie obtenu dans un essai direct triphasé dans la phase ayant l'asymétrie réduite.

b di/dt correspondant au zéro de courant (pourcentage du di/dt du courant symétrique assigné).

Tableau L.10 – Paramètres d'essais requis pour les différentes conditions asymétriques pour $k_{pp} = 1,3, f_r = 50 \text{ Hz}$

Crête de la TTR (p.u.) pour les courants symétriques										1,3	1,3	1,27	1,27	1,0
Colonne 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
τ (ms)	Durée minimale de coupure (ms)	$I_{\text{crête}}$ (p.u.)	Durée de l'alternance (ms)	di/dt 1 ^{er} pôle qui coupe ^b (%)	di/dt 2 ^{ème} pôle qui coupe ^b (%)	di/dt 3 ^{ème} pôle qui coupe ^b (%)	$I_{\text{crête}}$ (p.u.)	Durée de l'alternance (ms)	di/dt 1 ^{er} pôle qui coupe ^b (%)	1 ^{er} pôle qui coupe (°)	Durée d'arc correspondant à la coupure après la grande alternance avec TTR par le 1 ^{er} pôle qui coupe (°)	Durées d'arc correspondant au 2 ^{ème} pôle qui coupe après la grande alternance (°)	Durées d'arc correspondant au 2 ^{ème} pôle qui coupe après la grande alternance (°)	Durées d'arc correspondant au dernier pôle qui coupe après la grande alternance (°)
45	10 < $t \leq 22,5$	1,52	13,5	93	84	53	1,24	11,5	99	0	56	90	162	193
	22,5 < $t \leq 43,5$	1,33	12,0	98	88	56	1,16	11,0	100	0	51	85	146	182
	43,5 < $t \leq 64$	1,21	11,5	100	90	57	1,10	10,5	100	0	48	82	136	175
60	10 < $t \leq 22,5$	1,61	14,0	87	80	49	1,29	12,0	97	0	59	93	171	199
	22,5 < $t \leq 43$	1,44	13,0	94	85	54	1,21	11,5	99	0	54	88	155	188
	43 < $t \leq 63,5$	1,31	12,0	97	88	56	1,15	11,0	100	0	51	85	145	181
	63,5 < $t \leq 84$	1,22	11,5	99	89	57	1,11	10,5	100	0	48	83	137	175
75	10 < $t \leq 22$	1,67	15,0	82	76	46	1,33	12,0	96	0	62	95	177	203
	22 < $t \leq 43$	1,51	13,5	90	82	51	1,25	11,5	98	0	57	90	162	193
	43 < $t \leq 63,5$	1,39	12,5	95	86	54	1,19	11,0	99	0	53	87	152	185
	63,5 < $t \leq 84$	1,30	12,0	97	87	55	1,15	11,0	100	0	50	85	144	180
	84 < $t \leq 104$	1,23	11,5	99	88	56	1,11	10,5	100	0	48	83	138	176
120	10 < $t \leq 22$	1,78	15,5	70	67	39	1,38	12,5	94	0	68	100	188	209
	22 < $t \leq 42,5$	1,66	14,5	80	74	45	1,32	12,0	96	0	62	96	176	201
	42,5 < $t \leq 63$	1,56	14,0	86	79	49	1,27	12,0	97	0	59	92	167	195
	63 < $t \leq 83,5$	1,47	13,0	91	82	52	1,23	11,5	98	0	56	90	159	190
	83,5 < $t \leq 103,5$	1,40	12,5	94	84	53	1,20	11,5	99	0	54	88	153	186

a L'asymétrie intermédiaire est le niveau d'asymétrie obtenu dans un essai direct triphasé dans la phase ayant l'asymétrie réduite.

b di/dt correspondant au zéro de courant (pourcentage du di/dt du courant symétrique assigné).

Tableau L.11 – Paramètres d'essais requis pour les différentes conditions asymétriques pour $k_{pp} = 1,2, f_r = 50 \text{ Hz}$

Crête de la TTR (p.u.) pour les courants symétriques														1,2	1,2	1,15	1,15	1,0
		Asymétrie assignée					Asymétrie intermédiaire ^a			Conditions d'arc								
Colonne 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
τ (ms)	Durée minimale de coupure (ms)	$I_{\text{crête}}$ (p.u.)	Durée de l'alternance (ms)	di/dt 1 ^{er} pôle qui coupe ^b (%)	di/dt 2 ^{ème} pôle qui coupe ^b (%)	di/dt 3 ^{ème} pôle qui coupe ^b (%)	$I_{\text{crête}}$ (p.u.)	Durée de l'alternance (ms)	di/dt 1 ^{er} pôle qui coupe ^b (%)	1 ^{er} pôle qui coupe (°)	Durée d'arc correspondant à la coupure après la grande alternance avec TTR par le 1 ^{er} pôle qui coupe (°)	Durées d'arc correspondant au 2 ^{ème} pôle qui coupe après la grande alternance (°)	Durées d'arc correspondant au 2 ^{ème} pôle qui coupe après la grande alternance (°)	Durées d'arc correspondant au dernier pôle qui coupe après la grande alternance (°)				
120	10 < $t \leq 22$	1,78	15,5	70	66	52	1,38	12,5	94	0	68	96	184	209				
	22 < $t \leq 42,5$	1,66	14,5	80	74	60	1,32	12,0	96	0	62	91	171	201				
	42,5 < $t \leq 63$	1,56	14,0	86	80	65	1,27	12,0	97	0	59	87	161	195				
	63 < $t \leq 83,5$	1,47	13,0	91	83	68	1,23	11,5	98	0	56	84	154	190				
	83,5 < $t \leq 103,5$	1,40	12,5	94	86	70	1,20	11,5	99	0	54	82	147	186				

a L'asymétrie intermédiaire est le niveau d'asymétrie obtenu dans un essai direct triphasé dans la phase ayant l'asymétrie réduite.

b di/dt correspondant au zéro de courant (pourcentage du di/dt du courant symétrique assigné).

Tableau L.12 – Paramètres d'essais requis pour les différentes conditions asymétriques pour $k_{pp} = 1,5, f_r = 60 \text{ Hz}$

Crête de la TTR (p.u.) pour les courants symétriques										1,5	1,5	0,87	0,87
Colonne 1	2	Asymétrie assignée					Asymétrie intermédiaire ^a			Conditions d'arc			
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
τ (ms)	Durée minimale de coupure (ms)	$I_{crête}$ (p.u.)	Durée de l'alternance (ms)	di/dt 1 ^{er} pôle qui coupe ^b (%)	di/dt 2 ^{ème} pôle qui coupe ^b (%)	di/dt 3 ^{ème} pôle qui coupe ^b (%)	$I_{crête}$ (p.u.)	Durée de l'alternance (ms)	di/dt 1 ^{er} pôle qui coupe ^b (%)	1 ^{er} pôle qui coupe	Durée d'arc maximale après la grande alternance avec TTR par le 1 ^{er} pôle qui coupe (°)	Durée d'arc moyenne 2 ^{ème} pôle qui coupe après la grande alternance (°)	Durée d'arc maximale 2 ^{ème} pôle qui coupe après la grande alternance (°)
45	8,5 < τ ≤ 19,0	1,58	11,5	89	81	81	1,27	10,0	98	0	58	102	178
	19,0 < τ ≤ 36,0	1,40	10,5	96	84	84	1,19	9,5	100	0	53	98	163
	36,0 < τ ≤ 53,0	1,27	10,0	98	86	86	1,13	9,0	100	0	49	96	153
	53,0 < τ ≤ 70,0	1,19	9,5	100	87	87	1,09	9,0	100	0	47	94	147
60	8,5 < τ ≤ 18,5	1,66	12,0	83	76	76	1,32	10,0	96	0	62	104	185
	18,5 < τ ≤ 36,0	1,50	11,0	91	81	81	1,24	9,5	98	0	56	101	172
	36,0 < τ ≤ 53,0	1,38	10,5	95	84	84	1,18	9,5	99	0	53	98	162
	53,0 < τ ≤ 70,0	1,29	10,0	98	85	85	1,14	9,0	100	0	50	96	154
	70,0 < τ ≤ 87,0	1,22	9,5	99	86	86	1,11	9,0	100	0	48	94	149
75	8,5 < τ ≤ 18,5	1,72	12,5	77	73	73	1,35	10,0	95	0	64	106	190
	18,5 < τ ≤ 35,5	1,57	11,5	87	79	79	1,28	10,0	97	0	59	102	178
	35,5 < τ ≤ 52,5	1,46	11,0	92	82	82	1,22	9,5	98	0	55	100	168
	52,5 < τ ≤ 69,5	1,37	10,5	95	84	84	1,18	9,5	99	0	52	98	161
	69,5 < τ ≤ 86,5	1,30	10,0	97	85	85	1,14	9,0	100	0	50	96	155
	86,5 < τ ≤ 103,5	1,24	9,5	98	86	86	1,11	9,0	100	0	49	95	150
120	8,5 < τ ≤ 18,0	1,81	13,5	66	67	67	1,40	10,5	93	0	70	110	200
	18,0 < τ ≤ 35,0	1,71	12,5	76	72	72	1,35	10,0	95	0	65	106	190
	35,0 < τ ≤ 52,0	1,62	12,0	82	76	76	1,30	10,0	96	0	61	104	182
	52,0 < τ ≤ 69,0	1,54	11,5	87	80	80	1,26	9,5	97	0	58	102	175
	69,0 < τ ≤ 86,0	1,47	11,0	91	81	81	1,23	9,5	98	0	56	100	169
	86,0 < τ ≤ 103,0	1,41	10,5	93	82	82	1,20	9,5	99	0	54	99	164

