

	DIN EN 62271-101 (VDE 0671-101)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
ICS 29.130.10 Ersatz für DIN EN 60427 (VDE 0670-108):2001-06 Siehe jedoch Beginn der Gültigkeit Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen – Teil 101: Synthetische Prüfung (IEC 62271-101:2006); Deutsche Fassung EN 62271-101:2006 High-voltage switchgear and controlgear – Part 101: Synthetic testing (IEC 62271-101:2006); German version EN 62271-101:2006 Appareillage à haute tension – Partie 101: Essais synthétiques (CEI 62271-101:2006); Version allemande EN 62271-101:2006 Gesamtumfang 149 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2006-07-01 angenommene EN 62271-101 gilt als DIN-Norm ab 2007-04-01.

Daneben darf **DIN EN 60427 (VDE 0670-108):2001-06** noch bis 2009-07-01 angewendet werden.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 62271-101 (VDE 0671-101):2002-10.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium UK 432.1 „Hochspannungs-Schaltgeräte“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (<http://www.dke.de>) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 17A „High-voltage switchgear and controlgear“ erarbeitet.

Die vorliegende Norm sollte in Verbindung mit IEC 62271-100 gelesen werden. Um die Bezeichnung von einander entsprechenden Anforderungen zu vereinfachen, wird im Abschnitt 6 die gleiche Benummerung wie in IEC 62271-100 verwendet. Es werden jedoch nicht alle Abschnitte der IEC 62271-100 erwähnt, lediglich diejenigen, für die synthetische Prüfungen Änderungen erfordern.

Die nachstehenden Normen gehören zur Normenreihe IEC 62271, die den Haupttitel „Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen“ trägt:

- Teil 100: Hochspannungs-Wechselstrom-Leistungsschalter
- Teil 101: Synthetische Prüfung
- Teil 102: Wechselstrom-Trennschalter und -Erdungsschalter
- Teil 104: Wechselstrom-Lastschalter für Bemessungsspannungen ab 52 kV und darüber
- Teil 105: Hochspannungs-Lastschalter-Sicherungs-Kombinationen
- Teil 107: Wechselstrom-Leistungsumschalter mit Sicherungen für Bemessungsspannungen von 1 kV bis einschließlich 52 kV
- Teil 108: Hochspannungs-Wechselstrom-Leistungsschalter mit Trennfunktion für Bemessungsspannungen von 72,5 kV und darüber
- Teil 109: Wechselstrom-Reihenkapazitäts-Umgehungsschalter
- Teil 110: Schalten induktiver Lasten

Ein Auflistung der anderen Teile von IEC 62271 ist auf der Website der IEC <http://www.iec.ch> zu finden. Weitere Informationen stehen auf <http://tc17.iec.ch> zur Verfügung.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ mit den Daten zu dieser Publikation angegebenen Datum (maintenance result date) unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 60427 (VDE 0670-108):2001-06** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Berücksichtigung der Änderungen der Norm VDE 0671 Teil 100 gegenüber den Vorgängernormen VDE 0670 Teile 101 bis 107.
- b) Neuer Abschnitt 4.3 über dreiphasige synthetische Prüfungen.
- c) Die Abschnitte 6.102.10, 6.106.4 bzw. 6.111 wurden ergänzt bzw. überarbeitet.

- d) Im Abschnitt 6.109 über den Schaltfall des Abstandskurzschlusses wird der Einsatz von Zusatzkapazitäten berücksichtigt.
- e) In die Tabelle 3 wurden die Schaltfälle SP, DEF, SLF, OP1 und OP2 neu aufgenommen.
- f) Die Tabellen II bis V der alten Norm mit den Parametern für die Einschwingspannung bei Prüfungen mit unsymmetrischem Strom wurden gestrichen.
- g) Der Anhang G zum Schalten kapazitiver Ströme wurde überarbeitet.
- h) Der Anhang I über die Verringerung der Stromsteilheit di/dt und der Einschwingspannung TRV für die Prüfschaltfolge T100a wurde hinzugefügt.
- i) Neuer Anhang J über dreiphasige synthetische Prüfkreise.
- j) Neuer Anhang K über Prüfverfahren mit einem dreiphasigen Hochstromkreis und einem einzigen Hochspannungskreis.
- k) Neuer Anhang L über Aufteilung der Prüfschaltfolgen in Prüfreiheiten unter Berücksichtigung der dem Pol gemäß der Löschofolge zugeordneten Einschwingspannung.
- l) Neuer Anhang M über Grenzübergänge von Prüfgrößen für Typprüfungen.
- m) Neuer Abschnitt mit Literaturhinweisen angefügt.

Frühere Ausgaben

DIN 57670-108 (VDE 0670-108):1979-05

DIN EN 60427/A2 (VDE 0670-108/A1):1998-01

DIN EN 60427 (VDE 0670-108):1996-03, 2001-06

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnichtsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 61633:1995	–	–
EN 62271-100:2001	IEC 62271-100:2001	DIN EN 62271-100 (VDE 0671-100):2004-04	VDE 0671-100
–	IEC62271-308:2002	–	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 62271-100 (VDE 0671-100):2004-04, *Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen – Teil 100: Hochspannungs-Wechselstrom-Leistungsschalter (IEC 62271-100:2001 + A1:2002 + Corrigendum 1:2002 + Corrigendum 2:2003); Deutsche Fassung EN 62271-100:2001 + A1:2002*

Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen –
Teil 101: Synthetische Prüfung
(IEC 62271-101:2006)

High-voltage switchgear and controlgear –
Part 101: Synthetic testing
(IEC 62271-101:2006)

Appareillage à haute tension –
Partie 101: Essais synthétiques
(CEI 62271-101:2006)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2006-07-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

© 2006 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 62271-101:2006 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 17A/753/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 62271-101, ausgearbeitet von dem SC 17A „High-voltage switchgear and controlgear“ des IEC/TC 17 „Switchgear and controlgear“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2006-07-01 als EN 62271-101 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 60427:2000.

Diese Norm ist in Verbindung mit EN 62271-100:2001 anzuwenden. Die Benummerung der Unterabschnitte in Abschnitt 6 entspricht der in EN 62271-100. Es werden jedoch nicht alle Unterabschnitte der EN 62271-100, sondern nur diejenigen aufgeführt, die Änderungen für synthetische Prüfungen enthalten.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2007-04-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2009-07-01

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 62271-101:2006 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
1 Anwendungsbereich.....	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Synthetische Prüftechniken und Verfahren für Kurzschluss-Ausschaltprüfungen	10
4.1 Grundlagen und allgemeine Anforderungen für synthetische Ausschaltprüfverfahren.....	10
4.2 Synthetische Prüfkreise und hierauf bezogene wesentliche Anforderungen für Ausschaltprüfungen.....	13
4.3 Dreiphasige synthetische Prüfverfahren	15
5 Synthetische Prüftechniken und Verfahren für Kurzschluss-Einschaltprüfungen	17
5.1 Grundlagen und allgemeine Anforderungen für synthetische Einschaltprüfverfahren.....	17
5.2 Synthetischer Prüfkreis und hierauf bezogene wesentliche Anforderungen für Einschaltprüfungen.....	18
6 Besondere Anforderungen für die Durchführung synthetischer Einschalt- und Ausschaltprüfungen im Hinblick auf die Anforderungen in IEC 62271-100, 6.102 bis 6.111	19
6.106 Standard-Kurzschlussprüfschaltfolgen.....	22
6.108 Einphasige Prüfungen und Prüfungen mit Doppelerdschluss.....	28
6.109 Abstandskurzschlussprüfungen	28
6.110 Einschalt- und Ausschaltprüfungen unter Asynchronbedingungen.....	29
6.111 Prüfungen zum Schalten kapazitiver Ströme	31
Anhang A (informativ) Stromverzerrung	40
Anhang B (informativ) Stromüberlagerungsverfahren	57
Anhang C (informativ) Spannungsüberlagerungsverfahren	62
Anhang D (informativ) Prüfkreis mit Zweifach-Überlagerung (Transformator- oder Skeats-Kreis).....	65
Anhang E (normativ) Angaben für synthetische Prüfungen und Aufzeichnungen der Ergebnisse	68
Anhang F (informativ) Besondere Prüfverfahren für Leistungsschalter mit Parallel-Ausschaltwiderständen.....	69
Anhang G (informativ) Synthetische Verfahren zum Schalten kapazitiver Ströme	72
Anhang H (informativ) Fortzündverfahren zur Verlängerung der Lichtbogenzeit.....	84
Anhang I (normativ) Verringerung der Stromsteilheit di/dt und der Einschwingspannung TRV für die Prüfschaltfolge T100a.....	88
Anhang J (informativ) Dreiphasige synthetische Prüfkreise	103
Anhang K (normativ) Prüfverfahren mit dreiphasigem Hochstromkreis und einem Hochspannungskreis	111
Anhang L (normativ) Aufteilung der Prüfschaltfolgen in Prüfreiheiten mit der Einschwingspannung je Pol, die der Löschofolge entspricht	130
Anhang M (normativ) Grenzwerte von Prüfgrößen für Typprüfungen.....	141
Literaturhinweise.....	144
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	145

Bild 1 – Ausschaltvorgang; grundlegende Zeitintervalle	32
Bild 2 – Beispiel des Verlaufs der Wiederkehrspannung	33
Bild 3 – Ersatz-Wellenwiderstand des Hochspannungskreises der Prüfschaltung mit Stromüberlagerung	34
Bild 4 – Einschaltvorgang; grundlegende Zeitintervalle	35
Bild 5 – Typischer synthetischer Einschaltkreis für einphasige Prüfungen	36
Bild 6 – Typischer synthetischer Einschaltkreis für dreiphasige Prüfungen ($k_{pp} = 1,5$)	37
Bild 7 – Vergleich der Einstellungen der Lichtbogenzeiten bei dreiphasigen direkten (links) und dreiphasigen synthetischen Prüfungen (rechts) für T100s mit dem Polfaktor $k_{pp} = 1,5$	38
Bild 8 – Vergleich der Einstellungen der Lichtbogenzeiten bei dreiphasigen direkten (links) und dreiphasigen synthetischen Prüfungen (rechts) für T100a mit dem Polfaktor $k_{pp} = 1,5$	39
Bild A.1 – Direkter Prüfkreis, vereinfachtes Schaltbild	48
Bild A.2 – Unbeeinflusster Kurzschlussstrom	48
Bild A.3 – Verzerrungsstrom	48
Bild A.4 – Verzerrungsstrom	49
Bild A.5 – Prüfkreis, vereinfachtes Schaltbild	50
Bild A.6 – Verlauf des Stromes und der Lichtbogen Spannung bei symmetrischem Strom	51
Bild A.7 – Verlauf des Stromes und der Lichtbogen Spannung bei unsymmetrischem Strom	52
Bild A.8 – Minderung der Stromamplitude und der Dauer der letzten Stromhalbperiode vor der Löschung	53
Bild A.9 – Minderung der Stromamplitude und der Dauer der letzten Stromhalbperiode vor der Löschung	54
Bild A.10 – Minderung der Stromamplitude und der Dauer der letzten Stromhalbperiode vor der Löschung	55
Bild A.11 – Minderung der Stromamplitude und der Dauer der letzten Stromhalbperiode vor der Löschung	56
Bild B.1 – Typischer Stromüberlagerungskreis mit dem Hochspannungskreis parallel zum Prüfschalter	59
Bild B.2 – Zeitablauf der Stromüberlagerung nach Bild B.1	59
Bild B.3 – Typischer Stromüberlagerungskreis mit dem Hochspannungskreis parallel zum Hilfsschalter	60
Bild B.4 – Zeitablauf der Stromüberlagerung nach Bild B.3	60
Bild B.5 – Beispiele zur Bestimmung des Zeitintervalls der deutlichen Änderung der Lichtbogen Spannung aus dem Oszillogramm	61
Bild C.1 – Typischer Spannungsüberlagerungskreis mit dem Hochspannungskreis parallel zum Hilfsschalter (vereinfachtes Schaltbild)	63
Bild C.2 – Verlauf der Einschwingspannung in einem Spannungsüberlagerungskreis mit dem Hochspannungskreis parallel zum Hilfsschalter	64
Bild D.1 – Transformator- oder Skeats-Kreis	66
Bild D.2 – Gesteuerter Transformator- oder Skeats-Kreis	67
Bild G.1 – Kapazitive Stromkreise in Parallelschaltung	75
Bild G.2 – Prüfkreis mit Stromüberlagerung	76

	Seite
Bild G.3 – LC-Schwingkreis	77
Bild G.4 – Induktiver Stromkreis parallel zu einem LC-Schwingkreis.....	78
Bild G.5 – Stromüberlagerungskreis zur Beanspruchung beider Klemmen des Prüfschalters mit der normalen Netzeinschwingspannung	79
Bild G.6 – Synthetischer Prüfkreis in Reihenschaltung zur Beanspruchung beider Seiten des Prüfschalters mit der normalen Netzeinschwingspannung	80
Bild G.7 – Stromüberlagerungskreis zur Beanspruchung beider Seiten des Prüfschalters mit der Netzeinschwingspannung.....	81
Bild G.8 – Prüfkreis für Einschaltungen	82
Bild G.9 – Prüfkreis für kapazitive Einschaltungen.....	83
Bild H.1 – Typischer Fortzündkreis zur Verlängerung der Lichtbogenzeit	85
Bild H.2 – Kombierter Skeats- und Stromüberlagerungskreis	86
Bild H.3 – Typischer Strom- und Spannungsverlauf einer symmetrischen Prüfung mit dem Prüfkreis nach Bild H.2	87
Bild J.1a – Dreiphasiger synthetischer kombinierter Prüfkreis	105
Bild J.1b – Strom- und Spannungsverläufe (Leiter-Erde und Leiter-Leiter) bei einer dreiphasigen synthetischen Prüfung (T100s; $k_{pp} = 1,5$), die mit dem dreiphasigen synthetischen kombinierten Prüfkreis durchgeführt wurde.....	106
Bild J.2a – Dreiphasiger synthetischer Prüfkreis mit Überlagerung in allen Phasen bei einem Polfaktor von 1,5.....	107
Bild J.2b – Strom- und Spannungsverläufe (Leiter-Erde) bei einer dreiphasigen synthetischen Prüfung (T100s; $k_{pp} = 1,5$), durchgeführt mit dreiphasigem synthetischem Prüfkreis mit Überlagerung in allen Phasen	108
Bild J.3a – Dreiphasiger synthetischer Prüfkreis für Klemmenkurzschlussprüfungen bei einem Polfaktor von $k_{pp} = 1,3$ (Stromüberlagerungsverfahren).....	109
Bild J.3b – Strom- und Spannungsverläufe (Leiter-Erde und Leiter-Leiter) bei einer dreiphasigen synthetischen Prüfung (T100s; $k_{pp} = 1,3$), durchgeführt mit einem dreiphasigen synthetischen Prüfkreis nach Bild J.3a.....	109
Bild J.3c – Verläufe der Einschwingspannungen bei dem in Bild J.3a beschriebenen Prüfkreis.....	110
Bild K.1 – Beispiel eines dreiphasigen Hochstromkreises mit einphasiger Synthetik (Stromüberlagerung)	121
Bild K.2 – Darstellung der Prüfbedingungen nach Tabelle K.1a	122
Bild K.3 – Darstellung der Prüfbedingungen nach Tabelle K.1b	123
Bild K.4 – Darstellung der Prüfbedingungen nach Tabelle K.2a	124
Bild K.5 – Darstellung der Prüfbedingungen nach Tabelle K.2b	125
Bild K.6 – Darstellung der Prüfbedingungen nach Tabelle K.3a	126
Bild K.7 – Darstellung der Prüfbedingungen nach Tabelle K.3b	127
Bild K.8 – Darstellung der Prüfbedingungen nach Tabelle K.4a	128
Bild K.9 – Darstellung der Prüfbedingungen nach Tabelle K.4b	129
Bild L.1 – Grafische Darstellung der Prüfung nach Tabelle L.3.....	136
Bild L.2 – Grafische Darstellung der Prüfung nach Tabelle L.4.....	137

