

	Synthetische Prüfung von Hochspannungs-Wechselstrom-Leistungsschaltern (IEC 60427:2000) Deutsche Fassung EN 60427:2000	<u>DIN</u> EN 60427
VDE	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Vorstand beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter nebenstehenden Nummern in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekannt gegeben worden.	Klassifikation VDE 0670 Teil 108
ICS 29.130.10 Synthetic testing of high-voltage alternating current circuit-breakers (IEC 60427:2000); German version EN 60427:2000 Essais synthétiques des disjoncteurs à courant alternatif à haute tension (CEI 60427:2000); Version allemande EN 60427:2000 Die Europäische Norm EN 60427:2000 hat den Status einer Deutschen Norm. Beginn der Gültigkeit Die EN 60427 wurde am 2000-02-01 angenommen. Daneben darf DIN EN 60427 (VDE 0670 Teil 108):1996-03 und DIN EN 60427/A2 (VDE 0670 Teil 108/A1):1998-01 noch bis 2003-02-01 angewendet werden. Nationales Vorwort Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium UK 432.1 „Hochspannungs-Schaltgeräte“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE) zuständig. Norm-Inhalt war veröffentlicht als E DIN IEC 17A/537/CDV (VDE 0670 Teil 108/A2):1999-03. Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 17A „High-voltage switchgear and controlgear“ erarbeitet. Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zum Jahr 2005 unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation – bestätigt, – zurückgezogen, – durch eine Folgeausgabe ersetzt oder – geändert. Ersatz für DIN EN 60427 (VDE 0670 Teil 108):1996-03 DIN EN 60427/A2 (VDE 0670 Teil 108/A1):1998-01 Siehe Beginn der Gültigkeit Fortsetzung Seite 2 bis 3 und 64 Seiten EN Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)		

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 60427 (VDE 0670 Teil 108):1996-03** und **DIN EN 60427/A2 (VDE 0670 Teil 108/A1):1998-01** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Abschnitt 6.106.4, Prüfschaltfolge 4, und Tabelle 1.

Frühere Ausgaben

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

DIN EN 60427 (VDE 0670 Teil 108): 1996-03

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

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 Abschnittsnummer, 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.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig.

IEC hat 1997 die Benummerung der IEC-Publikationen geändert. Zu den bisher verwendeten Normnummern wird jeweils 60000 addiert. So ist zum Beispiel aus IEC 68 nun IEC 60068 geworden.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60050(441):1984 A1:2000	IEV Kapitel 441:1990	–
HD 348 S7:1998	IEC 60056:1987 A3:1996	DIN VDE 0670-101 (VDE 0670 Teil 101):1992-12 *) DIN VDE 0670-102 (VDE 0670 Teil 102):1992-12 *) DIN VDE 0670-103 (VDE 0670 Teil 103):1992-10 *) DIN VDE 0670-104 (VDE 0670 Teil 104):1992-10 *) DIN VDE 0670-105 (VDE 0670 Teil 105):1992-10 *) DIN VDE 0670-106 (VDE 0670 Teil 106):1992-10 *)	VDE 0670 Teil 101 VDE 0670 Teil 102 VDE 0670 Teil 103 VDE 0670 Teil 104 VDE 0670 Teil 105 VDE 0670 Teil 106
–	IEC/TR2 61633:1995	–	–
*) nicht übereinstimmend			

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

IEV Kapitel 441, *IEV – Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Kapitel 441: Schaltanlagen, Schaltgeräte und Sicherungen; Identisch mit IEC 60050-441:1984*

DIN VDE 0670-101 (VDE 0670 Teil 101), *Wechselstromschaltgeräte für Spannungen über 1 kV – Hochspannungs-Wechselstrom-Leistungsschalter – Allgemeines und Begriffe*

DIN VDE 0670-102 (VDE 0670 Teil 102), *Wechselstromschaltgeräte für Spannungen über 1 kV – Hochspannungs-Wechselstrom-Leistungsschalter – Einstufung*

DIN VDE 0670-103 (VDE 0670 Teil 103), *Wechselstromschaltgeräte für Spannungen über 1 kV – Hochspannungs-Wechselstrom-Leistungsschalter – Konstruktion und Bau*

DIN VDE 0670-104 (VDE 0670 Teil 104), *Wechselstromschaltgeräte für Spannungen über 1 kV – Hochspannungs-Wechselstrom-Leistungsschalter – Typ- und Stückprüfungen*

DIN VDE 0670-105 (VDE 0670 Teil 105), *Wechselstromschaltgeräte für Spannungen über 1 kV – Hochspannungs-Wechselstrom-Leistungsschalter – Auswahl von Leistungsschaltern für den Betrieb*

DIN VDE 0670-106 (VDE 0670 Teil 106), *Wechselstromschaltgeräte für Spannungen über 1 kV – Hochspannungs-Wechselstrom-Leistungsschalter – Angaben in Anfragen, Angeboten, Bestellungen sowie Hinweise für Transport, Aufstellung und Instandhaltung*

– Leerseite –

Deutsche Fassung

**Synthetische Prüfung von
Hochspannungs-Wechselstrom-Leistungsschaltern
(IEC 60427:2000)**

Synthetic testing of high-voltage alternating
current circuit-breakers
(IEC 60427:2000)

Essais synthétiques des disjoncteurs à courant
alternatif à haute tension
(IEC 60427:2000)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2000-02-01 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, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 17A/559/FDIS, zukünftige Änderung zu IEC 60427:1989, 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 2000-02-01 als Änderung A3 zu EN 60427:1992 angenommen.

Der Text des Schriftstücks wurde im April 2000 von der IEC zusammen mit dem Text der IEC 60427:1989 und deren Änderungen 1:1992 und 2:1995 als 3. Ausgabe der IEC 60427 veröffentlicht. Laut Beschluss des Technischen Büros von CENELEC wurde die Annahme von EN 60427:1992/A3 in die Annahme einer neuen EN 60427 umgewandelt.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 60427:1992 und deren Änderungen A1:1993 und A2:1995.

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): 2001-02-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2003-02-01

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norminhalt.

Anhänge, die als „informativ“ bezeichnet sind, enthalten nur Informationen.

In dieser Norm sind die Anhänge EE, GG, ZA normativ und sind die Anhänge AA, BB, CC, DD, FF und HH informativ.

