

	DIN EN 60076-5 (VDE 0532-76-5)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
ICS 29.180 Ersatz für DIN EN 60076-5 (VDE 0532-5):2001-11 Siehe jedoch Beginn der Gültigkeit Leistungstransformatoren – Teil 5: Kurzschlussfestigkeit (IEC 60076-5:2006); Deutsche Fassung EN 60076-5:2006 Power transformers – Part 5: Ability to withstand short-circuit (IEC 60076-5:2006); German version EN 60076-5:2006 Transformateurs de puissance – Partie 5: Tenue au court-circuit (CEI 60076-5:2006); Version allemande EN 60076-5:2006 Gesamtumfang 37 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2006-04-01 angenommene EN 60076-5 gilt als DIN-Norm ab 2007-01-01.

Daneben darf **DIN EN 60076-5 (VDE 0532-5):2001-11** noch bis 2009-04-01 angewendet werden.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60076-5 (VDE 0532-76-5):2005-03.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 321 „Transformatoren“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (<http://www.dke.de>) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 14 „Power transformers“ erarbeitet.

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

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

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 60076-5 (VDE 0532-5):2001-11** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Der Normentext wurde redaktionell überarbeitet, um die Bezüge zu den Anhängen herzustellen.
- b) Der frühere Anhang B wurde neu erarbeitet und mit neuem Titel jetzt als Anhang A eingefügt.
- c) Der frühere Anhang A wurde überarbeitet und als Anhang B eingefügt.

Frühere Ausgaben

DIN VDE 0532-5 (VDE 0532-5):1984-05
DIN EN 60076-5 (VDE 0532-5):2001-11

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.

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

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60076 (Reihe)	IEC 60076 (Reihe)	DIN EN 60076 (VDE 0532) (Reihe)	VDE 0532 (Reihe)
EN 60076-1:1997 + A1:2000 + A12:2002	IEC 60076-1:1993 + A1:1999	DIN EN 60076-1 (VDE 0532-76-1):2003-01	VDE 0532-76-1
EN 60076-3:2001	IEC 60076-3:2000	DIN EN 60076-3 (VDE 0532-3):2001-11	VDE 0532-3
–	IEC 60076-8:1997	–	–
EN 60076-11:2004	IEC 60076-11:2004	DIN EN 60076-11 (VDE 0532-76-11):2005-04	VDE 0532-11

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60076 (VDE 0532) (Reihe), *Leistungstransformatoren*

DIN EN 60076-1 (VDE 0532-76-1):2003-01, *Leistungstransformatoren – Teil 1: Allgemeines (IEC 60076-1:1993, modifiziert + A1:1999); Deutsche Fassung EN 60076-1:1997 + A1:2000 + A12:2002*

DIN EN 60076-3 (VDE 0532-3):2001-11, *Leistungstransformatoren – Teil 3: Isolationspegel, Spannungsprüfungen und äußere Abstände in Luft (IEC 60076-3:2000 + Corrigendum 2000), Deutsche Fassung EN 60076-3:2001*

DIN EN 60076-11 (VDE 0532-76-11):2005-04, *Leistungstransformatoren – Teil 11: Trockentransformatoren (IEC 60076-11:2004); Deutsche Fassung EN 60076-11:2004*

– Leerseite –

**Leistungstransformatoren –
Teil 5: Kurzschlussfestigkeit**
(IEC 60076-5:2006)

Power transformers –
Part 5: Ability to withstand short-circuit
(IEC 60076-5:2006)

Transformateurs de puissance –
Partie 5: Tenue au court-circuit
(CEI 60076-5:2006)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2006-04-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

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

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

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

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

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

Ref. Nr. EN 60076-5:2006 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 14/518/FDIS, zukünftige 3. Ausgabe von IEC 60076-5, ausgearbeitet von dem IEC/TC 14 „Power transformers“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2006-04-01 als EN 60076-5 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 60076-5:2000.