Tabelle 1 – Prüfkreise für die Prüfschaltfolgen T100s und T100a.....	16
Tabelle 2 – Prüfschaltfolgen T10, T30, T60 und T100s.....	16
Tabelle 2a – Polfaktor: 1,5 – Prüfparameter bei dreiphasigen Ausschaltungen.....	16
Tabelle 2b – Polfaktor: 1,3 – Prüfparameter bei dreiphasigen Ausschaltungen.....	17
Tabelle 3 – Schaltfolgen für die synthetische Prüfung der Prüfschaltfolgen T10, T30, T60, T100s, T100a, SP, DEF, OP und SLF	30
Tabelle I.1a – Parameter der letzten Stromhalbwelle bei Betrieb mit 50 Hz für die Kurzschluss- Prüfschaltfolge T100a $\tau = 45$ ms	89
Tabelle I.1b – Parameter der letzten Stromhalbwelle bei Betrieb mit 50 Hz für die Kurzschluss- Prüfschaltfolge T100a $\tau = 60$ ms	90
Tabelle I.1c – Parameter der letzten Stromhalbwelle bei Betrieb mit 50 Hz für die Kurzschluss- Prüfschaltfolge T100a $\tau = 75$ ms	91
Tabelle I.1d – Parameter der letzten Stromhalbwelle bei Betrieb mit 50 Hz für die Kurzschluss- Prüfschaltfolge T100a $\tau = 120$ ms	92
Tabelle I.2a – Parameter der letzten Stromhalbwelle bei Betrieb mit 60 Hz für die Kurzschluss- Prüfschaltfolge T100a $\tau = 45$ ms	93
Tabelle I.2b – Parameter der letzten Stromhalbwelle bei Betrieb mit 60 Hz für die Kurzschluss- Prüfschaltfolge T100a $\tau = 60$ ms	94
Tabelle I.2c – Parameter der letzten Stromhalbwelle bei Betrieb mit 60 Hz für die Kurzschluss- Prüfschaltfolge T100a $\tau = 75$ ms	95
Tabelle I.2d – Parameter der letzten Stromhalbwelle bei Betrieb mit 60 Hz für die Kurzschluss- Prüfschaltfolge T100a $\tau = 120$ ms	96
Tabelle I.3a – Verringerung der Stromsteilheit di/dt der letzten Stromhalbwelle für 50 Hz unter dreiphasigen Bedingungen mit dem erstlöschenden Pol in Phase A und der erforderlichen Stromunsymmetrie in Phase C	97
Tabelle I.3b – Verringerung der Stromsteilheit di/dt der letzten Stromhalbwelle für 60 Hz unter dreiphasigen Bedingungen mit dem erstlöschenden Pol in Phase A und der erforderlichen Stromunsymmetrie in Phase C	98
Tabelle I.4a – Korrigierte Werte der Einschwingspannung für $k_{pp} = 1,3$ und $f_T = 50$ Hz	99
Tabelle I.4b – Korrigierte Werte der Einschwingspannung für $k_{pp} = 1,3$ und $f_T = 60$ Hz	100
Tabelle I.4c – Korrigierte Werte der Einschwingspannung für $k_{pp} = 1,5$ und $f_T = 50$ Hz	101
Tabelle I.4d – Korrigierte Werte der Einschwingspannung für $k_{pp} = 1,5$ und $f_T = 60$ Hz	102
Tabelle K.1a – Nachweis der Lichtbogenzeiten für einen Polfaktor von 1,5	112
Tabelle K.1b – Alternativer Nachweis der Lichtbogenzeiten für einen Polfaktor von 1,5	113
Tabelle K.2a – Nachweis der Lichtbogenzeiten für einen Polfaktor von 1,3	114
Tabelle K.2b – Alternativer Nachweis der Lichtbogenzeiten für einen Polfaktor von 1,3	115
Tabelle K.3a – Nachweis der Lichtbogenzeiten für einen Polfaktor von 1,5	117
Tabelle K.3b – Alternativer Nachweis der Lichtbogenzeiten für einen Polfaktor von 1,5	118
Tabelle K.4a – Nachweis der Lichtbogenzeiten für einen Polfaktor von 1,3	119
Tabelle K.4b – Alternativer Nachweis der Lichtbogenzeiten für einen Polfaktor von 1,3	120
Tabelle L.1 – Prüfverfahren für den Polfaktor 1,5	131
Tabelle L.2a – Alternativer Nachweis der Lichtbogenzeiten für einen Polfaktor von 1,3	132
Tabelle L.2b – Vereinfachtes Prüfverfahren für einen Polfaktor von 1,3	133

	Seite
Tabelle L.3 – Prüfverfahren für unsymmetrische Ströme bei einem Polfaktor von 1,5	134
Tabelle L.4 – Prüfverfahren für unsymmetrische Ströme bei einem Polfaktor von 1,3	135
Tabelle L.5 – Erforderliches Lichtbogenfenster in ° für unterschiedliche Unsymmetrie – Bedingungen, $f_T = 50$ Hz	138
Tabelle L.6 – Erforderliches Lichtbogenfenster in ° für unterschiedliche Unsymmetrie – Bedingungen, $f_T = 60$ Hz	139
Tabelle M.1 – Grenzabweichungen von Prüfgrößen für Typprüfungen	142

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt hauptsächlich für Wechselstrom-Leistungsschalter, die in den Anwendungsbereich von IEC 62271-100 gehören. Sie enthält allgemeine Regeln für synthetische Ein- und Ausschaltprüfungen im Bereich der Prüfschaltfolgen, die in IEC 62271-100, 6.102 bis 6.111, beschrieben sind.

ANMERKUNG Prüfkreise für die Prüfschaltfolgen nach 6.111 sind noch nicht genormt. Die heute üblichen Verfahren sind im Anhang G beschrieben.

Es wurde nachgewiesen, dass synthetische Prüfungen eine wirtschaftliche und technisch korrekte Möglichkeit der Prüfung von Hochspannungs-Wechselstrom-Leistungsschaltern in Übereinstimmung mit den Anforderungen in IEC 62271-100 und den direkten Prüfungen gleichwertig sind.

Nur die allgemein angewendeten Methoden und Techniken werden beschrieben. Zweck dieser Norm ist, Kriterien für synthetische Prüfungen und die richtige Auswertung der Ergebnisse festzulegen. Diese Kriterien sollen die Gültigkeit der Prüfmethode begründen, ohne die Weiterentwicklung der Prüfkreise zu behindern.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 61633:1995, *High-voltage alternating current circuit-breakers – Guide for short-circuit and switching test procedures for metal-enclosed and dead tank circuit-breakers*

IEC 62271-100:2001, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: High-voltage alternating current circuit-breakers*

IEC 62271-308:2002, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 308: Guide for asymmetrical short-circuit test duty T100a*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 62271-100 sowie die folgenden Begriffe.

3.1

direkte Prüfung

Prüfung, bei der die treibende Spannung, der Strom, die Einschwingspannung und die betriebsfrequente Wiederkehrspannung von einer einzigen Energiequelle geliefert werden. Diese kann aus einem Netz oder besonderen Generatoren in einem Kurzschlussprüffeld oder einer Kombination aus beiden bestehen.

3.2

synthetische Prüfung

Prüfung, bei welcher der gesamte Strom oder der überwiegende Teil davon aus einer Energiequelle (Hochstromkreis) geliefert wird und die treibende Spannung und/oder die Wiederkehrspannungen (Einschwing- und betriebsfrequente Spannung) insgesamt oder teilweise aus einer oder mehreren Spannungsquellen bezogen werden (Hochspannungskreise)

3.3

Prüfschalter

Leistungsschalter, der zu prüfen ist (siehe IEC 62271-100:2001, 6.102.2)

3.4

Hilfsschalter

ein oder mehrere Leistungsschalter, die einen Teil des synthetischen Prüfkreises bilden in der Art, dass der Prüfschalter in der geforderten Zuordnung zu den verschiedenen Bestandteilen des Prüfkreises steht

3.5**Hochstromkreis**

jener Teil der synthetischen Prüfschaltung, welcher den betriebsfrequenten Strom oder den größeren Teil davon liefert

3.6**Hochspannungskreis**

jener Teil der synthetischen Prüfschaltung, welcher die Prüfspannung und/oder die Wiederkehrspannung oder den größeren Teil davon liefert

3.7**unbeeinflusster Strom (eines Prüfkreises und unter Bezug auf einen Leistungsschalter)**

Strom, der im Prüfkreis fließen würde, wenn jeder Pol der Prüf- und Hilfsschalter durch einen Leiter mit vernachlässigbarer Impedanz ersetzt würde [IEV 441-17-01, modifiziert]

3.8**beeinflusster Strom**

Strom durch den Prüfschalter (beeinflusst durch die Lichtbogenspannung des Prüfschalters und der Hilfsschalter)

3.9**Verzerrungsstrom**

Strom, berechnet als Differenz von unbeeinflusstem und beeinflusstem Strom

3.10**Nachstrom**

Strom, der über die Schaltstrecke eines Leistungsschalters fließt, unmittelbar nachdem der Strom und die Lichtbogenspannung Null geworden sind und die Einschwingspannung einsetzt

3.11**Stromüberlagerungsverfahren**

synthetisches Prüfverfahren, bei dem der Hochspannungskreis vor dem Nulldurchgang des betriebsfrequenten Stromes an den Prüfschalter geschaltet wird

3.12**Anfangs-Einschwingeinschaltstrom****ITMC**

transienter Strom, der während des Einschaltens im Augenblick des Zusammenbrechens der Spannung vor dem Beginn des Stromflusses aus dem Hochstromkreis durch den Leistungsschalter fließt

3.13**Überlagerungsstrom**

Strom des Hochspannungskreises eines Stromüberlagerungs-Prüfkreises, welcher fließt, wenn dieser an den Prüfschalter geschaltet wird

3.14**Spannungsüberlagerungsverfahren**

synthetisches Prüfverfahren, bei dem der Hochspannungskreis nach dem Nulldurchgang des betriebsfrequenten Stromes an den Prüfschalter geschaltet wird

3.15**Referenz-Netzbedingungen**

Bedingungen eines elektrischen Netzes mit den Einflussgrößen, aus denen sich die Bemessungs- und Prüfwerte nach IEC 62271-100 herleiten

3.16**Zeitverzögerung der Einschaltfunkenstrecke**

t_m

bei synthetischen Einschaltprüfungen das Zeitintervall zwischen dem Augenblick des Zusammenbrechens der treibenden Spannung und dem Beginn des Stromflusses aus dem Hochstromkreis

3.17

Mindestausschaltzeit

Summe aus kleinster Öffnungszeit, kleinster Schütz-Verzögerungszeit (Halbperiode) und der minimalen Lichtbogenzeit für den erstlöschenden Pol bei Löschung nach der kleinen Halbperiode während der Prüfschaltfolge T100a, wie vom Hersteller angegeben. Diese Definition sollte nur bei der Bestimmung der Prüfparameter bei Kurzschlussausschaltprüfungen für die Prüfschaltfolge T100a angewendet werden

ANMERKUNG 1 Die Mindestausschaltzeit, die bei den Prüfungen erhalten wird, sollte nicht kleiner als der vom Hersteller angegebene Wert sein. Vor den Prüfungen sollte die kleinste Öffnungszeit bei maximaler Auslösespulen-spannung und maximalem Betriebsdruck sowie minimalem Druck für die Unterbrechung gemessen werden. Wenn der vor der Prüfung gemessene Wert der kleinsten Öffnungszeit kleiner ist als der vom Hersteller angegebene Wert, dann sollte für die Bestimmung der geforderten Prüfparameter dieser geringere Wert verwendet werden.

ANMERKUNG 2 Bei dieser Begriffsbestimmung wird angenommen, dass die kleinste Öffnungszeit, die bei minimalem Druck für die Unterbrechung erhalten wird, jener ähnlich ist, die sich bei maximalem Druck für die Unterbrechung ergeben würde. Normalerweise erhält man die Mindestausschaltzeit bei maximalem Druck für die Unterbrechung. Falls diese Druckbedingung eine Mindestausschaltzeit ergibt, welche zu einem zutreffenden Bereich der Mindestausschaltzeit (gemäß den Tabellen 1a bis 2d in IEC 62271-308:2002) führt, der von dem bei minimalem Druck für die Unterbrechung erhaltenen Bereich abweicht, dann ist es zulässig, die Mindestausschaltzeit unter Anwendung des maximalen Drucks für die Unterbrechung nachzuweisen.

3.18

Vorüberschlag

bei einer Einschaltung Zusammenbrechen der Spannung zwischen den Kontakten zu Beginn des Stromflusses

4 Synthetische Prüftechniken und Verfahren für Kurzschluss-Ausschaltprüfungen

4.1 Grundlagen und allgemeine Anforderungen für synthetische Ausschaltprüfverfahren

Jedes spezielle synthetische Prüfverfahren muss den zu prüfenden Leistungsschalter angemessen beanspruchen. Im Allgemeinen ist dies erreicht, wenn das Prüfverfahren den Forderungen der folgenden Abschnitte genügt.

Ein Leistungsschalter hat zwei Grundstellungen: geschlossen und offen. In der geschlossenen Stellung führt ein Leistungsschalter den vollen Strom bei einem vernachlässigbaren Spannungsfall über seine Kontakte. In der offenen Stellung ist der Strom vernachlässigbar, aber die volle Spannung liegt an den Kontakten. Dies beschreibt die beiden Hauptbeanspruchungen, eine Strombeanspruchung und eine Spannungsbeanspruchung, welche den Leistungsschalter zu unterschiedlichen Zeiten belasten.

Bei genauer Betrachtung der Spannungs- und Strombeanspruchungen während des Unterbrechungsvorgangs sind drei Hauptintervalle erkennbar (siehe [Bild 1](#)):

– Hochstrom-Intervall

Das Hochstrom-Intervall ist die Zeit von der Kontakttrennung bis zum Beginn der erkennbaren Änderung der Lichtbogen-spannung und geht dem Wechselwirkungs-Intervall und dem Hochspannungs-Intervall voraus.

– Wechselwirkungs-Intervall

Das Wechselwirkungs-Intervall ist die Zeit vom Beginn der erkennbaren Änderung der Lichtbogen-spannung vor Stromnull bis zum endgültigen Erlöschen des Stromes einschließlich des Nachstromes, sofern vorhanden, durch den Prüfschalter (siehe auch [B.2](#)).

– Hochspannungs-Intervall

Das Hochspannungs-Intervall beginnt mit dem Erlöschen des Stromes einschließlich des Nachstromes, sofern vorhanden, durch den Prüfschalter und endet mit dem Abschluss der Prüfung.

4.1.1 Hochstrom-Intervall

Während dieses Intervalls muss der Prüfschalter durch den Prüfkreis so beansprucht werden, dass unter Berücksichtigung von festzulegenden Grenzabweichungen die Voraussetzungen bei Beginn des Wechselwirkungs-Intervalls die gleichen sind wie unter den Referenz-Netzbedingungen.

In synthetischen Prüfkreisen ist das Verhältnis der betriebsfrequenten Spannung des Hochstromkreises zur Lichtbogenspannung im Vergleich zu Prüfungen unter Referenz-Netzbedingungen aus zwei Gründen klein:

- Die Spannung des Hochstromkreises ist nur ein Bruchteil der Netzspannung.
- Die Lichtbogenspannungen des Prüfschalters und des Hilfsschalters summieren sich.

Als Folge davon verringern sich die Dauer der Stromhalbperiode und der Scheitelwert des Stromes. Diese Verzerrung des Stromes wird in [Anhang A](#) beschrieben.

Überlegungen im Hinblick auf die im Prüfschalter umgesetzte Lichtbogenenergie führen zu einem höchstzulässigen Einfluss, der durch Grenzabweichungen für zwei charakteristische Werte des Stromverlaufs gegeben ist. Dies sind der Scheitelwert und die Dauer der Stromhalbperiode (siehe [Anhang A](#)).