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60427:2000 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einführung	5
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Technik und Verfahren synthetischer Prüfungen – Kurzschluss-Ausschaltprüfungen	6
4.1 Grundlagen und allgemeine Anforderungen für synthetische Ausschaltprüfverfahren.	6
4.2 Synthetische Prüfkreise und hierauf bezogene wesentliche Anforderungen für Ausschaltprüfungen .	9
5 Kurzschluss-Einschaltprüfungen	10
5.1 Grundlagen und allgemeine Anforderungen für synthetische Einschaltprüfverfahren	10
5.2 Synthetischer Prüfkreis und hierauf bezogene wesentliche Anforderungen für Einschaltprüfungen ..	11
6 Besondere Anforderungen für die Durchführung synthetischer Einschalt- und Ausschaltprüfungen nach IEC 60056, 6.102 bis 6.111	12
Anhang AA (informativ) Stromverzerrung	28
Anhang BB (informativ) Stromüberlagerungsverfahren	41
Anhang CC (informativ) Spannungsüberlagerungsverfahren	45
Anhang DD (informativ) Prüfkreis mit Zweifach-Überlagerung (Transformator- oder Skeats-Kreis)	47
Anhang EE (normativ) Angaben für synthetische Prüfungen und Aufzeichnungen der Ergebnisse.	49
Anhang FF (informativ) Besondere Prüfverfahren für Leistungsschalter mit Parallel-Ausschaltwiderständen	50
Anhang GG (normativ) Synthetische Verfahren zum Schalten kapazitiver Ströme	52
Anhang HH (informativ) Fortzündverfahren zur Verlängerung der Lichtbogenzeit	61
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	64
Bild 1 – Ausschaltvorgang; grundlegende Zeitintervalle	22
Bild 2 – Beispiel des Verlaufs der Wiederkehrspannung	23
Bild 3 – Gleichwertiger Wellenwiderstand innerhalb des Hochspannungskreises der Prüfschaltung mit Stromüberlagerung	24
Bild 4 – Einschaltvorgang; grundlegende Zeitintervalle	25
Bild 5 – Höchstzulässige Vorzündzeit für eine gültige Einschaltprüfung mit verringerter Spannung	26
Bild 6 – Synthetischer Einschaltkreis und Kurvenformen	27
Bild AA.1a – Direkter Prüfkreis, vereinfachtes Schaltbild	33
Bild AA.1b – Unbeeinflusster Kurzschlussstrom	33
Bild AA.1c – Verzerrungsstrom	33
Bild AA.1d – Verzerrungsstrom	34
Bild AA.2a – Prüfkreis, vereinfachtes Schaltbild	34
Bild AA.2b – Strom- und Lichtbogenspannungsverlauf bei symmetrischem Strom	35
Bild AA.2c – Strom- und Lichtbogenspannungsverlauf bei unsymmetrischem Strom	36
Bild AA.3a – Minderung der Stromamplitude und der Dauer der letzten Stromhalbperiode vor der Löschung	37
Bild AA.3b – Minderung der Stromamplitude und der Dauer der letzten Stromhalbperiode vor der Löschung	38
Bild AA.3c – Minderung der Stromamplitude und der Dauer der letzten Stromhalbperiode vor der Löschung	39
Bild AA.3d – Minderung der Stromamplitude und der Dauer der letzten Stromhalbperiode vor der Löschung	40

	Seite
Bild BB.1 – Typischer Stromüberlagerungskreis mit dem Hochspannungskreis parallel zum Prüfschalter	42
Bild BB.2 – Zeitablauf der Stromüberlagerung nach Bild BB.1.....	42
Bild BB.3 – Typischer Stromüberlagerungskreis mit dem Hochspannungskreis parallel zum Hilfsschalter	43
Bild BB.4 – Zeitablauf der Stromüberlagerung nach Bild BB.3.....	43
Bild BB.5 – Beispiele zur Bestimmung der Zeitdauer der wesentlichen Änderung der Lichtbogenspannung aus dem Oszillogramm	44
Bild CC.1 – Typischer Spannungsüberlagerungskreis mit dem Hochspannungskreis parallel zum Hilfsschalter (vereinfachtes Schaltbild)	45
Bild CC.2 – Verlauf der Einschwingspannung in einem Spannungsüberlagerungskreis parallel zum Hilfsschalter	46
Bild DD.1 – Transformator- oder Skeats-Kreis	48
Bild DD.2 – Gesteuerter Transformator- oder Skeats-Kreis	48
Bild GG.1 – Synthetischer Prüfkreis in Parallelschaltung	54
Bild GG.2 – Synthetischer Prüfkreis mit induktivem Hochstromkreis und einer Möglichkeit, einen Spannungssprung einzustellen	55
Bild GG.3 – Synthetischer Prüfkreis mit Spannungsüberlagerung, der einen Spannungssprung erzeugt ..	56
Bild GG.4 – Synthetischer Prüfkreis mit Stromüberlagerung	58
Bild GG.5 – Synthetischer Prüfkreis in Reihenschaltung zur Beanspruchung beider Seiten des Prüfschalters mit der normalen Netzeinschwingspannung.	59
Bild GG.6 – Synthetischer Prüfkreis für Einschaltungen	60
Bild HH.1 – Typischer Fortzündkreis zur Verlängerung der Lichtbogenzeit.	62
Bild HH.2 – Kombinerter Skeats- und Stromüberlagerungskreis	62
Bild HH.3 – Typischer Strom- und Spannungsverlauf einer unsymmetrischen Prüfung mit dem Prüfkreis nach Bild HH.2	63

Einführung

In den letzten Jahrzehnten wurden Erfahrungen mit synthetischen Prüfverfahren gesammelt. 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 60056 darstellen.

Deshalb wurde beschlossen, synthetische Prüfverfahren nach sorgfältiger Überarbeitung der ersten Ausgabe der IEC 60427 als gleichwertig zu direkten Prüfverfahren in die Norm aufzunehmen.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für Wechselstrom-Leistungsschalter nach IEC 60056. Sie gibt allgemeine Regeln für synthetische Ein- und Ausschaltprüfungen im Leistungsbereich der Prüfschaltfolgen, die in IEC 60056, 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 GG beschrieben.

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 normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil dieser Internationalen Norm sind. Bei datierten Verweisungen gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Anwender dieser Internationalen Norm werden jedoch gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, die jeweils neuesten Ausgaben der nachfolgend angegebenen normativen Dokumente anzuwenden. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments. Mitglieder von ISO und IEC führen Verzeichnisse der gültigen Internationalen Normen.