Diese Europäische Norm enthält bezüglich EN 60076-5:2000 folgende wesentliche technische Änderungen:

- a) Einführung eines Anhangs A (informativ) „Theoretische Bewertung der dynamischen Festigkeit im Kurzschluss“ anstelle des früheren Anhangs B (normativ) „Berechnungsverfahren für den Nachweis der Kurzschlussfestigkeit“;
- b) Einführung eines Anhangs B (informativ) „Begriffsbestimmung eines ähnlichen Transformators“ anstelle des früheren Anhangs A (informativ) „Leitfaden für die Bestimmung eines ähnlichen Transformators“.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

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

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60076-5:2006 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Anforderungen an die Kurzschlussfestigkeit	4
3.1 Allgemeines	4
3.2 Kurzschlussstrombedingungen	4
4 Nachweis der Kurzschlussfestigkeit	7
4.1 Thermische Kurzschlussfestigkeit	8
4.2 Festigkeit gegen die dynamischen Auswirkungen des Kurzschlusses	10
Anhang A (informativ) Theoretische Bewertung der dynamischen Festigkeit im Kurzschluss	19
A.1 Anwendungsbereich	19
A.2 Allgemeines	19
A.3 Leitfaden zur Durchführung der Überprüfung der Auslegung	20
A.3.1 Allgemeines	20
A.3.2 Informationen bezogen auf den zu bewertenden Transformator	20
A.3.3 Bewertung des Transformators	22
A.3.4 Ergebnis der Überprüfung der Auslegung und Anerkennung des zu bewertenden Transformators	27
Anhang B (informativ) Begriffsbestimmung eines ähnlichen Transformators	32
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	33
Bild 1 – Transformator in Stern-Dreieckschaltung	14
Bild 2 – Spartransformator in Stern-Sternschaltung	14
Tabelle 1 – Anerkannte Mindestwerte der Kurzschlussimpedanz für Transformatoren mit zwei getrennten Wicklungen	5
Tabelle 2 – Kurzschluss-Scheinleistung des Netzes	6
Tabelle 3 – Höchstzulässige Werte der mittleren Temperatur jeder Wicklung nach einem Kurzschluss	9
Tabelle 4 – Werte für den Faktor $k \cdot \sqrt{2}$	12
Tabelle A.1 – Vergleich der Kräfte und Beanspruchungen in Transformatoren in Kernbauweise	28
Tabelle A.2 – Vergleich der Kräfte und Beanspruchungen in Transformatoren in Rahmenbauweise	29
Tabelle A.3 – Werte für den K_3 -Faktor	31
Tabelle A.4 – Werte für den K_4 -Faktor	31

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60076 weist die Anforderungen an Leistungstransformatoren aus, um ohne Beschädigung den Wirkungen von Kurzschlussströmen, die durch äußere Kurzschlüsse hervorgerufen werden, zu widerstehen. Er beschreibt die Berechnungsverfahren, die benutzt werden, um die thermische Fähigkeit eines Leistungstransformators nachzuweisen, solchen Kurzschlussströmen zu widerstehen, sowie die besonderen Prüfungen und theoretischen Berechnungsverfahren, die benutzt werden, um die Fähigkeit nachzuweisen, den entsprechenden dynamischen Wirkungen zu widerstehen. Die Anforderungen gelten für Transformatoren, die durch den Anwendungsbereich von IEC 60076-1 abgedeckt sind.

2 Normative Verweisungen

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

IEC 60076-1:1993 + A1:1999, *Power transformers – Part 1: General*¹

IEC 60076-3:2000, *Power transformers – Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air*

IEC 60076-8:1997, *Power transformers – Part 8: Application guide*

IEC 60076-11:2004, *Power transformers – Part 11: Dry-type transformers*

3 Anforderungen an die Kurzschlussfestigkeit

3.1 Allgemeines

Transformatoren, zusammen mit allen Einrichtungen und Zubehörteilen, müssen so ausgelegt und gebaut sein, dass sie ohne Beschädigung den thermischen und dynamischen Wirkungen äußerer Kurzschlüsse unter den Bedingungen nach 3.2 widerstehen.

