

	DIN EN 60076-6 (VDE 0532-76-6)	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 60289 (VDE 0532-289):2003-02 Siehe jedoch Beginn der Gültigkeit Leistungstransformatoren – Teil 6: Drosselspulen (IEC 60076-6:2007); Deutsche Fassung EN 60076-6:2008 Power transformers – Part 6: Reactors (IEC 60076-6:2007); German version EN 60076-6:2008 Transformateurs de puissance – Partie 6: Bobines d'inductance (CEI 60076-6:2007); Version allemande EN 60076-6:2008 Gesamtumfang 129 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2008-06-01 angenommene EN 60076-6 gilt als DIN-Norm ab 2009-02-01.

Daneben darf **DIN EN 60289 (VDE 0532-289):2003-02** noch bis 2011-06-01 angewendet werden.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60076-6 (VDE 0532-76-6):2006-12.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 321 „Transformatoren“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (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 Datum (maintenance result date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

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

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 60289 (VDE 0532-289):2003-02** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) umfassende Erweiterung der Abschnitte „Begriffe“, „Bemessungsdaten“ und „Prüfungen“;
- b) folgerichtige Unterscheidung zwischen Festlegung und Bemessungswert;
- c) die Abschnitte zu den Prüfungen berücksichtigen die neuesten Überarbeitungen der entsprechenden Normen der Reihe EN 60076;
- d) die Spannungsprüfung der Drosselspulen ist jetzt in Übereinstimmung mit der Spannungsprüfung von Transformatoren nach EN 60076-3:2001;
- e) folgerichtige Unterscheidung zwischen ölgefüllten und Trocken-Drosselspulen;
- f) das Dokument bietet eine einfachere Handhabung und ist ein selbständigeres Dokument als EN 60289;
- g) Einführung der Entladedrosselspule als Teil des Abschnitts 9;
- h) Einführung der Überspannungsprüfung zwischen den Windungen für Trocken-Drosselspulen (Anhang E);
- i) wichtige Hintergrundinformationen durch neu eingeführte informative Anhänge:
 - Anhang A (informativ) – Informationen zum Schalten von Kompensationsdrosselspulen und zu Sonderanwendungen;
 - Anhang B (informativ) – Magnetisierungskennlinie von Drosselspulen;
 - Anhang C (informativ) – Gegenreaktanzen, Kopplungsfaktor und Ersatzreaktanzen von Dreiphasen-Drosselspulen;
 - Anhang D (informativ) – Temperaturkorrektur der Verluste von flüssigkeitsgefüllten Luftspalt-kerndrosselspulen und magnetisch geschirmten Luftdrosselspulen;
 - Anhang F (informativ) – Kurzschlussprüfung;
 - Anhang G (informativ) – Widerstände – Kennwerte, Spezifikation und Prüfungen.

Frühere Ausgaben

DIN 57532-20 (VDE 0532-20): 1982-03

DIN 57532-22 (VDE 0532-22): 1982-03

DIN EN 60289 (VDE 0532-289): 1994-05, 2003-02

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
HD 588.1 S1:1991	IEC 60060-1:1989	DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1):1994-06	VDE 0432-1
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 60076-2 :1997	IEC 60076-2:1993 + Corr.:1997	DIN EN 60076-2 (VDE 0532-102):1997-12	VDE 0532-102
EN 60076-3:2001	IEC 60076-3:2000	DIN EN 60076-3 (VDE 0532-3):2001-11	VDE 0532-3
EN 60076-4 :2002	IEC 60076-4 :2002	DIN EN 60076-4 (VDE 0532-76-4) :2003-06	VDE 0532-76-4
EN 60076-5 :2006	IEC 60076-5 :2006	DIN EN 60076-5 (VDE 0532-5) :2007-01	VDE 0532-5
–	IEC 60076-7 :2005	DIN IEC 60076-7 (VDE 0532-76-7):2008-02	VDE 0532-76-7
–	IEC 60076-8:1997	–	–
EN 60076-10:2001	IEC 60076-10:2005	DIN EN 60076-10 (VDE 0532-76-10):2002-04	VDE 0532-76-10
EN 60076-11 :2004	IEC 60076-11 :2004	DIN EN 60076-11 (VDE 0532-76-11) :2005-04	VDE 0532-76-11
EN 60137	IEC 60137	DIN EN 60137 (VDE 0674-5)	VDE 0674-5
EN 60143-1 (Reihe)	IEC 60143 (Reihe)	DIN EN 60143 (VDE 0560) (Reihe)	VDE 0560 (Reihe)
EN 60168 :1994 + A1 :1997 + A2 :2000	IEC 60168 :2001	DIN EN 60168 (VDE 0674-1) :2001-12	VDE 0674-1
EN 60270	IEC 60270	DIN EN 60270 (VDE 0434)	VDE 0434

Tabelle NA.1 (fortgesetzt)

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
HD 578 S1:1992	IEC 60273:1990	DIN IEC 60273 (VDE 0674-4):1993-08	VDE 0674-4
–	IEC 60353	DIN VDE 0851 (VDE 0851)	VDE 0851
EN 60529	IEC 60529	DIN EN 60529 (VDE 0470-1)	VDE 0470-1
HD 478.2.6 S1	IEC 60721-2-6	–	–
–	IEC 60815	–	–
EN 60871-1:2005	IEC 60871-1:2005	DIN EN 60871-1 (VDE 0560-410):2006-06	VDE 0560-410
–	IEC 60905:1987	–	–
–	IEC 60943:1998	–	–
EN 61378-1:1998	IEC 61378-1:1997	DIN EN 61378-1 (VDE 0532-41):1999-09	VDE 0532-41
EN 61378-2:2001	IEC 61378-2:2001	DIN EN 61378-2 (VDE 0532-42):2001-11	VDE 0532-42
EN 62271-110	IEC 62271-110	DIN EN 62271-110 (VDE 0671-110)	VDE 0671-110

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

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 60076-2 (VDE 0532-102):1997-12, Leistungstransformatoren – Teil 2: Übertemperaturen
(IEC 60076-2:1993, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60076-2:1997

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 60076-4 (VDE 0532-76-4):2003-06, Leistungstransformatoren – Teil 4: Leitfaden zur Blitz- und Schaltstoßspannungsprüfung von Leistungstransformatoren und Drosselpulen (IEC 60076-4:2002); Deutsche Fassung EN 60076-4:2002

DIN EN 60076-5 (VDE 0532-5):2007-01, Leistungstransformatoren – Teil 5: Kurzschlussfestigkeit
(IEC 60076-5:2006); Deutsche Fassung EN 60076-5:2006

DIN EN 60076-10 (VDE 0532-76-10):2002-04, Leistungstransformatoren – Teil 10: Bestimmung der Geräuschpegel (IEC 60076-10:2001); Deutsche Fassung EN 60076-10:2001

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

DIN EN 60137 (VDE 0674-5), *Isolierte Durchführungen für Wechselspannungen über 1 000 V*

DIN EN 60143 (VDE 0560) (Reihe), *Reihenkondensatoren für Starkstromanlagen*

DIN EN 60168 (VDE 0674-1):2001-12, *Prüfungen an Innenraum- und Freiluft-Stützisolatoren aus keramischem Werkstoff oder Glas für Systeme mit Nennspannungen über 1 kV (IEC 60168:1994 + A1:1997 + A2:2000); Deutsche Fassung EN 60168:1994 + A1:1997 + A2:2000*

DIN EN 60270 (VDE 0434), *Hochspannungs-Prüftechnik – Teilentladungsmessungen*

DIN EN 60529 (VDE 0470-1), *Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code)*

DIN EN 60871-1 (VDE 0560-410):2006-06, *Parallelkondensatoren für Wechselspannungs-Starkstromanlagen mit einer Nennspannung über 1 kV– Teil 1: Allgemeines (IEC 60871-1:2005); Deutsche Fassung EN 60871-1:2005*

DIN EN 61378-1 (VDE 0532-41):1999-09, *Stromrichtertransformatoren – Teil 1: Transformatoren für industrielle Anwendungen (IEC 61378-1:1997); Deutsche Fassung EN 61378-1:1998 + Corrigendum:1998*

DIN EN 61378-2 (VDE 0532-42):2001-11, *Stromrichtertransformatoren – Teil 2: Transformatoren für HGÜ-Anwendungen (IEC 61378-2:2001); Deutsche Fassung EN 61378-2:2001*

DIN EN 62271-110 (VDE 0671-110), *Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen – Teil 110: Schalten induktiver Lasten*

DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1):1994-06, *Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 1: Allgemeine Festlegungen und Prüfbedingungen (IEC 60060-1:1989 + Corrigendum:1990-03); Deutsche Fassung HD 588.1 S1:1991*

DIN IEC 60076-7 (VDE 0532-76-7):2008-02, *Leistungstransformatoren – Teil 7: Leitfaden für die Belastung von ölgefüllten Leistungstransformatoren (IEC 60076-7:2005)*

DIN IEC 60273 (VDE 0674-4):1993-08, *Kenngößen von Innenraum- und Freiluft-Stützisolatoren für Systeme mit Nennspannungen über 1 000 V (IEC 60273:1990); Deutsche Fassung HD 578 S1:1992*

DIN VDE 0851 (VDE 0851), *Sperren für die Trägerfrequenz-Nachrichtenübertragung über Hochspannungsleitungen (TFH-Sperren)*

– Leerseite –

Deutsche Fassung

**Leistungstransformatoren –
Teil 6: Drosselspulen**
(IEC 60076-6:2007)

Power transformers –
Part 6: Reactors
(IEC 60076-6:2007)

Transformateurs de puissance –
Partie 6: Bobines d'inductance
(CEI 60076-6:2007)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2008-06-01 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, Bulgarien, 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

© 2008 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 60076-6:2008 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 14/538/CDV, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 60076-6, ausgearbeitet von dem IEC/TC 14 „Power transformers“, wurde dem IEC-CENELEC Parallelen Einstufigen Annahmeverfahren unterworfen und von CENELEC am 2008-06-01 als EN 60076-6 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 60289:1994 + A11:2002.

EN 60076-6:2008 enthält hinsichtlich EN 60289:1994 folgende wichtige technische Änderungen:

- umfassende Erweiterung der Abschnitte „Begriffe“, „Bemessungsdaten“ und „Prüfungen“;
- folgerichtigere Unterscheidung zwischen Festlegung und Bemessungswert;
- die Abschnitte zu den Prüfungen berücksichtigen die neuesten Überarbeitungen der entsprechenden Normen der Reihe EN 60076;
- die Spannungsprüfung der Drosselspulen ist jetzt in Übereinstimmung mit der Spannungsprüfung von Transformatoren nach EN 60076-3:2001;
- folgerichtige Unterscheidung zwischen ölgefüllten und Trocken-Drosselspulen;
- das Dokument bietet eine einfachere Handhabung und ist ein selbständigeres Dokument als EN 60289;
- Einführung der Entladedrosselspule als Teil des Abschnitts 9;
- Einführung der Überspannungsprüfung zwischen den Windungen für Trocken-Drosselspulen (Anhang E);
- wichtige Hintergrundinformationen durch neu eingeführte informative Anhänge:
 - Anhang A (informativ) – Informationen zum Schalten von Kompensationsdrosselspulen und zu Sonderanwendungen;
 - Anhang B (informativ) – Magnetisierungskennlinie von Drosselspulen;
 - Anhang C (informativ) – Gegenreaktanzen, Kopplungsfaktor und Ersatzreaktanzen von Dreiphasen-Drosselspulen;
 - Anhang D (informativ) – Temperaturkorrektur der Verluste von flüssigkeitsgefüllten Luftspalt-kerndrosselspulen und magnetisch geschirmten Luftdrosselspulen;
 - Anhang F (informativ) – Kurzschlussprüfung;
 - Anhang G (informativ) – Widerstände – Kennwerte, Spezifikation und Prüfungen.

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): 2009-03-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2011-06-01

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60076-6:2007 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 60143	ANMERKUNG Harmonisiert in der Reihe EN 60143 (nicht modifiziert).
IEC 60168	ANMERKUNG Harmonisiert als EN 60168:1994 (nicht modifiziert) + A1:1997 (nicht modifiziert) + A2:2000 (nicht modifiziert).
IEC 60273	ANMERKUNG Harmonisiert als HD 578 S1:1992 (nicht modifiziert).
IEC 60529	ANMERKUNG Harmonisiert als EN 60529:1991 (nicht modifiziert).
IEC 60871-1	ANMERKUNG Harmonisiert als EN 60871-1:2005 (nicht modifiziert).
IEC 61378-1	ANMERKUNG Harmonisiert als EN 61378-1:1998 (nicht modifiziert).
IEC 61378-2	ANMERKUNG Harmonisiert als EN 61378-2:2001 (nicht modifiziert).
IEC 62271-110	ANMERKUNG Harmonisiert als EN 62271-110:2005 (nicht modifiziert).