IEC 60050(441):1984, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*.

IEC 60056:1987, *High-voltage alternating current circuit-breakers*.

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* ^{N1)}.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die Begriffe der IEC 60056 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 60056, 6.102.2).

N1) Nationale Fußnote: Die Nummer muss „IEC/TR2 61633“ heißen.

3.4 Hilfsschalter

ein oder mehrere Leistungsschalter, die einen Teil des synthetischen Prüfkreises bilden, so dass der Prüfschalter in der geforderten Beziehung zu verschiedenen Teilkreisen steht.

3.5 Hochstromkreis

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

3.6 Hochspannungskreis

Teil der synthetischen Prüfschaltung, welcher die Prüfspannung 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 Überlagerungsstrom

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

3.13 Spannungsüberlagerungsverfahren

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

3.14 Referenz-Netzbedingungen

Bedingungen eines elektrischen Netzes mit den Einflussgrößen, aus denen sich die Bemessungs- und Prüfwerte nach IEC 60056 herleiten.

4 Technik und Verfahren synthetischer Prüfungen – 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.

Grundlegende Intervalle

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 Kontakttrennung bis zum Beginn der bedeutsamen Änderung der Lichtbogenspannung und geht dem Wechselwirkungs-Intervall und dem Hochspannungs-Intervall voraus.
- Wechselwirkungs-Intervall
Das Wechselwirkungs-Intervall ist die Zeit vom Beginn der bedeutsamen Änderung der Lichtbogenspannung vor dem Stromnull bis zum endgültigen Erlöschen des Stromes einschließlich des Nachstromes, sofern vorhanden, durch den Prüfschalter (siehe auch [Anhang BB.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 Grenzwertabweichungen 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 werden die Dauer der Stromhalbperiode und der Scheitelwert des Stromes verringert. Diese Verzerrung des Stromes wird in [Anhang AA](#) beschrieben.

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

Die Grenzwertabweichungen für die Amplitude und die Betriebsfrequenz des unbeeinflussten Ausschaltstromes nach [IEC 60056](#), [6.103.2](#) und [6.104.3](#), dürfen nicht von dem durch den Prüfschalter fließenden tatsächlichen Strom überschritten werden. Deshalb müssen folgende Bedingungen eingehalten werden:

- Die tatsächliche Stromamplitude muss während der letzten Halbperiode durch den Prüfschalter die Forderungen für den unbeeinflussten Strom nach [IEC 60056](#), [6.104.3](#), erfüllen. Die Amplitude der letzten Halbperiode des beeinflussten Stromes in einem einphasigen Kreis darf 90 % des festgelegten Wertes nicht unterschreiten.
- Die Dauer der letzten Halbperiode des beeinflussten betriebsfrequenten Stromes darf nicht kleiner sein als 90 % der Teilschwingungsdauer bei Nennfrequenz, wobei gegebenenfalls die Auswirkung der festgelegten Gleichstromkomponente zu berücksichtigen ist.
- Bei der synthetischen Prüfung von Leistungsschaltern mit Lichtbogenspannungscharakteristiken, die den Strom im Netz spürbar verändern würden, darf der Einfluss der Lichtbogenspannung auf die Stromamplitude und die Teilschwingungsdauer unter Beachtung der vorher angegebenen Grenzwertabweichungen berücksichtigt werden.

Das ausführliche Verfahren zur Abschätzung dieser Korrekturen mit Beispielen für die Festlegung der Grenzwertabweichungen wird im [Anhang AA](#) angegeben.

Um mit dem Prüfstrom innerhalb der Grenzwertabweichungen zu bleiben, ist es gestattet, den Strom durch Erhöhung der Spannung oder Verringerung der Reaktanz des Hochstromkreises zu vergrößern oder einen Strom mit erhöhter Gleichstromkomponente oder verminderter Frequenz zu verwenden. Zu diesem Zweck dürfen die festgelegten Grenzwertabweichungen für die Gleichstromkomponente und die Frequenz des Hochstroms mit Zustimmung des Herstellers überschritten werden.

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. Wenn 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 (3.14), 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 mit Verlauf und Amplitude jener Einschwingspannung übereinstimmen, die auf den unbeeinflussten Strom der entsprechenden Prüfschaltfolge bezogen sind.

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 dieser 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 60056, 4.102, 4.105, 4.106 und 6.104.5, genügen. Geeignete Verfahren zur Ermittlung der unbeeinflussten Einschwingspannung in synthetischen Prüfkreisen können aus IEC 60056, Anhang GG, ausgewählt werden.

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

ANMERKUNG 1 Wenn der Prüfschalter niederohmige Parallel-Widerstände hat, kann ein besonderes Vorgehen notwendig sein (siehe Anhang FF).

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 60056, 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 Gleichspannung oder eine kombinierte Wechsel-Gleichspannung oder eine Wechselspannung, die in den meisten Fällen aufgrund der begrenzten Energie des Hochspannungskreises abnimmt. Deshalb ist es nicht immer möglich, den Verlauf der Wiederkehrspannung über mindestens 0,1 s derart aufrechtzuerhalten, wie es in IEC 60056, 6.104.7, gefordert wird. Abweichungen von der festgelegten Wiederkehrspannung sind statthaft, 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 60056, 6.104.7, festgelegt ist und mit einem kleinsten Scheitelwert von $0,95 \cdot h \cdot \sqrt{2} \cdot U/\sqrt{3}$ beginnt.

Hierin bedeuten:

h Polfaktor des erstlöschenden Poles (1,3 oder 1,5).

U Bemessungsspannung des Leistungsschalters.

- Unabhängig davon, ob als Wiederkehrspannung eine exponentiell fallende Gleichspannung, eine Wechselspannung oder 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 $\sqrt{2} \cdot U/\sqrt{3}$ gehalten werden. Auf keinen Fall darf sie in weniger als 0,1 s unter den Wert $0,5 \cdot \sqrt{2} \cdot U/\sqrt{3}$ 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 60056, 6.104.7, und die oben 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 BB](#)):

- der Strom des Hochspannungskreises wird dem 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 äquivalente Schwingkreiswiderstand Z_h (siehe [Bild 3](#)) gleich dem Quotienten $(du/dt)/(di/dt)$ im Wechselwirkungs-Intervall 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 $t_d = Z_h \cdot C_{dh}$.

b) *Induktivität des Hochspannungskreises*

Die Induktivität des Hochspannungskreises muss zwischen dem 1,0fachen und 1,5fachen 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.