Äußere Kurzschlüsse sind nicht auf dreiphasige Kurzschlüsse beschränkt; sie schließen zweiphasige Kurzschlüsse, Doppel- und einphasige Erdschlüsse ein. Die Ströme, die unter diesen Bedingungen in den Wicklungen fließen, werden in diesem Teil von IEC 60076 als „Kurzschlussströme“ bezeichnet.

3.2 Kurzschlussstrombedingungen

3.2.1 Allgemeine Betrachtungen

3.2.1.1 Anwendungsbedingungen, die besondere Betrachtungen erfordern

Die folgenden Umstände, die die Größe, Dauer oder die Häufigkeit des Auftretens von Kurzschlussströmen beeinflussen, erfordern besondere Betrachtungen und müssen in den Festlegungen für den Transformator deutlich herausgestellt werden:

- Stelltransformatoren mit sehr kleiner Impedanz, die von der Impedanz der direkt angeschlossenen Geräte abhängt, um die Kurzschlussströme zu begrenzen;
- Blocktransformatoren, die empfindlich gegen hohe Überströme sind, die durch asynchrones Zuschalten des Generators hervorgerufen werden;
- Transformatoren, die unmittelbar an drehende Maschinen, wie Motoren oder synchronisierte Verdichter angeschlossen werden, die als Generatoren arbeiten und Strom in den Transformator einspeisen können, wenn ein Netzfehler vorliegt;

¹ Es gibt eine konsolidierte Ausgabe 2.1 (2000), die die Ausgabe 2.0 und ihre Änderung enthält.

- Spezialtransformatoren und Transformatoren, die in einem Netzbereich mit hoher Fehlerrate betrieben werden (siehe 3.2.6);
- eine höhere als die bemessene Betriebsspannung, die an dem/den nicht fehlerbehafteten Anschluss/Anschlüssen während eines Fehlerfalles aufrechterhalten wird.

3.2.1.2 Begrenzungen des Stromes bezüglich Zusatztransformatoren

Wenn die zusammengefasste Impedanz von Zusatztransformator und Netz eine Größenordnung für den Kurzschlussstrom ergibt, für die im Hinblick auf die Festigkeit die Auslegung des Transformators nicht durchführbar oder unwirtschaftlich ist, müssen Hersteller und Käufer gemeinsam den höchsten zulässigen Kurzschlussstrom vereinbaren. In diesem Fall sollten durch den Käufer Vorkehrungen getroffen werden, um den Kurzschlussstrom auf den höchsten zulässigen Wert, der durch den Hersteller angegeben und auf dem Leistungsschild aufgeführt wird, zu begrenzen.

3.2.2 Transformatoren mit zwei getrennten Wicklungen

3.2.2.1 Für die Anwendung dieser Norm werden drei Kategorien der Bemessungsleistung von Drehstromtransformatoren oder Drehstrombänken unterschieden:

- Kategorie I: 25 kVA bis 2 500 kVA;
- Kategorie II: 2 501 kVA bis 100 000 kVA;
- Kategorie III: über 100 000 kVA.

3.2.2.2 Beim Fehlen anderer Festlegungen muss der symmetrische Kurzschlussstrom (zum Effektivwert siehe 4.1.2) berechnet werden, indem man die gemessene Kurzschlussimpedanz des Transformators und die Netzimpedanz verwendet.

Bei Transformatoren der Kategorie I muss der Anteil der Netzimpedanz bei der Berechnung des Kurzschlussstroms vernachlässigt werden, wenn diese Impedanz kleiner oder gleich 5 % des Wertes der Kurzschlussimpedanz des Transformators ist.

Der Scheitelwert des Kurzschlussstroms muss nach 4.2.3 berechnet werden.