Die Grenzabweichungen für die Amplitude und die Betriebsfrequenz des unbeeinflussten Ausschaltstromes sind in [IEC 62271-100](#), [6.103.2](#) und [6.104.3](#), festgelegt. Der durch den Prüfschalter fließende beeinflusste Strom muss deshalb die folgenden Bedingungen erfüllen:

- Bei der symmetrischen Prüfung dürfen die Stromamplitude und die Dauer der letzten Stromhalbperiode nicht kleiner sein als 90 % der auf den Bemessungsstrom beruhenden, geforderten Werte.
- Bei der asymmetrischen Prüfung müssen die Stromamplitude und die Dauer der letzten Stromhalbperiode zwischen 90 % und 110 % der geforderten Werte liegen, welche auf dem Bemessungsstrom und der Zeitkonstanten beruhen (siehe [Tabelle I.1a bis I.2d](#)).

Einstellmaßnahmen:

Die Amplitude und die Dauer der letzten Halbperiode des Stroms können mit verschiedenen Mitteln eingestellt werden:

- Erhöhung oder Verringerung des Effektivwertes des Kurzschluss-Prüfstromes;
- Veränderung der Frequenz des Prüfstromes;
- Anwendung von vorgezogener oder verzögerter Auslösung;
- Veränderung des Augenblicks der Stromzuschaltung (Anfangs-Gleichstromkomponente).

Siehe auch IEC 62271-308, 5.3.

4.1.2 Wechselwirkungs-Intervall

Im Wechselwirkungs-Intervall geht die Beanspruchung durch den Kurzschlussstrom in die Beanspruchung durch die Hochspannung über. Dabei kann der Leistungsschalter den Strom und die Spannung des Kreises merklich beeinflussen. Da der Strom zu Null geht, kann die Lichtbogenspannung ansteigen, wobei die Parallel-Kapazität aufgeladen und der durch den Lichtbogen fließende Strom verzerrt wird. Nach dem Stromnull kann die Nachstromleitfähigkeit eine zusätzliche Dämpfung der Einschwingspannung bewirken und so die Spannung über den Leistungsschalter und die in der ionisierten Schaltstrecke umgesetzte Energie beeinflussen. Die Wechselwirkung zwischen dem Kreis und dem Leistungsschalter unmittelbar vor und nach dem Stromnull (also während des Wechselwirkungs-Intervalls) ist von entscheidender Wichtigkeit für den Unterbrechungsvorgang.

Während des Wechselwirkungs-Intervalls müssen Strom und Spannung bei der synthetischen Prüfung gleiche Verläufe wie unter Referenz-Netzbedingungen haben ([3.15](#)), wobei mögliche Abweichungen des Stromes und der Spannung von den unbeeinflussten Werten durch die Wechselwirkung zwischen dem Leistungsschalter und dem Kreis zu berücksichtigen sind.

Das Wechselwirkungs-Intervall ist der kritische Zeitbereich für ein thermisches Versagen des Leistungsschalters. Darum ist es von entscheidender Wichtigkeit, dass Verlauf und Amplitude der unbeeinflussten

Einschwingspannung (TRV – Transient Recovery Voltage) einerseits und jener Einschwingspannung andererseits, die dem unbeeinflussten Strom der jeweiligen Prüfschaltfolge zugeordnet ist, übereinstimmen.

Hieraus ergeben sich verbindliche Anforderungen an den Prüfkreis. Die Anforderungen für das Stromüberlagerungsverfahren sind in 4.2.1 und jene für das Spannungsüberlagerungsverfahren in 4.2.2 angegeben.

ANMERKUNG Abhängig von dem verwendeten Prüfkreis kann die Wechselwirkung zwischen dem Kreis und dem Prüfschalter durch das Verhalten des Hilfsschalters im kritischen Bereich um Stromnull zusätzlich beeinflusst sein.

Die Lichtbogenspannung des Hilfsschalters sollte kleiner als die Lichtbogenspannung des Prüfschalters oder gleich groß sein.

Wenn ein Hilfsschalter mit höherer Lichtbogenspannung verwendet wird, kann es erforderlich werden, den Hochstromkreis mit höherer betriebsfrequenter Spannung zu betreiben.

4.1.3 Hochspannungs-Intervall

Während des Hochspannungs-Intervalls wird die Schaltstrecke des Prüfschalters durch die Wiederkehrspannung beansprucht.

Die unbeeinflusste Einschwingspannung muss den Anforderungen nach IEC 62271-100, 4.102, 4.105, 4.106 und 6.104.5, genügen.

Geeignete Verfahren zur Ermittlung der unbeeinflussten Einschwingspannung in synthetischen Prüfkreisen können aus IEC 62271-100, Anhang F, ausgewählt werden.

Die Impedanz des Hochspannungskreises muss niedrig genug sein, damit gegebenenfalls ein Spannungszusammenbruch sicher erkennbar ist.

ANMERKUNG 1 Wenn der Prüfschalter mit Ausschaltwiderständen ausgestattet ist, kann ein besonderes Vorgehen notwendig sein (siehe Anhang F).

ANMERKUNG 2 Wenn die Einschwingspannung von mehr als einer Quelle erzeugt wird, sollte der Kurvenverlauf keine merklichen Unstetigkeiten zeigen.

Grundsätzlich muss die betriebsfrequente Wiederkehrspannung für die Standard-Kurzschlussprüfschaltfolgen mit den Forderungen nach IEC 62271-100, 6.104.7, übereinstimmen. Bei synthetischen Prüfungen wird die Wiederkehrspannung entweder aus dem Hochspannungskreis allein oder in Reihe mit dem betriebsfrequenten Hochstromkreis geliefert. Daher ergibt sich eine Wechselspannung oder eine kombinierte Wechsel-Gleichspannung oder eine Gleichspannung, die in den meisten Fällen aufgrund der begrenzten Energie des Hochspannungskreises abfällt. Deshalb ist es nicht immer möglich, den Verlauf der Wiederkehrspannung über mindestens 0,3 s derart aufrechtzuerhalten, wie es in IEC 62271-100, 6.104.7, gefordert wird. Abweichungen von der festgelegten Wiederkehrspannung sind erlaubt, wenn die folgenden Bedingungen eingehalten werden:

- Der Augenblickswert der Wiederkehrspannung darf während der Dauer einer $1/8$ Periode der Bemessungsfrequenz des Leistungsschalters nicht kleiner sein als der gleichwertige Augenblickswert der betriebsfrequenten Wiederkehrspannung, der in IEC 62271-100, 6.104.7, festgelegt ist und bei einer Prüfung mit symmetrischem Strom mit einem Scheitelwert von mindestens $0,95 \times k_{pp} \times U_r \sqrt{2}/\sqrt{3}$ beginnt.

Dabei ist:

k_{pp} Polfaktor des erstlöschenden Poles;

U_r Bemessungsspannung des Leistungsschalters.

- Unabhängig davon, ob als Wiederkehrspannung eine exponentiell fallende Gleichspannung, eine Wechselspannung oder eine kombinierte Gleich-Wechselspannung angewendet wird, sollte ihr Augenblickswert (bei Gleichspannung) oder ihr Scheitelwert (bei Wechselspannung oder kombinierter Gleich-Wechselspannung) grundsätzlich so nahe wie möglich bei $U_r \sqrt{2}/\sqrt{3}$ gehalten werden. Auf keinen Fall darf sie in weniger als 0,1 s unter den Wert $0,5 U_r \sqrt{2}/\sqrt{3}$ fallen (siehe Bild 2).

- Wenn die Wiederkehrspannung als exponentiell fallende Gleichspannung oder als kombinierte Gleich-Wechselspannung zu einer unangemessenen Beanspruchung des Leistungsschalters führt, verglichen mit der festgelegten wiederkehrenden Wechselspannung unter Referenz-Netzbedingungen, so darf ein besser geeigneter Prüfkreis verwendet werden, wobei IEC 62271-100, 6.104.7, und die vorstehend festgelegten Grenzen zu berücksichtigen sind.

4.2 Synthetische Prüfkreise und hierauf bezogene wesentliche Anforderungen für Ausschaltprüfungen

4.2.1 Stromüberlagerungsverfahren

Diese Prüfverfahren werden durch folgende allgemeine Grundsätze beschrieben (siehe [Anhang B](#)):

- Der Strom des Hochspannungskreises wird dem betriebsfrequenten Strom im Prüfschalter vor dem Wechselwirkungs-Intervall überlagert.
- Der Strom des Hochstromkreises wird vor dem Wechselwirkungs-Intervall durch einen Hilfsschalter unterbrochen.

Während des Wechselwirkungs-Intervalls wird der Prüfschalter mit der Spannung des Hochspannungskreises beaufschlagt, dessen Impedanz den Referenz-Netzbedingungen entspricht. Dies begründet die Gültigkeit der Stromüberlagerungs-Prüfverfahren. Von mehreren bekannten Stromüberlagerungs-Prüfverfahren wird nachstehend nur das der parallelen Stromüberlagerung behandelt, weil dieses Prüfverfahren von der Mehrheit der Prüffelder angewendet wird. Die folgenden Bedingungen müssen erfüllt werden:

a) *Kreis, der den Verlauf der Einschwingspannung bestimmt*

- 1) Der Verlauf und die Höhe der unbeeinflussten Einschwingspannung müssen mit den festgelegten Werten übereinstimmen.
- 2) Im Idealfall muss der Ersatz-Schwingkreiswiderstand Z_h (siehe [Bild 3](#)) während des Wechselwirkungs-Intervalls gleich dem Quotienten $(du/dt)/(di/dt)$ sein. Dabei sind du/dt die Steilheit der festgelegten Einschwingspannung und di/dt die Steilheit des festgelegten Kurzschlussstromes.
- 3) Die Kombination der Streukapazität und der konzentrierten Kapazität C_{dh} parallel zu Z_h bewirkt die Verzögerungszeit $t_d = Z_h \times C_{dh}$.

b) *Induktivität des Hochspannungskreises*

Die Induktivität des Hochspannungskreises muss zwischen dem 1,0-fachen und 1,5-fachen Wert der Induktivität liegen, welche sich aus der äquivalenten betriebsfrequenten Spannung geteilt durch den unbeeinflussten Strom ergibt.

c) *Frequenz des Überlagerungsstromes und Zeitpunkt der Strom-Überlagerung*

Die Frequenz des Überlagerungsstromes muss vorzugsweise bei 500 Hz liegen, mit einer unteren Grenze von 250 Hz und einer oberen von 1 000 Hz.

Um einen unzulässigen Einfluss auf den Kurvenverlauf des betriebsfrequenten Stromes zu vermeiden, beträgt die untere Grenze der Frequenz des Überlagerungsstromes 250 Hz.

Die höchste Frequenz des Überlagerungsstromes ist durch den Zeitbereich der deutlichen Änderung der Lichtbogenspannung bestimmt. Dieser Zeitbereich muss kürzer sein als die Zeit, in welcher der Lichtbogen durch den Überlagerungsstrom allein gespeist wird. Um dies zu erreichen, soll die Periodendauer der Überlagerungsfrequenz mindestens viermal größer sein als die Zeitdauer der deutlichen Änderung der Lichtbogenspannung (siehe [Anhang B](#)).

Die Zuschaltung des Überlagerungsstromes ist so einzustellen, dass die Zeitspanne, in welcher der Prüfschalter durch diesen Strom allein beansprucht wird, die Dauer einer 1/4 Periode der Frequenz des Überlagerungsstromes nicht überschreitet, wobei ein Höchstwert von 500 µs einzuhalten ist.

ANMERKUNG Es sollte darauf geachtet werden, dass der Leistungsschalter überbeansprucht werden kann, wenn die Zeitdauer, in welcher ausschließlich der Überlagerungsstrom durch den Prüfschalter fließt, kleiner als 200 µs ist.

d) *Kurvenform des Überlagerungsstromes*

Die unbeeinflusste Steilheit di/dt des Überlagerungsstromes^{N1)} muss jener des unbeeinflussten betriebsfrequenten Stromes entsprechen.

Der Überlagerungsstrom darf mindestens 100 µs vor dem Stromnulldurchgang bis zur Stromunterbrechung keine merklichen Oberwellen enthalten.

4.2.2 Spannungsüberlagerungsverfahren

Von mehreren bekannten Spannungsüberlagerungsverfahren soll hier nur das der Reihen-Spannungsüberlagerung durch folgende allgemeine Grundsätze beschrieben werden (siehe auch [Anhang C](#)):

- Die Spannung des Hochspannungskreises wird dem Prüfschalter nach dem Wechselwirkungs-Intervall zugeführt.
- Die Beaufschlagung des Prüfschalters mit der wiederkehrenden Spannung erfolgt durch eine Parallelkapazität des Hilfsschalters.
- Während des Hochstrom- und des Wechselwirkungs-Intervalls ist der Prüfschalter nur mit dem Hochstromkreis verbunden.

Das Spannungsüberlagerungsverfahren darf nicht zur Prüfung des thermischen Verhaltens des Leistungsschalters verwendet werden.

Beispielsweise ist für Prüfungen unter Abstandskurzschlussbedingungen zusätzlich zum Spannungsüberlagerungskreis, der die speiseseitige Einschwingspannung liefert, ein Stromüberlagerungskreis einzusetzen, der mit dem leitungsseitigen Anschluss des Prüfschalters zu verbinden ist und der die leitungsseitige Sägezahnspannung liefert.

Bei Prüfungen des dielektrischen Verhaltens eines Leistungsschalters müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Die Lichtbogenspannung des Hilfsschalters sollte kleiner oder gleich der des Prüfschalters sein (siehe Anmerkung in [4.1.2](#)).
- Der Hochspannungskreis muss derart ausgelegt sein, dass gegebenenfalls auftretende Wieder- oder Rückzündungen erkannt werden können.

Aus diesem Grunde muss die Kapazität parallel zum Hilfsschalter mindestens 20-mal größer sein als die Parallelkapazität des Prüfschalters. Es ist darauf zu achten, dass keine unzulässige Verzerrung des Stromes vor dem betriebsfrequenten Stromnull auftritt.

- Bei der Zusammenschaltung von Hochstrom- und Hochspannungskreis darf keine Pause auftreten.

4.2.3 Prüfverfahren mit Zweifach-Überlagerung (Transformator- oder Skeats-Kreis)

Dieses Verfahren kann durch folgende allgemeine Grundsätze beschrieben werden (siehe auch [Anhang D](#)):

- Strom und Spannung werden von derselben Quelle geliefert.
- Die betriebsfrequente Wiederkehrspannung liefert ein Transformator, der primärseitig mit dem Hochstromkreis verbunden ist.
- Die Wiederkehrspannung wird über eine Impedanz (üblicherweise ein Widerstand) an den Prüfschalter angelegt.

Der Hilfsschalter unterbricht den Strom kurz (üblicherweise etwa 10 µs) vor dem Prüfschalter. In diesem Kurzzeitbereich wird der Wert di/dt des Stromes durch den Prüfschalter vermindert.

Der Skeats-Kreis ist daher nicht für Prüfungen anwendbar, die sich auf das thermische Versagensverhalten des Prüfschalters konzentrieren. Der Prüfkreis ist für die Prüfung des dielektrischen Verhaltens von Leistungsschaltern geeignet und kann für Einschaltprüfungen verwendet werden.

^{N1)} Nationale Fußnote: im Stromnulldurchgang

Der Skeats-Kreis kann in einfacher Weise für die volle Spannungsbeanspruchung bei zwei (oder mehr) Schaltspielen eingesetzt werden, z. B. sowohl bei der Ein- als auch der Ausschaltung einer CO-Schaltfolge oder bei beiden Ausschaltungen einer O-*i*-CO-Schaltfolge oder sogar bei aufeinander folgenden Stromnulldurchgängen einer Ausschaltung (siehe [Anhang D](#)).

4.2.4 Andere synthetische Prüfverfahren

Andere Prüfverfahren können richtig und vorteilhaft für die Prüfung von Leistungsschaltern mit besonderen Eigenschaften oder bei der Prüfung von Leistungsschaltern für spezielle Schaltfälle sein. Obgleich diese Verfahren in dieser Norm nicht behandelt werden, können sie unter der Voraussetzung eingesetzt werden, dass ihre Wirkungsweise verständlich ist und zwischen Hersteller und Betreiber Übereinstimmung über ihre Anwendung erzielt wird.