Die Zuschaltung des Überlagerungsstromes ist so einzustellen, dass die Zeitdauer, in welcher der Prüfschalter durch diesen Strom allein beaufschlagt wird, die Dauer einer 1/4 Periode der Frequenz des Überlagerungsstromes, unter Einhaltung eines Maximalwertes von 500 μ s, nicht überschreitet.

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 die Zeitdauer der wesentlichen Änderung der Lichtbogen Spannung bestimmt. Diese Zeitdauer muss kürzer sein als die Zeit, in welcher der Lichtbogen durch den Überlagerungsstrom allein gespeist wird. Um dies zu erreichen, sollte die Periodendauer der Überlagerungsfrequenz mindestens viermal größer sein als die Zeitdauer der wesentlichen Änderung der Lichtbogen Spannung (siehe [Anhang BB](#)).

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 μ s ist.

d) *Kurvenform des Überlagerungsstromes*

Die unbeeinflusste Steilheit im Stromnull di/dt des Überlagerungsstromes muss der des unbeeinflussten betriebsfrequenten Stromes entsprechen.

Der Überlagerungsstrom darf mindestens 100 μ s vor dem Stromnull bis zur Stromunterbrechung keine Oberwellen enthalten.

4.2.2 Spannungsüberlagerungsverfahren

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

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

Wenn das Spannungsüberlagerungsverfahren zur Prüfung des thermischen Verhaltens des Leistungsschalters verwendet werden soll, das gilt für Prüfungen unter Klemmenkurzschlussbedingungen einschließlich der Anfangseinschwingspannung oder unter Abstandskurzschlussbedingungen, so ist es notwendig, die Gültigkeit der Prüf-

schaltung für das Wechselwirkungs-Intervall nachzuweisen. Hierüber ist Übereinstimmung zwischen Hersteller, Prüffeld und Betreiber zu erzielen.

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

- Die Lichtbogenspannung des Hilfsschalters sollte kleiner oder gleich der des Prüfschalters sein. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn die Löschspitzen der Lichtbogenspannung beider Leistungsschalter näherungsweise gleich sind (siehe Anmerkung in 4.1.2).
- Die Impedanz des Hochspannungskreises muss klein genug sein, damit sich gegebenenfalls auftretende Wieder- oder Rückzündungen ausbilden können.

Aus diesem Grunde muss die Kapazität parallel zum Hilfsschalter mindestens 10 nF betragen. 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.

ANMERKUNG Für Abstandskurzschlussprüfungen darf zusätzlich zu dem Spannungsüberlagerungskreis für die speiseseitige Einschwingspannung ein Stromüberlagerungskreis für die leitungsseitige Einschwingspannung an den leitungsseitigen Anschluss des Prüfschalters geschaltet werden.

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

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

- 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 μ s) vor dem Prüfschalter. In diesem Kurzzeitbereich wird der Wert di/dt des Stromes, der durch den Prüfschalter fließt, vermindert.

Der Prüfkreis 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.

Der Prüfkreis kann für Einschaltprüfungen verwendet werden.

Der Prüfkreis kann vorteilhaft für die volle Spannungsbeaufschlagung bei zwei (oder mehreren) Schaltspielen angewendet werden, z. B. bei der Ein- und Ausschaltung einer CO-Schaltfolge, oder bei beiden Ausschaltungen einer O-t-CO-Schaltfolge oder für aufeinanderfolgende Stromnulldurchgänge bei einer Ausschaltung (siehe [Anhang DD](#)).

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 angewendet werden, vorausgesetzt, ihre Wirkungsweise ist überschaubar, und zwischen Hersteller und Betreiber wird Übereinstimmung über ihre Anwendung erzielt.

Synthetische Prüfverfahren für dreiphasige Kurzschluss-Ausschaltprüfungen sind in IEC 61633^{*)} wiedergegeben.

Ein Verfahren für die Prüfung von Leistungsschaltern mit Parallelwiderständen ist in [Anhang FF](#) dargestellt.

5 Kurzschluss-Einschaltprüfungen

5.1 Grundlagen und allgemeine Anforderungen für synthetische Einschaltprüfverfahren

Während der Einschaltung auf einen Kurzschluss liegt an der Schaltstrecke des Leistungsschalters eine Wechselspannung an, die den Durchbruch der Schaltstrecke verursacht und deren Effektivwert gleich ist der durch $\sqrt{3}$ geteilten Bemessungsspannung. Nach diesem Zeitpunkt wird der Leistungsschalter durch den Einschaltstrom beansprucht, welcher nach [Bild 4](#) durch seine größte Amplitude $\hat{i}$ bestimmt ist (siehe [IEC 60056](#), 4.103).

In einem synthetischen Prüfkreis wird die angelegte Spannung durch eine getrennte Spannungsquelle geliefert. Den Kurzschlussstrom liefert ein Hochstromkreis mit verringerter Spannung. 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.

*) Nationale Fußnote: richtig IEC/TR 261633

Grundlegende Intervalle

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

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 Grenzabweichungen mit den Referenz-Netzbedingungen übereinstimmen.

Deshalb sind folgende Voraussetzungen zu erfüllen:

- Die angelegte Spannung muss die Anforderungen nach IEC 60056, 6.104.1, erfüllen.
- Der Phasenwinkel zwischen der angelegten Spannung und dem Kurzschlussstrom muss dem Bemessungs-Leistungsfaktor des Prüfkreises innerhalb der Grenzabweichungen nach IEC 60056, 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. Im Allgemeinen setzt sich der Strom aus drei Komponenten zusammen:

- dem Anfangs-Einschwingeneinschaltstrom ITMC,
- den Gleich- und Wechselstrom-Komponenten des Kurzschlussstromes.

Abhängig vom Einschaltaugenblick und der Leistungsschalterkonstruktion sind zwei typische Fälle möglich:

- Der Durchbruch erfolgt nahe dem Scheitel der angelegten Spannung; ein fast symmetrischer Strom wird eingeleitet. Die Lichtbogenenergie des Vorüberschlags und der Anfangs-Einschwingeneinschaltstrom ITMC 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 ITMC sind vernachlässigbar, ausgenommen bei ungleichzeitigem Einschalten eines Poles mit mehreren Schaltstrecken.