3.2.2.3 Allgemein anerkannte Mindestwerte der Kurzschlussimpedanz von Transformatoren bei Bemessungsstrom (Hauptanzapfung) sind in Tabelle 1 angegeben. Wenn geringere Werte gefordert werden, muss die Kurzschlussfestigkeit des Transformators Gegenstand einer Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer sein.

Tabelle 1 – Anerkannte Mindestwerte der Kurzschlussimpedanz für Transformatoren mit zwei getrennten Wicklungen

Kurzschlussimpedanz bei Bemessungsstrom			
Bemessungsleistung kVA			Mindestwert der Kurzschlussimpedanz %
25	bis	630	4,0
631	bis	1 250	5,0
1 251	bis	2 500	6,0
2 501	bis	6 300	7,0
6 301	bis	25 000	8,0
25 001	bis	40 000	10,0
40 001	bis	63 000	11,0
63 001	bis	100 000	12,5
über		100 000	> 12,5
ANMERKUNG 1 Werte für eine Bemessungsleistung größer als 100 000 kVA sind im Allgemeinen Gegenstand einer Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer.			
ANMERKUNG 2 Bei Einphasengeräten, die eine Drehstrombank bilden, gilt der Wert der Bemessungsleistung für die Bemessungsdaten der Drehstrombank.			

3.2.2.4 Die Kurzschluss-Scheinleistung des Netzes am Aufstellungsort des Transformators sollte vom Käufer in seiner Anfrage festgelegt werden, um den Wert des symmetrischen Kurzschlussstromes zu erhalten, der für die Auslegung und die Prüfungen verwendet wird.

Wenn die Kurzschluss-Scheinleistung des Netzes nicht festgelegt ist, müssen die in Tabelle 2 angegebenen Werte verwendet werden.

Tabelle 2 – Kurzschluss-Scheinleistung des Netzes

Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m kV	Kurzschluss-Scheinleistung MVA	
	Aktuelle europäische Praxis	Aktuelle nordamerikanische Praxis
7,2, 12, 17,5 und 24	500	500
36	1 000	1 500
52 und 72,5	3 000	5 000
100 und 123	6 000	15 000
145 und 170	10 000	15 000
245	20 000	25 000
300	30 000	30 000
362	35 000	35 000
420	40 000	40 000
525	60 000	60 000
765	83 500	83 500
ANMERKUNG Sofern nicht festgelegt, sollte ein Wert zwischen 1 und 3 für das Verhältnis von Nullimpedanz zu Mitimpedanz des Netzes gewählt werden.		

3.2.2.5 Bei Transformatoren mit zwei getrennten Wicklungen berücksichtigt man normalerweise nur den dreiphasigen Kurzschluss, da die Betrachtung dieses Falles im Wesentlichen ausreichend ist, um die anderen möglichen Fehlerarten mit abzudecken (außer in dem Sonderfall, der in der Anmerkung zu 3.2.5 betrachtet wird).

ANMERKUNG Im Fall von Wicklungen in Zickzackschaltung kann der einphasige Erdschlussstrom höhere Werte annehmen als der dreiphasige Kurzschlussstrom. Diese hohen Werte beschränken sich jedoch für die beiden betroffenen Schenkel auf eine Hälfte der Wicklungsstränge und weiterhin sind die Ströme in der anderen Wicklung in Sternschaltung kleiner als bei einem dreiphasigen Kurzschluss. Die elektrodynamische Gefährdung des Wicklungsaufbaus kann abhängig von der Auslegung der Wicklungen entweder beim dreiphasigen oder beim einphasigen Kurzschluss höher sein. Der Hersteller und der Käufer sollten vereinbaren, welche Art von Kurzschluss zu betrachten ist.