Prüfmethode für metallgekapselte Leistungsschalter und Dead-Tank-Leistungsschalter sollen den Empfehlungen der IEC 61633 Rechnung tragen.

Ein Verfahren für die Prüfung von Leistungsschaltern mit parallel geschalteten Ausschaltwiderständen ist in Anhang F angegeben.

4.3 Dreiphasige synthetische Prüfverfahren

Dreiphasige synthetische Prüfverfahren müssen für die Prüfung von Leistungsschaltern angewendet werden, die nach [IEC 62271-100, 6.102.4.1](#), nicht einpolig geprüft werden können. Diese Prüfmethode kann gegebenenfalls anstelle einphasiger synthetischer Prüfungen angewendet werden. Die Kurzschluss-Prüfschaltfolgen T10, T30 und T60 dürfen in jedem Fall in einphasigen Prüfkreisen ausgeführt werden.

Um sicherzustellen, dass sich die richtigen Beanspruchungen in der Unterbrechereinheit, zwischen den Polen und, sofern zutreffend, gegen die Kapselung ergeben, müssen die folgenden allgemeinen Anforderungen erfüllt werden:

- a) Durch den dreipoligen Prüfschalter muss der volle dreiphasige Strom fließen.
- b) Angaben für die erforderlichen Prüfkreise für die Prüfschaltfolgen T100s und T100a sind in [Tabelle 1](#) dargestellt.
- c) Die Prüfparameter für jeden Pol, bezogen auf seine Stellung in der Löschofffolge, sind in den [Tabelle 2a](#) und [2b](#) angegeben.
- d) Alle vorstehend angegebenen Beanspruchungen sollten bei ein und derselben Prüfung angewendet werden. Ist dies nicht möglich, kann die Anwendung eines mehrteiligen Prüfverfahrens nötig sein.
- e) Um den Wechsel der Anschlüsse zwischen dem Hochspannungskreis und dem Leistungsschalter zwischen den einzelnen Prüfungen jeder Prüffolge zu vermeiden, ist es zulässig, den erstlöschenden Pol während der gesamten Prüffolge in der gleichen Phase beizubehalten, wobei die Anforderungen in [IEC 62271-100, 6.105.1](#), zu beachten sind.

Tabelle 1 – Prüfkreise für die Prüfschaltfolgen T100s und T100a

k_{pp}	T100s		T100a	
	Erstlöschender Pol	Weitere Pole	Erstlöschender Pol	Weitere Pole
1,5	Anwendung synthetischer Prüfkreise nach 4.2.1 oder 4.2.2 bei allen Schaltvorgängen.	Anwendung synthetischer Prüfkreise nach 4.2.1, 4.2.2 oder 4.2.3 bei allen Schaltvorgängen.	Anwendung synthetischer Prüfkreise nach 4.2.1 oder 4.2.2 bei mindestens zwei Schaltvorgängen. Der dritte Schaltvorgang darf nach 4.2.3 geprüft werden.	Anwendung synthetischer Prüfkreise nach 4.2.1 oder 4.2.2 wenigstens beim Schaltvorgang mit verlängerter großer Halbperiode und längster Lichtbogenzeit.
1,3	Anwendung synthetischer Prüfkreise nach 4.2.1 oder 4.2.2 bei mindestens zwei Schaltvorgängen. Der dritte Schaltvorgang darf nach 4.2.3 geprüft werden.	Anwendung synthetischer Prüfkreise nach 4.2.1 oder 4.2.2 mindestens für den zweitlöschenden Pol bei dem Schaltvorgang mit der längsten Lichtbogenzeit. Anwendung synthetischer Prüfkreise nach 4.2.1, 4.2.2 oder 4.2.3 bei allen anderen Schaltvorgängen.	Anwendung synthetischer Prüfkreise nach 4.2.1 oder 4.2.2 bei mindestens zwei Schaltvorgängen. Der dritte Schaltvorgang darf nach 4.2.3 geprüft werden.	Anwendung synthetischer Prüfkreise nach 4.2.1 oder 4.2.2 mindestens für den zweitlöschenden Pol beim Schaltvorgang mit verlängerter großer Halbperiode und längster Lichtbogenzeit. Anwendung synthetischer Prüfkreise nach 4.2.1, 4.2.2 oder 4.2.3 bei allen anderen Schaltvorgängen.

k_{pp} Polfaktor

ANMERKUNG Spannungüberlagerung ist nur zulässig, wenn es keine Anforderungen bezüglich der Anfangseinschwingspannung gibt oder wenn diese Anforderungen durch die Abstandskurzschlussprüfung abgedeckt sind.

Tabelle 2 – Prüfschaltfolgen T10, T30, T60 und T100s

Tabelle 2a – Polfaktor: 1,5 – Prüfparameter bei dreiphasigen Ausschaltungen

Scheitelwert der Einschwingspannung in %				Scheitelwert der Einschwingspannung p.u.	du/dt %	di/dt %	Phasenwinkel °
		Zum Zeitpunkt des erstlöschenden Pols	Zum Zeitpunkt des zweit- und drittlöschenden Pols				
Phasen	A	100	–	1	100	100	–
	B	0	58	1	70	87	90
	C	0	58	1	70	87	90
Zwischen den Phasen	A–B	100	58	1,732			
	B–C	0	115	1,732			
	A–C	100	58	1,732			

Scheitelwert der Einschwingspannung am erstlöschenden Pol: $u_c = k_{af} \times k_{pp} \times U_r \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$ (entspricht 100 %)

1 p.u. = $U_r \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$

Der erstlöschende Pol ist der Phase A zugeordnet.

Tabelle 2b – Polfaktor: 1,3 – Prüfparameter bei dreiphasigen Ausschaltungen

Scheitelwert der Einschwingspannung in %				Scheitelwert der Einschwing- spannung	du/dt	di/dt	Phasenwinkel
		Zum Zeitpunkt des erstlöschenden Pols	Zum Zeitpunkt des zweit- und drittlöschenden Pols				
Phasen	A	100	– / –	1	100	100	–
	B	0	– / 77	1	70	57	120
	C	0	98 / –	1	95	89	77
Zwischen den Phasen	A–B	100	– / 91	1,732			
	B–C	0	98 / 98	1,732			
	A–C	100	89 / –	1,732			

Scheitelwert der Einschwingspannung am erstlöschenden Pol: $u_c = k_{af} \times k_{pp} \times U_r \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$ (entspricht 100 %)

1 p.u. = $U_i \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$

Der erstlöschende Pol ist der Phase A zugeordnet.

Der zweitlöschende Pol ist der Phase C zugeordnet.

5 Synthetische Prüftechniken und Verfahren für Kurzschluss-Einschaltprüfungen

5.1 Grundlagen und allgemeine Anforderungen für synthetische Einschaltprüfverfahren

Während der Einschaltung auf einen Kurzschluss liegt an der Schaltstrecke des Leistungsschalters eine Spannung nach IEC 62271-100, 6.104.1, an. Nach dem Zeitpunkt des Durchbruchs der Schaltstrecke wird der Leistungsschalter mit dem Einschaltstrom nach IEC 62271-100, 6.104.2.1, beansprucht. In einem synthetischen Prüfkreis werden die angelegte Spannung von einer getrennten Spannungsquelle und der Kurzschlussstrom von einem Hochstromkreis mit verringerter Spannung geliefert. Der Letztere wird unmittelbar nach dem Durchbruch der Schaltstrecke mittels einer schnellen Einschaltvorrichtung, beispielsweise mit einer triggerbaren Funkenstrecke, zugeschaltet.

Jedes gewählte, beliebige synthetische Prüfverfahren muss den Leistungsschalter gleichwertig zu den Netzbedingungen beanspruchen. Im Allgemeinen ist Gleichwertigkeit dann gegeben, wenn das Prüfverfahren alle Anforderungen der folgenden Abschnitte erfüllt.

Vor dem Einschalten hält der Leistungsschalter den an seinen Anschlüssen liegenden Leiter-Erde-Wert der Bemessungsspannung, während der Einschaltung führt er den Bemessungs-Kurzschlussstrom. Bei genauerer Betrachtung der Spannungs- und Strombeanspruchungen während der Einschaltprüfung erkennt man drei Intervalle (Bild 4):

- Hochspannungs-Intervall

Das Hochspannungs-Intervall ist die Zeit vom Beginn der Prüfung mit dem Leistungsschalter in offener Stellung bis zum Zeitpunkt des Durchbruchs der Schaltstrecke.

- Vorzünd-Intervall

Das Vorzünd-Intervall während der Einschaltbewegung des Leistungsschalters ist die Zeit vom Zeitpunkt des Durchbruchs der Schaltstrecke bis zum Berühren der Kontakte.

– Verklüppungs-Intervall

Das Verklüppungs-Intervall während der Einschaltbewegung des Leistungsschalters ist die Zeit von der Kontaktberührung bis zum Erreichen der vollständig geschlossenen Stellung (Verklüppung).

5.1.1 Hochspannungs-Intervall

In diesem Intervall muss der Leistungsschalter durch den Prüfkreis so beansprucht werden, dass die Anfangsbedingungen für das Vorzünd-Intervall innerhalb der festzulegenden Grenzwertabweichungen mit den Referenz-Netzbedingungen übereinstimmen:

- Die angelegte Spannung muss die Anforderungen nach IEC 62271-100, 6.104.1, erfüllen.
- Der Phasenwinkel zwischen der angelegten Spannung und dem Kurzschlussstrom muss dem Bemessungs-Leistungsfaktor des Prüfkreises innerhalb der Grenzwertabweichungen nach IEC 62271-100, 6.103.1, entsprechen.

5.1.2 Vorzünd-Intervall

Während des Vorzünd-Intervalls wird der Leistungsschalter durch stromabhängige elektrodynamische Kräfte und durch die verschleißenden Wirkungen der Lichtbogenenergie beansprucht. Der Strom setzt sich aus drei Komponenten zusammen:

- dem Anfangs-Einschwingeneinschaltstrom ITMC (ITMC – Initial Transient Making Current);
- den Gleich- und Wechselstrom-Komponenten des Kurzschlussstromes.

Zwei typische Fälle können abhängig vom Einschaltaugenblick auftreten:

- Der Durchbruch erfolgt nahe dem Scheitel der angelegten Spannung; ein fast symmetrischer Strom wird eingeleitet. Die Lichtbogenenergie des Vorüberschlags und der Anfangs-Einschwingeneinschaltstrom sind relativ groß.
- Der Durchbruch erfolgt nahe dem Nulldurchgang der angelegten Spannung; ein unsymmetrischer Strom wird eingeleitet. Die Lichtbogenenergie des Vorüberschlags und der Anfangs-Einschwingeneinschaltstrom sind vernachlässigbar, ausgenommen bei ungleichzeitigem Einschalten mehrerer Schaltstrecken eines Pols.

5.1.3 Verklüppungs-Intervall und vollständig geschlossene Stellung

Während dieser Intervalle muss der Leistungsschalter gegen stromabhängige elektrodynamische Kräfte und die Reibungskräfte der Kontakte schließen. Deshalb muss während dieser Intervalle der Einschaltstrom IEC 62271-100, 4.103, entsprechen.

5.2 Synthetischer Prüfkreis und hierauf bezogene wesentliche Anforderungen für Einschaltprüfungen

5.2.1 Allgemeines

Der Prüfkreis und die besonderen Anforderungen müssen den Anspruch a) nach IEC 62271-100, 6.104.2.1, erfüllen.

5.2.2 Prüfkreis

Der Prüfkreis besteht aus zwei Kreisen, dem Hochstromkreis und dem Hochspannungskreis. Typische Kreise und die zugeordneten Strom- und Spannungsverläufe sind für einphasige Prüfungen im Bild 5 und für dreiphasige Prüfungen im Bild 6 dargestellt.

- Der Hochspannungskreis liefert
 - während des Hochspannungs-Intervalls die angelegte Spannung;
 - während des Vorzünd-Intervalls den Anfangs-Einschwingeneinschaltstrom durch die Entladung des dafür vorgesehenen Kreises (ITMC-Kreis).
- Der Hochstromkreis liefert den Einschaltstrom während des Vorzünd- und des Verklüppungs-Intervalls.

5.2.3 Besondere Anforderungen

Bei der synthetischen Einschaltprüfung ist der Phasenwinkel zwischen der angelegten Prüfspannung und dem Kurzschlussstrom von folgenden Einflussgrößen abhängig:

- Leistungsfaktor ($\cos \varphi$) des Hochstromkreises;
- Phasenverschiebung (β) zwischen U_{cs} und U_h (wenn U_h eine Wechselspannungsquelle ist);
- Verzögerungszeit der Einschaltvorrichtung (t_m).

Die Bedingung für den korrekten Einschaltvorgang ist erfüllt, wenn die folgende Maßgabe eingehalten wird:

$\beta + t_m' + (90 - \varphi) \leq 27^\circ$, für den Fall, dass U_h eine Wechselspannungsquelle und t_m so klein wie möglich, jedoch in keinem Fall größer als 300 μ s ist,

wobei gilt $t_m' = (t_m/T) \times 360^\circ$ (mit $T = 20$ ms für 50 Hz und $T = 16,7$ ms für 60 Hz).

ANMERKUNG 1 Der Hochspannungskreis U_h kann eine Wechselspannungs-, eine Gleichspannungsquelle oder eine Kombination von beiden sein.

ANMERKUNG 2 β kann negativ sein, wenn die Spannung U_h von einer getrennten Quelle geliefert wird.

Der Überlagerungsstrom des Hochspannungskreises stellt vor dem Einschalten der schnellen Einschaltfunkenstrecke den Vorüberschlag sicher. Deshalb muss die Zeitkonstante des Kreises für den Anfangseinschwingeneinschaltstrom lang genug sein, um den Stromfluss während der Verzögerungszeit der Einschaltvorrichtung aufrechtzuerhalten.

6 Besondere Anforderungen für die Durchführung synthetischer Einschalt- und Ausschaltprüfungen im Hinblick auf die Anforderungen in IEC 62271-100, 6.102 bis 6.111

IEC 62271-100, 6.102 bis 6.111, gilt auch für synthetische Prüfungen. In einigen Fällen, die in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben werden, sind jedoch besondere Techniken erforderlich. Die Nummerierung der Abschnitte bezieht sich auf die entsprechenden Abschnitte von IEC 62271-100.

6.102.4.3 Prüfung in mehreren Teilen

Synthetische Prüfverfahren für Leistungsschalter mit Ausschaltwiderständen sind in [Anhang F](#) beschrieben.

Beim Ausschalten von Leistungsschaltern mit Einschaltwiderständen ist keine besondere Prüftechnik erforderlich, weil der Einschaltwiderstand den Prüfkreis nicht beeinflusst.

Für die Prüfung von Einschaltwiderständen kommen nur direkte Prüfkreise in Frage, bei denen die richtigen Strom- und Spannungsbeanspruchungen aus einer einzigen Quelle gespeist werden.

Während der synthetischen Einschaltprüfungen ist es notwendig, den Widerstand zu entfernen, um für die Hauptschaltstrecke die korrekten Beanspruchungen mit dem Kurzschlussstrom und die richtigen Vorzündbedingungen zu erhalten.

6.102.10 Nachweis der Lichtbogenzeiten

Die einzuhaltenden grundlegenden Anforderungen sind in IEC 62217-100, 6.102.10, angegeben.

Um synthetische Prüfungen unter gleichen Voraussetzungen wie direkte Prüfungen durchführen zu können, ist es üblicherweise erforderlich, durch Anwendung spezieller Fortzündverfahren die Lichtbogenzeit des Prüfschalters auf die notwendige Anzahl der Nulldurchgänge des betriebsfrequenten Stromes zu verlängern. Fortzündverfahren zur Verlängerung der Lichtbogenzeit sind in [Anhang H](#) beschrieben.

Das „Schritt-für-Schritt“-Verfahren, beschrieben im [Anhang H](#), ist das bei den meisten synthetischen Prüfungen angewendete Verfahren. Dieses Verfahren wird als eine ausreichende Annäherung an das direkte Prüfverfahren angesehen.