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
Einleitung.....	12
1 Anwendungsbereich	13
2 Normative Verweisungen.....	13
3 Begriffe.....	14
3.1 Arten von Drosselspulen.....	14
3.2 Weitere Begriffe	15
4 Symbole und Abkürzungen.....	18
5 Betriebsbedingungen	19
5.1 Allgemeines	19
5.2 Seismische Bedingungen	20
6 Auslegung, Prüfung, Grenzabweichungen und Anwendung	20
7 Kompensationsdrosselspulen.....	21
7.1 Allgemeines	21
7.2 Bauart	21
7.3 Begriffe.....	22
7.4 Bemessungsdaten	23
7.4.1 Bemessungsspannung	23
7.4.2 Maximale Betriebsspannung	23
7.4.3 Bemessungsleistung.....	23
7.4.4 Nullreaktanzen X_0 einer Dreiphasen-Drosselspule in Sternschaltung	23
7.4.5 Gegenreaktanzen einer Dreiphasen-Drosselspule.....	24
7.4.6 Einschaltstrom	24
7.4.7 Linearität der Kompensationsdrosselspule.....	24
7.5 Erwärmung.....	24
7.6 Isolationspegel	24
7.7 Leistungsschilder	24
7.8 Prüfungen	25
7.8.1 Allgemeines	25
7.8.2 Stückprüfungen.....	25
7.8.3 Typprüfungen.....	25
7.8.4 Sonderprüfungen	26
7.8.5 Bestimmung der Reaktanz und der Linearität der Reaktanz.....	26
7.8.6 Verlustmessung (Stückprüfung, Sonderprüfung)	27
7.8.7 Messung der Oberschwingungen des Stroms (Sonderprüfung)	28
7.8.8 Messung der Nullreaktanzen an Dreiphasen-Drosselspulen (Sonderprüfung)	28
7.8.9 Messung der Gegenreaktanzen an Dreiphasen-Drosselspulen (Sonderprüfung)	29

	Seite
7.8.10 Spannungsprüfungen	29
7.8.11 Messung der Magnetisierungskennlinie (Sonderprüfung)	32
7.8.12 Messung des Schallpegels (Typprüfung, Sonderprüfung)	32
7.8.13 Schwingungsmessung (Typprüfung)	33
7.8.14 Erwärmungsprüfung (Typprüfung)	34
7.9 Grenزابweichungen	35
7.9.1 Allgemeines	35
7.9.2 Grenزابweichungen der Reaktanz bei Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz	35
7.9.3 Grenزابweichungen der Linearität der Reaktanz	35
7.9.4 Grenزابweichung der Verluste	35
8 Strombegrenzungs-drosselspulen und Sternpunkterdungs-drosselspulen	35
8.1 Allgemeines	35
8.2 Bauart	36
8.3 Begriffe	36
8.4 Bemessungsdaten	38
8.4.1 Bemessungsdauerstrom	38
8.4.2 Thermischer Bemessungskurzschlussstrom	39
8.4.3 Dauer des thermischen Bemessungskurzschlussstroms	39
8.4.4 Mechanischer Bemessungskurzschlussstrom	39
8.4.5 Bemessungskurzzeitstrom	39
8.4.6 Dauer des Bemessungskurzzeitstroms oder relative Einschaltdauer	39
8.4.7 Kopplungsfaktor	40
8.4.8 Bemessungskurzschlussimpedanz	40
8.4.9 Bemessungskurzzeitimpedanz	41
8.4.10 Bemessungsdauerimpedanz	41
8.5 Überlastfestigkeit für thermischen und mechanischen Bemessungskurzschlussstrom	41
8.6 Erwärmung	42
8.6.1 Erwärmung bei Bemessungsdauerstrom	42
8.6.2 Temperatur aufgrund der Belastung mit thermischem Bemessungskurzschlussstrom und Bemessungskurzzeitstrom	42
8.7 Isolationspegel	42
8.7.1 Allgemeines	42
8.8 Leistungsschilder	42
8.9 Prüfungen	43
8.9.1 Allgemeines	43
8.9.2 Stückprüfungen	43
8.9.3 Typprüfungen	44
8.9.4 Sonderprüfungen	44
8.9.5 Messung der Impedanz bei Bemessungsdauerstrom (Stückprüfung)	44

	Seite
8.9.6 Messung der Impedanz bei Bemessungskurzzeitstrom (Stückprüfung)	45
8.9.7 Verlustmessung (Stückprüfung, Sonderprüfung)	45
8.9.8 Prüfung mit angelegter Stehwechselspannung (Stückprüfung, Sonderprüfung)	46
8.9.9 Windungsprüfung von Strombegrenzungsdrösselspulen (Stückprüfung)	47
8.9.10 Windungsprüfung von Sternpunktterdungsdrösselspulen (Stückprüfung)	47
8.9.11 Erwärmungsprüfung bei Bemessungsdauerstrom (Typprüfung).....	47
8.9.12 Blitzstoßspannungsprüfung für Strombegrenzungsdrösselspulen (Typprüfung)	48
8.9.13 Kurzschlussstromprüfungen (Sonderprüfung).....	49
8.9.14 Messung des Schallpegels bei Bemessungsdauerstrom (Sonderprüfung)	50
8.9.15 Schwingungsmessung bei Bemessungsdauerstrom (Sonderprüfung)	50
8.9.16 Schaltstoßspannungsprüfung (Sonderprüfung).....	51
8.9.17 Zweiseitige Blitzstoßspannungsprüfung (Sonderprüfung).....	51
8.9.18 Messung des Kopplungsfaktors (Sonderprüfung)	51
8.9.19 Windungsprüfung unter Regen (Sonderprüfung)	52
8.9.20 Prüfung mit angelegter Stehwechselspannung unter Regen (Sonderprüfung).....	52
8.9.21 Messung der Reaktanz der Wicklung von Luftspaltkerndrösselspulen und magnetisch geschirmten Luftdrösselspulen (Sonderprüfung).....	52
8.10 Grenzübereichungen	52
8.10.1 Grenzübereichung der Impedanzen von Drösselspulen ohne Kompensation der gegenseitigen Kopplung	52
8.10.2 Grenzübereichung der Impedanzen von Drösselspulen mit Kompensation der gegenseitigen Kopplung	53
8.10.3 Grenzübereichung der Verluste	53
9 Filterkreisdrösselspulen, Dämpfungsdrosselungen und Entladendrosselungen für Kondensatoranwendungen	53
9.1 Allgemeines	53
9.2 Bauart	54
9.3 Begriffe.....	54
9.4 Bemessungsdaten	56
9.4.1 Netzfrequenter Bemessungsstrom	56
9.4.2 Bemessungsstromspektrum	56
9.4.3 Bemessungseinschaltstrom.....	57
9.4.4 Bemessungseinschaltfrequenz.....	57
9.4.5 Bemessungsentladestrom	57
9.4.6 Bemessungsentladefrequenz	57
9.4.7 Thermischer Bemessungskurzschlussstrom	57
9.4.8 Bemessungsdauer des thermischen Kurzschlussstroms.....	57
9.4.9 Mechanischer Bemessungskurzschlussstrom.....	58
9.4.10 Bemessungsinduktivität	58
9.4.11 Gütefaktor	58

	Seite
9.5 Eignung und Festigkeit für den thermischen und mechanischen Bemessungskurzschlussstrom	58
9.6 Überlastfestigkeit für Einschalt- oder Entladestrom.....	59
9.7 Erwärmung.....	59
9.7.1 Erwärmung bei äquivalentem Strom mit Netzfrequenz	59
9.7.2 Temperatur durch Beanspruchung mit dem thermischen Bemessungskurzschlussstrom	59
9.8 Isolationspegel.....	59
9.8.1 Allgemeines	59
9.8.2 Isolationsanforderungen	59
9.9 Leistungsschilder	60
9.10 Prüfungen	61
9.10.1 Allgemeines	61
9.10.2 Stückprüfungen.....	61
9.10.3 Typprüfungen.....	61
9.10.4 Sonderprüfungen	61
9.10.5 Messung der Induktivität (Stückprüfung, Typprüfung).....	61
9.10.6 Messung der Verluste und des Gütefaktors (Stückprüfung, Typprüfung)	62
9.10.7 Windungsprüfung (Stückprüfung).....	62
9.10.8 Erwärmungsprüfung bei Bemessungsdauerstrom (Typprüfung).....	63
9.10.9 Blitzstoßspannungsprüfung (Typprüfung)	63
9.10.10 Kurzschlussstromprüfungen (Sonderprüfung).....	63
9.10.11 Messung des Schallpegels bei Bemessungsdauerstrom (Sonderprüfung)	64
9.10.12 Prüfung mit angelegter Stehwechselspannung (Sonderprüfung).....	65
9.10.13 Einschaltstromstehprüfung für Filterkreis- und Dämpfungsdrosselspulen (Sonderprüfung).....	66
9.10.14 Entladestromprüfung für Entladedrosselspulen (Sonderprüfung)	66
9.10.15 Modifizierte Kurzschluss-Entladestromprüfung für Entladedrosselspulen (Sonderprüfung)	66
9.10.16 Mechanische Resonanzprüfung (Sonderprüfung).....	66
9.11 Grenzübergänge.....	66
9.11.1 Grenzübergang der Bemessungsinduktivität.....	66
9.11.2 Grenzübergang der gemessenen Verluste und des gemessenen Gütefaktors	66
10 Erdungstransformator (Sternpunktbildner)	67
10.1 Allgemeines	67
10.2 Bauart	67
10.3 Begriffe.....	67
10.4 Bemessungsdaten	69
10.4.1 Bemessungsspannung	69
10.4.2 Maximale Betriebsspannung	69
10.4.3 Bemessungsnullimpedanz.....	69
10.4.4 Bemessungs-Dauersternpunktstrom	70

	Seite
10.4.5 Bemessungs-Kurzzeitsternpunktstrom.....	70
10.4.6 Bemessungsdauer des Kurzzeitsternpunktstroms	70
10.4.7 Bemessungsspannung der Sekundärwicklung.....	70
10.4.8 Weitere Bemessungsdaten für die Kombination von Erdungstransformator und Erdschlusslöschspule	71
10.5 Eignung und Festigkeit für Bemessungs-Kurzzeitsternpunktstrom	71
10.6 Erwärmung.....	71
10.6.1 Erwärmung bei Bemessungsspannung, Bemessungs-Dauersternpunktstrom und Bemessungsleistung der Sekundärwicklung	71
10.6.2 Temperatur nach Beanspruchung mit Bemessungs-Kurzzeitsternpunktstrom	71
10.7 Isolationspegel	72
10.8 Leistungsschilder	72
10.9 Prüfungen	73
10.9.1 Allgemeines	73
10.9.2 Stückprüfungen.....	73
10.9.3 Typprüfungen.....	73
10.9.4 Sonderprüfungen	73
10.9.5 Messung der Nullimpedanz (Stückprüfung)	74
10.9.6 Erwärmungsprüfungen (Typprüfung).....	74
10.9.7 Spannungsprüfungen (Stückprüfung, Typprüfung)	75
10.9.8 Nachweis der Festigkeit für Bemessungs-Kurzzeitsternpunktstrom (Sonderprüfung).....	75
10.9.9 Verlustmessung bei Bemessungs-Dauersternpunktstrom (Sonderprüfung).....	76
10.9.10 Messung des Sternpunktstroms mit dreiphasiger Erregung unter der Bedingung eines einphasigen Fehlers (Typprüfung).....	76
10.10 Grenزابweichungen	77
11 Erdschlusslöschspulen	77
11.1 Allgemeines	77
11.2 Bauart	77
11.3 Begriffe.....	77
11.4 Bemessungsdaten	78
11.4.1 Bemessungsspannung	78
11.4.2 Maximale Dauerspannung.....	78
11.4.3 Bemessungsstrom	78
11.4.4 Bemessungsstromdauer	79
11.4.5 Einstellbereich	79
11.4.6 Hilfswicklung	79
11.4.7 Sekundärwicklung.....	79
11.4.8 Linearität der Erdschlusslöschspule	79
11.5 Erwärmung.....	79
11.6 Isolationspegel	80

	Seite
11.7 Leistungsschilder	80
11.8 Prüfungen	81
11.8.1 Allgemeines	81
11.8.2 Stückprüfungen.....	81
11.8.3 $\bar{Y}$ prüfungen.....	81
11.8.4 Sonderprüfungen	81
11.8.5 Messung des Stroms bei Bemessungsspannung ($\bar{Y}$ prüfung), Messung des Stroms (Stückprüfung)	81
11.8.6 Messung der Leerlaufspannung von Hilfs- und Sekundärwicklungen (Stückprüfung)	82
11.8.7 Erwärmungsprüfung ($\bar{Y}$ prüfung).....	82
11.8.8 Spannungsprüfung (Stückprüfung, $\bar{Y}$ prüfung)	82
11.8.9 Verlustmessung (Sonderprüfung).....	82
11.8.10 Messung der Linearität (Sonderprüfung).....	83
11.8.11 Messung des Schallpegels (Sonderprüfung).....	83
11.8.12 Dauerprüfungen der Einrichtungen für die Induktivitätseinstellung (Sonderprüfung).....	83
11.8.13 Nachweis der Festigkeit gegen dynamische Auswirkungen des Bemessungsstroms (Sonderprüfung).....	84
11.9 Grenزابweichungen	84
12 Glättungsdrosselspulen	84
12.1 Allgemeines	84
12.2 Bauart	85
12.3 Begriffe.....	85
12.4 Bemessungsdaten	86
12.4.1 Bemessungsgleichspannung.....	86
12.4.2 Maximale Betriebsgleichspannung.....	86
12.4.3 Bemessungsdauergleichstrom	86
12.4.4 Bemessungsdauerstromspektrum	86
12.4.5 Kurzzeitüberlastgleichstrom, Kurzzeitüberlaststromspektrum und Kurzzeitüberlaststromdauer oder -betriebsspiel.....	86
12.4.6 Transienter Bemessungsfehlerstrom	86
12.4.7 Inkrementelle Bemessungsinduktivität	87
12.4.8 Linearität der Glättungsdrosselspule	87
12.4.9 Zusätzliche Anforderungen an Drosselspulen mit Wicklungen mit direkter Flüssigkeitskühlung	87
12.5 Erwärmung.....	87
12.6 Isolationspegel	87
12.6.1 Blitzstoßspannungspegel.....	87
12.6.2 Schaltstoßspannungspegel	88
12.6.3 Stehgleichspannungspegel.....	88
12.6.4 Polaritätsumkehr-Stehspannungspegel.....	88