ANMERKUNG Da der Anfangs-Einschwingeneinschaltstrom ITMC nicht in IEC 60056, 4.103, festgelegt ist, wird ein Wert, der die Vorzündung aufrecht erhält, als ausreichend betrachtet.

5.1.3 Verklünnungs-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 60056, 4.103, entsprechen.

5.2 Synthetischer Prüfkreis und hierauf bezogene wesentliche Anforderungen für Einschaltprüfungen

5.2.1 Prüfkreis

Der Prüfkreis nach Bild 6 besteht aus zwei Kreisen, dem Hochstromkreis und dem Hochspannungskreis.

- Der Hochspannungskreis, der im Wesentlichen aus einem Transformator kleiner Leistung besteht, liefert während des Hochspannungs-Intervalls die angelegte Spannung; während des Vorzünd-Intervalls den Anfangs-Einschwingeneinschaltstrom ITMC durch die Entladung des dafür vorgesehenen Kreises (ITMC-Kreis).
- Der Hochstromkreis liefert den Einschaltstrom während des Vorzünd- und des Verklünnungs-Intervalls.

5.2.2 Besondere Anforderungen

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

- Phasenverschiebung zwischen der Spannung der Stromquelle u_1 und der Spannung der Spannungsquelle u_2 ;
- Verzögerungszeit der Einschaltfunkenstrecke;
- kleinste Durchbruchspannung der Einschaltfunkenstrecke.

Der Phasenwinkel zwischen der angelegten Spannung und dem Kurzschlussstrom darf 90 ± 27 elektrische Grade betragen.

Der Überlagerungsstrom des Hochspannungskreises stellt vor dem Einschalten der schnellen Einschaltfunkenstrecke den Vorüberschlag sicher. Deshalb muss die Zeitkonstante des Kreises für den Anfangs-Einschwing-einschaltstrom größer sein als die Verzögerungszeit der Einschaltfunkenstrecke.

ANMERKUNG Die Spannung u_2 kann von einer Wechsel- oder einer Gleichspannungsquelle geliefert werden.

6 Besondere Anforderungen für die Durchführung synthetischer Einschalt- und Ausschaltprüfungen nach IEC 60056, 6.102 bis 6.111

IEC 60056, 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 60056.

6.102.1.3 Prüfung in mehreren Teilen

Synthetische Prüfverfahren für Leistungsschalter mit niederohmigen Parallelwiderständen sind in [Anhang FF](#) beschrieben.

6.102.2 Anordnung des Leistungsschalters für die Prüfung

Synthetische Prüfverfahren für dreiphasige Prüfungen sind in IEC 61633^{*)} wiedergegeben.

6.102.9 Leistungsschalter mit kurzen Lichtbogenzeiten

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 HH](#) beschrieben.

ANMERKUNG Ein Verfahren mit mehrfacher Zuschaltung des Hochspannungskreises erfordert praktisch den gleichen Prüf-ablauf wie eine direkte Prüfung. Der Hochspannungskreis wird bei jedem Stromnulldurchgang mit dem Prüfschalter verbunden. Falls der Prüfschalter in einem Stromnulldurchgang unterbricht, wird das Verfahren abgebrochen. Falls der Prüfschalter wieder-zündet, wird der Hochstromkreis durch Wiederzünden des Hilfsschalters wieder verbunden. Gleichzeitig wird der Hochspan-nungskreis getrennt und beim nächsten Stromnulldurchgang in der dann richtigen Gegenpolarität wieder zugeschaltet. Das geschilderte Verfahren wird wegen seiner Kompliziertheit jedoch selten angewendet.

Das „Schritt-für-Schritt“-Verfahren ist das bei den meisten synthetischen Prüfungen angewendete Verfahren. Die-ses 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 (Klemmenkurzschluss, Abstandskurzschluss und Asynchronbedingungen) die jeweils kürzeste Lichtbogenzeit zu ermitteln. Hierzu sind mindestens zwei Ausschaltprüfungen erforderlich, eine mit Wie-derzünden, die andere mit endgültiger Stromunterbrechung. Der Unterschied der Lichtbogenzeit der beiden Schal-tungen darf 1 ms nicht überschreiten.

Die Ausschaltung mit der kürzesten Lichtbogenzeit ist die erste gültige Ausschaltung.

Die andere Ausschaltung wird auch ausgeführt, um zu zeigen, dass das Wiederzünden bei einem zu frühen Strom-nulldurchgang, z. B. nach einer Lichtbogenzeit etwas unterhalb der kürzesten Lichtbogenzeit, wie dies bei einer Ausschaltung nach der maximalen Lichtbogenzeit der Fall ist, 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. Es ist jedoch der Nachweis wichtig, dass die Wiederzündung nur zwischen den Lichtbogenkontakten stattge-funden hat. Dies kann durch die Stehspannungs-Koordination für dielektrisches Wiederzünden, zumindest für die entsprechende Kontaktstellung, nachgewiesen werden. Bei Anwendung eines Stromüberlagerungsverfahrens ist die Unterbrechung des Schwingstromes einige Teilschwingungen nach der Wiederzündung oft ein nützliches Mittel des Nachweises. Eine eingehende Inspektion von Schirmen, Lichtbogen- und Hauptkontakten usw. sollte zum Nachweis korrekten Verhaltens ebenfalls durchge-führt werden.

Bei Abstandskurzschlussprüfungen ist das Wiederzünden üblicherweise thermischem Versagen zuzuordnen, so dass die Steh-spannungs-Koordination nicht betroffen ist.

ANMERKUNG 3 Obgleich sich dieser Abschnitt auf Leistungsschalter mit kurzer Lichtbogenzeit bezieht, gelten im Wesent-lichen dieselben Anforderungen für Leistungsschalter mit langer Lichtbogenzeit.

*) Nationale Fußnote: richtig IEC/TR 261633

6.106 Standard-Kurzschlussprüfschaltfolgen

Die Schaltfolgen der Prüfschaltfolgen 1, 2, 3 und 5 zusammen mit verschiedenen Verfahren zur Durchführung der Prüfschaltfolge 4 zeigt [Tabelle 1](#).

Symbole:	Cs	Einschaltung mit festgelegten Werten in synthetischer Prüfschaltung.
	Os	Ausschaltung mit festgelegten Werten in synthetischer Prüfschaltung.
	Cd	Einschaltung mit festgelegtem Einschaltstrom, aber verringerter angelegter Spannung des Hochstromkreises.
	Od	Ausschaltung mit festgelegtem Ausschaltstrom, aber mit verringerter Einschwingspannung und betriebsfrequenter Wiederkehrspannung des Hochstromkreises.

