

	DIN EN 60076-1 (VDE 0532-76-1)	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	Einsprüche bis 2010-01-31 Vorgesehen als Ersatz für DIN EN 60076-1 (VDE 0532-76-1):2003-01 Entwurf	
Leistungstransformatoren – Teil 1: Allgemeines (IEC 14/612/CDV:2009); Deutsche Fassung FprEN 60076-1:2009		
Power transformers – Part 1: General (IEC 14/612/CDV:2009); German version FprEN 60076-1:2009		
Transformateurs de puissance – Partie 1: Généralités (CEI 14/612/CDV:2009); Version allemande FprEN 60076-1:2009		
Anwendungswarnvermerk		
Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2009-11-30 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.		
Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.		
Stellungnahmen werden erbeten		
– vorzugsweise als Datei per E-Mail an dke@vde.com in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden – oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.		
Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.		
Gesamtumfang 138 Seiten		
DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments FprEN 60076-1:2009 „Leistungstransformatoren – Teil 1: Allgemeines“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 14/612/CDV:2009 „Power transformers – Part 1: General“ unverändert in den Entwurf FprEN 60076-1:2009 übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung des IEC-CDV entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 14 „Power transformers“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet.

Bei der Abstimmung zu dem Europäischen Schluss-Entwurf bei CENELEC und dem Internationalen Schluss-Entwurf bei IEC [Final Draft International Standard (FDIS)] sind jeweils nur „JA/NEIN“-Entscheidungen möglich, wobei „NEIN“-Entscheidungen fundiert begründet werden müssen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 321 „Transformatoren“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60076-1 (VDE 0532-76-1):2003-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) vollständige redaktionelle Überarbeitung der Norm;
- b) Anwendungsbereich von ölgefüllten auf flüssigkeitsgefüllte Transformatoren erweitert;
- c) Oberschwingungsanteile werden berücksichtigt;
- d) Abschnitt Bemessungsdaten vollständig überarbeitet und umfassend erweitert;
- e) Festlegungen zu Anzapfungen erweitert;
- f) Abschnitt Kurzzeichen für Schaltungen und Phasenverschiebung vollständig überarbeitet und umfassend erweitert;
- g) Anforderungen für Sicherheit und Umwelt festgelegt;
- h) Abschnitt Prüfungen vollständig überarbeitet und umfassend erweitert;
- i) Prüfungen zur Durchbiegung des Kessels hinzugefügt;
- j) Anhang A nicht mehr normativ, sondern informativ;
- k) Prüfliste der Angaben für Anfrage und Auftrag umfassend erweitert. Ungewöhnliche Betriebsbedingungen werden berücksichtigt;
- l) informativen Anhang G ergänzt, der Einrichtungen für den zukünftigen Einbau von Zustandsüberwachungssystemen berücksichtigt;
- m) informativen Anhang H ergänzt, der sich mit Umwelt- und Sicherheitsbetrachtungen beschäftigt.

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
–	IEC 60050-421:1990	–	–
–	IEC 60060 (Reihe)	DIN IEC 60060 (VDE 0432) (Reihe)	VDE 0432 (Reihe)
EN 60068-3-3 :1993	IEC 60068-3-3 :1991	DIN IEC 60068-3-3 :1993-03	–
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 + Corr. 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 60076-5:2000 zurückgezogen ersetzt durch: EN 60076-5:2006	IEC 60076-5:2000 zurückgezogen ersetzt durch: IEC 60076-5:2006	DIN EN 60076-5 (VDE 0532-5):2001-11 zurückgezogen ersetzt durch: DIN EN 60076-5 (VDE 0532-76-5):2007-01	VDE 0532-5 VDE 0532-76-5
EN 60076-6	IEC 60076-6	DIN EN 60076-6 (VDE 0532-76-6)	VDE 0532-76-6
–	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 60076-10:2001 zurückgezogen ersetzt durch: IEC 60076-10:2005	DIN EN 60076-10 (VDE 0532-76-10):2002-04	VDE 0532-76-10
–	IEC 60076-10-1:2005	–	–
EN 60076-11:2004	IEC 60076-11:2004	DIN EN 60076-11 (VDE 0532-76-11):2005-04	VDE 0532-76-11
–	IEC 60076-12	–	–

Tabelle NA.1 (fortgesetzt)

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60076-13	IEC 60076-13	DIN EN 60076-13 (VDE 0532-76-13)	VDE 0532-76-13
–	IEC TS 60076-14	–	–
–	IEC 60076-15	–	–
EN 60137:2008	IEC 60137:2008	–	–
EN 60214 (Reihe)	IEC 60214 (Reihe)	DIN EN 60214 (VDE 0532-214) (Reihe)	VDE 0532-214 (Reihe)
EN 60270	IEC 60270	DIN EN 60270 (VDE 0434)	VDE 0434
EN 60296	IEC 60296	DIN EN 60296 (VDE 0370-1)	VDE 0370-1
EN 60310	IEC 60310	DIN EN 60310 (VDE 0115-420)	VDE 0115-420
EN 60529:1991 + A1:2000	IEC 60529:2001 konsolidiert entspricht: IEC 60529:1989 + A1:1999	DIN EN 60529 (VDE 0470-1):2000-09	VDE 0470-1
–	IEC TR 60616:1978	–	–
EN 60721-3-4	IEC 60721-3-4	DIN EN 60721-3-4	–
–	IEC 60815:1986	–	–
EN 61378-1	IEC 61378-1	DIN EN 61378-1 (VDE 0532-41)	VDE 0532-41
EN 61378-2	IEC 61378-2	DIN EN 61378-2 (VDE 0532-42)	VDE 0532-42
–	IEC 62032	–	–
–	IEC 62262	–	–
–	ISO 3:1973	–	–
EN ISO 2178	ISO 2178	DIN EN ISO 2178	–
EN ISO 2409	ISO 2409	DIN EN ISO 2409	–
EN ISO 29001:2000	ISO 9001:2000	DIN EN ISO 9001:2000-12	–
EN ISO 12944 (Reihe)	ISO 12944 (Reihe)	DIN EN ISO 12944 (Reihe)	–
EN ISO 14122 (Reihe)	ISO 14122 (Reihe)	DIN EN ISO 14122 (Reihe)	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