	Seite
12.6.5 Stehwechselspannungspegel	88
12.7 Leistungsschilder	88
12.8 Prüfungen	89
12.8.1 Allgemeines	89
12.8.2 Stückprüfungen.....	89
12.8.3 $\bar{Y}$ prüfungen.....	90
12.8.4 Sonderprüfungen	90
12.8.5 Messung der inkrementellen Induktivität (Stückprüfung)	90
12.8.6 Messung des Oberschwingungsstromverlustes und Berechnung des Gesamtverlustes (Stückprüfung)	91
12.8.7 Prüfung mit angelegter Stehwechselspannung (Stückprüfung)	92
12.8.8 Prüfung mit angelegter Stehgleichspannung an flüssigkeitsgefüllten Drosselspulen (Stückprüfung)	92
12.8.9 Polaritätsumkehrstehspannungsprüfung an flüssigkeitsgefüllten Drosselspulen (Stückprüfung)	93
12.8.10 Blitzstoßspannungsprüfung (Stückprüfung)	94
12.8.11 Schaltstoßspannungsprüfung (Stückprüfung, $\bar{Y}$ prüfung).....	94
12.8.12 Prüfung mit angelegter Stehgleichspannung unter Regen an $\bar{Y}$ ockendrosselspulen ($\bar{Y}$ prüfung)	94
12.8.13 Erwärmungsprüfung ($\bar{Y}$ prüfung).....	94
12.8.14 Messung des Schallpegels (Sonderprüfung).....	96
12.8.15 Messung der Hochfrequenzimpedanz (Sonderprüfung)	96
12.8.16 Prüfung der Dichtheit des Flüssigkeitskühlkreislauhs an Glättungs-drosselspulen mit direkt flüssigkeitsgekühlten Wicklungen (Stückprüfung)	97
12.8.17 Messung des Druckabfalls an Drosselspulen mit direkt flüssigkeitsgekühlten Wicklungen ($\bar{Y}$ prüfung)	97
12.8.18 Prüfung mit transientem Fehlerstrom (Sonderprüfung).....	97
12.8.19 Prüfung mit abgeschnittener Stoßspannung an flüssigkeitsgefüllten Drosselspulen (Sonderprüfung).....	98
12.9 Grenzabweichungen.....	98
Anhang A (informativ) Informationen zum Schalten von Kompensationsdrosselspulen und zu Sonderanwendungen.....	99
Anhang B (informativ) Magnetisierungskennlinie von Drosselspulen.....	102
Anhang C (informativ) Gegenreaktanz, Kopplungsfaktor und Ersatzreaktanzen von Dreiphasen- Drosselspulen	109
Anhang D (informativ) Temperaturkorrektur der Verluste von flüssigkeitsgefüllten Luftpaltkern-drosselspulen und magnetisch geschirmten Luft-drosselspulen	112
Anhang E (normativ) Hochfrequenz-Windungsprüfung für $\bar{Y}$ ockendrosselspulen	114
Anhang F (informativ) Kurzschlussprüfung.....	116
Anhang G (informativ) Widerstände – Kennwerte, Spezifikation und Prüfungen.....	118
Literaturhinweise	121
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen.....	122

Bilder

Bild 1 – Arten der Magnetisierungskennlinien für Drosselspulen	16
Bild 2 – Parameter für eine nichtlineare Magnetisierungskennlinie	17
Bild 3 – Messung der Gegenreaktanz an Drehstrom-Drosselspulen oder Drehstrombänken aus drei Einphasen-Drosselspulen	29
Bild 4 – Prüfschaltung für die Leiter-Erde-Prüfung mit einphasiger Erregung	31
Bild 5 – Prüfschaltung für die Leiter-Leiter-Prüfung mit einphasiger Erregung	31
Bild 6 – Prüfschaltung mit einphasiger Erregung, geeignet für Drosselspulen mit magnetischer Schirmung zur Aufnahme des Nullflusses	31
Bild 7 – Messung der Gegenreaktanz an Dreiphasen-Drosselspulen oder Dreiphasenbänken aus drei Einphasen-Drosselspulen	52
Bild 8 – Prüfschaltung für einphasigen Fehler mit geerdetem Sternpunkt	76
Bild 9 – Prüfschaltung für einphasigen Fehler mit geerdeter Stromversorgung	76
Bild 10 – Messschaltung zur Bestimmung der inkrementellen Induktivität von zwei identischen Glättungsdrosselspulen	91
Bild 11 – Spannungsprofil der Doppelumkehrprüfung	93
Bild B.1 – Darstellung der Wellenformen von verkettetem Fluss und Strom, wenn eine sinusförmige Spannung an einer Drosselspule mit nichtlinearer Magnetisierungskennlinie nach Bild B.6 anliegt	103
Bild B.2 – Schaltung für die Messung der Magnetisierungskennlinie nach B.7.1	106
Bild B.3 – Ersatzschaltung mit kurzgeschlossener Drosselspule	106
Bild B.4 – Gemessene Verläufe von Lade-Entladegleichstrom einer Drosselspule	107
Bild B.5 – Berechneter verketteter Fluss während der Entladeperiode	108
Bild B.6 – Magnetisierungskennlinie	108
Bild C.1 – Ersatzschaltung einer Dreiphasen-Drosselspule unter Berücksichtigung der magnetischen Kopplung zwischen den Wicklungssträngen	109
Bild E.1 – Prüfschaltung für die Hochfrequenz-Windungsprüfung und Beispieloszillogramme	115

Tabellen

Tabelle 1 – Temperaturgrenzwerte für Wicklungsklemmen von $\bar{\theta}_{oc}$ – kendlrosselspulen	21
Tabelle 2 – Grenzabweichungen	77
Tabelle 3 – Grenzabweichungen	84
Tabelle C.1 – Reaktanz- und Flussverhältnisse für Drosselspulen mit gleicher magnetischer Kopplung	110
Tabelle C.2 – Kopplungswerte für Drosselspulen mit ungleicher magnetischer Kopplung	111

Einleitung

Diese Norm soll die Grundlage für die Leistungsbeschreibung und Prüfung der im Anwendungsbereich aufgeführten Arten von Drosselspulen bilden. Dieses Schriftstück liefert auch einige wichtige Angaben für bestimmte Anwendungen der Drosselspulen, die als Hilfestellung für die Erarbeitung von Leistungsbeschreibungen anzusehen sind.

Soweit es möglich war, wurde Bezug zu technischen Abschnitten in den anderen Teilen von IEC 60076 hergestellt, die für Leistungstransformatoren von Bedeutung sind. Weil es aber einige grundlegende Unterschiede zwischen Drosselspulen und Transformatoren gibt, werden Themen, die für Leistungsbeschreibung, Prüfung und Anwendung von Drosselspulen gelten, besonders berücksichtigt. Sie fanden Eingang in diesen Teil von IEC 60076.

Die Abschnitte 1 bis 6 sind die allgemeinen Teile dieses Dokuments, welche für alle Arten von Drosselspulen gelten. Die Abschnitte 7 bis 12 befassen sich mit jeder einzelnen Drosselspulenart. Im Allgemeinen gilt nur einer der Abschnitte 7 bis 12 für eine bestimmte Drosselspule.

Diese Norm enthält mehr als einen Abschnitt für Begriffe. Die in Abschnitt 3 angegebenen Begriffe gelten für das gesamte Dokument. Jeder der Abschnitte 7 bis 12, der sich mit einer bestimmten Drosselspulenart befasst, enthält einen entsprechenden Abschnitt Begriffe, der nur für diesen Abschnitt gilt.

Die Abschnitte 7 bis 12 haben einen einheitlichen Aufbau. Darin beschreibt der Abschnitt Bemessungsdaten die Mindestangaben, die ein Käufer in der Spezifikation der Drosselspule bereitstellen muss. Der Teil Prüfungen in jedem Abschnitt legt die einschlägigen Prüfungen fest, die für diese spezielle Drosselspulenart angewendet werden können, und kann einige zusätzliche Gesichtspunkte enthalten, die zum Zeitpunkt der Bestellung zu vereinbaren sind.

Die Anhänge A, B, C, D, F und G liefern weitere Informationen für bestimmte Anwendungen und für die Prüfung von Drosselspulen. In Anhang E ist die Hochfrequenz-Windungsprüfung für Trockendrosselspulen beschrieben.

In dieser Norm werden Trocken- und flüssigkeitsgefüllte Drosselspulen behandelt und es wird deutlich gemacht, welche Abschnitte nur für eine Ausführung gelten.

Die Anforderungen in diesem Teil der IEC 60076 wurden, soweit möglich, mit der entsprechenden IEEE-Norm harmonisiert.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für folgende Arten von Drosselspulen:

- Kompensationsdrosselspulen;
- Reihendrosselspulen, einschließlich Strombegrenzungsdrosselspulen, Sternpunktterdungsdrosselspulen, Drosselspulen zur Einstellung des Lastflusses, Motoranlaufdrosselspulen, Reihendrosselspulen für Ofenbetrieb;
- Filterkreis-(Abstimm-)drosselspulen;
- Dämpfungsdrosselspulen für Parallelkondensatoren;
- Entladedrosselspulen für Reihenkondensatoren;
- Erdungstransformatoren (Sternpunktbildner);
- Erdschlusslöschspulen;
- Glättungsdrosselspulen für die Hochspannungs-Gleichstromübertragung und für industrielle Anwendungen;

mit Ausnahme folgender Drosselspulen:

- Drosselspulen mit einem Bemessungswert kleiner als 1 kvar einphasig und 5 kvar dreiphasig;
- Drosselspulen für besondere Anwendungsfälle, wie z. B. Drosselspulen für HF-Trägerfrequenz-Sperrkreise oder Drosselspulen auf Fahrzeugen.

Sofern keine IEC-Normen für die oben erwähnten kleinen Drosselspulen oder Sonderausführungen bestehen, darf diese Norm ganz oder teilweise Anwendung finden.

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 60060-1:1989, *High-Voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60076-1:1993, *Power transformers – Part 1: General Amendment 1 (1999)*

IEC 60076-2:1997, *Power transformers – Part 2: Temperature rise*

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

IEC 60076-4:2002, *Power transformers – Part 4: Guide to lightning impulse and switching impulse testing – Power transformers and reactors*

IEC 60076-5:2006, *Power transformers – Part 5: Ability to withstand short-circuit*

IEC 60076-7:2005, *Power transformers – Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers*

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

IEC 60076-10:2005, *Power transformers – Part 10: Determination of sound levels*

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

IEC 60137, *Insulated bushings for alternating voltages above 1 000 V*

IEC 60270, *High-voltage test techniques – Partial discharge measurements*

IEC 60721-2-6, *Classification of environmental conditions – Part 2: Environmental conditions appearing in nature. Earthquake vibration and shock*

IEC 60815, *Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions*

IEC 60905:1987, *Loading guide for dry-type power transformers*

IEC 60943:1998, *Guidance concerning the permissible temperature rise for parts of electrical equipment, in particular for terminals*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

Die in diesem Abschnitt angegebenen Begriffe sind von allgemeiner Art. Weitere Begriffe sind in jenen Abschnitten dieser Norm angegeben, die spezifisch für die besondere Drosselspulenart sind oder denen eine besondere Bedeutung im Zusammenhang mit dieser Drosselspulenart zukommt.

Häufig wird auch Bezug genommen auf technische Bestimmungen in IEC 60076, die Transformatoren und die Prüfung von Transformatoren betreffen. Die Fachbegriffe dieser Transformatorennormen können teilweise nicht streng auf die Verhältnisse an Drosselspulen angewendet werden. So ist z. B. die „Prüfung mit induzierter Wechselspannung“ eine Prüfung an einer Drosselspule, bei der die Wicklung der Drosselspule direkt von der Prüfwechselspannungsquelle mit der Prüfwechselspannung erregt wird. Bei Transformatoren hingegen ist die Prüfwechselspannung an der betreffenden Wicklung von der Erregung einer anderen Wicklung „induziert“.