Crête de la TTR (p.u.) pour les courants symétriques										1,5	1,5	0,87	0,87	
		Asymétrie assignée					Asymétrie intermédiaire ^a				Conditions d'arc			
Colonne 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
τ (ms)	Durée minimale de coupure (ms)	$I_{crête}$ (p.u.)	Durée de l'alternance (ms)	di/dt 1 ^{er} pôle qui coupe ^b (%)	di/dt 2 ^{ème} pôle qui coupe ^b (%)	di/dt 3 ^{ème} pôle qui coupe ^b (%)	$I_{crête}$ (p.u.)	Durée de l'alternance (ms)	di/dt 1 ^{er} pôle qui coupe ^b (%)	1 ^{er} pôle qui coupe (°)	Durée d'arc maximale après la grande alternance avec TTR par le 1 ^{er} pôle qui coupe (°)	Durée d'arc moyenne 2 ^{ème} pôle qui coupe après la grande alternance (°)	Durée d'arc maximale 2 ^{ème} pôle qui coupe après la grande alternance (°)	

a L'asymétrie intermédiaire est le niveau d'asymétrie obtenu dans un essai direct triphasé dans la phase ayant l'asymétrie réduite.

b di/dt correspondant au zéro de courant (pourcentage du di/dt du courant symétrique assigné).

Tableau L.13 – Paramètres d'essais requis pour les différentes conditions asymétriques pour $k_{pp} = 1,3, f_r = 60 \text{ Hz}$

Crête de la TTR (p.u.) pour les courants symétriques							Asymétrie assignée				Asymétrie intermédiaire ^a			1,3	1,3	1,27	1,27	1,0
Colonne 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Conditions d'arc			
τ (ms)	Durée minimale de coupure (ms)	$I_{crête}$ (p.u.)	Durée de l'alternance (ms)	di/dt 1 ^{er} pôle qui coupe (%)	di/dt 2 ^{ème} pôle qui coupe (%)	di/dt 3 ^{ème} pôle qui coupe (%)	$I_{crête}$ (p.u.)	Durée de l'alternance (ms)	di/dt 1 ^{er} pôle qui coupe (%)	1 ^{er} pôle qui coupe (°)	Durée d'arc correspondant à la coupure après la grande alternance avec TTR par le 1 ^{er} pôle qui coupe (°)	Durées d'arc correspondant au 2 ^{ème} pôle qui coupe après la grande alternance (°)	Durées d'arc correspondant au dernier pôle qui coupe après la grande alternance (°)	Durées d'arc correspondant au dernier pôle qui coupe après la grande alternance (°)				
45	8,5 < $t \leq$ 19,0	1,58	11,5	89	81	50	1,27	10,0	98	0	58	92	168	197				
	19,0 < $t \leq$ 36,0	1,40	10,5	96	86	54	1,19	9,5	100	0	53	87	152	186				
	36,0 < $t \leq$ 53,0	1,27	10,0	98	88	56	1,13	9,0	100	0	49	84	142	178				
	53,0 < $t \leq$ 70,0	1,19	9,5	100	89	57	1,09	9,0	100	0	47	82	135	173				
60	8,5 < $t \leq$ 18,5	1,66	12,0	83	76	46	1,32	10,0	96	0	62	95	176	202				
	18,5 < $t \leq$ 36,0	1,50	11,0	91	83	51	1,24	9,5	98	0	56	90	161	192				
	36,0 < $t \leq$ 53,0	1,38	10,5	95	86	54	1,18	9,5	99	0	53	87	151	185				
	53,0 < $t \leq$ 70,0	1,29	10,0	98	88	55	1,14	9,0	99	0	50	84	143	179				
	70,0 < $t \leq$ 87,0	1,22	9,5	99	89	56	1,11	9,0	100	0	48	82	137	175				
75	8,5 < $t \leq$ 18,5	1,72	12,5	77	72	43	1,35	10,0	95	0	64	97	181	205				
	18,5 < $t \leq$ 35,5	1,57	11,5	87	79	49	1,28	10,0	97	0	59	92	168	196				
	35,5 < $t \leq$ 52,5	1,46	11,0	92	83	52	1,22	9,5	98	0	55	89	158	189				
	52,5 < $t \leq$ 69,5	1,37	10,5	95	86	54	1,18	9,5	99	0	52	87	150	184				
	69,5 < $t \leq$ 86,5	1,30	10,0	97	87	55	1,14	9,0	100	0	50	85	144	179				
	86,5 < $t \leq$ 103,5	1,24	9,5	98	87	56	1,11	9,0	100	0	49	83	139	176				
120	8,5 < $t \leq$ 18,0	1,81	13,5	66	63	36	1,40	10,5	93	0	70	102	192	211				
	18,0 < $t \leq$ 35,0	1,71	12,5	76	70	42	1,35	10,0	95	0	65	98	181	204				
	35,0 < $t \leq$ 52,0	1,62	12,0	82	76	46	1,30	10,0	96	0	61	94	172	198				
	52,0 < $t \leq$ 69,0	1,54	11,5	87	80	49	1,26	9,5	97	0	58	92	165	194				
	69,0 < $t \leq$ 86,0	1,47	11,0	91	82	51	1,23	9,5	98	0	56	90	158	189				
	86,0 < $t \leq$ 103,0	1,41	10,5	93	83	53	1,20	9,5	99	0	54	88	153	186				

Crête de la TTR (p.u.) pour les courants symétriques										1,3		1,3	1,27	1,27	1,0
	Asymétrie assignée						Asymétrie intermédiaire ^a			Conditions d'arc					
Colonne 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
τ (ms)	Durée minimale de coupure (ms)	$I_{crête}$ (p.u.)	Durée de l'alternance (ms)	di/dt 1 ^{er} pôle qui coupe ^b (%)	di/dt 2 ^{ème} pôle qui coupe ^b (%)	di/dt 3 ^{ème} pôle qui coupe ^b (%)	$I_{crête}$ (p.u.)	Durée de l'alternance (ms)	di/dt 1 ^{er} pôle qui coupe ^b (%)	1 ^{er} pôle qui coupe (°)	Durée d'arc correspondant à la coupure après la grande alternance avec TTR par le 1 ^{er} pôle qui coupe (°)	Durées d'arc correspondant au 2 ^{ème} pôle qui coupe après la grande alternance (°)	Durées d'arc correspondant au dernier pôle qui coupe après la grande alternance (°)	Durées d'arc correspondant au dernier pôle qui coupe après la grande alternance (°)	

a L'asymétrie intermédiaire est le niveau d'asymétrie obtenu dans un essai direct triphasé dans la phase ayant l'asymétrie réduite.

b di/dt correspondant au zéro de courant (pourcentage du di/dt du courant symétrique assigné).

Tableau L.14 – Paramètres d'essais requis pour les différentes conditions asymétriques pour $k_{pp} = 1,2, f_r = 60 \text{ Hz}$

Crête de la TTR (p.u.) pour les courants symétriques											1,2	1,2	1,15	1,15	1,0
Colonne 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
τ (ms)	Durée minimale de coupure (ms)	$I_{crête}$ (p.u.)	Durée de l'alternanc e (ms)	di/dt 1 ^{er} pôle qui coupe ^b (%)	di/dt 2 ^{ème} pôle qui coupe ^b (%)	di/dt 3 ^{ème} pôle qui coupe ^b (%)	$I_{crête}$ (p.u.)	Durée de l'alternanc e (ms)	di/dt 1 ^{er} pôle qui coupe ^b (%)	1 ^{er} pôle qui coupe (°)	Durée d'arc correspond ant à la coupure après la grande alternance avec TTR par le 1 ^{er} pôle qui coupe (°)	Durées d'arc correspondan t au 2 ^{ème} pôle qui coupe après la grande alternance (°)	Durées d'arc correspondan t au 2 ^{ème} pôle qui coupe après la grande alternance (°)	Durées d'arc correspondan t au dernier pôle qui coupe après la grande alternance (°)	
120	8,5 < $t \leq$ 18,0	1,81	13,5	66	62	48	1,40	10,5	93	0	70	97	188	211	
	18,0 < $t \leq$ 35,0	1,71	12,5	76	71	56	1,35	10,0	95	0	65	93	176	204	
	35,0 < $t \leq$ 52,0	1,62	12,0	82	76	61	1,30	10,0	96	0	61	89	167	198	
	52,0 < $t \leq$ 69,0	1,54	11,5	87	81	65	1,26	9,5	97	0	58	86	159	194	
	69,0 < $t \leq$ 86,0	1,47	11,0	91	84	68	1,23	9,5	98	0	56	84	153	189	
	86,0 < $t \leq$ 103,0	1,41	10,5	93	86	70	1,20	9,5	99	0	54	82	148	186	

a L'asymétrie intermédiaire est le niveau d'asymétrie obtenu dans un essai direct triphasé dans la phase ayant l'asymétrie réduite.

b di/dt correspondant au zéro de courant (pourcentage du di/dt du courant symétrique assigné).