ANMERKUNG 1 Wegen der Besonderheiten synthetischer Prüfungen kann es schwierig sein, die festgelegten Pausenzeiten der Bemessungsschaltfolge einzuhalten. Siehe [IEC 60056, 6.105.1](#).

ANMERKUNG 2 Um alle Prüfanforderungen zu erfüllen, können mehr Schaltspiele erforderlich werden, als für die Bemessungsschaltfolge vorgesehen sind. In solchen Fällen darf der Leistungsschalter nach der Anzahl der Schaltspiele, die jenen der Bemessungs-Schaltfolge entsprechen, instand gesetzt werden.

6.106.1

6.106.2 Prüfschaltfolgen 1, 2 und 3

6.106.3

Für die Prüfschaltfolgen 1, 2 und 3 sind nur Ausschaltprüfungen festgelegt.

6.106.4 Prüfschaltfolge 4

Es können mehrere Prüfverfahren angewendet werden, um die Bemessungs-Schaltfolge in synthetischer Prüfung mit den festgelegten Prüfwerten durchzuführen (siehe [Tabelle 1](#)).

Die folgenden Verfahren sind verfügbar:

Verfahren 1i) und 1ii)

Die Verfahren 1i) und 1ii) sind anzuwenden, wenn die Zeitkonstante des Prüfkreises gleich dem festgelegten Wert der Zeitkonstante nach [IEC 60056, 4.101.2](#), für den Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom ist.

Der Zweck der ersten Ausschaltung Os (synthetische Ausschaltung) ist:

- Erfüllung der Anforderung von 2 oder 3 Ausschaltungen (abhängig von der Schaltfolge) mit festgelegten Werten;
- Beschaffung der notwendigen Informationen für die Einstellung des Auslöseimpulses 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. Dies kann während der Ausschaltung Od in der nachfolgenden Schaltfolge reproduziert werden.

Die Bedingungen für diese Prüfung in zwei Teilen sind:

- die Ausschaltung Od muss unter den gleichen Bedingungen für die kürzeste Lichtbogenzeit durchgeführt werden, wie sie sich bei der vorhergehenden Ausschaltung Os ergeben haben. Gewöhnlich sind dafür Fortzündverfahren erforderlich (siehe Anhang JJ);
- die Steuerung des Auslöseimpulses für die Ausschaltungen der Schaltfolge muss mit den Anforderungen nach [IEC 60056, 6.102.9 \(B\) 1](#)), übereinstimmen. Die Folge der Lichtbogenzeiten muss sowohl bei isoliertem als auch bei geerdetem Sternpunkt mit denen in [IEC 60056, 6.102.9 \(B\) 1](#)), übereinstimmen.

In dieser Schaltfolge dient

- $C_{s_{sym}}$ zum Nachweis des Einschaltvermögens mit längstem Vorüberschlag gegen einen symmetrischen Strom, der gleich ist dem Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom nach [IEC 60056, 6.104.2](#). Diese Einschaltung muss bei einer angelegten Spannung entsprechend [IEC 60056, 6.104.1](#), erfolgen.
- $C_{d_{asy}}$ zum Nachweis des Bemessungs-Kurzschlusseinschaltvermögens nach [IEC 60056, 6.104.2](#). Für diesen Nachweis darf die Einschaltung bei reduzierter Spannung mit den in [IEC 60056, 6.104.2](#), angegebenen Grenzwerten erfolgen.
- Während der Schaltfolgen 1i) oder 1ii) ist keine Instandsetzung erlaubt.

Das Verfahren 1ii) darf als Alternative zum Verfahren 1i) angewendet werden, wenn das Prüffeld nicht über einen Prüfkreis verfügt, in dem der Leistungsschalter während der Bemessungs-Schaltfolge bei einer angelegten Spannung nach [IEC 60056, 6.104.1](#), gegen einen symmetrischen Strom gleich dem Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom eingeschaltet werden kann. In diesem Fall ist eine zusätzliche Einschaltung $C_{s_{sym}}$ bei einer angelegten Spannung entsprechend [IEC 60056, 6.104.1](#), gegen einen symmetrischen Strom gleich dem Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom nach [IEC 60056, 6.104.2](#), durchzuführen.

Verfahren 2i) und 2ii)

Die Verfahren 2i) und 2ii) sind anzuwenden, wenn die Zeitkonstante des Prüfkreises kleiner ist als der festgelegte Wert der Zeitkonstante nach IEC 60056, 4.101.2, für den Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom.

Für die Verfahren 2i) und 2ii) gelten dieselben Regeln und Anforderungen wie für die Verfahren 1i) und 1ii). Wegen der kleineren Zeitkonstante des Prüfkreises in Bezug auf die in IEC 60056, 4.101.2, festgelegte Zeitkonstante des Bemessungs-Kurzschlussausschaltstromes, ist eine zusätzliche Einschaltung Cd_{asy} mit einem Scheitelwert des Stromes gleich dem Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom durchzuführen. Dies erfordert einen höheren Effektivwert des Stromes.

ANMERKUNG Der Scheitelwert des Stromes während der zweiten Einschaltung der vollständigen Bemessungs-Schaltfolge wird aufgrund der kleineren Zeitkonstante des Prüfkreises kleiner sein als der Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom.

Das Verfahren 2ii) darf als Alternative zum Verfahren 2i) angewendet werden, wenn das Prüffeld nicht über einen Prüfkreis verfügt, in dem der Leistungsschalter während der Bemessungs-Schaltfolge bei einer angelegten Spannung nach IEC 60056, 6.104.1, gegen einen symmetrischen Strom gleich dem Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom eingeschaltet werden kann. In diesem Fall ist eine zusätzliche Einschaltung Cs_{sym} bei einer angelegten Spannung entsprechend IEC 60056, 6.104.1, gegen einen symmetrischen Strom gleich dem Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom nach IEC 60056, 6.104.2, durchzuführen.

Verfahren 3i) und 3ii)

Die Verfahren 3i) und 3ii) sind anzuwenden, wenn die Zeitkonstante des Prüfkreises größer ist als der festgelegte Wert der Zeitkonstante nach IEC 60056, 4.101.2, für den Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom.