Die Lichtbogenzeit wird durch thermisches Wiederzünden verlängert. Da dieses Verfahren ermöglicht, das Fortzünden des Prüfschalters unter allen Bedingungen zu erzwingen, ist darauf zu achten, dass der Prüfschalter nicht auch in einem Stromnulldurchgang fortgezündet wird, in dem er unterbrechen kann. Es ist daher notwendig, für alle Prüfschaltfolgen unter den Bedingungen des Klemmenkurzschlusses und des Abstandskurzschlusses sowie unter Asynchronbedingungen die jeweils kürzeste Lichtbogenzeit zu ermitteln. Hierzu sind mindestens zwei Ausschaltprüfungen erforderlich, eine mit Wiederzünden, die andere mit endgültiger Stromunterbrechung.

Die Ausschaltung mit der kürzesten Lichtbogenzeit ist die erste gültige Ausschaltung. Die andere Ausschaltung wird durchgeführt, um zu zeigen, dass das Wiederzünden bei einem zu frühen Stromnulldurchgang zwischen den Lichtbogenkontakten stattfinden würde.

ANMERKUNG 1 Die zum Nachweis des korrekten Verhaltens bei frühen Stromnulldurchgängen erforderlichen Schaltungen werden aufgrund der kurzen Lichtbogenzeit üblicherweise unbedeutend zur Kontaktabnutzung usw. beitragen. Es sollte deshalb keine Instandsetzung als Folge dieser Prüfungen erforderlich sein.

ANMERKUNG 2 Das bei der Bestimmung der kürzesten Lichtbogenzeit auftretende Wiederzünden stellt kein Versagen des Prüfschalters dar. Jedoch ist der Nachweis wichtig, dass die Wiederzündung nur zwischen den Lichtbogenkontakten stattgefunden hat. Bei Anwendung eines Stromüberlagerungsverfahrens ist die Unterbrechung des Schwingstromes einige Halbperioden nach der Wiederzündung oft ein nützliches Mittel zur Beurteilung. Eine eingehende Inspektion von Schirmen, Lichtbogen- und Hauptkontakten usw. sollte zum Nachweis korrekten Verhaltens ebenfalls durchgeführt werden.

6.102.10.1 Dreiphasige Prüfungen

Abhängig vom verwendeten Prüfkreis ist es möglich, dass für starr geerdete Netze ($k_{pp} = 1,3$) die hier beschriebenen Prüfverfahren die Bedingungen des drittlöschenden Pols nicht erfüllen. In diesem Fall kann bei Zustimmung des Herstellers das gleiche Verfahren angewendet werden, wobei die Einschwingspannung und die di/dt -Parameter für den zweitlöschenden Pol mit der Lichtbogenzeit für den drittlöschenden Pol kombiniert wird. Alternativ kann eine zusätzliche Ausschaltung durchgeführt werden mit der Einschwingspannung, dem di/dt und der längsten, sich für den drittlöschenden Pol ergebenden Lichtbogenzeit.

Alternative Prüfverfahren für Leistungsschalter mit mehreren Polen in einem gemeinsamen Gehäuse und Kennwerten des Antriebs, die einen dreiphasigen Prüfstrom erforderlich machen, sind im [Anhang K](#) dargestellt.

6.102.10.1.1 Prüfschaltfolgen T10, T30, T60, T100s(b)

Folgendes Prüfverfahren ist vorgegeben:

Zur Vereinfachung der Prüfung wird der Schalterpol in der Phase A als erstlöschender Pol beibehalten.

Zu Beginn ist das korrekte Wiederzündverhalten des Leistungsschalters bei einem frühen Stromnulldurchgang zu überprüfen. Dies geschieht durch Verstellen des Auslöseimpulses in Schritten von 18° (was möglicherweise mehrmals zu wiederholen ist). Anschließend ist die Einstellung des Auslöseimpulses um etwa 40° vorzustellen, beginnend bei der kürzesten Lichtbogenzeit, bei der der Leistungsschalter gelöscht hat. Bei der letzten Prüfung ist die Einstellung des Auslöseimpulses um etwa 20° vorzustellen, beginnend bei der kürzesten Lichtbogenzeit, bei der der Leistungsschalter unterbrochen hat.

- Erste gültige Ausschaltung: $t_{arc \min}$, kürzeste Lichtbogenzeit in Phase A;
- Ausschaltung mit Wiederzündung: $t_{arc \text{ reig}} = t_{arc \min} - 18^\circ$, Wiederzündung in Phase A;
- Zweite gültige Ausschaltung: $t_{\max} = t_{arc \min} + 40^\circ$, längste Lichtbogenzeit in Phase A;
- Dritte gültige Ausschaltung: $t_{\text{med}} = t_{arc \min} + 20^\circ$, mittlere Lichtbogenzeit in Phase A.

Die erste gültige Ausschaltung und die Ausschaltung mit Wiederzündung bestehen aus einzelnen Ausschaltungen. Die zweite und dritte gültige Ausschaltung stellen gemeinsam die Bemessungs-Schaltfolge dar. Falls CO-15 s-CO als Bemessungs-Schaltfolge definiert ist, ist die dritte gültige Ausschaltung nicht erforderlich (siehe IEC 62271-100, 6.102.10).

Wegen des Vergleichs mit den Einstellungen für die Lichtbogenzeiten bei dreiphasigen direkten Prüfungen wird auf Bild 7 verwiesen.

6.102.10.1.2 Prüfschaltfolge T100a

Folgendes Prüfverfahren ist vorgegeben:

Alle Prüfungen bestehen aus einzelnen Ausschaltungen.

Zur Vereinfachung des Verfahrens bleibt der Schalterpol in der Phase A der erstlöschende Pol, der Schalterpol in Phase C wird einem erhöhten elektrischen Verschleiß ausgesetzt. Bei der dritten gültigen Ausschaltung dürfen die Pole in den Phasen B und C vertauscht werden, um einen vergleichbaren elektrischen Verschleiß an diesen Polen zu erhalten.

Zuerst werden die kürzeste Lichtbogenzeit (erste gültige Ausschaltung) und das korrekte Wiederzündverhalten mit einer verlängerten großen Halbperiode in Phase C überprüft. Dies geschieht durch Verstellen des Auslöseimpulses in Schritten von 18° (was möglicherweise mehrmals zu wiederholen ist). Die zweite gültige Prüfung wird mit der in die Phase A gewechselten erforderlichen Unsymmetrie durchgeführt. Daher sind sowohl der Beginn des Kurzschlussstromes als auch der Auslöseimpuls um 60° vorzuziehen, beides bezogen auf die Ausschaltung mit der Wiederzündung.

Für die dritte gültige Ausschaltung wird die geforderte Unsymmetrie in der Phase C eingestellt. Der Beginn des Kurzschlussstromes wird um etwa 60° verzögert, während der Auslöseimpuls um 10° vorgezogen wird, beides bezogen auf die zweite gültige Ausschaltung.

- Erste gültige Ausschaltung: $t_{\text{arc min}}$
 - kürzeste Lichtbogenzeit in Phase A,
 - geforderte Unsymmetriebedingungen in Phase C;
- Ausschaltung mit Wiederzündung: $t_{\text{arc reig}} = t_{\text{arc min}} - 18^\circ$
 - Wiederzündung in Phase A,
 - geforderte Unsymmetriebedingungen in Phase C;
- Zweite gültige Ausschaltung: $t_{\text{arc max major}}$ im erstlöschenden Pol
 - Beginn des Kurzschlussstromes und Einstellung des Auslöseimpulses um 60° vorgezogen, bezogen auf $t_{\text{arc reig}}$,
 - geforderte Unsymmetriebedingungen in Phase A;
- Dritte gültige Ausschaltung: $t_{\text{arc max major extended}}$
 - längste Lichtbogenzeit in Phase A,
 - geforderte Unsymmetriebedingungen in Phase C,
 - Beginn des Kurzschlussstromes um 60° verzögert und Einstellung des Auslöseimpulses um 10° vorgezogen, bezogen auf $t_{\text{arc max major}}$

Die angegebene Reihenfolge der Prüfungen dient nur der Reduzierung des Aufwands.

Wegen des Vergleichs mit den Einstellungen für die Lichtbogenzeiten bei dreiphasigen direkten Prüfungen wird auf Bild 8 verwiesen.

Die zweite und dritte gültige Ausschaltung können ausgetauscht werden, in diesem Falle gilt:

- Zweite gültige Ausschaltung: $t_{\text{arc max major extended}}$
 - längste Lichtbogenzeit in Phase A,
 - geforderte Unsymmetriebedingungen in Phase C,
 - Einstellung des Auslöseimpulses um 70° vorgezogen, bezogen auf $t_{\text{arc reig}}$;
- Dritte gültige Ausschaltung: $t_{\text{arc max major}}$ im erstlöschenden Pol
 - Beginn des Kurzschlussstromes um 60° vorgezogen und Einstellung des Auslöseimpulses verzögert um 10°, bezogen auf $t_{\text{arc max major extended}}$,
 - geforderte Unsymmetriebedingungen in Phase A.

Da einige Leistungsschalter nach einer großen Halbperiode nicht unterbrechen werden, ist eine Prüfung noch gültig, wenn der Leistungsschalter bei der nachfolgenden kleinen Halbperiode unterbricht.

ANMERKUNG Bei einigen Ausführungen von Leistungsschaltern kann es vorkommen, dass bei der dritten gültigen Ausschaltung ($t_{\text{arc max major extended}}$) die kleine Halbperiode des Stromes beim vorherigen Stromnulldurchgang bereits in der Phase B unterbrochen werden kann. Dies wird beim vorstehend beschriebenen Verfahren nicht nachgewiesen, kann jedoch überprüft werden, indem sowohl der Beginn des Kurzschlusses und die Einstellung des Auslöseimpulses um 60° verzögert werden, bezogen auf $t_{\text{arc max major extended}}$. Daher kann, wenn die Ausschaltung bei der vorhergehenden kleinen Halbperiode auftritt, die dritte Ausschaltung mit einer kürzeren Lichtbogendauer wiederholt werden, die von der Lichtbogendauer abhängig ist, bei der der Leistungsschalter diese kleine Halbperiode des Stromes nicht unterbricht.

6.102.10.2 Einphasige Prüfungen als Ersatz für Dreiphasen-Bedingungen

Die in IEC 62271-100, 6.102.10.2, beschriebenen Verfahren sind anwendbar.

6.102.10.2.5 Aufteilung der Prüfschaltfolgen in Prüfreiheiten mit der Einschwingspannung je Pol, die der Löschfolge entspricht

Die in IEC 62271-100, 6.102.10.2.5, beschriebenen Verfahren sind anwendbar, das Verfahren für synthetische Prüfungen ist in Anhang L dargestellt.

6.104.5.4 Prüfschaltfolge T30

Für Bemessungsspannungen bis einschließlich 72,5 kV kann es schwierig sein, die kleinen Werte von t_3 zu erreichen. Die kürzeste erreichbare Zeit soll verwendet werden, jedoch keine kürzere Zeit als die in **Tabelle 13 der IEC 62271-100** angegebenen Werte. Der verwendete Wert muss im Prüfbericht angegeben werden.

6.104.5.5 Prüfschaltfolge T10

Für Bemessungsspannungen bis einschließlich 72,5 kV kann es schwierig sein, die kleinen Werte von t_3 zu erreichen. Die kürzeste erreichbare Zeit soll verwendet werden, jedoch keine kürzere Zeit als die in **Tabelle 13 der IEC 62271-100** angegebenen Werte. Der verwendete Wert muss im Prüfbericht angegeben werden.

6.106 Standard-Kurzschlussprüfschaltfolgen

Die grundlegenden Anforderungen sind in IEC 62271-100, 6.106, angegeben. Die synthetischen Prüfverfahren sind in **Tabelle 3** aufgelistet.

Nachfolgend werden die Abkürzungen angegeben, die in 6.106 und **Tabelle 3** verwendet werden.

Cd Einschaltung in einem direkten Prüfkreis bei einer Spannung der Hochstromquelle, die kleiner als die in IEC 62271-100, 6.104.1, festgelegte Spannung sein darf;

Cs	Einschaltung mit festgelegten Werten im synthetischen Prüfkreis;
Cd _{asy}	Einschaltung gegen den Bemessungs-Kurzschlusseinschaltstrom nach IEC 62271-100, 6.104.2, in einem direkten Prüfkreis unter den für Cd beschriebenen Bedingungen;
Cs _{sym}	Einschaltung gegen einen symmetrischen Strom, der gleich dem Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom ist, durchgeführt bei der geforderten anzulegenden Spannung in einem synthetischen Prüfkreis;
Od	Ausschaltung nur bei der Spannung der Hochstromquelle und bei festgelegtem Ausschaltstrom;
Os	Ausschaltung mit festgelegten Werten im synthetischen Prüfkreis;
t	Zeitintervall zwischen den Schaltvorgängen (0,3 s oder 3 min, abhängig von der Bemessungs-Schaltfolge);
t'	Zeitintervall zwischen den Schaltvorgängen (3 min);
t''	Zeitintervall zwischen den Schaltvorgängen (15 s);
SP	Einphasige Prüfung nach IEC 62271-100, 6.108;
DEF	Doppelerdschluss-Prüfung nach IEC 62271-100, 6.108.

ANMERKUNG 1 Wegen der Besonderheiten synthetischer Prüfungen kann es schwierig sein, die festgelegten Zeitintervalle der Bemessungs-Schaltfolge einzuhalten. Siehe IEC 62271-100, 6.105.1.

ANMERKUNG 2 Um alle Prüfanforderungen zu erfüllen, können mehr Schaltspiele erforderlich werden, als für die Bemessungs-Schaltfolge vorgesehen sind. In solchen Fällen darf der Leistungsschalter instand gesetzt und die Prüfschaltfolge wiederholt werden.

6.106.1 Prüfschaltfolge T10

Es können mehrere Prüfverfahren angewendet werden, um die Bemessungs-Schaltfolge in synthetischer Prüfung mit den festgelegten Prüfwerten durchzuführen (siehe [Tabelle 3](#)).

6.106.2 Prüfschaltfolge T30

Es können mehrere Prüfverfahren angewendet werden, um die Bemessungs-Schaltfolge in synthetischer Prüfung mit den festgelegten Prüfwerten durchzuführen (siehe [Tabelle 3](#)).

6.106.3 Prüfschaltfolge T60

Es können mehrere Prüfverfahren angewendet werden, um die Bemessungs-Schaltfolge in synthetischer Prüfung mit den festgelegten Prüfwerten durchzuführen (siehe [Tabelle 3](#)).

6.106.4 Prüfschaltfolge T100s

Es können mehrere Prüfverfahren wie folgt angewendet werden, um die Bemessungs-Schaltfolge in synthetischer Prüfung mit den festgelegten Prüfwerten durchzuführen (siehe [Tabelle 3](#)):

6.106.4.1 Zeitkonstante der Gleichstromkomponente des Prüfkreises gleich dem festgelegten Wert

Eines der folgenden Verfahren ist anzuwenden, wenn die Zeitkonstante des Prüfkreises gleich dem festgelegten Wert der Zeitkonstante nach IEC 62271-100, 4.101.2, für den Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom ist.

Verfahren 1

Das bevorzugte Verfahren besteht darin, die vollständige Bemessungs-Schaltfolge wie folgt auszuführen:

$$Os - t - CsOs - t' - CsOs \text{ oder}$$

$$CsOs - t'' - CsOs$$

mit einer Einschaltung Cs , die die Anforderung a) erfüllt, und der weiteren Einschaltung Cs , die die Anforderung b) nach IEC 62271-100, 6.104.2.1, erfüllt.

Verfahren 2

Das Verfahren besteht darin, die vollständige Bemessungs-Schaltfolge folgendermaßen durchzuführen:

Os , gefolgt von

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

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

mit der Ausschaltung Od , die die gleichen Bedingungen für die kürzeste Lichtbogenzeit wie die vorherige Ausschaltung Os erfüllt, und der Einschaltung Cd_{asy} gemäß der Anforderung b) nach IEC 62271-100, 6.104.2.1.