UTE

– 149 –

EN 62271-101:2012

Tableau L.15 – Procédure de combinaison de $k_{pp} = 1,5$ et $1,3$ pendant les séquences d'essais T10, T30, T60 et T100s(b)

Essai No.	Séquence d'essais	Conditions d'arc		TTR		Courant injecté di/dt
		Degrés électriques	Durée d'arc	Valeur de u_c basée sur k_{pp}	VATR p.u.	
1	Os	0	$t_{arc \ min}$ premier pôle qui coupe ($k_{pp} = 1,3$ et $1,5$)	1,5	1	100 %
2	Os	-18 ^a	réallumage	1,5	1	100 %
3	Od-CdOs	42	$t_{arc \ max}$ premier pôle qui coupe ($k_{pp} = 1,3$ et $1,5$)	1,5	1	100 %
4	CdOs	90	$t_{arc \ min}$ deuxième pôle qui coupe ($k_{pp} = 1,3$) dernier pôle qui coupe ($k_{pp} = 1,5$)	1,3	0,95	89 %
5	Od-CdOs	132	$t_{arc \ max}$ deuxième pôle qui coupe ($k_{pp} = 1,3$) dernier pôle qui coupe ($k_{pp} = 1,5$)	1,3	0,95	89 %
6	Od-CdOs	162	$t_{arc \ max}$ dernier pôle qui coupe ($k_{pp} = 1,3$)	1,0	0,70	57 %

^a Pour démontrer la durée d'arc minimale.

Tableau L.16 – Procédure de combinaison de $k_{pp} = 1,5$ et $1,3$ pendant la séquence d'essais T100a

Essai No.	Séquence d'essais	Condition d'asymétrie	Conditions d'arc		TTR acd		Courant injecté di/dt
			Degrés électriques	Durée d'arc	Valeur de u_c basée sur k_{pp}	VATR p.u.	
1	Os	Grande alternance intermédiaire (Tableau L.9/L.12 col. 8 et 9)	0	$t_{arc \ min}$ premier pôle qui coupe ($k_{pp}=1,5$ et $1,3$)	1,5	1	100 %
2	Os	Grande alternance intermédiaire (Tableau L.9/L.12 col. 8 et 9)	-18 ^b	Réallumage dans le 1 ^{er} pôle qui coupe pour confirmer $t_{arc \ min}$	1,5	1	100 %
3	Os	Grande alternance assignée (Tableau L.9/L.12 col. 3 et 4)	(Tableau L.10/L.13. col.12)	$t_{arc \ max}$ premier pôle qui coupe ($k_{pp}=1,3$ et $1,5$)	1,5	1	100 %
4	Os	Grande alternance assignée (Tableau L.9/L.12 col. 3 et 4)	(Tableau L.9/L.12. col.13)	$t_{arc \ med}$ deuxième pôle qui coupe ($k_{pp}=1,3$) dernier pôle qui coupe ($k_{pp}=1,5$)	1,3	0,95	89 %
5	Os	Grande alternance assignée (Tableau L.9/L.12 col. 3 et 4)	(Tableau L.10/L.13. col.14)	$t_{arc \ max}$ deuxième pôle qui coupe ($k_{pp}=1,3$)	1,3	0,95	89 %
6	Os	Grande alternance assignée (Tableau L.9/L.12 col. 3 et 4)	(Tableau L.10/L.13. col.15)	$t_{arc \ max}$ dernier pôle qui coupe ($k_{pp}=1,3$ et $1,5$)	1,0	0,70	87 %

a Les valeurs données ici se rapportent à des conditions symétriques. Pour l'essai 3, voir les tableaux de l'Annexe I pour les valeurs corrigées de la TTR.

b Pour démontrer la durée d'arc minimale.

c La réduction de la TTR peut être appliquée à l'aide de l'Annexe P de la CEI 62271-100:2008 pour les essais 1 et 2.

d La réduction simplifiée de la TTR pour les essais 4, 5 et 6 peut être réalisée en utilisant les facteurs VATR et u_c de ce tableau dans les tableaux de l'Annexe I.



Annexe M (normative)

Tolérances sur les paramètres d'essais lors des essais de type

Au cours des essais de type, les tolérances suivantes peuvent être normalement distinguées:

- tolérances sur les paramètres d'essais qui déterminent directement les contraintes appliquées à l'objet d'essai;
- tolérances sur les caractéristiques et sur le comportement de l'objet d'essai avant et après un essai;
- tolérances sur les conditions d'essais;
- tolérances sur les paramètres des dispositifs de mesure à utiliser.

Dans le Tableau M.1, seules les tolérances sur les paramètres d'essais ont été considérées.

Une tolérance est définie comme étant l'intervalle de la valeur d'essai spécifiée dans la présente norme à l'intérieur duquel il convient que la valeur mesurée en essai se trouve pour que l'essai soit valable. Dans certains cas, l'essai peut rester valable même si la valeur mesurée est hors tolérance.

Tout écart dû à l'imprécision de la mesure sur la valeur mesurée durant l'essai par rapport à la valeur réelle n'est pas pris en considération.

Les règles de base pour l'application des tolérances sur les paramètres d'essais durant les essais de type sont les suivantes:

- a) les stations d'essais doivent tenter, dans la mesure du possible, d'obtenir les valeurs d'essais spécifiées;
- b) les tolérances spécifiées sur les paramètres d'essais doivent être respectées par les stations d'essais. Il est permis d'appliquer au disjoncteur des contraintes plus élevées que celles données par les tolérances spécifiées seulement avec l'accord du constructeur. Des contraintes moins élevées rendent l'essai invalide;
- c) lorsque cette norme ne donne aucune tolérance sur un paramètre d'essais, les tolérances de la CEI 62271-100 s'appliquent. La limite supérieure des contraintes est sujette à l'accord du constructeur;
- d) si, pour n'importe quel paramètre d'essais, seulement une limite est donnée, alors l'autre limite doit être considérée comme étant le plus près possible de la valeur spécifiée.

Tableau M.1 – Tolérances sur les paramètres d'essais lors des essais de type (1 de 2)

Identification de l'essai	Paramètre d'essais	Valeur d'essai spécifiée	Tolérances d'essais/ limites des valeurs d'essais
Séquence d'essais de court-circuit fondamental	di/dt au zéro de courant pour T10 ^a	10 % de di/dt au zéro de courant du pouvoir de coupure assigné en court-circuit	$\pm 20 \%$
	di/dt au zéro de courant pour T30 ^a	30 % de di/dt au zéro de courant du pouvoir de coupure assigné en court-circuit	$\pm 20 \%$
	di/dt au zéro de courant pour T60 ^a	60 % de di/dt au zéro de courant du pouvoir de coupure assigné en court-circuit	$\pm 10 \%$
	di/dt au zéro de courant en T100s et T100a ^a	di/dt au zéro de courant du pouvoir de coupure assigné en court-circuit	+ 5 % 0
Essais au courant critique	di/dt au zéro de courant ^a	di/dt au zéro de courant du courant défini en 6.107.2 de la CEI 62271-100:2008	$\pm 20 \%$
Essais de défaut monophasé ou de double défaut à la terre	di/dt au zéro de courant ^a	di/dt au zéro de courant du courant défini à la Figure 45 de la CEI 62271-100:2008	+ 5 % 0
Essais de défaut proche en ligne	di/dt au zéro de courant pour L_{90} ^a	di/dt au zéro de courant du pouvoir de coupure assigné en court-circuit	90 % à 92 %
	Vitesse d'accroissement de la tension de rétablissement côté source pour L_{90}	90 % de la vitesse de montée donnée aux Tableaux 1 à 5 de la CEI 62271-100:2008	+ 5 % 0
	di/dt au zéro de courant pour L_{75} ^a	di/dt au zéro de courant du pouvoir de coupure assigné en court-circuit	71 % à 79 %
	Vitesse de montée de la tension de rétablissement côté source pour L_{75}	75 % de la vitesse de montée donnée aux Tableaux 1 à 5 de la CEI 62271-100:2008	+ 5 % 0
	di/dt au zéro de courant pour L_{60} ^a	di/dt au zéro de courant du pouvoir de coupure assigné en court-circuit	55 % à 65 %
	Vitesse de montée de la tension de rétablissement côté source pour L_{60}	60 % de la vitesse de montée donnée aux Tableaux 1 à 5 de la CEI 62271-100:2008	+ 5 % 0

Tableau M.1 (2 de 2)

Identification de l'essai	Paramètre d'essais	Valeur d'essai spécifiée	Tolérances d'essais/ limites des valeurs d'essais
Essais d'établissement et de coupure en discordance de phases	di/dt au zéro de courant pour OP1 ^a	di/dt au zéro de courant, à 30 % du pouvoir de coupure assigné en discordance de phases	$\pm 20 \%$
	di/dt au zéro de courant pour OP2 ^a	di/dt au zéro de courant du pouvoir de coupure assigné en discordance de phases	+10 % 0
Essais d'établissement et de coupure en courant capacitif	Fréquence du courant de coupure	Fréquence assignée	45 Hz – 65 Hz
^a Ces tolérances s'appliquent uniquement au circuit d'essai à injection de courant.			