3.2.3 Transformatoren mit mehr als zwei Wicklungen und Spartransformatoren

Die Überströme in den Wicklungen, einschließlich Ausgleichs- und Hilfswicklungen, müssen aus den Impedanzen des Transformators und des Netzes (der Netze) bestimmt werden. Die verschiedenen Arten von Netzfehlern, die im Betrieb auftreten können, müssen berücksichtigt werden, z. B. Erdschlüsse und Kurzschlüsse zwischen den Leitern, zugeordnet nach den Erdungsarten des betreffenden Netzes und des Transformators (siehe IEC 60076-8). Die Kennwerte jedes Netzes (zumindest die Kurzschluss-Scheinleistung und der Bereich des Verhältnisses von Null- und Mitimpedanz) müssen vom Käufer in seiner Anfrage festgelegt werden.

Dreiecks-Ausgleichswicklungen von Drehstromtransformatoren müssen Kurzschlussströmen standhalten können, die von den verschiedenen Arten von Netzfehlern herrühren, die im Betrieb bei den betreffenden Erdungsarten der Netze auftreten können.

Bei Einphasen-Transformatoren, die eine Drehstrombank bilden, muss die Ausgleichswicklung in der Lage sein, einem Kurzschluss der Anschlussklemmen standzuhalten, wenn nicht der Käufer festlegt, dass beson-

dere Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, um das Risiko von Kurzschlüssen zwischen den Leitern zu vermeiden.

ANMERKUNG Es kann unwirtschaftlich sein, Hilfswicklungen so auszulegen, dass sie den an ihren Anschlussklemmen auftretenden Kurzschlüssen standhalten. In diesen Fällen müssen die Pegel der Überströme durch geeignete Maßnahmen, wie Kurzschlussdrosselspulen oder in einigen Fällen Sicherungen, begrenzt werden. Es ist auf den Schutz gegen Fehler in der Zone zwischen Transformator und Schutzeinrichtung zu achten.

3.2.4 Zusatztransformatoren

Die Impedanz von Zusatztransformatoren kann sehr klein sein. Daher werden die Kurzschlussströme der Wicklungen hauptsächlich durch die Kennwerte des Netzes am Aufstellungsort des Transformators bestimmt. Diese Kennwerte müssen vom Käufer in der Anfrage festgelegt werden.

Wenn ein Zusatztransformator unmittelbar einem Transformator zur Veränderung der Spannungsamplitude und/oder Phasenlage zugeordnet wird, muss er den Überströmen standhalten können, die von der zusammengefassten Impedanz beider Maschinen herrührt.

3.2.5 Transformatoren in direkter Verbindung mit anderen Geräten

Wenn ein Transformator in direkter Verbindung mit anderen Geräten steht, deren Impedanz den Kurzschlussstrom begrenzen würde, darf nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer die Summe der Impedanzen von Transformator, Netz und direkt verbundenen Geräten berücksichtigt werden.

Dies gilt z. B. für Maschinentransformatoren, wenn die Verbindung zwischen Generator und Transformator in der Weise aufgebaut ist, dass die Möglichkeit von Kurzschlüssen zwischen den Leitern oder Doppel-Erdschlüssen in diesem Bereich vernachlässigbar ist.

ANMERKUNG Falls die Verbindung zwischen Generator und Transformator in dieser Weise aufgebaut ist, können die stärksten Kurzschlussbeanspruchungen auftreten, im Fall eines Maschinentransformators in Stern-Dreieckschaltung mit geerdetem Sternpunkt, wenn ein einphasiger Erdschluss in dem an die Wicklung in Sternschaltung angeschlossenen Netz auftritt, oder im Fall einer Fehlsynchronisierung.

3.2.6 Sondertransformatoren und Transformatoren, die in Netzen mit hoher Fehlerhäufigkeit eingesetzt werden

Die Fähigkeit eines Transformators, häufigen Überströmen standzuhalten, die durch besondere Anwendung hervorgerufen werden (z. B. Transformatoren für Lichtbogenöfen und ortsfeste Bahnnetztransformatoren), oder die Betriebsbedingung (z. B. hohe Fehlerhäufigkeit in dem (den) angeschlossenen Netz(en)), müssen Gegenstand einer besonderen Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer sein. Die Kenntnis jeder zu erwartenden, ungewöhnlichen Betriebsbedingung im Netz (in den Netzen) muss dem Hersteller vom Käufer im Voraus mitgeteilt werden.