Der Zweck der ersten Ausschaltung Os ist:

- Erfüllung der Anforderung der festgelegten Anzahl der Ausschaltungen mit festgelegten Werten;
- Beschaffung der notwendigen Informationen für die Einstellung des Auslöseimpulses entsprechend den zutreffenden Anforderungen innerhalb der nachfolgenden Schaltfolge. Dies erlaubt, die Bedingungen für die kleinste Lichtbogenzeit so zu gestalten, als wären direkte Prüfungen mit den festgelegten Werten durchgeführt worden. Diese Bedingungen sind während der Ausschaltung Od in der nachfolgenden Schaltfolge zu reproduzieren.

Der Zweck von Cs_{sym} besteht in der Einhaltung der Anforderung a) in IEC 62271-100, 6.104.2.1; Einschalten gegen einen symmetrischen Strom, der das Ergebnis eines beim Scheitelwert der anliegenden Spannung beginnenden Vorüberschlages ist.

Verfahren 3

Das Verfahren besteht darin, die vollständige Bemessungs-Schaltfolge folgendermaßen durchzuführen:

Cs_{sym} und Os , gefolgt von

$$Od - t - CdOs - t' - CdOs \text{ oder}$$

$$CdOd - t'' - CdOs$$

mit der Ausschaltung Od , die die gleichen Bedingungen für die kürzeste Lichtbogenzeit wie die vorherige Ausschaltung Os erfüllt, und einer der zwei Einschaltungen Cd gemäß der Anforderung b) nach IEC 62271-100, 6.104.2.1.

Der Zweck der ersten Ausschaltung Os ist:

- Erfüllung der Anforderung der festgelegten Anzahl der Ausschaltungen mit festgelegten Werten;
- Beschaffung der notwendigen Informationen für die Einstellung des Auslöseimpulses entsprechend den zutreffenden Anforderungen innerhalb der nachfolgenden Schaltfolge. Dies erlaubt, die Bedingungen für die kleinste Lichtbogenzeit so zu gestalten, als wären direkte Prüfungen mit den festgelegten Werten

durchgeführt worden. Diese Bedingungen sind während der Ausschaltung Od in der nachfolgenden Schaltfolge zu reproduzieren.

Der Zweck von $C_{s_{sym}}$ besteht in der Einhaltung der Anforderung a) in IEC 62271-100, 6.104.2.1; Einschalten gegen einen symmetrischen Strom, der das Ergebnis eines beim Scheitelwert der anliegenden Spannung beginnenden Vorüberschlages ist.

6.106.4.2 Zeitkonstante der Gleichstromkomponente des Prüfkreises ist kleiner als der festgelegte Wert

Eines der folgenden Verfahren ist anzuwenden, wenn die Zeitkonstante des Prüfkreises kleiner ist als der festgelegte Wert der Zeitkonstante für den Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom nach IEC 62271-100, 4.101.2.

Verfahren 1

Das Verfahren besteht darin, die vollständige Bemessungs-Schaltfolge folgendermaßen durchzuführen:

Cd_{asy} und Os, gefolgt von

$Od - t - C_{s_{sym}}Os - t' - CdOs$ oder

$C_{s_{sym}}Od - t'' - CdOs$

mit der Ausschaltung Od, die die gleichen Bedingungen für die kürzeste Lichtbogenzeit wie die vorherige Ausschaltung Os erfüllt, und der Einschaltung Cd_{asy} gemäß der Anforderung b) nach IEC 62271-100, 6.104.2.1.

Der Zweck der ersten Ausschaltung Os ist:

- Erfüllung der Anforderung der festgelegten Anzahl der Ausschaltungen mit festgelegten Werten;
- Beschaffung der notwendigen Informationen für die Einstellung des Auslöseimpulses entsprechend den zutreffenden Anforderungen innerhalb der nachfolgenden Schaltfolge. Dies erlaubt, die Bedingungen für die kleinste Lichtbogenzeit so zu gestalten, als wären direkte Prüfungen mit den festgelegten Werten durchgeführt worden. Diese Bedingungen sind während der Ausschaltung Od in der nachfolgenden Schaltfolge zu reproduzieren.

Der Zweck von $C_{s_{sym}}$ besteht in der Einhaltung der Anforderung a) in IEC 62271-100, 6.104.2.1; Einschalten gegen einen symmetrischen Strom, der das Ergebnis eines beim Scheitelwert der anliegenden Spannung beginnenden Vorüberschlages ist.

Verfahren 2

Das Verfahren besteht darin, die vollständige Bemessungs-Schaltfolge folgendermaßen durchzuführen:

Cd_{asy} , $C_{s_{sym}}$ und Os, gefolgt von

$Od - t - CdOs - t' - CdOs$ oder

$CdOd - t'' - CdOs$

mit der Ausschaltung Od, die die gleichen Bedingungen für die kürzeste Lichtbogenzeit wie die vorherige Ausschaltung Os erfüllt, und der Einschaltung Cd_{asy} gemäß der Anforderung b) nach IEC 62271-100, 6.104.2.1.

Der Zweck der ersten Ausschaltung Os ist:

- Erfüllung der Anforderung der festgelegten Anzahl der Ausschaltungen mit festgelegten Werten;

- Beschaffung der notwendigen Informationen für die Einstellung des Auslöseimpulses entsprechend den zutreffenden Anforderungen innerhalb der nachfolgenden Schaltfolge. Dies erlaubt, die Bedingungen für die kleinste Lichtbogenzeit so zu gestalten, als wären direkte Prüfungen mit den festgelegten Werten durchgeführt worden. Diese Bedingungen sind während der Ausschaltung Od in der nachfolgenden Schaltfolge zu reproduzieren.

Der Zweck von Cs_{sym} besteht in der Einhaltung der Anforderung a) in IEC 62271-100, 6.104.2.1; Einschalten gegen einen symmetrischen Strom, der das Ergebnis eines beim Scheitelwert der anliegenden Spannung beginnenden Vorüberschlages ist.

6.106.4.3 Zeitkonstante der Gleichstromkomponente des Prüfkreises ist größer als der festgelegte Wert

Eines der folgenden Verfahren ist anzuwenden, wenn die Zeitkonstante des Prüfkreises größer ist als der festgelegte Wert der Zeitkonstante für den Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom nach IEC 62271-100, 4.101.2.

Verfahren 1

Das Verfahren besteht darin, die vollständige Bemessungs-Schaltfolge folgendermaßen durchzuführen:

Os , gefolgt von

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

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

mit der Ausschaltung Od , die die gleichen Bedingungen für die kürzeste Lichtbogenzeit wie die vorherige Ausschaltung Os erfüllt, und der Einschaltung Cd_{asy} gemäß der Anforderung b) nach IEC 62271-100, 6.104.2.1.

Der Zweck der ersten Ausschaltung Os ist:

- Erfüllung der Anforderung der festgelegten Anzahl der Ausschaltungen mit festgelegten Werten;
- Beschaffung der notwendigen Informationen für die Einstellung des Auslöseimpulses entsprechend den zutreffenden Anforderungen innerhalb der nachfolgenden Schaltfolge. Dies erlaubt, die Bedingungen für die kleinste Lichtbogenzeit so zu gestalten, als wären direkte Prüfungen mit den festgelegten Werten durchgeführt worden. Diese Bedingungen sind während der Ausschaltung Od in der nachfolgenden Schaltfolge zu reproduzieren.

Der Zweck von Cs_{sym} besteht in der Einhaltung der Anforderung a) in IEC 62271-100, 6.104.2.1; Einschalten gegen einen symmetrischen Strom, der das Ergebnis eines beim Scheitelwert der anliegenden Spannung beginnenden Vorüberschlages ist.

Verfahren 2

Das Verfahren besteht darin, die vollständige Bemessungs-Schaltfolge folgendermaßen durchzuführen:

Cs_{sym} und Os , gefolgt von

$Od - t - CdOs - t' - CdOs$ oder

$CdOd - t'' - CdOs$

mit der Ausschaltung Od , die die gleichen Bedingungen für die kürzeste Lichtbogenzeit wie die vorherige Ausschaltung Os erfüllt, und einer der zwei Einschaltungen Cd gemäß der Anforderung b) nach IEC 62271-100, 6.104.2.1.

Der Zweck der ersten Ausschaltung Os ist:

- Erfüllung der Anforderung der festgelegten Anzahl der Ausschaltungen mit festgelegten Werten;
- Beschaffung der notwendigen Informationen für die Einstellung des Auslöseimpulses entsprechend den zutreffenden Anforderungen innerhalb der nachfolgenden Schaltfolge. Dies erlaubt, die Bedingungen für die kleinste Lichtbogenzeit so zu gestalten, als wären direkte Prüfungen mit den festgelegten Werten durchgeführt worden. Diese Bedingungen sind während der Ausschaltung Od in der nachfolgenden Schaltfolge zu reproduzieren.

Der Zweck von Cs_{sym} besteht in der Einhaltung der Anforderung a) in IEC 62271-100, 6.104.2.1; Einschalten gegen einen symmetrischen Strom, der das Ergebnis eines beim Scheitelwert der anliegenden Spannung beginnenden Vorüberschlages ist.

6.106.5 Prüfschaltfolge T100a

Drei Ausschaltungen müssen nach IEC 62271-100, 6.106.5, durchgeführt werden (siehe Tabelle 3).

Bei Prüfungen mit unsymmetrischem Strom werden durch die Gleichstromkomponente die Stromsteilheit di/dt und die Einschwingspannung verändert. Bei synthetischen Prüfungen müssen diese Veränderungen durch folgende Maßnahmen berücksichtigt werden:

- a) In Abhängigkeit von der geforderten Zeitkonstanten der Gleichstromkomponente sind unterschiedliche Unsymmetriekriterien zu erfüllen, die nachfolgend und in IEC 62271-308 angegeben sind:
 - Amplitude der letzten Stromhalbperiode;
 - Dauer der letzten Stromhalbperiode;
 - prozentuale Gleichstromkomponente im Stromnulldurchgang (Parameter, der die Stromsteilheit di/dt und die Parameter der nachfolgend auftretenden Einschwingspannung steuert).

Bei der Prüfschaltfolge T100a sind mehrere Prüfparameter gleichzeitig zu reproduzieren, um eine gültige Unterbrechung zu erhalten.

Werte für die Dauer und die Amplitude der letzten Halbperiode und die prozentuale Gleichstromkomponente beim letzten Stromnulldurchgang sind in Anhang I, Tabellen I.1a bis I.2d, angegeben.

Der unbeeinflusste Anteil der Gleichstromkomponente bei Stromnulldurchgang muss aus dem Anteil der Gleichstromkomponente bei der Kontakttrennung während der Prüfung und aus der Zeitkonstanten der Gleichstromkomponente des Prüfkreises berechnet werden. Die Zeitkonstante der Gleichstromkomponente des Prüfkreises ist aus einem Oszillogramm zur Einstellung des unbeeinflussten Stromes in dem Zeitbereich zu messen, der dem Zeitpunkt der Kontakttrennung entspricht. Der Zeitpunkt für die Zuschaltung des Kurzschlusses während der eigentlichen Prüfungen und bei der Einstellung des unbeeinflussten Stromes dürfen nicht mehr als $\pm 10^\circ$ voneinander abweichen.

Bei der Einstellung des unbeeinflussten Stromes ist es notwendig, die Dauer des Stromflusses um mindestens eine zusätzliche Halbperiode des Stromes zu verlängern, damit die unbeeinflusste Gleichstromkomponente am vorhergesagten Stromnulldurchgang korrekt gemessen werden kann.

ANMERKUNG 1 Die prozentuale Gleichstromkomponente beim Stromnulldurchgang während der tatsächlichen Prüfungen kann auch mit der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$p_0 = p_{cs} \times \exp\left(-\frac{t_a}{\tau}\right)$$

Dabei ist

p_0 die prozentuale Gleichstromkomponente beim Stromnulldurchgang während der eigentlichen Prüfung;

p_{cs} die prozentuale Gleichstromkomponente bei der Kontakttrennung, gemessen während der eigentlichen Prüfung;

t_a die Lichtbogenzeit;

τ die Zeitkonstante der Gleichstromkomponente des Prüfkreises, gemessen bei der Einstellung des unbeeinflussten Stromes.

Die anwendbaren Kriterien für die Unsymmetrie bei jedem einzelnen Prüfverfahren sind in IEC 62271-308, 5.2, beschrieben.

b) Verringerung der Stromsteilheit di/dt im Stromnulldurchgang

Die Verringerung der Stromsteilheit di/dt kann beim Stromüberlagerungsverfahren durch Verringerung der Ladespannung des Hochspannungskreises erreicht werden.

Die entsprechenden korrigierten Werte können für die Bedingungen des erstlöschenden Pols den Tabellen I.1a bis I.2d entnommen werden, die Werte für die Bedingungen des zweitlöschenden Pols, in der Phase mit der vollen Strom-Unsymmetrie, sind in den Tabellen I.3a und I.3b wiedergegeben.

c) Korrektur der Einschwingspannung

1) Vereinfachtes Verfahren

Für Einschwingspannungen mit einer Zeit t_2 oder $t_3 \leq 500 \mu s$ kann ein vereinfachtes Verfahren angewendet werden.

Die Ladespannung des synthetischen Prüfkreises sollte so eingestellt werden, dass sich die für den Schalter ungünstigsten Prüfparameter ergeben. Bei Prüfungen der kleinen Halbperiode ist dies u_c und bei der großen Halbperiode di/dt .

2) Für Einschwingspannungen mit Zeiten $t_2 > 500 \mu s$ sind andere Korrekturen und/oder Kreisänderungen notwendig. Die geforderten Werte der unbeeinflussten Einschwingspannung sind in den Tabellen I.4a bis I.4d angegeben.

ANMERKUNG 2 Für die große und kleine Halbperiode können zur Darstellung der geforderten Werte unterschiedliche Prüfkreise erforderlich sein. Bei einer Prüfung mit nur einem Prüfkreis kann der Leistungsschalter überbeansprucht werden, dies macht die Zustimmung des Herstellers erforderlich.

d) Korrektur der Wiederkehrspannung

Bei einer Prüfung mit Lichtbogenlöschung am Ende einer großen Halbperiode wird die verringerte Wiederkehrspannung die Wiederkehrspannung (eines gleichwertigen direkten Prüfkreises) über den Zeitbereich der ersten Viertelperiode abdecken.

Bei Lichtbogenlöschung am Ende einer kleinen Halbperiode des Stromes wird die verringerte Wiederkehrspannung die Referenz-Netzbedingungen nicht abdecken, weil im Netz die betriebsfrequente Wiederkehrspannung mit dem Beginn der Einschwingspannung weiterhin ansteigt.

Zusammen mit den Prüfschaltfolgen mit symmetrischem Ausschaltstrom ist der Nachweis ausreichend, um das Ausschaltvermögen des Leistungsschalters zu bestätigen.

6.108 Einphasige Prüfungen und Prüfungen mit Doppelerdschluss

Die grundlegenden Anforderungen sind in IEC 62271-100, 6.108, angegeben. Das Prüfverfahren ist in Tabelle 3 aufgeführt.

6.109 Abstandskurzschlussprüfungen

Die grundlegenden Anforderungen sind in IEC 62271-100, 6.109, angegeben.

Die Prüfverfahren für Abstandskurzschlussprüfungen sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Die letzte Halbperiode des Stromes vor dem Ausschalten muss eine Amplitude haben, die gleich dem tatsächlichen Prüfstrom $\times \sqrt{2}$ mit einer zulässigen Grenزابweichung von $\pm 10 \%$ ist, einschließlich der Bestimmungen nach 4.1.1.

Bei synthetischen Abstandskurzschlussprüfungen müssen die Kenngrößen der Leitungsnachbildung IEC 62271-100, 4.105, entsprechen und der Leitungskreis muss während des gesamten Wechselwirkungsintervalls im Strom führenden Kreis liegen.

Bei Prüfkreisen mit Stromüberlagerung darf die Leitungsnachbildung in Reihe mit dem Hochspannungskreis liegen. Die Induktivität der Leitungsnachbildung addiert sich zu L_{th} , wie beispielsweise auf Bild B.1 dargestellt.