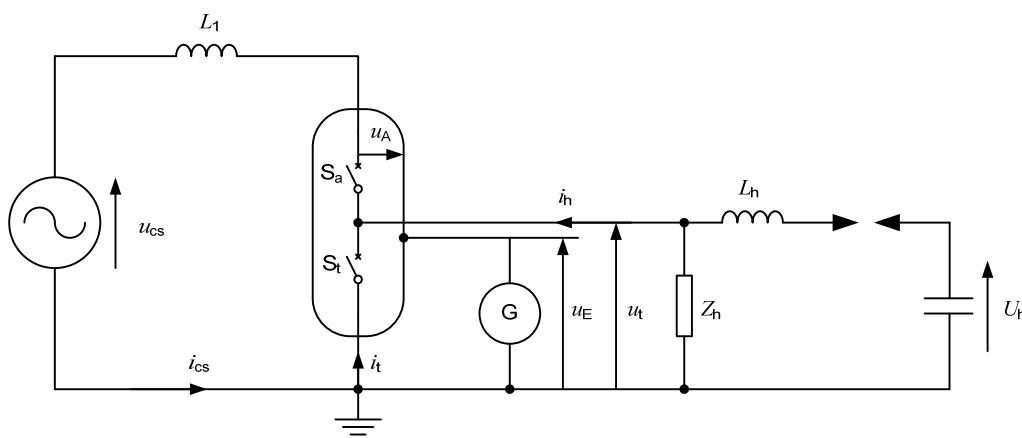
Annexe N
(informative)

**Circuits d'essai types pour les disjoncteurs
sous enveloppe métallique et à cuve mise à la terre**

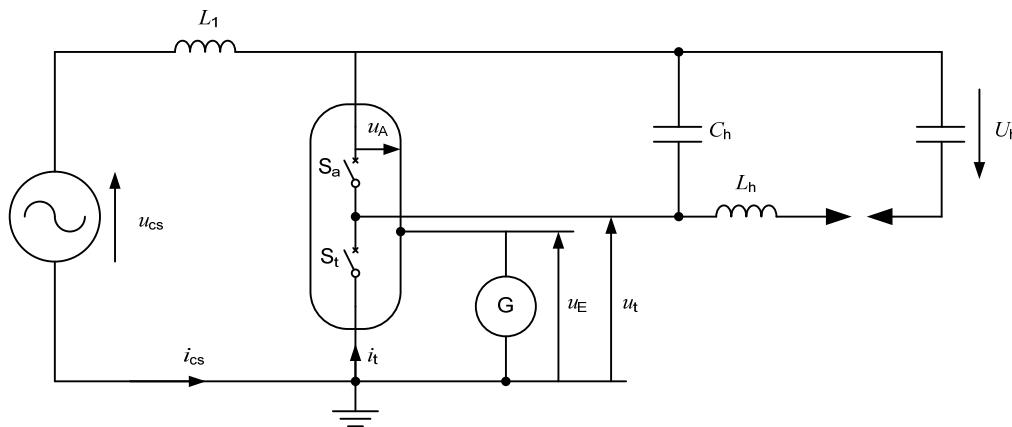
La présente annexe décrit quelques circuits d'essais synthétiques typiques, pour disjoncteurs sous enveloppe métallique et à cuve mise à la terre, applicables aux essais de type d'établissement et de coupure de courants de court-circuit et de coupure de courants de charge. D'autres méthodes ne sont pas à écarter, à condition qu'elles apportent les contraintes correctes aux bornes de phase, entre les phases et entre les bornes et l'enveloppe du disjoncteur.

De nombreux circuits sont possibles avec des caractéristiques différentes. Quelques exemples sont donnés dans les Figures N.1 à N.9 comme suit:

- essais de défauts aux bornes sur une ou plusieurs unités de disjoncteur sous enveloppe métallique ou à cuve mise à la terre (Figures N.1 à N.4);
- essais d'établissement et de coupure de courants capacitifs (Figures N.5 à N.7);
- essais d'établissement et de coupure en discordance de phase (Figure N.8);
- essais de défauts aux bornes du pôle complet avec une tension appliquée aux bornes et à l'enveloppe métallique (Figure N.9).



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



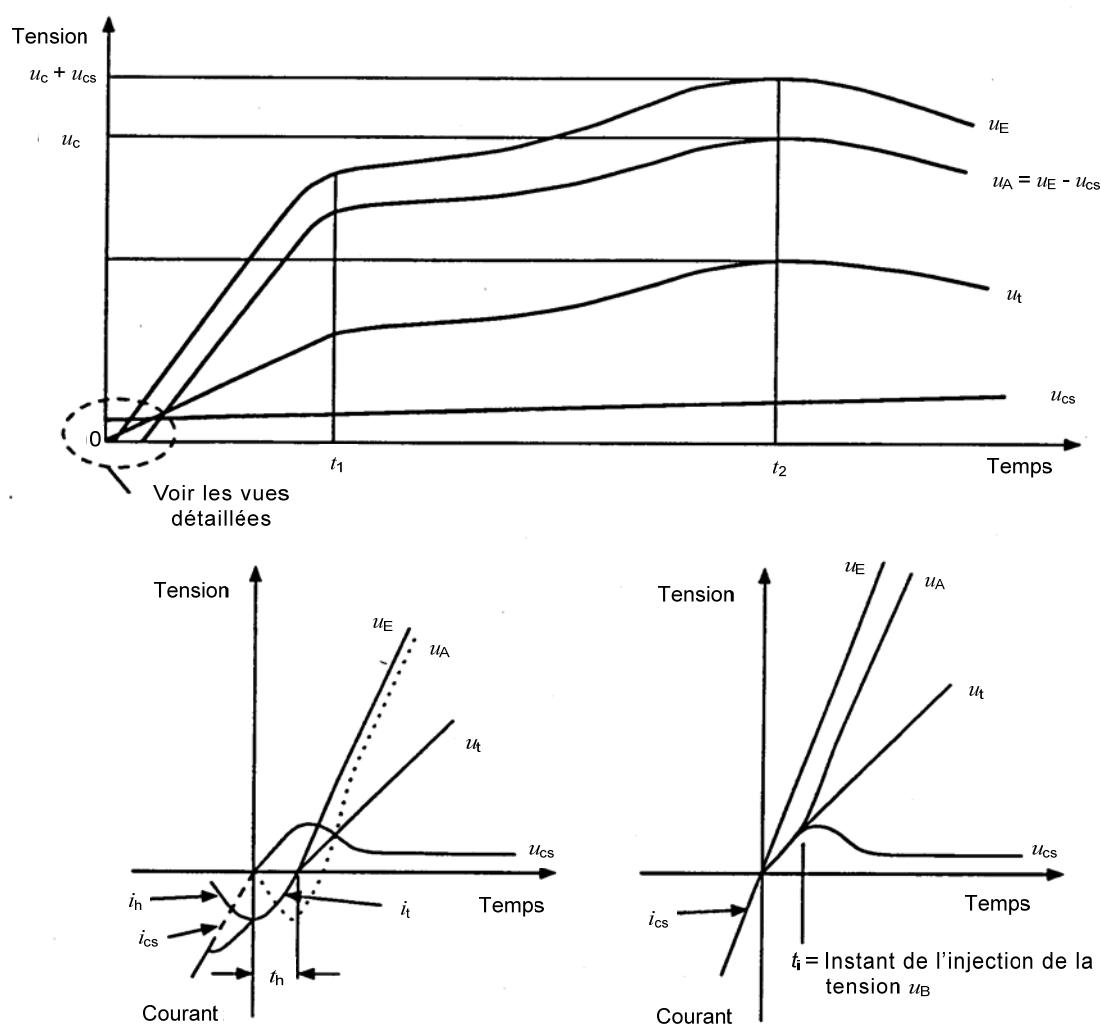
b – Exemple type de circuit à injection avec circuit de tension en parallèle avec l'unité (les unités) utilisée(s) comme disjoncteur auxiliaire

Légende

S_a	unité(s) du disjoncteur utilisée(s) comme disjoncteur auxiliaire
S_t	unité(s) du disjoncteur utilisée(s) comme disjoncteur d'essai
G	source d'alimentation de u_E , appliquée à l'enveloppe
u_{cs}	tension du circuit de courant
i_{cs}	courant du circuit de courant
i_h	courant injecté
i_t	courant à travers S_t
L_1	inductance du circuit de courant
L_h	inductance du circuit de tension
Z_h	impédance d'onde équivalente du circuit de tension
C_h	capacité du circuit de tension qui règle la plus grande partie de la TTR avec L_h

Pour une explication de u_t , u_E et u_A voir Figure N.2

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



Exemples types d'ondes de tension dans un circuit d'injection de courant, conformément à la Figure N.1a, avec le circuit de tension en parallèle avec l'unité (les unités) comme le disjoncteur d'essai

Exemples types d'ondes de tension dans un circuit d'injection de courant, conformément à la Figure N.1b, avec le circuit de tension en parallèle avec l'unité (les unités) comme le disjoncteur auxiliaire