Für die Verfahren 3i) und 3ii) gelten dieselben Regeln und Anforderungen wie für die Verfahren 1i) und 1ii). Wegen der größeren Zeitkonstante des Prüfkreises in Bezug auf die in IEC 60056, 4.101.2, festgelegte Zeitkonstante des Bemessungs-Kurzschlussausschaltstromes, wird der Scheitelwert des Stromes bei der unsymmetrischen Einschaltung Cd_{asy} größer als der Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom sein. Deshalb darf die Einschaltung gesteuert erfolgen, um den Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom zu erhalten. Der Nachweis der Bemessungs-Schaltfolge mit einem symmetrischen Strom gleich dem Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom und mit der Einschaltung gegen einen vollständig unsymmetrischen Strom (oder mittels gesteuerter Einschaltung) erfordert das Einverständnis des Herstellers. In diesem Fall muss die Bemessungs-Schaltfolge nur einmal durchlaufen werden. Alternativ dazu darf die Bemessungs-Schaltfolge bei der ersten Einschaltung gegen einen symmetrischen Strom gleich dem Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom und bei der zweiten Einschaltung ohne Last erfolgen; in diesem Fall ist das Vermögen des Leistungsschalters zur Durchführung der Bemessungs-Schaltfolge durch die Wiederholung der Bemessungs-Schaltfolge mit den zugehörigen Anforderungen und einem symmetrischen Strom unterhalb des Bemessungs-Kurzschlussausschaltstromes dadurch nachzuweisen, dass der Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom beim unsymmetrischen Einschalten erreicht wird. Dabei dürfen die Einschaltungen bei reduzierter Spannung durchgeführt werden.

ANMERKUNG Da das Vermögen des Leistungsschalters, gegen den Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom einzuschalten, bei der Wiederholung der Schaltfolge nachgewiesen wird, wird keine separate Einschaltung gegen den Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom nach IEC 60056, 6.104.2, gefordert.

Das Verfahren 3ii) darf als Alternative zum Verfahren 3i) angewendet werden, wenn das Prüffeld nicht über einen Prüfkreis verfügt, in dem der Leistungsschalter während der Bemessungs-Schaltfolge bei einer angelegten Spannung nach IEC 60056, 6.104.1, gegen einen symmetrischen Strom gleich dem Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom eingeschaltet werden kann. In diesem Fall ist eine zusätzliche Einschaltung Cs_{sym} bei einer angelegten Spannung entsprechend IEC 60056, 6.104.1, gegen einen symmetrischen Strom gleich dem Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom nach IEC 60056, 6.104.2, durchzuführen.

Bei dieser Prüffolge ist, wenn die Bemessungs-Schaltfolge wiederholt wird, die Instandsetzung vor der Wiederholung der Schaltfolge erlaubt.

6.106.5 Prüfschaltfolge 5

An einem Leistungsschalter mit kurzer Lichtbogenzeit müssen, unabhängig von der Bemessungs-Schaltfolge, drei Ausschaltungen durchgeführt werden.

ANMERKUNG Zur Absicherung der richtigen Beanspruchung und der Feststellung der kleinsten Lichtbogenzeit des Leistungsschalters darf eine eigene Prüfung durchgeführt werden. Bei dieser Prüfung ist, wie für die erste gültige Prüfung beschrieben, der Auslöseimpuls so zu steuern, dass die Kontakttrennung in oder gerade vor der kleinen Halbperiode erfolgt. Die Einschwingspannung wird am Ende der kleinen Halbperiode angelegt. In dieser Prüfung sollte der Prüfschalter wiederzünden. Es ist wichtig festzustellen, dass diese Wiederzündung nur zwischen den Lichtbogenkontakten erfolgt ist. Dies zeigt die richtige Isolationskoordination bei dielektrischen Wiederzündungen.

Bei Prüfungen mit unsymmetrischen Strömen werden durch die Gleichstromkomponente die Stromsteilheit di/dt und die Einschwingspannung teilweise verändert. Bei synthetischen Prüfungen müssen diese Veränderungen berücksichtigt werden durch:

a) Steuerung der Gleichstromkomponente des Stromes

Die Gleichstromkomponente des Stromes kann durch die Wahl des Zeitpunktes der Einleitung des Kurzschlusses gesteuert werden.

b) Verringerung der Stromsteilheit di/dt im Stromnull

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

Die Gleichung zur Berechnung der verringerten Ladespannung lautet:

$$U_{HA} = U_{HS} \left[\sqrt{1 - p^2} \pm \frac{p}{2 \pi f \cdot \tau} \right] \quad \begin{array}{l} + \text{ für große Teilschwingung} \\ - \text{ für kleine Teilschwingung} \end{array}$$

Dabei ist:

U_{HA} verringerte Ladespannung für Prüfung mit unsymmetrischem Ausschaltstrom

U_{HS} Ladespannung für die gleichwertige symmetrische Prüfung

p bezogener Wert der Gleichstromkomponente im Stromnull

τ Abklingzeitkonstante (45 ms) nach IEC 60056.

Ausgehend von der Unsymmetrie bei Kontakttrennung p_{sc} kann p nach folgender Formel berechnet werden:

$$p = p_{sc} \cdot e^{-\frac{t_a}{\tau}}$$

Dabei ist:

t_a Lichtbogenzeit.

c) Anpassung der Einschwingspannung

1) Einfaches Verfahren

Für Einschwingspannungen mit einer Zeit $t_2 \leq 500 \mu s$ kann ein einfaches Verfahren angewendet werden. Es hat als Voraussetzung, dass die Einschwingspannung (u_1, t_1, u_2, t_2) proportional der Veränderung di/dt angepasst wird.

Dies bedeutet, dass die Anpassung der Einschwingspannung selbsttätig mit der Verringerung von di/dt entsprechend b) erfolgt.

2) Für Einschwingspannungen mit Zeiten $t_2 > 500 \mu s$ sind andere Anpassungen und/oder Kreisänderungen notwendig. Die geforderten Werte der unbeeinflussten Einschwingspannung sind in [Tabelle 2](#) angegeben.

d) Anpassung der Wiederkehrspannung

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

Bei Lichtbogenlöschung am Ende einer kleinen Halbperiode des Stromes kann der Gleichspannungsanteil der verringerten Wiederkehrspannung den der Referenz-Netzbedingungen nicht abdecken, weil im Netz die betriebsfrequente Wiederkehrspannung mit dem Beginn der Einschwingspannung steigt.