Durch die Leitungsnachbildung im Hochspannungskreis können Oberwellen im Schwingstromverlauf auftreten. Diese Oberwellen sollten gedämpft werden (um die Anforderungen nach [4.2.1 d](#)) zu erfüllen), damit sie den Strom im Bereich der deutlichen Änderung der Lichtbogenspannung nicht beeinflussen oder bis spätestens 100 µs vor Stromnull abgeklungen sind.

In den Kreis, der die Einschwingspannung bestimmt, darf ein Reihenwiderstand eingefügt werden. In den meisten Fällen wird dieser auf die Anfangsteilheit der Einschwingspannung abgestimmte Widerstand für die notwendige Dämpfung ausreichen.

ANMERKUNG 1 Wenn bei Abstandskurzschlussprüfungen die Leitung und die Impedanz des Hochspannungskreises auf einer Seite des Prüfschalters liegen, sollten der Spannungsaufteilung und der Messung der unbeeinflussten Einschwingspannung besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Wenn eine zusätzliche Kapazität zur Einstellung der Zeitverzögerungen nach [IEC 62771-100, 6.109.3](#), verwendet wird, ist die Stelle, an der die Kapazität eingefügt wird, mit besonderer Sorgfalt zu wählen.

- Bei einer leitungsseitigen Kapazität muss sie über den Leitungsabschnitt des Prüfkreises geschaltet werden, um dieselben Bedingungen wie bei direkten Prüfungen nachzubilden.
- Bei einer speiseseitigen Kapazität muss sie über den Speiseabschnitt des Hochspannungskreises geschaltet sein.

ANMERKUNG 2 Eine Kapazität über dem Leistungsschalter wird üblicherweise als Bestandteil des Prüflings angesehen. In bestimmten Fällen kann es notwendig sein, eine zusätzliche Kapazität über den Leistungsschalter zu schalten, um die Zeitverzögerung des Prüfkreises einzustellen.

ANMERKUNG 3 Eine Kapazität über dem Hilfsschalter beeinflusst die Zeitverzögerung und ist als Teil der Zeitverzögerungskapazität des Prüfkreises zu betrachten.

6.110 Einschalt- und Ausschaltprüfungen unter Asynchronbedingungen

Die grundlegenden Anforderungen sind in [IEC 62271-100, 6.110](#), angegeben.

Die Prüfverfahren für OP1 und OP2 sind in [Tabelle 3](#) aufgeführt.

Tabelle 3 – Schaltfolgen für die synthetische Prüfung der Prüfschaltfolgen T10, T30, T60, T100s, T100a, SP, DEF, OP und SLF

Prüf-schaltfolge	Synthetische Prüfung		Bemessungs-Schaltfolge	
			$O - t - CO - t' - CO$ $t = 0,3 \text{ s oder } 3 \text{ min}$ $t' = 3 \text{ min}$	$CO - t'' - CO$ $t'' = 15 \text{ s}$
	Abschnitt	Verfahren		
T10, T30 und T60	6.106.1 bis 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 Zeitkonstante der Gleichstromkomponente des Prüfkreises gleich dem festgelegten Wert	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 Zeitkonstante der Gleichstromkomponente des Prüfkreises kleiner als der festgelegte Wert	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 Zeitkonstante der Gleichstromkomponente des Prüfkreises größer als der festgelegte Wert	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 und 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) ist eine Einschaltung wie Cd, die stromlos durchgeführt werden darf.

^b Aufgrund der kleineren Zeitkonstante der Gleichstromkomponente des Prüfkreises im Vergleich zu dem für den Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom festgelegten Wert muss der Wert des symmetrischen Stromes während Cd_{asy} größer sein als der Bemessungswert. Aus dem gleichen Grund wird während der Einschaltung Cd der Scheitelwert des Stromes, wie bereits im Zusammenhang mit Cd_{asy} gezeigt, kleiner sein als der Bemessungs-Kurzschluss-einschaltstrom.

^c Aufgrund der größeren Zeitkonstante der Gleichstromkomponente des Prüfkreises im Vergleich zu dem für den Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom festgelegten Wert kann der Scheitelwert des Stromes während der asymmetrischen Einschaltung größer sein als der Bemessungs-Kurzschluss-einschaltstrom. Es darf ein Prüfkreis zur Verringerung des Stromscheitelwertes eingesetzt werden oder die Einschaltung kann gesteuert erfolgen, um den geforderten Bemessungs-Kurzschluss-einschaltstrom zu erhalten. Für die Durchführung unter Zuhilfenahme des gesteuerten Einschaltens ist jedoch die Zustimmung des Herstellers erforderlich.

^d Eine der zwei Einschaltungen Cd muss eine Einschaltung Cd_{asy} sein.

6.111 Prüfungen zum Schalten kapazitiver Ströme

Die grundlegenden Anforderungen sind in [IEC 62271-100, 6.111](#), angegeben.

6.111.2 Allgemeines

Ein Prüfkreis mit einem 50-Hz-Hochstromkreis kann zum Prüfen des kapazitiven Schaltvermögens für die Bemessungsfrequenz 60 Hz verwendet werden, vorausgesetzt, die Wiederkehrspannung erfüllt die Anforderungen für 60 Hz (siehe Anmerkung 4 in [IEC 62271-100, 6.111.2](#)). Die Einstellung der Kontakttrennung soll mit Bezug auf die Frequenz des Hochstromkreises erfolgen. Die minimale Lichtbogenzeit bei der Ausschaltung wird jedoch bestimmt durch Verändern der Einstellung der Kontakttrennung in Schritten von etwa $\pm 6^\circ$, bezogen auf die Bemessungsfrequenz des Prüfschalters.

6.111.3 Eigenschaften der Speisekreise

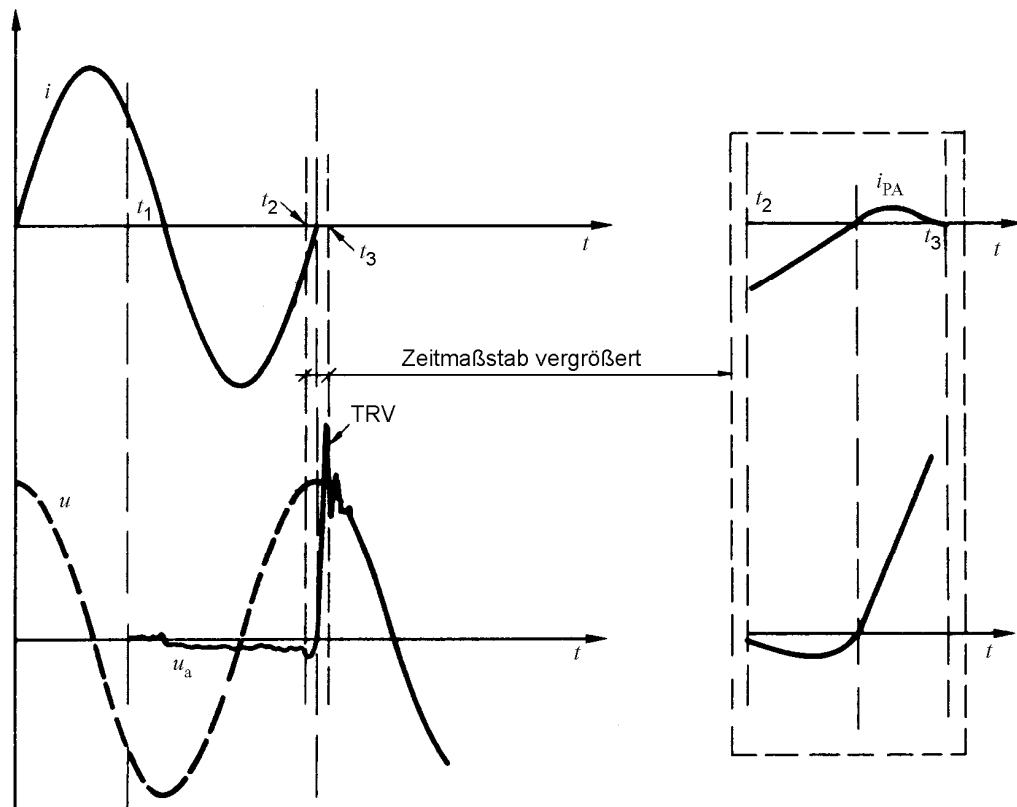
Wenn die Kennwerte des Prüfkreises die Anforderungen der [IEC 62271-100, 6.111.3](#), nicht erfüllen, so muss die unbeeinflusste Wiederkehrspannung, die in [IEC 62271-100, 6.111.10](#), vorgegeben wird, angewendet werden.

ANMERKUNG Wie in [G.2](#) beschrieben, kann bei den Prüfungen zum Schalten kapazitiver Ströme durch den Effekt des Stromabrisses die Einschwingspannung verändert werden.

6.111.7 Prüfspannung

Für einphasige synthetische Prüfungen zum Schalten kapazitiver Ströme ist die für direkte Prüfungen in [IEC 62271-100, 6.111.7](#), vorgegebene Prüfspannung zu verwenden.

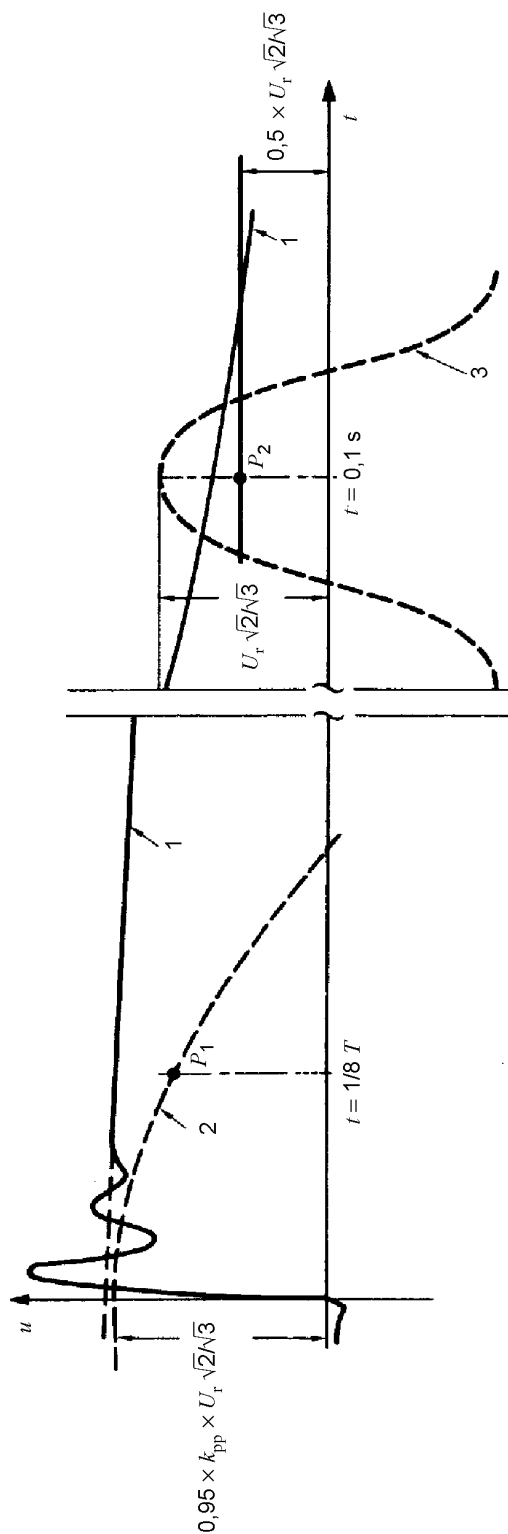
Beispiele für synthetische Prüfkreise zum Schalten kapazitiver Ströme sind in [Anhang G](#) wiedergegeben.



Legende

i	Ausschaltstrom	t_2	Zeitpunkt des Beginns der erkennbaren Änderung der Lichtbogenspannung
u	betriebsfrequente Spannung	t_3	Zeitpunkt des Endes des Nachstroms
u_a	Lichtbogenspannung	$t_2 - t_1$	Hochstrom-Intervall
TRV	Einschwingspannung	$t_3 - t_2$	Wechselwirkungs-Intervall
i_{PA}	Nachstrom	nach t_3	Hochspannungs-Intervall
t_1	Zeitpunkt der Kontakttrennung		

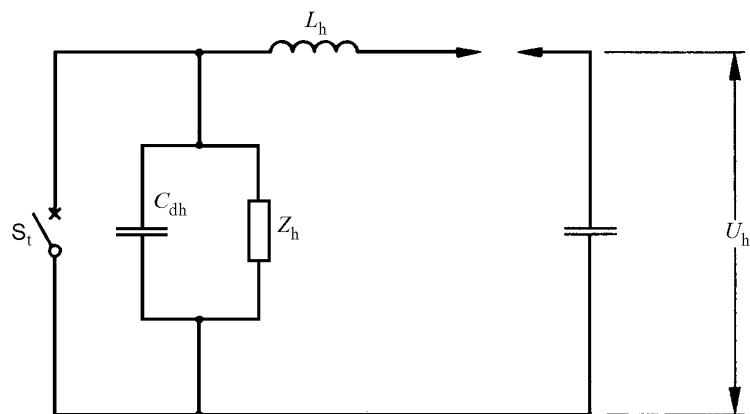
Bild 1 – Ausschaltvorgang; grundlegende Zeitintervalle



Legende

- | | | | |
|---|--|-------|--|
| 1 | Wiederkehrspannung mit exponentiell fallendem Verlauf über dem Leistungs-
schalter bei synthetischer Prüfung | P_1 | Punkt, bis zu dem die Wiederkehrspannung (1) nicht unter den festgelegten
Wert (2) fallen darf |
| 2 | betriebsfrequente Wiederkehrspannung des erstlöschenden Poles bei einer
gleichwertigen direkten Prüfung, z. B. Polfaktor $k_{pp} = 1,3$ | P_2 | Punkt, unter den die Wiederkehrspannung (1) während einer synthetischen
Prüfung nicht fallen darf |
| 3 | betriebsfrequente Wiederkehrspannung nach der Unterbrechung der Ströme in
allen drei Polen bei einer gleichwertigen direkten Prüfung | T | Periodendauer der Betriebsfrequenz |

Bild 2 – Beispiel des Verlaufs der Wiederkehrspannung



Legende

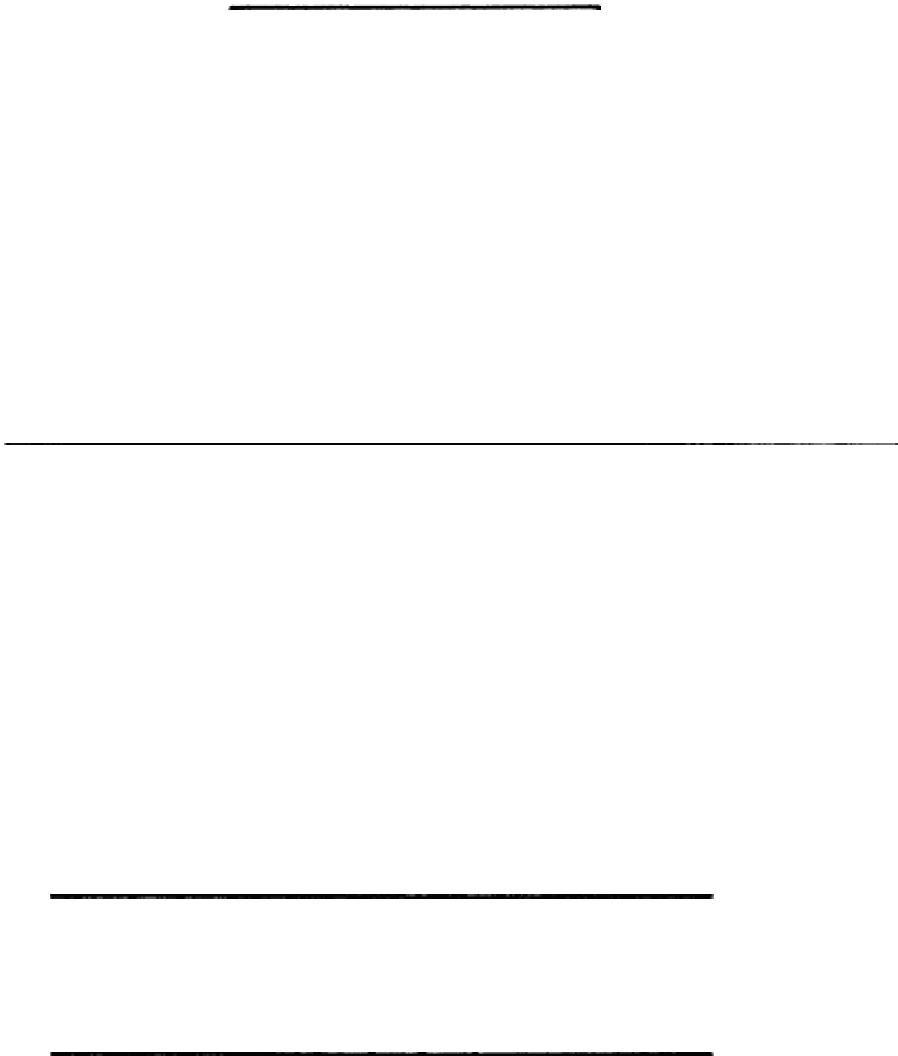
- U_h Ladespannung des Hochspannungskreises
- L_h Induktivität des Hochspannungskreises
- Z_h Ersatz-Wellenwiderstand
- C_{dh} Kapazität für die Zeitverzögerung des Hochspannungskreises
- S_t Prüfschalter