Légende

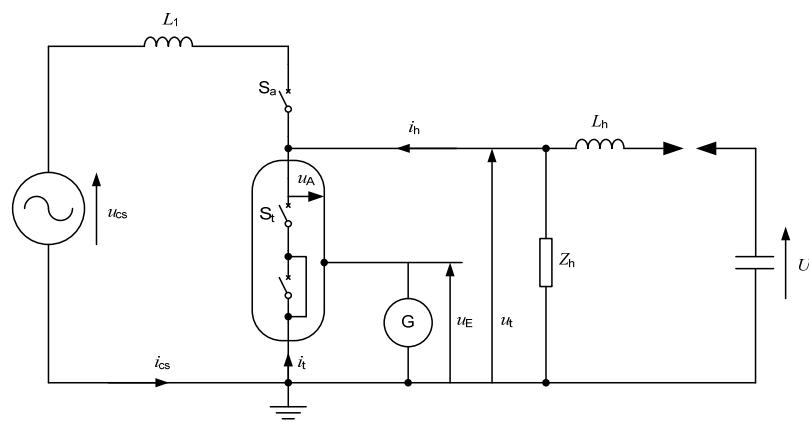
u_E	tension appliquée à l'enveloppe isolée
u_t	tension appliquée à l'intervalle de contact de l'unité (des unités) soumise(s) à l'essai (tension résultante entre la borne non mise à la terre de l'unité soumise à l'essai et l'enveloppe; on suppose une répartition linéaire de la tension entre les unités).
u_{CS}	tension du circuit de courant
u_A	tension résultante entre une borne et l'enveloppe
u_C	crête de la TTR

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

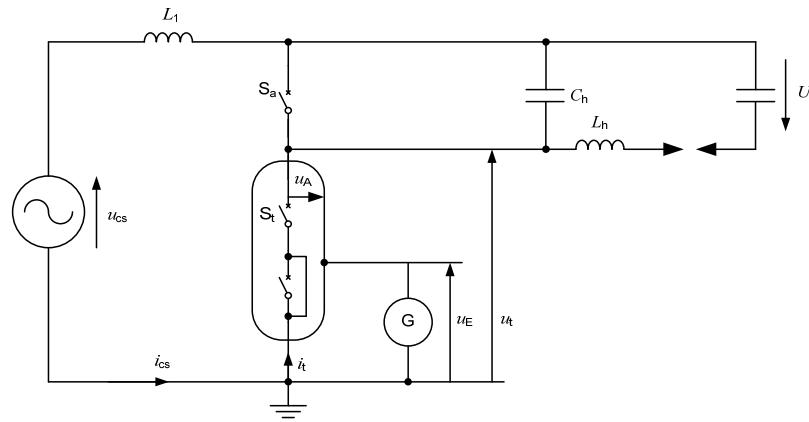
UTE

– 157 –

EN 62271-101:2013



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



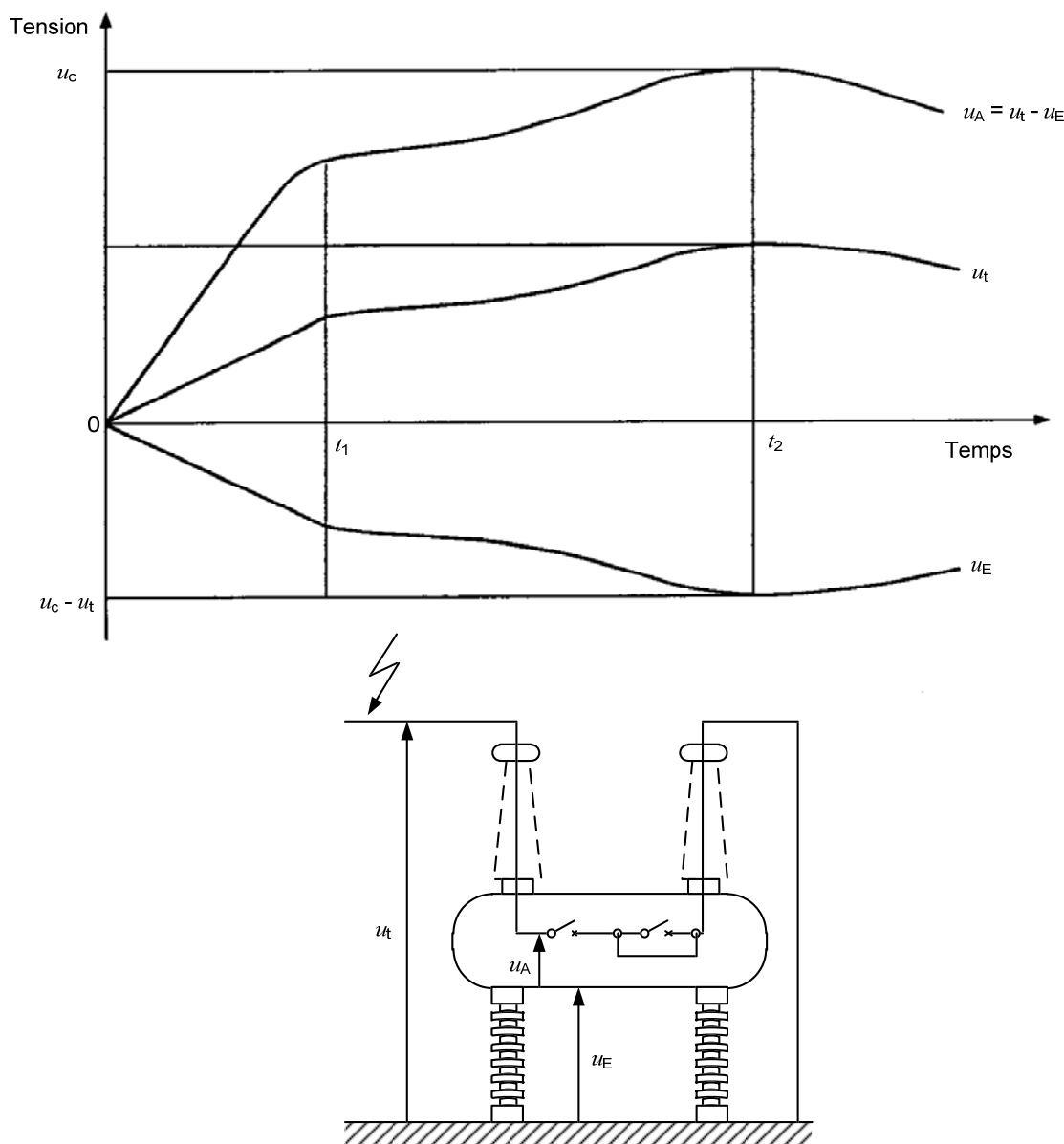
b – Exemple type de circuit à injection avec circuit de tension en parallèle avec le disjoncteur auxiliaire

Légende

S_a	disjoncteur auxiliaire
S_t	unité(s) du disjoncteur en essai
G	source d'alimentation de u_E , appliquée à l'enveloppe
u_A	tension résultante entre une borne et l'enveloppe
u_{cs}	tension du circuit de courant
i_{cs}	courant du circuit de courant
i_h	courant injecté
i_t	courant à travers S_t
L_h	inductance du circuit de tension
Z_h	impédance d'onde équivalente du circuit de tension
C_h	capacité du circuit de tension qui règle la plus grande partie de la TTR avec L_h

Pour une explication de u_t , u_E et u_A voir Figure N.4

**Figure N.3 – Circuit d'essai synthétique pour essais par éléments séparés
 (si l'essai par éléments séparés est autorisé par le 6.102.4.2
 de la CEI 62271-100:2008)**