3.1 Arten von Drosselspulen

3.1.1

Kompensationsdrosselspule

Drosselspule, die in einem Netz zwischen Außenleiter und Erde, Außenleiter und Neutraleiter oder zwischen die Außenleiter geschaltet wird, um einen kapazitiven Strom zu kompensieren

3.1.2

Strombegrenzungs-drosselspule

Drosselspule, die in einem Netz in Reihe geschaltet wird, um den Strom bei Fehlern im Netz zu begrenzen

3.1.3

Sternpunktterdungs-drosselspule

Drosselspule, die zwischen den Netzsternpunkt eines Netzes und Erde geschaltet wird, um bei einem Erdschluss im Netz den Strom zwischen Außenleiter und Erde auf einen beabsichtigten Wert zu begrenzen

3.1.4

Drosselspulen zur Einstellung des Lastflusses

Drosselspule, die in einem Netz in Reihe geschaltet wird, um den Lastfluss einzustellen

3.1.5

Motoranlauf-drosselspule

Drosselspule, die in Reihe mit einem Motor geschaltet wird, um den Motoreinschaltstrom während des Anlaufvorgangs zu begrenzen

3.1.6

Reihendrosselspule für Ofenbetrieb

Drosselspule, die in Reihe mit einem Lichtbogenofen geschaltet wird, um die Wirksamkeit des Metallschmelzvorgangs zu erhöhen und Spannungsschwankungen auf dem Netz zu verringern

3.1.7

Dämpfungs-drosselspule für Kondensatoren

Drosselspule, die mit Parallelkondensatoren in Reihe geschaltet wird, um den Einschaltstrom beim Zuschalten des Kondensators zu begrenzen bzw. um den Ausschaltstrom bei Nahkurzschlüssen oder bei dem Schalten naher Kondensatoren zu begrenzen, und/oder zur Verstimmung von Kondensatorbänken, damit Resonanzen mit dem Netz vermieden werden

3.1.8

Filterkreisdrosselspule

Drosselspule, die in Reihe mit oder parallel zu Kondensatoren geschaltet wird, um Oberschwingungen bzw. Steuersignale (Rundsteuersignale) mit Frequenzen bis 10 kHz zu verringern bzw. zu sperren

3.1.9

Entladedrosselspule für Kondensatoren

Drosselspule, die im Umgehungs-/Entladekreis einer Reihenkondensatorbank eines Hochspannungsnetzes eingesetzt wird, um den Strom unter Fehlerbedingungen im Netz zu begrenzen

3.1.10

Erdungstransformator (Sternpunktbildner)

Dreiphasen-Transformator oder Dreiphasen-Drosselspule, der (die) in ein Netz geschaltet wird, um einen Sternpunkt für die Erdung, entweder direkt oder über eine Impedanz, zu bilden

ANMERKUNG Erdungstransformatoren können zusätzlich ein örtliches Hilfsnetz versorgen.

3.1.11

Erdschlusslöschspule

Drosselspule, die zwischen den Netzsternpunkt und Erde geschaltet wird, um bei einem einpoligen Erdschluss den kapazitiven Strom zwischen Außenleiter und Erde zu kompensieren (Netz mit Erdschlusskompensation)

3.1.12

Glättungs-drosselspule

Drosselspule, die in Reihe in ein Gleichstromnetz geschaltet ist, um Oberschwingungsströme und transiente Schaltüberströme zu verringern

3.2 Weitere Begriffe

3.2.1

höchste Spannung für Betriebsmittel

U_m

Basis für die Auslegung der Isolation der Drosselspule nach IEC 60076-3

3.2.2

magnetischer Schirm

der ferromagnetische Teil einer Drosselspule, der zur Aufnahme des Flusses der Wicklung bemessen ist und sich außerhalb der Drosselspulenwicklung befindet

ANMERKUNG Dazu gehören Joche, unbewickelte Schenkel, magnetische Kesselabschirmungen usw.

3.2.3

Luft-drosselspule

Drosselspule, die ohne jedes ferromagnetische Material innerhalb oder außerhalb der Wicklung zur Aufnahme des Flusses der Wicklung ausgelegt ist (üblicherweise Trockendrosselspulen)

3.2.4

Luftspaltkern-drosselspule

Drosselspule, die im Inneren der Wicklung mit einem ferromagnetischen Kern mit Luftspalten konstruiert ist (üblicherweise flüssigkeitsgefüllte Drosselspulen)

3.2.5

magnetisch geschirmte Luftdrosselspule

Drosselspule, die ohne jedes ferromagnetische Material innerhalb der Wicklung ausgelegt ist, jedoch zur Aufnahme des Wicklungsflusses mit einem äußeren magnetischen Schirm ausgeführt ist

3.2.6

Luftkernreaktanz einer Luftspaltkern-drosselspule oder einer magnetisch geschirmten

Luftdrosselspule

die aus der differentiellen Induktivität (siehe B.4) berechnete Reaktanz einer Drosselspule, die ferromagnetisches Material für die Aufnahme des Wicklungsflusses enthält, wenn alle ferromagnetischen Teile der Drosselspule vollständig gesättigt sind

3.2.7

Magnetisierungskennlinie

die Magnetisierungskennlinie einer Drosselspule ist das Verhältnis des mit der Drosselspulenwicklung verketteten Flusses zum Erregungsstrom (siehe Bild 1 und Bild 2)

ANMERKUNG Die Magnetisierungskennlinie kann linear wie in Bild 1a, nichtlinear wie in Bild 1b oder gesättigt wie in Bild 1c sein.

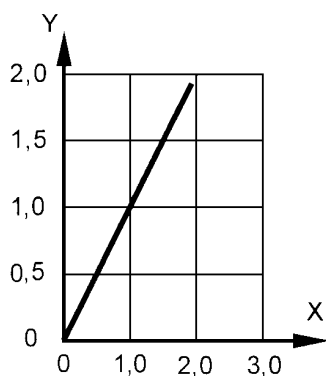


Bild 1a – linear

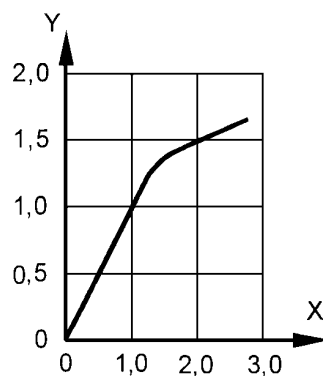


Bild 1b – nichtlinear

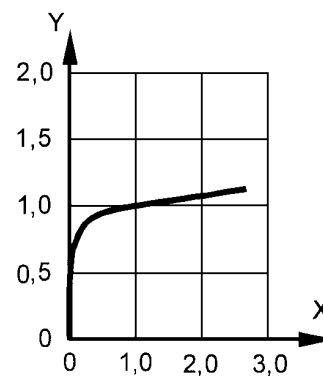


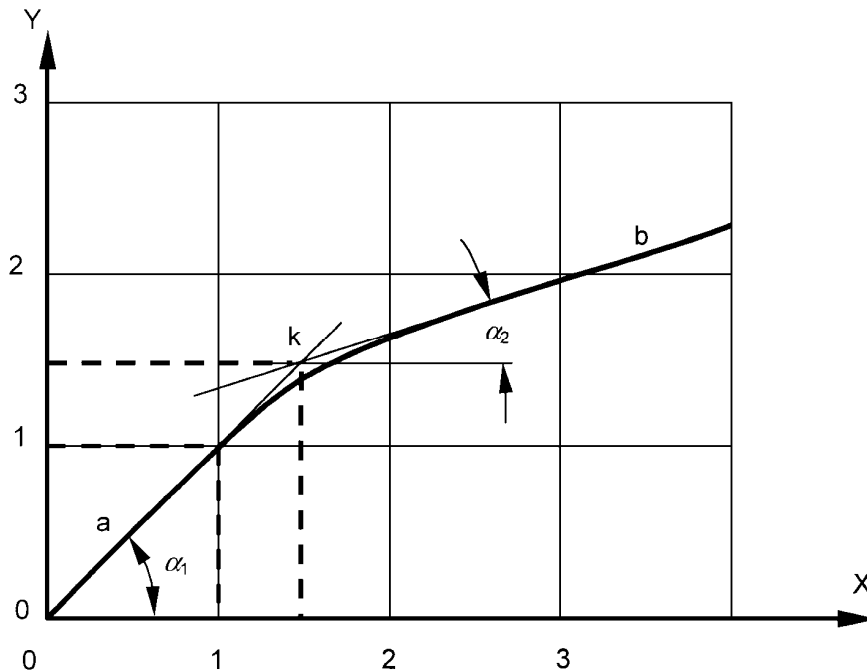
Bild 1c – gesättigt

Legende

X-Achse – Momentanwert des Stroms, angegeben als bezogene Größe des Bemessungswertes

Y-Achse – Momentanwert des verketteten Flusses, angegeben als bezogene Größe des Wertes bei Bemessungsstrom

Bild 1 – Arten der Magnetisierungskennlinien für Drosselspulen



Legende

X-Achse – Momentanwert des Stroms, angegeben als bezogene Größe des Bemessungswertes

Y-Achse – Momentanwert des verketteten Flusses, angegeben als bezogene Größe des Wertes bei Bemessungsstrom

α_1 = Anstiegswinkel (differentielle Induktivität) der Kennlinie im ungesättigten Teil

α_2 = Anstiegswinkel (differentielle Induktivität) der Kennlinie im gesättigten Teil

k = Knickpunkt der Sättigung, Schnittpunkt der geraden Linien a und b

Bild 2 – Parameter für eine nichtlineare Magnetisierungskennlinie

3.2.8

lineare Drosselspule

Drosselspule mit einer konstanten Reaktanz (bei Glättungsdrosseln: einer konstanten Induktivität) innerhalb der Grenzabweichung, die im betreffenden Abschnitt dieser Norm angegeben ist, bis zum festgelegten Wert für Strom oder Spannung

ANMERKUNG Eine lineare Drosselspule kann eine lineare Magnetisierungskennlinie wie nach Bild 1a haben, wenn sie kein ferromagnetisches Bauteil enthält, oder eine nichtlineare Magnetisierungskennlinie nach Bild 1b haben, wenn in der Konstruktion ein ferromagnetischer Kern oder Schirm vorgesehen ist.

3.2.9

gesättigte Drosselspule

Drosselspule, die so ausgelegt ist, dass sich die Reaktanz in ihrem Wert mit der Betriebsspannung oder dem Betriebsstrom verändert

ANMERKUNG Ein Beispiel für eine Drosselspule mit einer gesättigten Magnetisierungskennlinie ist in Bild 1c angegeben.

3.2.10

Netzfrequenz

Bemessungsfrequenz des Netzes, in das die Drosselspule eingebaut werden soll

3.2.11

Bezugstemperatur

für flüssigkeitsgefüllte Drosselspulen ist die Bezugstemperatur 75 °C; für Trockendrosselspulen ist die Bezugstemperatur entsprechend der Isolierstoffklasse in IEC 60076-11 angegeben

ANMERKUNG Für Trockendrosselspulen, bei denen die Erwärmung bei normaler Betriebsart deutlich unterhalb der für die betreffende Isolierstoffklasse zulässigen Grenzwerte ist, sollte eine niedrigere Bezugstemperatur vereinbart werden.

4 Symbole und Abkürzungen

Symbol	Bedeutung	Einheit
f_r	Bemessungsfrequenz (siehe Anmerkung)	Hz
f_{rd}	Bemessungsschwingkreisfrequenz bei Entladung (von Kondensatoren)	Hz
f_{rIN}	Bemessungsschwingkreisfrequenz bei Einschaltung (von Kondensatoren)	Hz
f_{rt}	Bemessungsabstimmungsfrequenz	Hz
I_{equ}	Äquivalenter Strom bei Netzfrequenz	A
I_d	Bemessungsleichstrom	A
I_h	Oberschwingungsstrom der h-ten Oberschwingung	A
I_{Nr}	Bemessungs-Dauersternpunktstrom	A
I_{NSTr}	Bemessungs-Kurzzeitsternpunktstrom	A
I_{MSCr}	Mechanischer Bemessungskurzschlussstrom	A
I_r	Bemessungsstrom (siehe Anmerkung)	A
I_{rd}	Bemessungsentladestrom	A
I_{rIN}	Bemessungseinschaltstrom	A
I_{SCr}	Thermischer Bemessungskurzschlussstrom (siehe Anmerkung)	A
I_T	Äquivalenter Prüfgleichstrom	A
I_{test}	Prüfstrom	A
I_{STr}	Bemessungskurzzeitstrom	A
k	Kopplungsfaktor (siehe Anmerkung)	
L_{inc}	Inkrementelle Bemessungsinduktivität	H
L_r, L_{SCr}	Bemessungsinduktivität (siehe Anmerkung)	H
Q_f	Gütefaktor	
R	Gleichstromwiderstand	Ω
T_{NSTr}	Bemessungsdauer des Kurzzeitsternpunktstroms	s
T_r	Bemessungsstromdauer	s
T_{SCr}	Dauer des thermischen Bemessungskurzschlussstroms	s
T_{STr}	Dauer des Bemessungskurzzeitstroms	s
U_{ac}	Stehwechselspannung	V
U_d	Bemessungsgleichspannung	V
U_{dc}	Stehgleichspannung	V
U_{dmax}	Maximale Betriebsgleichspannung	V

Symbol	Bedeutung	Einheit
U_m	Höchste Spannung für Betriebsmittel (siehe IEC 60076-3, 3.1)	V
U_{max}	Maximale Betriebsspannung, maximale Dauerspannung (siehe Anmerkung)	V
U_{pr}	Polaritätsumkehrstehspannung	V
U_r	Bemessungsspannung (siehe Anmerkung)	V
U_{test}	Prüfspannung	V
X_0	Nullreaktanz	Ω
X_m	Gegenreaktanz	Ω
X_r, X_{SCr}	Bemessungsreaktanz (siehe Anmerkung)	Ω
Z_0	Nullimpedanz	Ω
Z_r	Impedanz bei Bemessungsdauerstrom	Ω
Z_{r1}	Einphasige Impedanz bei Bemessungsdauerstrom	Ω
Z_{r3}	Dreiphasige Impedanz bei Bemessungsdauerstrom	Ω
Z_{SCr}	Impedanz bei Bemessungskurzschlussstrom	Ω
Z_{SCr1}	Einphasige Impedanz bei Bemessungskurzschlussstrom	Ω
Z_{SCr3}	Dreiphasige Impedanz bei Bemessungskurzschlussstrom	Ω
Z_{STr}	Impedanz bei Bemessungskurzzeitstrom	Ω
Z_{STr1}	Einphasige Impedanz bei Bemessungskurzzeitstrom	Ω
Z_{STr3}	Dreiphasige Impedanz bei Bemessungskurzzeitstrom	Ω
ANMERKUNG Die Definitionen für diese Bemessungswerte sind in den entsprechenden Abschnitten für die dort behandelten Arten der Drosselspulen angegeben.		