Nach Abstimmung zwischen Prüffeld, Hersteller und Betreiber darf diese Prüfung zusammen mit den Prüfschaltfolgen mit symmetrischem Ausschaltstrom als ausreichender Nachweis für das Ausschaltvermögen des Leistungsschalters betrachtet werden. Eine Prüfung mit Lichtbogenlöschung des unsymmetrischen Stromes nach der kleinen Halbperiode mit kleinerem di/dt und der daraus resultierenden kleineren Einschwingspannung wird als leichter angesehen als eine Prüfung mit symmetrischem Ausschaltstrom. Wenn jedoch die uneingeschränkte Prüfung dieses Schaltfalles erforderlich ist, gibt es drei Möglichkeiten:

- 1) Die Prüfung wird mit unsymmetrischem Ausschaltstrom und der Ladespannung des Hochspannungskreises wie bei der Prüfung mit symmetrischem Ausschaltstrom durchgeführt. Da sowohl di/dt als auch die Einschwingspannung erhöht sind, ist die hierbei auftretende erheblich höhere Beanspruchung als bei einer gleichwertigen direkten Prüfung zu beachten.
- 2) Die Prüfung wird wie unter 1) durchgeführt, wobei die Induktivität des Hochspannungskreises jedoch umgekehrt proportional zum Verhältnis von di/dt erhöht ist. In diesem Fall ist der Wert di/dt genau, aber die Einschwingspannung höher.
- 3) Die Prüfung wird mit einer Wechselspannung als Wiederkehrspannung durchgeführt.

6.109 Abstandskurzschlussprüfungen

Bei synthetischen Abstandskurzschlussprüfungen müssen die Kenngrößen der Leitungsnachbildung IEC 60056 entsprechen und der Leitungskreis muss während des gesamten Wechselwirkungs-Intervalls im stromführenden Kreis liegen.

Bei Prüfkreisen mit Stromüberlagerung darf die Leitungsnachbildung in Reihe mit dem Hochspannungskreis liegen. Die Induktivität der Leitungsnachbildung addiert sich zu L_h , wie beispielsweise in [Bild BB.1](#) dargestellt.

Durch die Leitungsnachbildung im Hochspannungskreis können Oberwellen im Schwingstromverlauf auftreten. Um die Anforderungen nach 4.2.1 d) zu erfüllen, sollten diese Oberwellen so gedämpft werden, dass sie den Strom im Bereich der wesentlichen 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 Wenn bei Abstandskurzschlussprüfungen die Leitung und die Impedanz des Spannungskreises auf einer Seite des Prüfschalters liegen, sollten der Spannungsaufteilung und der Messung der unbeeinflussten Einschwingspannung besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

6.111 Synthetische Verfahren zum Schalten kapazitiver Ströme

Siehe [Anhang GG](#).

Tabelle 1 – Schaltfolgen für synthetische Prüfung der Prüfschaltfolgen 1, 2, 3, 4 und 5

Prüf- schaltfolge	Synthetische Prüfung		Bemessungs-Schaltfolge	
			O-t-CO-t'-CO $t = 0,3 \text{ s}$ oder 3 min $t' = 3 \text{ min}$	CO-t''-CO $t'' = 15 \text{ s}$
1, 2, 3	Ausschaltungen ^e	i)	Os-t-Os-t'-Os	Os-t''-Os
		ii)	Os Od-t-Os-t'-Os	Os Od-t''-Os
4 ^d	Vollständige Bemessungs-Schaltfolge		Os-t-CsOs-t'-CsOs	CsOs-t''-CsOs
	Verfahren 1 (Zeitkonstante der Gleichstromkomponente des Prüfkreises ist gleich dem festgelegten Wert)	i)	Os Od-t-Cs _{sym} Os-t'-Cd _{asy} Os	Os Cs _{sym} Od-t''-Cd _{asy} Os
		ii)	Cs _{sym} Os Od-t-Cd _{sym} Os-t'-Cd _{asy} Os	Cs _{sym} Os Cd _{sym} Od-t''-Cd _{asy} Os
	Verfahren 2 (Zeitkonstante der Gleichstromkomponente des Prüfkreises ist kleiner als der festgelegte Wert)	i)	Cd _{asy} ^a Os Od-t-Cs _{sym} Os-t'-Cd _{asy} Os	Cd _{asy} ^a Os Cs _{sym} Od-t''-Cd _{asy} Os
		ii)	Cd _{asy} ^a Cs _{sym} Os Od-t-Cd _{sym} Os-t'-Cd _{asy} Os	Cd _{asy} ^a Cs _{sym} Os Cd _{sym} Od-t''-Cd _{asy} Os
	Verfahren 3 (Zeitkonstante der Gleichstromkomponente des Prüfkreises ist größer als der festgelegte Wert)	i)	Os Od-t-Cs _{sym} Os-t'-(Cd _{asy} ^b)Os Od-t-Cd _{sym} Os-t'-Cd _{asy} Os ^c	Os Cs _{sym} Od-t''-(Cd _{asy} ^b)Os Cd _{sym} Od-t''-Cd _{asy} Os ^c
		ii)	Cs _{sym} Os Od-t-Cd _{sym} Os-t'-(Cd _{asy} ^b)Os Od-t-Cd _{sym} Os-t'-Cd _{asy} Os ^c	Cs _{sym} Os Cd _{sym} Od-t''-(Cd _{asy} ^b)Os Cd _{sym} Od-t''-Cd _{asy} Os ^c
5	Ausschaltungen ^e		Os Os Os	

^a Bei dieser Einschaltung ist der Effektivwert des Stromes größer als der Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom, um den erforderlichen Scheitelwert des Kurzschlusseinschaltstromes zu erhalten.

^b Bei dieser Einschaltung kann der Scheitelwert des Stromes größer sein als der Bemessungs-Kurzschluss-einschaltstrom, abhängig davon, ob die Einschaltung gesteuert erfolgt oder nicht (siehe Verfahren 3i) und 3ii)).

^c In dieser Schaltfolge ist der Effektivwert des Stromes kleiner als der Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom, um den erforderlichen Scheitelwert des Kurzschlusseinschaltstromes zu erhalten.

^d Zur erleichterten Durchführung der Prüfung ist es erlaubt, in der Prüfschaltfolge 4 die Reihenfolge von C_{sym} und C_{asy} zu tauschen.

^e Zur erleichterten Durchführung der Prüfung sind Einschaltungen vor jeder Ausschaltung in den Prüfschaltfolgen 1, 2, 3 und 5 erlaubt.