Légende

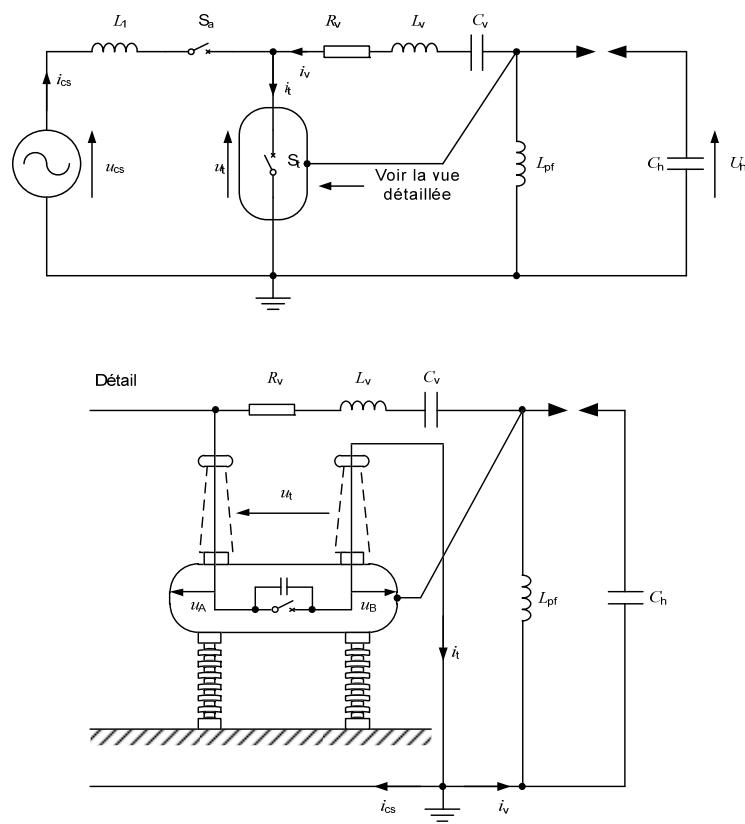
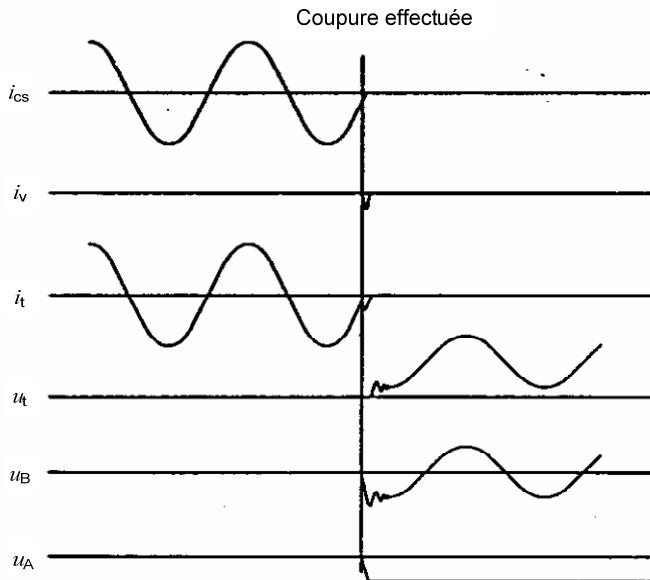
- u_E tension appliquée à l'enveloppe isolée
- u_t tension appliquée à l'intervalle de contact de l'unité (des unités) soumise(s) à l'essai
- u_A tension résultante entre une borne et l'enveloppe
- u_c crête de la TTR

Figure N.4 – Essais d'un demi-pôle d'un disjoncteur dans le circuit d'essai de la Figure N.3 – Exemple des TTR requises devant être appliquées entre les bornes de l'unité (des unités) soumise(s) à l'essai et entre les parties sous tension et l'enveloppe isolée

UTE

– 159 –

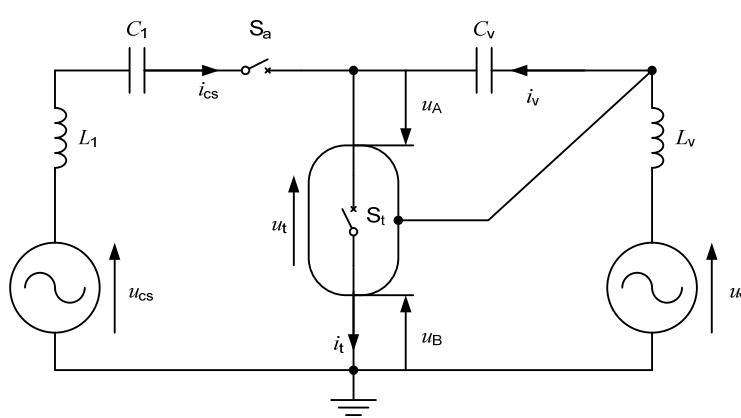
EN 62271-101:2013

**a – Montage général du circuit d'essai****Légende**

S_a	disjoncteurs auxiliaires
S_t	disjoncteur en essai
U_h	tension de charge du circuit de tension
u_{cs}	tension du circuit de courant
i_{cs}	courant du circuit de courant
i_v	courant injecté
i_t	courant d'essai
u_A	tension résultante entre les bornes alimentées du disjoncteur et l'enveloppe
u_B	tension résultante entre la borne de terre du disjoncteur et l'enveloppe
u_t	tension d'essai

b – Formes d'onde de courant et de tension qualitatives

Figure N.5 – Circuit pour essais capacitifs avec injection de courant avec enveloppe du disjoncteur sous tension

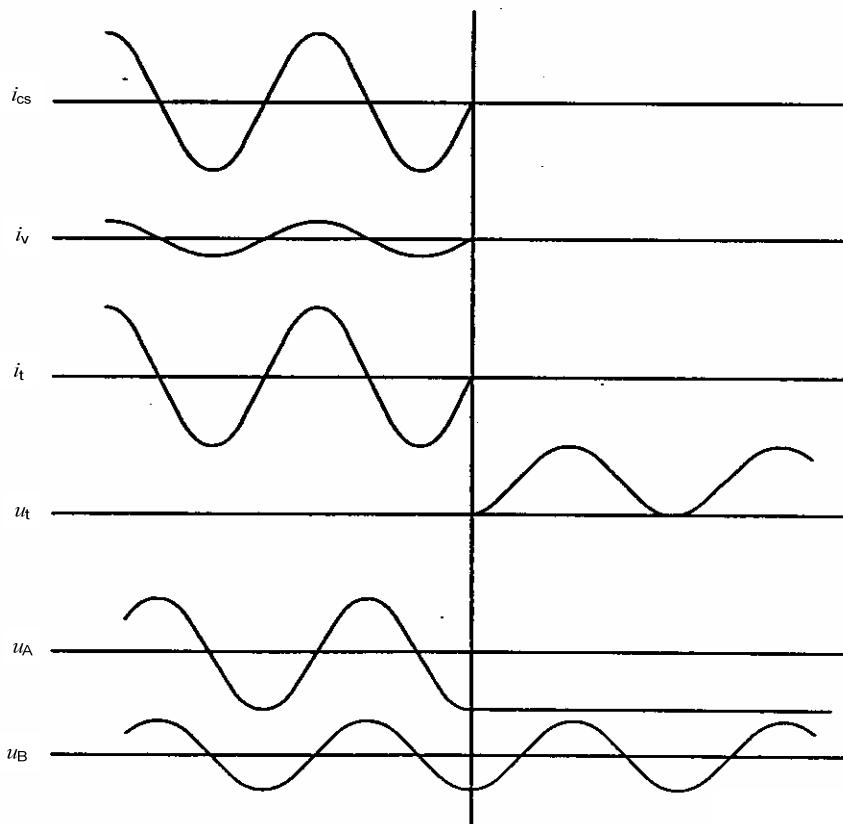


Légende

S_a	disjoncteurs auxiliaires
S_t	disjoncteur en essai
u_v	tension du circuit de tension
u_{cs}	tension du circuit de courant
i_{cs}	courant du circuit de courant
i_v	courant du circuit de tension
i_t	courant d'essai
u_A	tension résultante entre la borne alimentée du disjoncteur et l'enveloppe
u_B	tension résultante entre la borne de terre du disjoncteur et l'enveloppe
u_t	tension d'essai

a – Montage général du circuit d'essai

Coupure effectuée



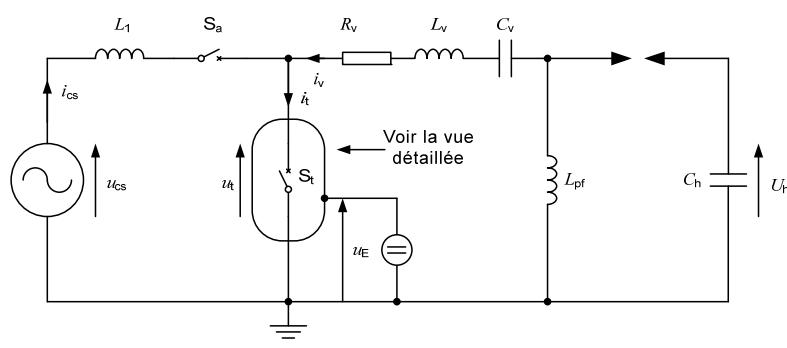
b – Formes d'ondes de courant et de tension qualitatives

Figure N.6 – Circuit synthétique pour essais capacitifs utilisant deux sources à fréquence industrielle et avec l'enveloppe du disjoncteur sous tension