5 Betriebsbedingungen

5.1 Allgemeines

Soweit zutreffend, sind für Drosselspulen die normalen Betriebsbedingungen und die Anforderungen bei abweichenden Betriebsbedingungen die gleichen, wie sie für Leistungstransformatoren in IEC 60076-1 und IEC 60076-11 festgelegt sind.

Der Käufer muss in seiner Ausschreibung alle Betriebsbedingungen angeben, die in den normalen Betriebsbedingungen nach IEC 60076-1 und IEC 60076-11 nicht erfasst sind.

ANMERKUNG Beispiele für derartige Bedingungen sind:

- maximale oder minimale Umgebungstemperatur, die die Grenzen nach IEC 60076-1 überschreiten;
- Höhenlage überschreitet die in IEC 60076-1 vorgeschriebenen Grenzwerte;
- eine Umgebung mit einem Verschmutzungsgrad (siehe IEC 60137 und IEC 60815), die besondere Überlegungen hinsichtlich der äußeren Isolierung der Drosselspule oder der Drosselspule selbst erfordert; Beispiele sind:
 - schädigende(r) Rauch und Dämpfe;
 - übermäßiger oder abreibender Staub;
 - industrielle Verschmutzung;
 - Salzsprühnebel;
 - tropische Luftfeuchte.

Dies ist besonders für Trockendrosselspulen von besonderer Bedeutung. Der Hersteller sollte die Maßnahmen zur Einhaltung der Verschmutzungsanforderungen (besondere Anstriche, Wetterschutz usw.) und die zugehörigen Instandhaltungsanforderungen angeben.

5.2 Seismische Bedingungen

Drosselspulen für den Betrieb unter seismischen Bedingungen sollten nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer durch Berechnung nach IEC 60721-2-6 qualifiziert werden.

6 Auslegung, Prüfung, Grenzabweichungen und Anwendung

Die Anwendung von Prüfungen für Drosselspulen folgt im Allgemeinen den entsprechenden Regeln für Transformatoren in IEC 60076, jedoch kann es besondere Faktoren geben, die für bestimmte Drosselspulen anwendbar und in dieser Norm beschrieben sind, wodurch es zu einer Einschränkung der erreichbaren Prüfpegel kommen kann. Der Hersteller muss dem Käufer zum Zeitpunkt des Angebots alle Einschränkungen hinsichtlich der erreichbaren Prüfpegel eindeutig darlegen.

Drosselspulen müssen ungeachtet der tatsächlich erreichbaren Prüfpegel so ausgelegt sein, dass sie den in IEC 60076 festgelegten Prüfpegel standhalten. Wo die tatsächlichen Prüfpegel im Ausnahmefall unter den in IEC 60076 angegebenen Pegeln liegen, muss der Hersteller dem Käufer durch Berechnung und durch Bezugnahme auf ähnliche geprüfte Ausführungen nachweisen, dass Isolation, Abstände und weitere relevante Faktoren hinreichend sind, damit die Prüfpegel nach IEC 60076 eingehalten werden.

Die Anwendung einer Prüfwicklung mit einem Prüfkern kann unter besonderen Umständen zweckmäßig sein, um die vollen Prüfpegel zu erreichen.

Für die Prüfung ist die Drosselspule im Wesentlichen wie für den Betrieb aufzubauen, besonders im Hinblick auf eine etwaige Beeinflussung der Prüfergebnisse. Es gilt **IEC 60076-1:1993, 10.1**, jedoch dürfen Trockendrosselspulen bei jeder Umgebungstemperatur geprüft werden.

Der Käufer darf anstelle von Typprüfungen oder Sonderprüfungen Berechnungen und/oder Vergleiche mit ähnlich bemessenen Einheiten fordern, sofern diese Prüfungen bereits an ähnlichen Einheiten durchgeführt worden sind.

Die Verlustmessung mit analogen Leistungsmessgeräten kann beträchtliche Messabweichungen haben, weil der Leistungsfaktor der Drosselspulen üblicherweise sehr klein ist. Die Anforderungen an die Messgenauigkeit der Verlustmessung kann von Verlustmesssystemen, bestehend aus flusskompensierten Stromwandlern, Normalkondensatoren als Spannungswandler und digitalen Leistungsmessgeräten, eingehalten werden. Die Anforderungen an die Messgenauigkeit der Verlustmessung kann auch durch Anwendung eines geeigneten Brückenverfahrens erzielt werden. Zu weiteren Angaben siehe IEC 60076-8:1997, Abschnitt 10. Auf Anfrage des Käufers ist eine zufriedenstellende Dokumentation hinsichtlich der Messunsicherheit der beabsichtigten Messmethode bereitzustellen.

Eine Trockendrosselspule befindet sich im Allgemeinen nicht in einem Stahlbehälter oder einer Stahlkapselung. Alle Teile des Drosselspulenaufbaus müssen als spannungsführend betrachtet werden. Deshalb sind Überlegungen zur Verhütung des unbeabsichtigten Berührens der im Betrieb befindlichen Drosselspule durch Personen anzustellen. Wenn der Käufer eine besondere Forderung stellt, dass die Drosselspule an einer erhöhten Stelle zu montieren ist, dann muss dies in der Ausschreibung angegeben sein. Sicherheitsvorkehrungen, wie Einzäunungen, können möglicherweise gefordert sein und sind als Teil der Auslegung der Station zu berücksichtigen. Sind vom Käufer spezifische Grenzwerte für die magnetische Feldstärke festgelegt worden, muss der Hersteller eine grafische Darstellung über die magnetische Feldstärke in der Nähe der Drosselspule bereitstellen.

Das Magnetfeld in der unmittelbaren Nähe einer Trocken-Luftdrosselspule kann eine ausreichende Größenordnung besitzen, um in der Nähe befindliche metallische Gegenstände zu erwärmen und Gegenwirkungskräfte zu erzeugen. Der Hersteller hat gegebenenfalls eine Anleitung hinsichtlich geeigneter magnetischer Abstände zu liefern.

Bei der festgelegten höchsten Umgebungstemperatur darf die Temperatur der Wicklungsklemmen von Trockendrosselspulen nicht die in Tabelle 1 angegebenen Grenzwerte überschreiten.

Tabelle 1 – Temperaturgrenzwerte für Wicklungsklemmen von Trockendrosselspulen

	Temperatur
Blanke Anschlussklemmen aus Kupfer, Kupferlegierungen, Aluminium oder Aluminiumlegierungen	90 °C
Versilberte oder vernickelte Anschlussklemmen aus Kupfer, Kupferlegierungen, Aluminium oder Aluminiumlegierungen	115 °C
Verzinnte Anschlussklemmen aus Kupfer, Kupferlegierungen, Aluminium oder Aluminiumlegierungen	105 °C

Zu weiteren Angaben siehe IEC 60943.

Die Grenzabweichungen für bestimmte Bemessungswerte oder zugesicherte Werte sind in den betreffenden Abschnitten angegeben. Bei anderen Größen, sofern sie Garantiebestimmungen unterliegen, ist gegebenenfalls auf [IEC 60076-1](#) zu verweisen.

ANMERKUNG Weitere Grenzabweichungen und Grenzabweichungen anderer Größen können in der Anfrage oder Ausschreibung festgelegt werden.

7 Kompensationsdrosselspulen

7.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt werden die Anforderungen an Kompensationsdrosselspulen beschrieben, deren Anschluss zwischen Außenleiter und Erde, Außenleiter und Neutralleiter oder zwischen den Außenleitern in einem Netz zur Kompensation kapazitiver Ströme vorgesehen ist. Die aufgenommene Blindleistung bei Bemessungsspannung kann festgelegt sein oder durch Anwendung zusätzlicher Mittel eingestellt werden, wie:

- phasenanschnittgesteuertes Schalten mit Geräten der Leistungselektronik (z. B. in statischen Blindleistungserzeugern);
- Gleichstrommagnetisierung des Eisenkerns;
- Wicklungsanzapfung zur Einstellung unter Last und ohne Last.

ANMERKUNG Angaben zu Sonderanwendungen enthält [Anhang A](#).

7.2 Bauart

Hinsichtlich Bauart und Aufstellung ist die Drosselspule gekennzeichnet als:

- ein- oder dreiphasig;
- Trocken- oder flüssigkeitsgefüllter Typ;
- ohne Eisenkern oder mit Eisenkern mit Luftspalten;
- mit oder ohne magnetische Abschirmung;
- für Innenraum- oder Freiluftaufstellung;
- mit fester oder veränderlicher Reaktanz;
- linear oder gesättigt.

Die Kenntnis der Magnetisierungskennlinie kann für den Käufer notwendig sein und muss auf Anfrage bereitgestellt werden. Sie kann durch Messung oder Berechnung bestimmt werden. Zu ausführlichen Angaben siehe [Anhang B](#).

7.3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Abschnitts gelten die folgenden Begriffe.

7.3.1

Bemessungsspannung

U_r

Spannung bei Bemessungsfrequenz, die zwischen den Leiteranschlüssen einer Wicklung einer Dreiphasen-Drosselspule oder zwischen den Anschlüssen einer Wicklung einer Einphasen-Drosselspule anzulegen ist

ANMERKUNG Bei Einphasen-Drosselspulen für eine Drehstrombank wird die Bemessungsspannung einer einzelnen Einheit, die in Stern geschaltet werden soll, als Bruch angegeben, dessen Zähler die Leiter-Leiter-Spannung und dessen Nenner $\sqrt{3}$ ist, z. B.:

$$U_r = \frac{525}{\sqrt{3}} \text{ kV}$$

7.3.2

maximale Betriebsspannung

$U_{\max}$

höchste Spannung bei Bemessungsfrequenz, bei der ein Dauerbetrieb der Drosselspule möglich sein muss

ANMERKUNG $U_{\max}$ ist nicht das gleiche wie U_m (siehe 3.2.1), kann jedoch in Sonderfällen denselben Wert haben.

7.3.3

Bemessungsleistung

Blindleistung der Kompensationsdrosselspule, die für den Betrieb mit Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz festgelegt ist. Siehe auch Anmerkung in 7.4.3.

Bei Drosselspulen mit einstellbarer Reaktanz bezieht sich die Bemessungsleistung auf die Einstellung der Drosselspule mit der höchsten Blindleistung, sofern nicht anders festgelegt.

ANMERKUNG Im Falle von Drosselspulen mit Anzapfungen bezieht sich die Bemessungsleistung auf die Anzapfungsstufe mit der niedrigsten Windungsanzahl.

7.3.4

Bemessungsstrom

I_r

Leiterstrom der Drosselspule, abgeleitet aus Bemessungsleistung und Bemessungsspannung

ANMERKUNG Bei Einphasen-Drosselspulen für eine Drehstrombank wird der Bemessungsstrom einer einzelnen Einheit, die in Dreieck geschaltet werden soll, als Bruch angegeben, dessen Zähler der entsprechende Leiterstrom und dessen Nenner $\sqrt{3}$ ist, z. B.:

$$I_r = \frac{500}{\sqrt{3}} \text{ A}$$

Bei Drosselspulen, die in einem statischen Blindleistungserzeuger eingesetzt werden, wird der Bemessungsstrom auf den vollen Laststrom mit einer sinusförmigen Wellenform bezogen, sofern nicht anders festgelegt.

7.3.5

Bemessungsreaktanz (Bemessungsinduktivität)

$X_r (L_r)$

Reaktanz (in Ohm je Phase), die bei Bemessungsspannung und bei Bemessungsfrequenz festgelegt ist. Sie wird aus der Bemessungsleistung und der Bemessungsspannung abgeleitet. Bei Drosselspulen, die in einem statischen Blindleistungserzeuger eingesetzt werden, muss die Bemessungsinduktivität ($L_r = X_r / (2 \pi f_r)$) festgelegt werden.

7.3.6

Nullreaktanzen einer Dreiphasen-Drosselspule in Sternschaltung

X_0

Reaktanz je Phase bei Bemessungsfrequenz ist gleich dem Dreifachen des Wertes der zwischen den miteinander verbundenen Außenleitern und dem Sternpunktanschluss gemessenen Reaktanz. Das Verhältnis X_0/X_r hängt von der Bauart der Drosselspule ab. Zu weiteren Angaben siehe [Anhang C](#).

7.3.7

Gegenreaktanzen einer Dreiphasen-Drosselspule

X_m

Verhältnis zwischen der in einem offenen Wicklungsstrang induzierten Spannung und dem Strom in einem erregten Wicklungsstrang bei Bemessungsfrequenz in Ohm je Phase. Die Gegenreaktanzen werden zweckmäßig als Verhältniszahlen zur Bemessungsreaktanzen angegeben.

7.3.8

Einschaltstrom

Verhältnis des maximalen Stromscheitelwerts, der während des Einschaltens der Drosselspule auftreten kann, und das $\sqrt{2}$ fache des Bemessungsstroms

7.4 Bemessungsdaten

Die Bemessungsdaten einer Kompensationsdrosselspule beziehen sich auf den Dauerbetrieb, sofern nicht anders festgelegt.

Bei Drosselspulen, die in einem statischen Blindleistungserzeuger mit anschnittgesteuertem Strom eingesetzt werden, beziehen sich die Garantiewerte auf den sinusförmigen Vollaststrom, sofern nicht anders festgelegt.