3.2.7 Ausstattung mit Stufenschalter

Wenn Stufenschalter eingebaut sind, müssen diese die gleichen, durch Kurzschlüsse verursachten Überströme führen können wie die Wicklungen. Es wird jedoch nicht gefordert, dass der Stufenschalter in der Lage ist, den Kurzschlussstrom zu schalten.

3.2.8 Sternpunktanschluss

Der Sternpunktanschluss von Wicklungen in Stern- oder Zickzackschaltung muss für den höchsten Überstrom ausgelegt sein, der über diesen Anschluss fließen kann.

4 Nachweis der Kurzschlussfestigkeit

Die Anforderungen dieses Abschnittes gelten für ölgefüllte und für Trockentransformatoren, wie in IEC 60076-1 bzw. IEC 60076-11 festgelegt.

4.1 Thermische Kurzschlussfestigkeit

4.1.1 Allgemeines

Nach dieser Norm muss die thermische Kurzschlussfestigkeit durch Berechnung nachgewiesen werden. Diese Berechnung muss in Übereinstimmung mit den Forderungen nach 4.1.2 bis 4.1.5 durchgeführt werden.

4.1.2 Wert des symmetrischen Kurzschlussstromes I

Der Effektivwert des symmetrischen Kurzschlussstromes I muss für Drehstromtransformatoren mit zwei getrennten Wicklungen wie folgt berechnet werden:

$$I = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot (Z_t + Z_s)}, \text{ in kA} \quad (1)$$

Dabei ist

Z_s die Kurzschlussimpedanz des Netzes.

$$Z_s = \frac{U_s^2}{S}, \text{ in } \Omega \text{ je Phase (entsprechend Sternschaltung)} \quad (2)$$

Dabei ist

U_s die Bemessungsspannung des Netzes in kV;

S die Kurzschluss-Scheinleistung des Netzes in MVA.

U und Z_t sind wie folgt definiert:

a) Für die Hauptanzapfung ist:

U die Bemessungsspannung U_r der betrachteten Wicklung in kV;

Z_t die auf die betrachtete Wicklung bezogene Kurzschlussimpedanz des Transformators; sie wird wie folgt berechnet:

$$Z_t = \frac{z_t \cdot U_r^2}{100 \cdot S_r}, \text{ in } \Omega \text{ je Phase (entsprechend Sternschaltung)}^2 \quad (3)$$

Dabei ist

z_t die gemessene Kurzschlussimpedanz bei Bemessungsstrom und -frequenz an der Hauptanzapfung und bei Bezugstemperatur in %;

S_r die Bemessungsleistung des Transformators in MVA.

b) Für andere als die Hauptanzapfung ist:

U soweit nicht anders festgelegt, die Anzapfungsspannung³ der betrachteten Wicklung in kV;

Z_t die Kurzschlussimpedanz des Transformators, bezogen auf die betrachtete Wicklung und Anzapfung in Ω je Phase.

Bei Mehrwicklungstransformatoren, Spartransformatoren, Zusatztransformatoren und Transformatoren in direkter Verbindung mit anderen Geräten werden die Überströme, soweit anwendbar, nach 3.2.3, 3.2.4 oder 3.2.5 berechnet.

² Hier werden die Zeichen Z_t und z_t anstelle von Z und z benutzt, die für diese Größen in IEC 60076-1 gewählt wurden, um den Zusammenhang mit dem Inhalt von 4.2.3 deutlich zu machen.

³ Die Definition von „Anzapfungsspannung“ ist 5.2 von IEC 60076-1 zu entnehmen.