Bild 3 – Ersatz-Wellenwiderstand des Hochspannungskreises der Prüfschaltung mit Stromüberlagerung

Legende

i	Strom	t_0	Zeitpunkt des Vorüberschlags
$\hat{i}$	Einschaltstoßstrom	t_1	Zeitpunkt der Kontaktberührung
u	betriebsfrequente Spannung	t_2	Zeitpunkt des Erreichens der Einschaltstellung
u_d	dielektrische Einschalt-Kennlinie		
u_a	Lichtbogenspannung		

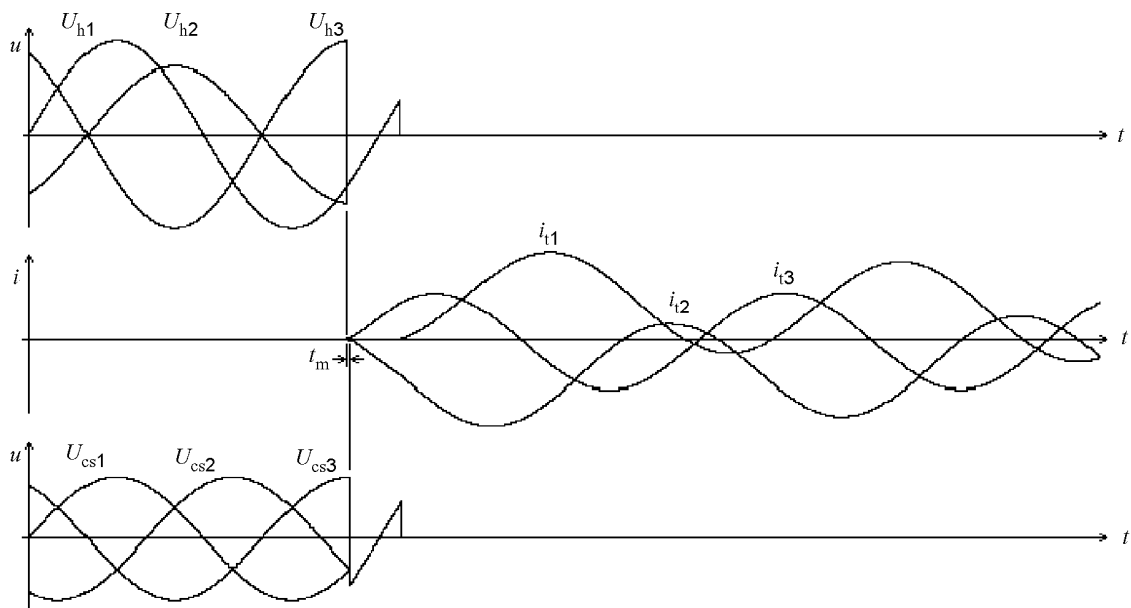
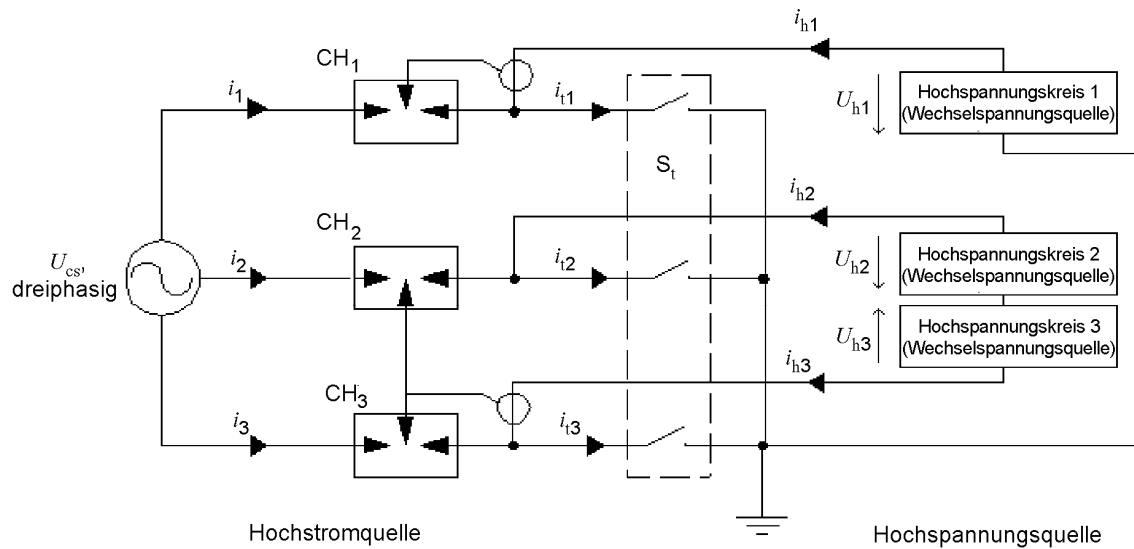
Bild 4 – Einschaltvorgang; grundlegende Zeitintervalle



Legende

U_{cs}	Spannung des Hochstromkreises	U_h	angelegte Spannung
CH	Einschaltfunkenstrecke (triggerbar)	i_h	Anfangs-Einschwingeinschaltstrom (ITMC)
i	betriebsfrequenter Strom des Hochstromkreises	i_t	Strom durch den Prüfschalter
S_t	Prüfschalter	t_m	Zeitverzögerung der Einschaltvorrichtung

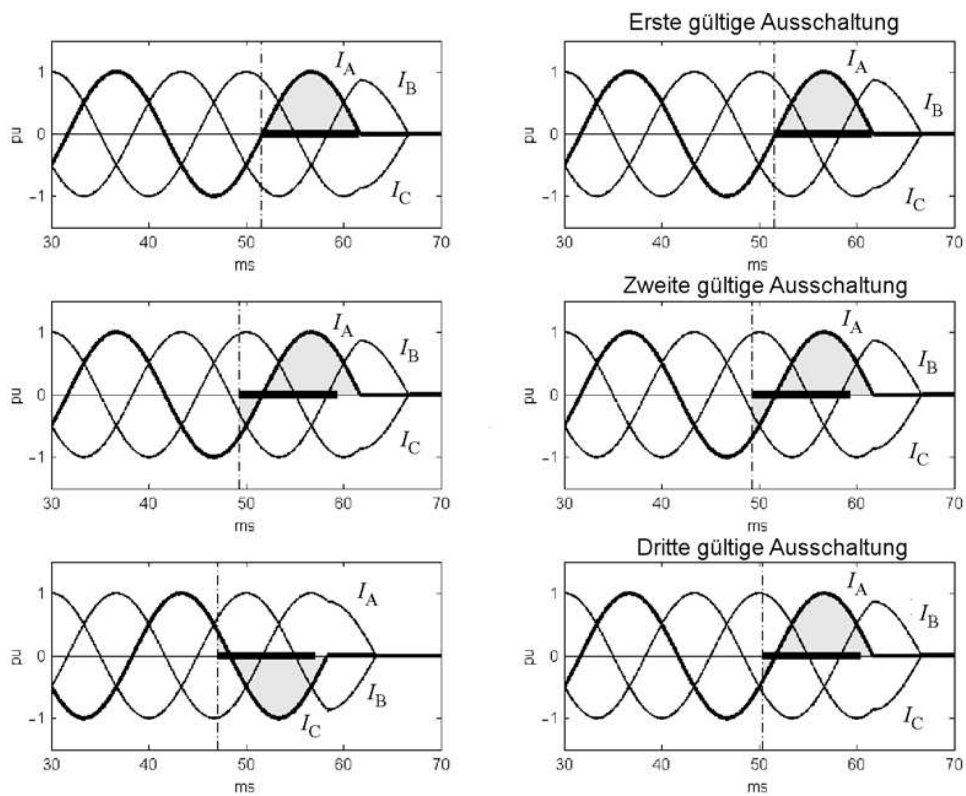
Bild 5 – Typischer synthetischer Einschaltkreis für einphasige Prüfungen



Legende

$U_{cs1}, U_{cs2}, U_{cs3}$	Spannung des Hochstromkreises	U_{h1}, U_{h2}, U_{h3}	angelegte Spannung
i_1, i_2, i_3	Strom des Hochstromkreises	CH_1, CH_2, CH_3	Einschaltfunkenstrecke
i_{t1}, i_{t2}, i_{t3}	Strom durch den Prüfschalter	S_t	Prüfschalter
i_{h1}, i_{h2}, i_{h3}	Anfangs-Einschwingeneinschaltstrom (ITMC)	t_m	Zeitverzögerung der Einschaltvorrichtung

Bild 6 – Typischer synthetischer Einschaltkreis für dreiphasige Prüfungen ($k_{pp} = 1,5$)



ANMERKUNG 1 I_A , I_B , I_C : Ströme in den Phasen A, B und C.

ANMERKUNG 2 Die dicke waagerechte Linie stellt die minimale Lichtbogenzeit dar.

Bild 7 – Vergleich der Einstellungen der Lichtbogenzeiten bei dreiphasigen direkten (links) und dreiphasigen synthetischen Prüfungen (rechts) für T100s mit dem Polfaktor $k_{pp} = 1,5$

ANMERKUNG 1 I_A, I_B, I_C : Ströme in den Phasen A, B und C.

ANMERKUNG 2 Die dicke waagerechte Linie stellt die minimale Lichtbogenzeit dar.

Bild 8 – Vergleich der Einstellungen der Lichtbogenzeiten bei dreiphasigen direkten (links) und dreiphasigen synthetischen Prüfungen (rechts) für T100a mit dem Polfaktor $k_{pp} = 1,5$

Anhang A (informativ)

Stromverzerrung

Die Stromverzerrung ist ein bekannter Effekt, der bei synthetischen Prüfungen zu beachten ist. In A.1, A.2 und A.3 wird unter Verwendung vereinfachter Verfahren eine grundsätzliche Untersuchung durchgeführt. In der Praxis können digitale Berechnungen auf Computern besser geeignet sein, bei denen unterschiedliche Verläufe der Lichtbogenspannung eingesetzt werden können.

A.1 Stromverzerrung unmittelbar vor Stromnull

Das Wechselwirkungs-Intervall beginnt, wenn die Lichtbogenspannung anfängt, sich deutlich zu ändern, während der Strom dem Nulldurchgang zustrebt. Die Änderung der Lichtbogenspannung während dieser Zeit beeinflusst die Form und die Steilheit des Stromes unmittelbar vor Stromnull.

Diese Abweichung vom unbeeinflussten Stromverlauf wird durch den Verzerrungsstrom verursacht, der im Wesentlichen durch die Impedanz mit geringer Zeitkonstante fließt. Dabei sind alle Einflussgrößen des tatsächlichen Prüfkreises zu berücksichtigen.

Die Art, in welcher der Strom sich dem Stromnull nähert, ist ausschlaggebend für die Bedingungen, die im Löschmedium zwischen den Lichtbogenkontakten bestehen. Die wichtigste Wechselwirkung zwischen dem Prüfkreis und dem Leistungsschalter wird durch die Lichtbogenspannung verursacht, welche die Kapazitäten lädt und entlädt und die Stromsteilheit di/dt unmittelbar vor dem Stromnull beeinflusst.

In einem vereinfachten Kreis, der wie in Bild A.1 einen Kurzschluss im Netz oder einen direkten Prüfkreis darstellt, treibt die Spannung u einen Lichtbogenstrom i mit der entsprechenden Lichtbogenspannung u_a . Parallel zum Lichtbogen liegt eine Kapazität C .

Wenn angenommen wird, dass die Lichtbogenspannung $u_a = 0$ ist, fließt ein unbeeinflusster Kurzschlussstrom i_p (siehe Bild A.2) durch den Lichtbogen. Die Größe und Form dieses Stromes wird durch die Induktivität L , die Spannung u , die Frequenz dieser Spannung und den Zeitpunkt des Strombeginns bestimmt.

Wenn angenommen wird, dass die speisende Spannung $u = 0$ ist und dass eine Lichtbogenspannung existiert, dann verursacht diese Lichtbogenspannung einen Strom. Dieser Strom i_d (siehe Bild A.3) ist der Verzerrungsstrom, der teilweise als i_{dL} durch die Induktivität L und teilweise als i_{dC} durch die Kapazität C fließt. Für diese Bedingung gelten die folgenden Gleichungen:

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

und

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

Daraus lässt sich die folgende Gleichung für i_d ableiten:

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

Falls die beiden Spannungen u und u_a wirksam sind (siehe Bild A.4), errechnet sich der resultierende beeinflusste Strom aus:

$$i = i_p - i_d$$

A.2 Stromverzerrung während des Hochstrom-Intervalls

Während dieses Intervalls verursacht die Lichtbogenspannung einen Verzerrungsstrom i_d im Prüfkreis. i_d ist dem gesamten Strom überlagert.

Durch Vergleich mit dem unbeeinflussten Strom lässt sich die Verzerrung des Lichtbogenstromes durch vier physikalische Einflussgrößen darstellen: Stromscheitel, Periodendauer, Lichtbogenenergie und Steilheit di/dr .

Um den Einfluss der Lichtbogenspannung zu ermitteln, ist es in der Praxis ausreichend, den Scheitelwert und die Dauer der Stromschwingung zu betrachten.

Als erste Annäherung können zwei verschiedene Verläufe der Lichtbogenspannung angenommen werden:

- 1) eine konstante Lichtbogenspannung $u_a = U_a$
- 2) eine linear steigende Lichtbogenspannung $u_a = S \times t$

Da der Strom durch die Kapazität C (siehe Bild A.1) während dieses Abschnitts der Lichtbogenzeit klein ist, ist das vereinfachte Diagramm nach Bild A.5 ausreichend.

A.2.1 Stromverzerrung während des Lichtbogens einer Halbperiode eines symmetrischen Stromes

In den folgenden Gleichungen wurde der Widerstand in Bild A.5 vernachlässigt, da sein Einfluss während einer Halbperiode vernachlässigbar ist. Einige Ergebnisse sind in den Bildern A.8 und A.9 dargestellt.

Die Berechnungen gehen von den Daten aus, die in den Bildern A.6 und A.7 angegeben sind.

$\hat{u} = \omega L \times \hat{i}_p$ Scheitelwert der Spannung des Hochstromkreises;

$\hat{i}_p$ Scheitelwert des unbeeinflussten Stromes;

$\hat{i}$ Scheitelwert des beeinflussten Stromes (reduziert durch die Lichtbogenspannung);

t_m Zeitpunkt des Scheitelwertes $\hat{i}$.

a) Verhältnis der Stromamplituden

- für konstante Lichtbogenspannung:

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

- für linear steigende Lichtbogenspannung:

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

b) Dauer T_1 der Halbperiode des beeinflussten Stromes (reduziert durch die Lichtbogenspannung)

- für konstante Lichtbogenspannung:

$$\sin \omega T_1 = \frac{U_a}{\hat{u}} \omega T_1$$