7.4.1 Bemessungsspannung

Die Bemessungsspannung U_r bei Bemessungsfrequenz wird vom Käufer zugewiesen. Die vorgegebene Bemessungsspannung ist die Grundlage für die Konstruktion, die vom Hersteller angegebenen Garantiewerte und die Prüfungen, sofern in [7.8](#) nicht anders angegeben. Die Bemessungsspannung wird üblicherweise als die normale Betriebsspannung des Netzes festgelegt.

7.4.2 Maximale Betriebsspannung

Die maximale Betriebsspannung U_{max} wird vom Käufer festgelegt. Sie soll nicht kleiner als die höchste Dauerspannung sein, die im Betrieb an der Drosselspule anliegt. Sie darf gleich der Bemessungsspannung U_r sein.

7.4.3 Bemessungsleistung

Die Bemessungsleistung muss vom Käufer festgelegt werden.

ANMERKUNG Wo drei Einphasen-Drosselspulen für die Verbindung als Drehstrombank geliefert werden, wird die Bemessungsleistung üblicherweise als die Leistung einer Einphasen-Drosselspule angegeben. Wenn die Dreiphasen-Leistung festgelegt ist, dann muss dies deutlich angegeben sein.

7.4.4 Nullreaktanzen X_0 einer Dreiphasen-Drosselspule in Sternschaltung

Falls ein bestimmtes Verhältnis X_0/X_r bevorzugt ist, muss dies vom Käufer zum Zeitpunkt der Anfrage angegeben und zum Zeitpunkt der Bestellung zwischen Käufer und Hersteller vereinbart werden.

ANMERKUNG Zu weiteren Angaben hinsichtlich des Einflusses der Bauart auf den Wert der Nullreaktanzen siehe [Anhang C](#).

7.4.5 Gegenreaktanz einer Dreiphasen-Drosselspule

Der Maximalwert der Gegenreaktanz X_m darf vom Käufer festgelegt werden, wenn dies für das Netz von Bedeutung ist.

ANMERKUNG 1 Die Gegenreaktanz ist im Allgemeinen vernachlässigbar bei:

- einer Bank aus drei getrennten flüssigkeitsgefüllten Einphasen-Drosselspulen;
- einer Bank aus drei einzelnen eisenlosen (Trocken-)Drosselspulen, die nebeneinander aufgestellt sind;
- einer Dreiphasen-Drosselspule, die eine magnetische Abschirmung für den Fluss des Nullsystems hat.

ANMERKUNG 2 Zu weiteren Angaben hinsichtlich des Einflusses der Bauart auf den Wert der Gegenreaktanz siehe Anhang C.

7.4.6 Einschaltstrom

Die Berechnung der höchsten Einschaltstromspitze bezieht sich auf die Bemessungsspannung U_r , die Bemessungsfrequenz und auf den ungünstigsten Schaltwinkel. Der Wert des Einschaltstroms ist vom Hersteller auf Anfrage des Käufers anzugeben.

ANMERKUNG Weitere Angaben zum Einschaltstrom sind in [B.6](#) enthalten.

7.4.7 Linearität der Kompensationsdrosselspule

Sofern nicht anders festgelegt, soll die Drosselspule eine lineare Drosselspule innerhalb der in [7.9.3](#) angegebenen Grenzabweichung bis U_{max} sein. Alternativ darf ein maximaler Oberschwingungsstrom als prozentualer Wert des Grundswingungsstromanteils bei U_r oder bei U_{max} festgelegt werden.

7.5 Erwärmung

Die in [IEC 60076-2](#) für flüssigkeitsgefüllte Transformatoren und in [IEC 60076-11](#) für Trockentransformatoren angegebenen Grenzwerte der Erwärmung gelten bei der maximalen Betriebsspannung U_{max} .

7.6 Isolationspegel

Für die Festlegung des Isolationspegels siehe [IEC 60076-3](#).

7.7 Leistungsschilder

Jede Drosselspule muss an gut sichtbarer Stelle ein Leistungsschild in wetterfester Ausführung haben, das an einer sichtbaren Stelle in allen Fällen die entsprechenden Angaben enthält, die nachstehend aufgeführt sind. Die Eintragungen auf dem Leistungsschild müssen unlöslich vorgenommen werden (z. B. durch Ätzen, Gravieren oder Prägen).

- Typ der Drosselspule;
- Freiluft-/Innenraumaufstellung;
- Nummer dieser Norm;
- Name des Herstellers;
- Fertigungsnummer des Herstellers;
- Baujahr;
- Isolationspegel;
- Phasenanzahl;
- Bemessungsleistung (bei Drosselspulen mit Anzapfungen die Leistung jeder Anzapfstufe);

- Bemessungsfrequenz;
- Bemessungsspannung;
- Bemessungsstrom;
- maximale Betriebsspannung;
- Wicklungsschaltung (sofern anwendbar);
- Reaktanz (Messwert) bei Bemessungsspannung und -frequenz oder Induktivität (Messwert) bei Bemessungsspannung;
- Kühlungsart;
- thermische Klasse der Isolierung (nur bei Trockendrosselspulen);
- Übertemperatur der Kühlflüssigkeit in der obersten Schicht und mittlere Wicklungserwärmung (nur bei flüssigkeitsgefüllten Drosselspulen);
- Gesamtgewicht;
- Transportgewicht (für flüssigkeitsgefüllte Drosselspulen);
- Gewicht des heraushebbaren Teils (für flüssigkeitsgefüllte Drosselspulen);
- Gewicht der Isolierflüssigkeit (sofern anwendbar);
- Art der Isolierflüssigkeit, falls kein Mineralöl (sofern anwendbar);
- Wicklungsschaltbild mit Anzapfungen und Messwandlern (sofern anwendbar);
- Typ des Stufenschalters bzw. Umstellers (sofern anwendbar);
- Nullreaktanz, Messwert (sofern anwendbar, auf Nachfrage);
- Gegenreaktanz, Messwert (sofern anwendbar, auf Nachfrage).

7.8 Prüfungen

7.8.1 Allgemeines

Die allgemeinen Anforderungen für Stück-, Typ- und Sonderprüfungen sind in IEC 60076-1 beschrieben.

7.8.2 Stückprüfungen

Die folgenden Stückprüfungen sind durchzuführen:

- Messung des Wicklungswiderstandes (IEC 60076-1);
- Messung der Reaktanz (7.8.5);
- Verlustmessung bei Umgebungstemperatur (7.8.6);
- Spannungsprüfungen (7.8.10);
- Messung des Isolationswiderstandes und/oder der Kapazität und des Verlustfaktors ($\tan \delta$) der Wicklungsisolierung gegen Erde bei flüssigkeitsgefüllten Drosselspulen. (Dies sind Bezugswerte für den Vergleich mit späteren Messungen am Einsatzort. Für diese Messwerte gibt es keine Grenzwerte.)

7.8.3 Typprüfungen

Die folgenden Typprüfungen sind durchzuführen:

- Erwärmungsmessung (7.8.14);
- Schwingungsmessung bei flüssigkeitsgefüllten Drosselspulen (7.8.13);
- Bestimmung des Geräuschpegels (7.8.12);
- Spannungsprüfungen (7.8.10);
- Messung der Leistungsaufnahme von Ventilatoren und Ölpumpen, sofern vorhanden.

7.8.4 Sonderprüfungen

Die folgenden Sonderprüfungen sind auf besondere Nachfrage des Käufers durchzuführen:

- Messung der Nullreaktanz an Dreiphasen-Drosselspulen (7.8.8);
- Messung der Gegenreaktanz an Dreiphasen-Drosselspulen (7.8.9);
- Messung der Oberschwingungen des Stromes (7.8.7);
- Verlustmessung nahe der Bezugstemperatur bei flüssigkeitsgefüllten Drosselspulen (7.8.6);
- Bestimmung der Linearität der Reaktanz (7.8.5.3);
- Messung der Magnetisierungskennlinie an Luftspaltkerndrosselspulen und magnetisch geschirmten Luftdrosselspulen (7.8.11);
- Spannungsprüfungen (7.8.10);
- Bestimmung des Geräuschpegels nahe bei der Betriebstemperatur (7.8.12).

7.8.5 Bestimmung der Reaktanz und der Linearität der Reaktanz

7.8.5.1 Verfahren

- a) Die Reaktanz muss bei Bemessungsfrequenz durch Erregung mit einer annähernd sinusförmigen Spannung ermittelt werden.
- b) Die Reaktanz wird aus der anliegenden Spannung und dem gemessenen Strom (Effektivwert) bestimmt. Es wird vorausgesetzt, dass der ohmsche Anteil der Impedanz vernachlässigbar ist.
- c) Die Reaktanz von Drehstrom-Drosselspulen muss mit symmetrischen dreiphasigen Spannungen gemessen werden, die an die Anschlüsse der Drosselspule angelegt werden.

$$\text{Für die Reaktanz gilt: } \frac{\text{angelegte Leiter-Leiter-Spannung}}{\text{arithmetischer Mittelwert der gemessenen Leiterströme} \times \sqrt{3}}$$

ANMERKUNG 1 Ein möglicher Nullstreufeld durch die zu prüfende Kompensationsdrosselspule sollte in Betracht gezogen werden. Dies kann einen Einfluss auf das Prüfergebnis haben.

ANMERKUNG 2 An Dreiphasen-Drosselspulen mit einer magnetischen Schirmung zur Aufnahme des Nullflusses darf die Reaktanzmessung nach besonderer Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer auch mit einphasiger Erregung durchgeführt werden. In diesem Fall ist bei einer niedrigeren Spannung ein Vergleich zwischen den ein- und dreiphasigen Messungen vorzunehmen und ein entsprechender Korrekturfaktor ist zu vereinbaren.

7.8.5.2 Messung der Reaktanz bei Bemessungsspannung (Stückprüfung)

Die Messung der Reaktanz ist nach 7.8.5.1 bei Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz durchzuführen, ausgenommen für Luftdrosselspulen. In diesem Fall sind die Messungen bei Bemessungsfrequenz bei einer beliebigen Spannung bis zur Bemessungsspannung durchzuführen.

In Ausnahmefällen, beispielsweise bei Drosselspulen mit extrem großer Bemessungsleistung und hoher Netzspannung, kann es schwierig sein, diese Prüfung bei Bemessungsspannung durchzuführen. Bei Luftspaltkerndrosselspulen und magnetisch geschirmten Luftdrosselspulen, die für lineares Verhalten ausgelegt sind, muss die Prüfspannung gleich der maximal an der Prüfanlage verfügbaren Spannung sein, die Prüfspannung muss mindestens jedoch $0,9 \cdot U_r$ entsprechen. In diesem Fall muss gezeigt werden, dass die Drosselspule eine lineare Drosselspule nach 7.8.5.3 ist. Wenn der Hersteller keine Messung bei Erregung mit U_r durchführen kann, dann muss die erreichbare Prüfspannung im Angebot angegeben werden.

7.8.5.3 Bestimmung der Linearität der Reaktanz (Sonderprüfung)

Die Reaktanz muss nach dem in 7.8.5.1 beschriebenen Verfahren bei $\leq 0,7 \cdot U_r$, $0,9 \cdot U_r$, U_r und $U_{\max}$ oder bei weiteren festgelegten Spannungen bis zur maximalen Betriebsspannung $U_{\max}$ oder, nach Vereinbarung zwischen Käufer und Hersteller, ein wenig oberhalb des Wertes $U_{\max}$ gemessen werden.

Wo die Prüfanlage nicht dafür ausgelegt ist, die Prüfungen bei diesen Spannungen durchzuführen oder wenn es beabsichtigt ist, die Linearität oberhalb von $U_{\max}$ zu bestimmen, dann darf die Prüfung bei einer niedrigeren Frequenz (und entsprechend niedrigerer Spannung) vorgenommen werden. Das lineare Verhalten der Drosselspule darf alternativ durch Messung der Magnetisierungskennlinie nach 7.8.11 und durch Berechnung der Reaktanz aus der Magnetisierungskennlinie nachgewiesen werden.

ANMERKUNG Zu weiteren Angaben siehe auch [Anhang B](#).

7.8.6 Verlustmessung (Stückprüfung, Sonderprüfung)

7.8.6.1 Allgemeines

Die Verluste beziehen sich auf den Betrieb der Drosselspule mit Bemessungsstrom bei Bemessungsfrequenz und bei Bemessungstemperatur. Die gemessenen Verluste müssen auf den Bemessungsstrom und die Bemessungstemperatur korrigiert werden.

Auf Anforderung ist eine ausreichende Dokumentation hinsichtlich der Genauigkeit des vorgeschlagenen Verfahrens zur Verfügung zu stellen.

Für Dreiphasen-Drosselspulen ist die Verlustmessung mit dreiphasiger Erregung durchzuführen.

ANMERKUNG 1 Bei Dreiphasen-Drosselspulen mit geringen Verlusten können die in den einzelnen Wicklungssträngen gemessenen Verluste ungleich sein oder sogar ein negativer Verlustwert in einem Wicklungsstrang sein. Die arithmetische Summe der drei Verlustwerte ergibt den Gesamtverlust.

ANMERKUNG 2 Bei Drehstrom-Drosselspulen mit einer magnetischen Schirmung zur Aufnahme des Nullflusses kann eine Messung mit einphasiger Erregung nach besonderer Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer durchgeführt werden. In diesem Fall ist ein Vergleich bei niedrigerer Spannung zwischen der Einphasen- und der Dreiphasenmessung anzustellen und ein geeigneter Korrekturfaktor ist zu vereinbaren.

7.8.6.2 Luftdrosselspulen

Für Luftdrosselspulen dürfen die Messungen bei jeder Spannung bis zur Bemessungsspannung bei Bemessungsfrequenz durchgeführt werden. Die Verluste bei Bemessungsstrom sind durch Multiplikation der gemessenen Verluste mit dem Quadrat des Verhältnisses von Bemessungsstrom zu dem bei reduzierter Spannung gemessenen Strom zu ermitteln.