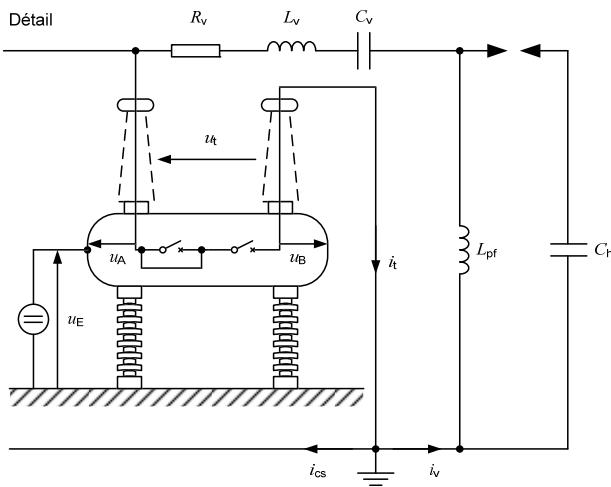
UTE

– 161 –

EN 62271-101:2013

**Légende**

S_a	disjoncteurs auxiliaires
S_t	disjoncteur en essai
u_E	tension c.c. appliquée à l'enveloppe isolée
u_{cs}	tension du circuit de courant
i_{cs}	courant du circuit de courant
i_v	courant injecté
i_t	courant d'essai
u_t	tension d'essai



$$u_t = \frac{2 \times U_r \times K \times k_c}{\sqrt{3}}$$

$$u_E = [(2 \times k_c \times K) - k_L] \times U_r \sqrt{\frac{2}{3}}$$

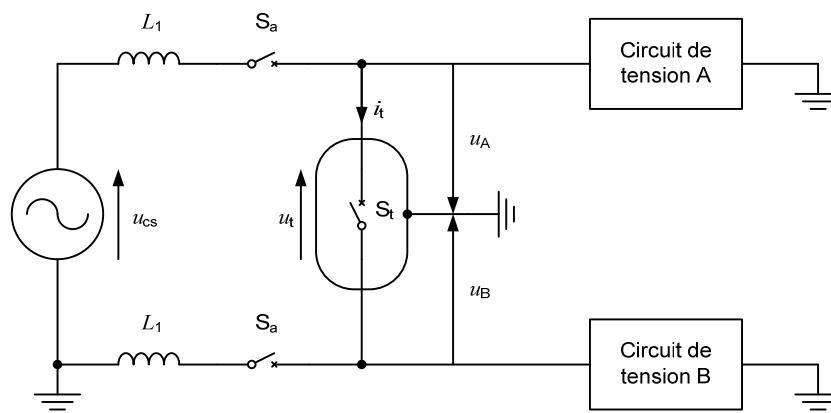
U_r tension assignée du disjoncteur

k_c facteur multiplicatif des essais d'établissement et de coupure du courant capacitif monophasé

K facteur de distribution de la tension

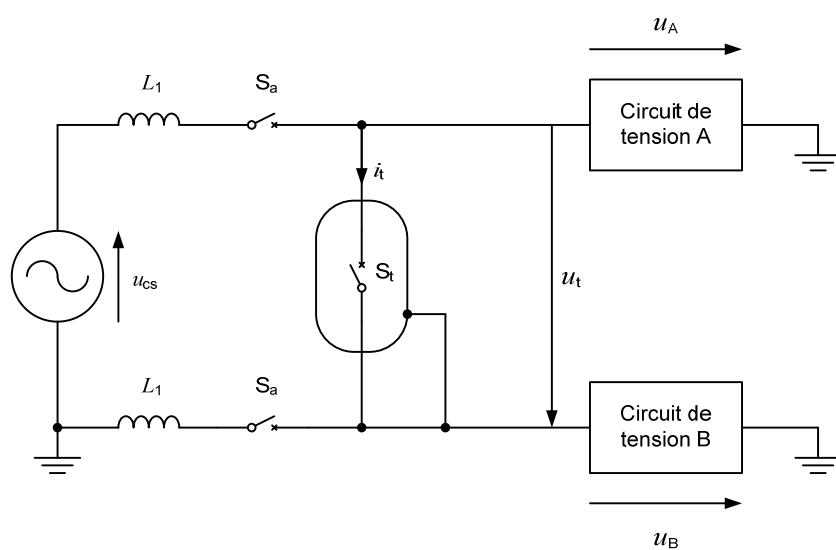
k_L facteur de charge capacitif basé sur le système de référence triphasé (voir la CEI 62271-100:2008, O.3.3)

Figure N.7 – Circuit synthétique pour essais capacitifs avec injection de courant – Exemple d'essais par éléments séparés d'un demi-pôle d'un disjoncteur ayant deux éléments par pôle – Enveloppe alimentée par une source de tension c.c.

**Légende**

S_a	unité(s) du disjoncteur utilisée(s) comme disjoncteur auxiliaire
S_t	unité(s) du disjoncteur utilisée(s) comme disjoncteur d'essai
u_A	tension appliquée à l'une des bornes du disjoncteur soumis à l'essai
u_B	tension appliquée à l'autre borne du disjoncteur soumis à l'essai
u_t	tension d'essai
u_{cs}	tension du circuit de courant
i_t	courant à travers S_t
L_1	inductances du circuit de courant

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

**Légende**

S_a	disjoncteurs auxiliaires
S_t	disjoncteur en essai
u_A	tension appliquée à l'une des bornes du disjoncteur soumis à l'essai
u_B	tension appliquée à l'autre borne et à l'enveloppe du disjoncteur soumis à l'essai
u_t	tension d'essai
u_{CS}	tension du circuit de courant
i_t	courant à travers S_t
L_1	inductances du circuit de courant

Figure N.9 – Essai de pôle complet avec une tension appliquée aux bornes et à l'enveloppe métallique

Annexe O (informative)

Combinaison des méthodes par injection de courant et par injection de tension

O.1 Méthodes par injection de courant

Les informations relatives aux méthodes par injection de courant se trouvent en 4.2.1 et à l'Annexe B de la présente norme.

O.2 Méthodes par injection de tension

Les informations relatives aux méthodes par injection de tension se trouvent en 4.2.2 et à l'Annexe C de la présente norme.

O.3 Circuits combinés d'injection de courant et de tension

O.3.1 Généralités

Dans un circuit d'essais synthétiques utilisant la combinaison des méthodes par injection de courant et par injection de tension, la partie initiale de la tension transitoire de rétablissement est générée par le circuit d'injection de courant.

La seconde partie de la tension transitoire de rétablissement est générée par un circuit d'injection de tension (à un ou plusieurs étages).

Deux exemples de circuits d'essais synthétiques sont pris en compte dans la présente Annexe, combinant une injection de courant et une injection de tension (voir O.3.2 et O.3.3).

Si un quelconque dispositif ayant un pouvoir de coupure coupe le courant dans le disjoncteur en essai en même temps que le disjoncteur en essai, la méthode n'est pas considérée comme une méthode par injection de courant conforme à 4.2.1 et n'est pas valide pour soumettre à l'essai le comportement thermique du disjoncteur en essai.

O.3.2 Circuit combiné d'injection de courant et de tension avec application de la tension d'essai complète par rapport à la terre

Ce circuit d'essais synthétiques avec injection combinée de courant et de tension applique la tension d'essai complète à une borne du disjoncteur en essai tandis que l'autre borne est mise à la terre (Figure O.1).

O.3.3 Circuit combiné d'injection de courant et de tension avec application séparée de la tension d'essai

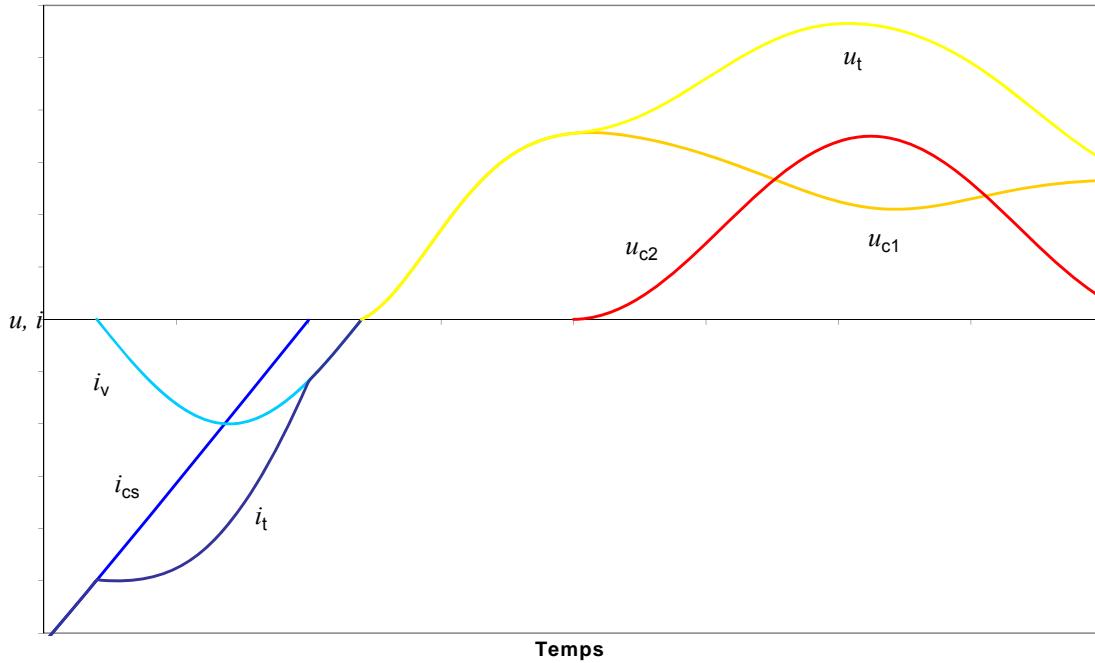
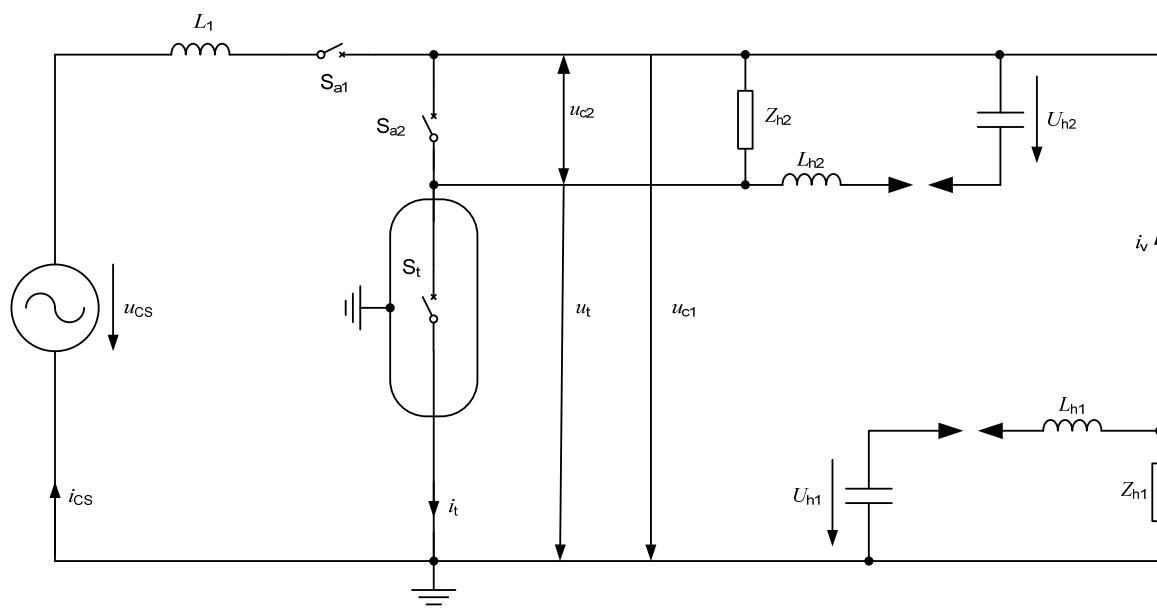
Ce circuit d'essais synthétiques applique le circuit d'injection de courant à une borne et le circuit d'injection de tension à la seconde borne (et à l'enveloppe le cas échéant) du disjoncteur en essai (Figure O.2).