Die Anwesenheit von Metallteilen in der Nähe um oder unterhalb der Drosselspulen wird die Verlustmessung deutlich beeinflussen. Metallteile, die zum Traggerüst der Drosselspule gehören und die Verlustmessung beeinflussen können, müssen sich deshalb, sofern sie vom Hersteller geliefert wurden, für die Prüfung an ihrem Platz befinden.

Der Gesamtverlust setzt sich aus ohmschen Verlusten und zusätzlichen Wirbelstromverlusten zusammen. Der ohmsche Anteil ergibt sich mit $I_r^2 \cdot R$, dabei ist R der gemessene Gleichstromwiderstand und I_r der Bemessungsstrom. Der Anteil der zusätzlichen Verluste ist die Differenz zwischen dem Gesamtverlust und dem ohmschen Verlust $I_r^2 \cdot R$.

Die Verlustmessung darf bei jeder zweckmäßigen Umgebungstemperatur durchgeführt werden und ist auf die Bezugstemperatur gemäß dem in [IEC 60076-1](#) angegebenen Verfahren zu korrigieren.

7.8.6.3 Luftspaltkerndrosselspulen und magnetisch geschirmte Luftdrosselspulen

Die Verluste von Luftspaltkerndrosselspulen und magnetisch geschirmten Luftdrosselspulen müssen bei Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz gemessen werden. Die Spannung muss mit einem Spannungsmessgerät gemessen werden, das den Mittelwert der Spannung misst, aber zur Ablesung auf den Effektivwert einer sinusförmigen Welle mit dem gleichem arithmetischen Mittelwert skaliert ist. Wenn der bei Bemessungsspannung gemessene Strom vom Bemessungsstrom abweicht, dann müssen die gemessenen Verluste auf den Bemessungsstrom durch Multiplikation des gemessenen Verlustes mit dem Quadrat des Verhältnisses von Bemessungsstrom zum gemessenen Strom korrigiert werden.

In Ausnahmefällen, z. B. bei besonders großer Bemessungsleistung und hoher Netzspannung, kann es schwierig sein, diese Prüfbedingung zu erfüllen. In diesen Fällen sind die Verluste bei Bemessungsstrom durch Multiplikation der gemessenen Verluste mit dem Quadrat des Verhältnisses von Bemessungsstrom zu dem bei verminderter Spannung gemessenen Strom zu ermitteln. Die Prüfspannung muss mindestens $0,9 \cdot U_r$ betragen.

Der Gesamtverlust setzt sich aus ohmschen Verlusten, Eisenverlusten und zusätzlichen Verlusten zusammen. Der ohmsche Anteil ergibt sich mit $I_r^2 \cdot R$, dabei ist R der gemessene Gleichstromwiderstand und I_r der Bemessungsstrom. Die Eisenverluste und zusätzlichen Verluste lassen sich messtechnisch nicht trennen. Die Summe der Eisenverluste und zusätzlichen Verluste ist deshalb die Differenz zwischen dem Gesamtverlust und dem ohmschen Verlust.

Die Verlustmessung ist als Stückprüfung bei der Umgebungstemperatur im Werk durchzuführen und auf Bezugstemperatur zu korrigieren. Der ohmsche Verlust wird gemäß dem in [IEC 60076-1](#) angegebenen Verfahren auf Bezugstemperatur korrigiert. Eine Korrektur der Eisenverluste und der Zusatzverluste auf die Bezugstemperatur ist üblicherweise nicht sinnvoll durchführbar. Deshalb werden die Eisen- und Zusatzverluste als temperaturunabhängig angesehen. Diese Annahme liefert im Regelfall einen leicht höheren Zahlenwert für die Verluste bei Bezugstemperatur als sie tatsächlich vorliegen.

Wenn eine Sondermessung der Verluste in der Nähe der Bezugstemperatur festgelegt ist, kann diese Verlustmessung in Verbindung mit der Erwärmungsprüfung durchgeführt werden. Die Stückmessung der Verluste bei Umgebungstemperatur ist ebenso an der gleichen Einheit durchzuführen, um den Temperaturkoeffizienten für die Gesamtverluste (lineare Änderung angenommen) festzulegen. Mit dem an dieser Einheit bestimmten Temperaturkoeffizienten ist der Zahlenwert der Verluste aller weiteren Drosselspulen derselben Konstruktion auf die Bezugstemperatur zu korrigieren.

ANMERKUNG In [Anhang D](#) ist ein Beispiel für die Temperaturkorrektur von Verlusten enthalten.

7.8.7 Messung der Oberschwingungen des Stroms (Sonderprüfung)

Die Oberschwingungen des Stroms werden in allen drei Phasen bei Bemessungsspannung oder, wenn es so festgelegt ist, bei der maximalen Betriebsspannung mit einem Oberschwingungsanalysator gemessen. Die Größe der betreffenden Oberschwingungen wird als prozentualer Wert der Grundschiwingung angegeben. Alternativ oder wenn der Prüfspannungspegel nicht erreicht werden kann, können die Oberschwingungen des Stroms entsprechend der Festlegung bei Bemessungsspannung oder maximaler Betriebsspannung aus der gemessenen Magnetisierungskennlinie oder durch Berechnung abgeleitet werden. Zu weiteren Angaben hinsichtlich der Magnetisierungskennlinie siehe [Anhang B](#).

Die Oberschwingungen der erregenden Spannung müssen entsprechend gleichzeitig gemessen werden.

ANMERKUNG 1 Diese Prüfung wird üblicherweise nicht an linearen Kompensationsdrosselspulen durchgeführt, es sein denn, der Käufer stellt besondere Anforderungen an die Oberschwingungen des Stroms.

ANMERKUNG 2 Diese Messung ist nur sinnvoll durchführbar, wenn der Verzerrungsfaktor (siehe [B.5](#)) der angelegten Spannung kleiner als 2 % ist.

7.8.8 Messung der Nullreaktanz an Dreiphasen-Drosselspulen (Sonderprüfung)

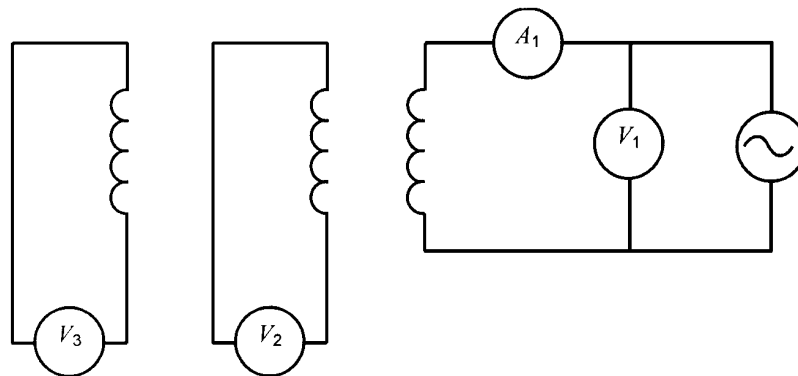
Siehe [IEC 60076-1](#).

Diese Messung ist mit einer Spannung durchzuführen, die einem Sternpunktstrom entspricht, der den Bemessungs-Strangstrom nicht übersteigt. Der Strom im Sternpunkt und die Anwendungsdauer können begrenzt sein, dass keine übermäßigen Temperaturen in metallischen Bauteilen auftreten können.

7.8.9 Messung der Gegenreaktanz an Dreiphasen-Drosselspulen (Sonderprüfung)

Die Messung ist bei Bemessungsspannung nach Bild 3 an Luftspaltkerndrosselspulen und magnetisch geschirmten Luftdrosselspulen durchzuführen, sofern nicht anders festgelegt. Bei anderen Drosselspulen darf für diese Messung eine zweckmäßige Spannung angewendet werden.

Der Strom im Sternpunkt und die Messdauer dürfen so begrenzt werden, dass keine übermäßigen Temperaturen in metallischen Bauteilen auftreten können.



Legende

V_1, V_2, V_3 Spannungsmessung

A_1 Strommessung

Gegenreaktanz $X_m = V_2/A_1$ bzw. V_3/A_1

**Bild 3 – Messung der Gegenreaktanz an Drehstrom-Drosselspulen
oder Drehstrombänken aus drei Einphasen-Drosselspulen**

7.8.10 Spannungsprüfungen

7.8.10.1 Allgemeines

Die Anwendung der Spannungsprüfungen auf Kompensationsdrosselspulen folgt im Allgemeinen den entsprechenden Grundsätzen für Transformatoren in IEC 60076-3, IEC 60076-4 und IEC 60076-11.

7.8.10.2 Prüfung mit angelegter Stehwechselspannung (Stückprüfung, Sonderprüfung)

Diese Prüfung gilt als Stückprüfung für flüssigkeitsgefüllte Drosselspulen. Siehe IEC 60076-3:2000, Abschnitt 11.

Für Trocken-Luftdrosselspulen werden üblicherweise genormte Stationsstützer oder Sammelschienenstützer für den Drosselspulenbau und für die Isolierung zwischen den Drosselspulenwicklungen und Erde sowie zwischen den Wicklungen verschiedener Phasen verwendet, wenn zwei oder mehr Phasenwicklungen vertikal übereinander angeordnet werden. Deshalb ist diese Prüfung eine Prüfung der Tragstützer und wird nur als Sonderprüfung durchgeführt, wenn sie ausdrücklich gefordert wird.

ANMERKUNG Sofern nicht anders vom Hersteller im Angebot angegeben, wird davon ausgegangen, dass die Stützer nach IEC 60273 ausgelegt und nach IEC 60168 geprüft sind.

7.8.10.3 Prüfung mit induzierter Stehwechselspannung (Stückprüfung)

Zum Zeitpunkt der Bestellung müssen zwischen Hersteller und Käufer die Prüfspannungen U_1 und U_2 und die betreffenden Prüfverfahren, wie in IEC 60076-3 festgelegt, vereinbart werden.

Die Prüfung mit induzierter Stehwechselspannung erfordert einen hohen Aufwand an Prüfblindleistung, die bei einem hohen Spannungspegel bereitgestellt werden muss. Dafür ist eine geeignete Energieeinspeisung erforderlich, die bei dem hohen Spannungspegel für die volle Prüfblindleistung bemessen sein muss.

In Ausnahmefällen, bei der Prüfung großer Drosselpulen, können die nach IEC 60076-3 geforderten Prüfpegel für die Prüfungen mit induzierter Stehwechselspannung mit praktischen Mitteln nicht erreicht werden. Alle Einschränkungen bezüglich der erreichbaren Prüfpegel müssen vom Hersteller im Angebot angegeben werden. Die Prüfung mit induzierter Stehwechselspannung darf in diesem Fall nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer mit niedrigeren Pegeln durchgeführt werden und die dielektrische Festigkeit der Drosselpule wird dann mit zusätzlichen Blitzstoßspannungsprüfungen für Drosselpulen mit $U_m < 170$ kV und mit zusätzlichen Blitzstoßspannungsprüfungen und Schaltstoßspannungsprüfungen für Drosselpulen mit $U_m \geq 170$ kV geprüft.

Für einphasige Prüfungen an Dreiphasen-Drosselpulen ohne magnetische Schirmung zur Aufnahme des Nullflusses sind außerdem besondere Betrachtungen erforderlich.

Drosselpulen mit $U_m \leq 72,5$ kV und gleichmäßiger Isolierung sind nach IEC 60076-3:2000, 12.2.1, zu prüfen (Kurzzeitprüfung mit induzierter Stehwechselspannung (ACSD)).

Drosselpulen mit $72,5$ kV $< U_m \leq 170$ kV und gleichmäßiger Isolierung sind nach IEC 60076-3:2000, 12.2.2, zu prüfen (Kurzzeitprüfung mit induzierter Stehwechselspannung (ACSD)). Einphasige Drosselpulen sind mit dem Prüfpegel U_1 zu prüfen, der gleich dem Zweifachen der Bemessungsspannung über der Wicklung ist.

Wenn die Leistungs- und Spannungsanforderungen für den Prüfpegel U_1 die verfügbaren Prüffeldmöglichkeiten überschreiten, dann muss der Hersteller dies im Angebot angeben. In diesem Fall darf nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Anwender der Prüfpegel U_1 verringert oder weggelassen werden und die Prüfdauer darf verlängert werden.

Drosselpulen mit $72,5$ kV $< U_m \leq 170$ kV und abgestufter Isolierung sind nach IEC 60076-3:2000, 12.3 a) (Leiter-Erde-Prüfung) und 12.3 b) (Leiter-Leiter-Prüfung) zu prüfen (Kurzzeitprüfung mit induzierter Stehwechselspannung (ACSD)). Eine für alle Arten von Drosselpulenkonstruktionen geeignete Schaltung zur Erregung der induzierten Leiter-Erde-Prüfung nach 12.3 a) ist in Bild 4 angegeben. In diesem Fall wird der Sternpunkt einer Spannung von $1/3 \cdot U_{\text{test}}$ ausgesetzt. Im Spezialfall einer Drosselpulenkonstruktion mit einer magnetischen Schirmung zur Aufnahme des Nullflusses kann auch die in Bild 6 angegebene Schaltung angewendet werden. In diesem Fall wird der Sternpunkt nicht mit Spannung beansprucht.

Die Leiter-Leiter-Prüfung nach 12.3 b) darf nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer durch drei Einphasenprüfungen ersetzt werden, wie in Bild 5 dargestellt. In diesem Fall ist der Prüfpegel U_1 gleich $2 \cdot U_r / \sqrt{3}$.

ANMERKUNG 1 Die Spannung zwischen den Leiteranschlüssen ist bei dieser Prüfung um den Faktor $1,5 / \sqrt{3}$ niedriger als bei einer Dreiphasenprüfung.

Für Einphasen-Drosselpulen gilt nur die Leiter-Erde-Prüfung nach 12.3 a). Während dieser Prüfung ist der Sternpunkt üblicherweise geerdet. Alternativ darf die Spannung am Sternpunkt durch Anschluss an einem Zusatztransformator angehoben werden, um die Prüfspannung über der Wicklung auf das Zweifache der Bemessungsspannung des Wicklungsstranges zu begrenzen. In diesen Fällen muss der Sternpunkt dementsprechend isoliert sein.

Wenn die Leistungs- und Spannungsanforderungen für diese Prüfungen die verfügbaren Prüffeldmöglichkeiten überschreiten, dann muss der Hersteller dies im Angebot angeben. In diesem Fall darf nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Anwender nur die Leiter-Leiter-Prüfung nach 12.3 b) durchgeführt werden, wobei der Prüfpegel U_1 verringert oder weggelassen und die Prüfdauer verlängert wird.

Drosselspulen mit $U_m > 170$ kV und abgestufter Isolierung sind nach IEC 60076-3:2000, 12.4, zu prüfen (Langzeitprüfung mit induzierter Stehwechselspannung (ACLD)). Für Dreiphasen-Drosselspulen darf die Prüfung als Dreiphasen-Prüfung oder durch drei Einphasen-Prüfungen mit einer Schaltung zur Erregung nach Bild 5 durchgeführt werden. Wenn die Leistungs- und Spannungsanforderungen für die Prüfungen die verfügbaren Prüffeldmöglichkeiten überschreiten, dann darf nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer die Kurzzeitanwendung des Prüfpegels U_1 verringert oder weggelassen und die Prüfdauer darf verlängert werden.

Wenn die Leistungs- und Spannungsanforderungen für diese Prüfungen die verfügbaren Prüffeldmöglichkeiten überschreiten, dann darf für Drosselspulen mit einer magnetischen Schirmung zur Aufnahme des Nullflusses die Anwendung der Einphasen-Prüfung nach Bild 6 zwischen Hersteller und Käufer vereinbart werden.

ANMERKUNG 2 Die Schaltung nach Bild 6 entspricht nicht IEC 60076-3:2000, 12.4, Bild 3. In der Schaltung nach Bild 6 ist die induzierte Spannung entlang der geprüften Wicklungen gleich der Spannung, die während der Prüfung nach 12.4 induziert wird, jedoch beträgt die Spannung zwischen den Wicklungen verschiedener Phasen nur $2/3$ der Spannung, die während der Prüfung nach 12.4 induziert wird, und ist geringfügig kleiner als U_m .

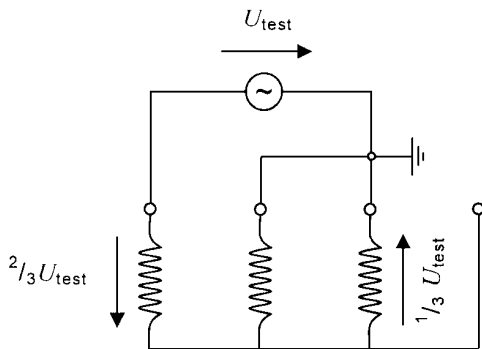


Bild 4 – Prüfschaltung für die Leiter-Erde-Prüfung mit einphasiger Erregung

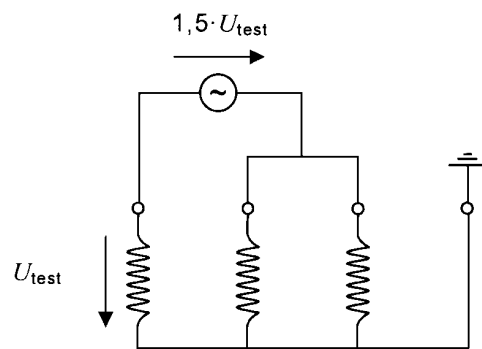


Bild 5 – Prüfschaltung für die Leiter-Leiter-Prüfung mit einphasiger Erregung

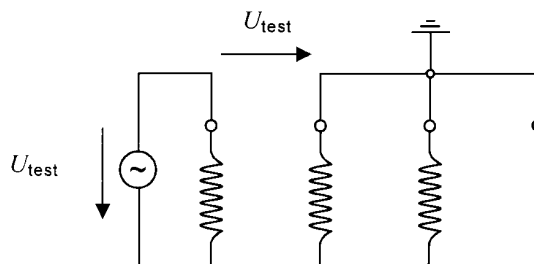


Bild 6 – Prüfschaltung mit einphasiger Erregung, geeignet für Drosselspulen mit magnetischer Schirmung zur Aufnahme des Nullflusses

Trockendrosselspulen müssen wie Einphaseneinheiten geprüft werden. Die Prüfung mit induzierter Stehwechselspannung darf nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer durch zusätzliche Blitzstoßspannungsprüfungen ersetzt werden. Alternativ darf die in Anhang E beschriebene Hochfrequenz-Windungsprüfung als Ersatzprüfung für Trockendrosselspulen mit $U_m \leq 36$ kV angewendet werden, sofern nicht anders festgelegt.

7.8.10.4 Blitzstoßspannungsprüfung (Stückprüfung)

Eine Blitzstoßspannungsprüfung, die abgeschnittene Wellen einschließt, muss für flüssigkeitsgefüllte Drosselspulen eine Stückprüfung sein; siehe IEC 60076-3:2000, Abschnitte 13 und 14, sowie IEC 60076-4:2002, Abschnitt 7.

Für Trockendrosselspulen ist die Blitzstoßspannungsprüfung nach IEC 60076-3:2000, Abschnitt 13, und IEC 60076-4:2002, Abschnitt 7, anzuwenden. Für Drosselspulen mit $U_m \leq 36$ kV darf alternativ die in Anhang E beschriebene Hochfrequenz-Windungsprüfung als Ersatzprüfung angewendet werden, sofern nicht anders festgelegt.

7.8.10.5 Für Trockendrosselspulen anwendbare Blitzstoßspannungsprüfung unter Regen (Sonderprüfung)

Wenn es festgelegt ist, dann ist die Blitzstoßspannungsprüfung unter Regen so durchzuführen, wie es in 7.8.10.4 beschrieben ist und mit Anwendung der Wasserbesprühung nach IEC 60060-1:1989, Abschnitt 9.

7.8.10.6 Schaltstoßspannungsprüfung (Typprüfung, Stückprüfung)

Siehe IEC 60076-3:2000, Abschnitt 15, und IEC 60076-4:2002, 8.3.

ANMERKUNG Üblicherweise ist es während der Prüfung schwierig, die geforderte Wellenform zu erreichen. Wenn der Hersteller Schwierigkeiten bei der Erzeugung der geforderten Wellenform erwartet, dann sollte dies zwischen Hersteller und Käufer zum frühestmöglichen Zeitpunkt diskutiert werden.

Die während der Schaltstoßspannungsprüfung erzeugte Spannung zwischen den Wicklungssträngen wird kleiner als das 1,5fache der Prüfspannung sein. Die Drosselspule muss jedoch so ausgelegt sein, dass sie dem 1,5fachen der Prüfspannung zwischen den Wicklungssträngen standhält.

7.8.11 Messung der Magnetisierungskennlinie (Sonderprüfung)

Eine Messung der Magnetisierungskennlinie kann festgelegt werden, wenn die Drosselspule nichtlinear (Bild 1b) oder gesättigt (Bild 1c) ist.

Der verkettete Fluss der Drosselspulenwicklungen kann nicht direkt gemessen werden. Deshalb muss ein indirektes Verfahren zur Aufnahme der Magnetisierungskennlinie angewendet werden. Die möglichen Messverfahren umfassen Momentanmessungen von Spannung und Strom bei Bemessungsfrequenz bzw. entsprechende Messungen bei niedrigen Frequenzen oder das Gleichstromentladungsprüfverfahren, siehe Anhang B. Alternative Verfahren mit einer gleichwertigen Präzision dürfen ebenfalls angewendet werden.

ANMERKUNG Bei Drosselspulen ohne magnetische Schirmung zur Aufnahme des Nullflusses (üblicherweise Dreischenkeldrosseln) stellt sich bei einer Einphasenmessung eine Flussverteilung ein, die für die dreiphasige Betriebsbedingung nicht repräsentativ ist. Dieser Umstand ist zu berücksichtigen.

7.8.12 Messung des Schallpegels (Typprüfung, Sonderprüfung)

Diese Messung ist bei Bemessungsspannung und -frequenz durchzuführen.

Die Prüfung ist im Allgemeinen nach IEC 60076-10 durchzuführen. In einigen Fällen kann das Geräusch der Drosselspule vom Geräusch des Prüf-Aufspanntransformators gestört sein, wenn er zu nah an der Drosselspule angeordnet ist. Es können Schallintensitätsmessungen angewendet werden, um Störgeräusche auszuschließen.

Diese Prüfung darf bei jeder Öl-, Wicklungs- und Kerntemperatur durchgeführt werden, jedoch nicht bei Umgebungstemperaturen unter 10 °C. Wenn diese Prüfung als Sonderprüfung durchgeführt wird, dann ist sie bei Öl-, Wicklungs- und Kerntemperaturen auszuführen, die den Betriebsbedingungen weitestgehend entsprechen, vorzugsweise in Verbindung mit der Erwärmungsprüfung.

ANMERKUNG 1 Der Geräuschpegel der Drosselspule kann temperaturabhängig sein. Wenn ein weiterer Bereich der Betriebstemperatur zu erwarten ist, können Geräuschmessungen bei zwei oder mehr Temperaturen festgelegt werden.

Bei den Messungen an Trockendrosselspulen müssen ausreichende Sicherheitsabstände zu der geprüften Wicklung eingehalten werden. Die in IEC 60076-10:2005, Abschnitt 7, definierte Umrisslinie muss einen Abstand von 2 m zur Wicklungsoberfläche haben. Der vorgeschriebene Messpfad muss in einer waagerechten Ebene auf halber Höhe der Wicklung verlaufen.

ANMERKUNG 2 Bei Drosselspulen mit großer Leistung darf zum Zeitpunkt der Bestellung zwischen Käufer und Hersteller vereinbart werden, die Prüfung am Aufstellungsort durchzuführen, wenn dies in der Fabrik nicht möglich ist.

7.8.13 Schwingungsmessung (Typprüfung)

7.8.13.1 Allgemeines

Die Konstruktion und die Bauausführung von flüssigkeitsgefüllten Drosselspulen müssen derart sein, dass schädigende Auswirkungen durch übermäßige Schwingbeanspruchungen vermieden werden. Die folgenden Bereiche sind bei der Kontrolle von Schwingungen zur Sicherung des ordnungsgemäßen Betriebsverhaltens von hauptsächlichem Interesse:

- Schwingungen des Kerns und des Spulenaufbaus;
- Schwingungen des Kessels mit den daraus resultierenden mechanischen Spannungen in Kesselplatten, Versteifungen und Schweißnähten;
- Schwingungen von Mess- und Schutzgeräten, Armaturen und Kühleinrichtungen.

7.8.13.2 Prüfbedingungen

Die zu prüfende Drosselspule muss wie für den Betriebszustand vollständig zusammengebaut sein, mit montierten und angeschlossenen Kühleinrichtungen, Manometern und Armaturen.

ANMERKUNG Wenn die Drosselspule mit einer an der Kesselwand montierten Lärmschutzhaube ausgerüstet ist, dann darf nach Vereinbarung zwischen Käufer und Hersteller festgelegt werden, dass die Prüfung ohne Haube durchgeführt werden soll.

Die Drosselspule ist auf einer ebenen Oberfläche aufzustellen, die dem Untergestell ausreichende Unterstützung bietet, um die Erzeugung bestimmungswidriger Kesselbeanspruchungen auszuschließen.

Die Drosselspule ist mit maximaler Betriebsspannung und bei Bemessungsfrequenz zu speisen. Für Drehstromeinheiten ist eine dreiphasige Erregung gefordert. Wenn die zur Verfügung stehende Prüfleistung für die Prüfung bei der maximalen Betriebsspannung und/oder die dreiphasige Erregung unzureichend ist, muss der Hersteller dem Käufer den Nachweis erbringen, dass die Prüfung mit verringerter Spannung ausreichend genaue Ergebnisse unter den festgelegten Bedingungen liefert. Die Prüfung sollte vorzugsweise bei der Betriebstemperatur durchgeführt werden, kann jedoch auch bei Umgebungstemperatur vorgenommen werden.

7.8.13.3 Messverfahren

Die Schwingungen der Drosselspulenbauteile sind mit Messumformern, optischen Empfängern oder äquivalenten Messeinrichtungen zu messen. Die Scheitel-Scheitel-Amplitude der Auslenkung ist mit direkter Messung zu bestimmen oder aus Beschleunigungs- oder Geschwindigkeitsmessungen zu berechnen. Die Messgenauigkeit beim Zweifachen der Bemessungsfrequenz muss innerhalb von 10 µm liegen.

Die Messungen sind an allen vier Seiten der Kesselwand an einer ausreichenden Anzahl von Messpunkten durchzuführen, um sicherzustellen, dass der Schwingungshöchstwert gemessen worden ist.

Messungen und Beobachtungen der Schwingungen von kesselmontierten Einrichtungen sind durchzuführen.