En cas de cuve mise à la terre ou de disjoncteur isolé au gaz, ce circuit d'essai peut être utilisé pour une séquence d'essai en discordance de phases, avec la cuve à la terre.

UTE

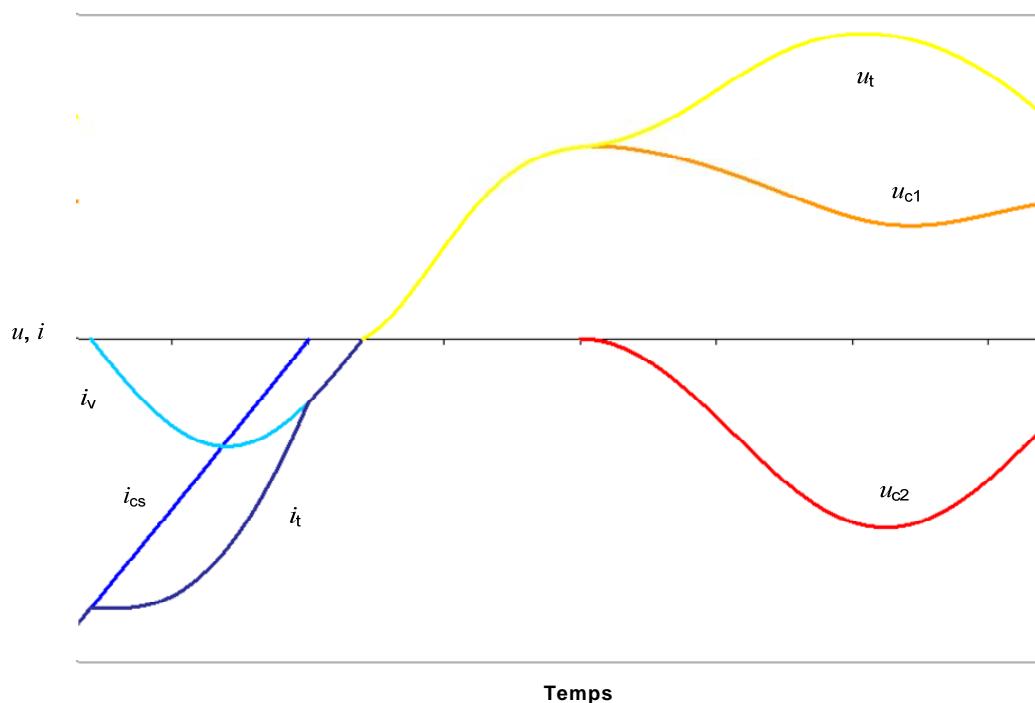
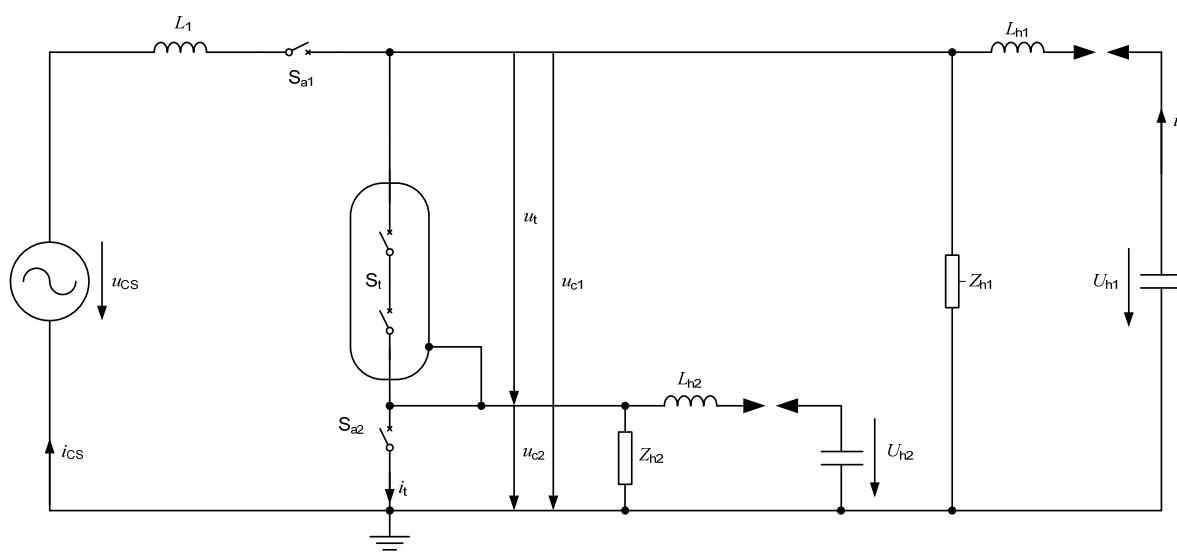
– 165 –

EN 62271-101:2013

**Légende**

u_{cs}	tension du circuit de courant	U_{h1}, U_{h2}	tension de charge des circuits de tension
L_1	inductance du circuit de courant	i_{cs}	courant du circuit de courant
S_{a1}, S_{a2}	disjoncteurs auxiliaires	i_v	courant injecté
S_t	disjoncteur en essai	i_t	courant traversant le disjoncteur en essai
Z_{h1}, Z_{h2}	impédance d'onde équivalente des circuits de tension	u_{c1}, u_{c2}	tension des circuits de tension
L_{h1}, L_{h2}	inductance du circuit de tension	u_t	tension aux bornes du disjoncteur en essai

Figure O.1 – Exemple de circuit combiné d'injection de courant et de tension avec application de la tension d'essai complète par rapport à la terre

**Légende**

u_{cs}	tension du circuit de courant	U_{h1}, U_{h2}	tension de charge des circuits de tension
L_1	inductance du circuit de courant	i_{cs}	courant du circuit de courant
S_{a1}, S_{a2}	disjoncteurs auxiliaires	i_v	courant injecté
S_t	disjoncteur en essai	i_t	courant traversant le disjoncteur en essai
Z_{h1}, Z_{h2}	impédance d'onde équivalente des circuits de tension	u_{c1}, u_{c2}	tension des circuits de tension
L_{h1}, L_{h2}	inductance du circuit de tension	u_t	tension aux bornes du disjoncteur en essai.

Figure O.2 – Exemple de circuit combiné d'injection de courant et de tension avec application séparée de la tension d'essai

Annexe ZA
(normative)

**Références normatives à d'autres publications internationales
avec les publications européennes correspondantes**

Les documents suivants, ou certains seulement, sont cités dans le présent document à titre de références normatives et sont indispensables à l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

NOTE Dans le cas où une publication internationale est modifiée par des modifications communes, indiqué par (mod), l'EN / le HD correspondant(e) s'applique.

<u>Publication</u>	<u>Année</u>	<u>Titre</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Année</u>
CEI 62271-100 + A1	2008 2012	Appareillage à haute tension - Partie 100: Disjoncteurs à courant alternatif	EN 62271-100 + A1	2009 2012

Bibliographie

CEI 60050-441:1984, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 441: Appareillage et fusibles*

CEI 62271-306, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 306: Guide to IEC 62271-100, IEC 62271-1 and other IEC standards related to alternating current circuit-breakers..¹* (disponible en anglais seulement)

¹ To be published.