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 – 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 Drosselspulen (IEC 60076-4:2002); Deutsche Fassung EN 60076-4:2002*

DIN EN 60076-5 (VDE 0532-76-5):2007-01, *Leistungstransformatoren – Teil 5: Kurzschlussfestigkeit (IEC 60076-5:2006); Deutsche Fassung EN 60076-5:2006*

DIN EN 60076-6 (VDE 0532-76-6), *Leistungstransformatoren – Teil 6: Drosselspulen*

DIN EN 60076-10 (VDE 0532-76-10):2002-04, *Leistungstransformatoren – 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 60076-13 (VDE 0532-76-13), *Leistungstransformatoren – Teil 13: Selbstgeschützte flüssigkeitsgefüllte Transformatoren*

DIN EN 60214 (VDE 0532-214) (Reihe), *Stufenschalter*

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

DIN EN 60296 (VDE 0370-1), *Flüssigkeiten für elektrotechnische Anwendungen – Neue Isolieröle für Transformatoren und Schaltgeräte*

DIN EN 60310 (VDE 0115-420), *Bahnanwendungen – Transformatoren und Drosselspulen auf Bahnfahrzeugen*

DIN EN 60529 (VDE 0470-1):2000-09, *Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) (IEC 60529:1989 + A1:1999); Deutsche Fassung EN 60529:1991 + A1:2000*

DIN EN 60721-3-4, *Klassifizierung von Umweltbedingungen – Teil 3: Klassen von Umwelteinflussgrößen und deren Grenzwerte – Hauptabschnitt 4: Ortsfester Einsatz, nicht wettergeschützt*

DIN EN 61378-1 (VDE 0532-41), *Stromrichtertransformatoren – Teil 1: Transformatoren für industrielle Anwendungen*

DIN EN 61378-2 (VDE 0532-42), *Stromrichtertransformatoren – Teil 2: Transformatoren für HGÜ-Anwendungen*

DIN EN ISO 2178, *Nichtmagnetische Überzüge auf magnetischen Grundmetallen – Messen der Schichtdicke – Magnetverfahren*

DIN EN ISO 2409, *Beschichtungsstoffe – Gitterschnittprüfung*

DIN EN ISO 9001:2000-12, *Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen*

— Entwurf —

E DIN EN 60076-1 (VDE 0532-76-1):2009-11

DIN EN ISO 12944 (Reihe), *Beschichtungsstoffe – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme*

DIN EN ISO 14122 (Reihe), *Sicherheit von Maschinen – Ortsfeste Zugänge zu maschinellen Anlagen*

DIN IEC 60060 (VDE 0432) (Reihe), *Hochspannungs-Prüftechnik*

DIN IEC 60068-3-3:1999-03, *Umweltprüfungen – Seismische Prüfverfahren für Geräte – Leitfaden; Identisch mit IEC 60068-3-3:1991*

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

Deutsche Fassung

**Leistungstransformatoren –
Teil 1: Allgemeines**

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich, Betriebsbedingungen und Komponenten	5
1.1 Anwendungsbereich	5
1.2 Betriebsbedingungen	5
1.2.1 Übliche Betriebsbedingungen	5
1.2.2 Berücksichtigung von ungewöhnlichen Betriebsbedingungen	7
1.3 Komponenten	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
3.1 Allgemeines	8
3.2 Anschlusspunkte und Neutralpunkt	9
3.3 Wicklungen	9
3.4 Bemessungsdaten	11
3.5 Anzapfungen	12
3.6 Verluste und Leerlaufstrom	14
3.7 Kurzschlussimpedanz und Spannungsfall	15
3.8 Übertemperatur	16
3.9 Isolation	16
3.10 Schaltungen	16
3.11 Prüfungsarten	17
3.12 Meteorologische Daten bezüglich der Kühlung	18
3.13 Andere Begriffe	18
4 Bemessungsdaten	19
4.1 Bemessungsleistung	19
4.1.1 Allgemeines	19
4.1.2 Vorzugswerte für die Bemessungsleistung	20
4.1.3 Minimale Leistung bei alternativen Kühlungsarten	20
4.1.4 Belastung unterhalb der Bemessungsleistung	20
4.2 Kühlungsverfahren	20
4.3 Lastabwurf an Transformatoren mit Direktanschluss an einen Generator	20
4.4 Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz	21
4.4.1 Bemessungsspannung	21
4.4.2 Bemessungsfrequenz	21

4.4.3	Betrieb bei einer höheren Spannung als der Bemessungsspannung und/oder bei einer anderen als der Bemessungsfrequenz	21
4.5	Berücksichtigung von unüblichen Betriebsbedingungen	21
4.6	Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m und Isolationsprüfpegel	22
4.7	Zusätzliche Informationen, die für die Anfrage erforderlich sind	22
4.7.1	Art des Transformators	22
4.7.2	Wicklungsanschluss und Anzahl der Außenleiter	23
4.7.3	Schallpegel	23
4.7.4	Transport	23
5	Anforderungen an Transformatoren mit einer Wicklung mit Anzapfung	24
5.1	Allgemeines – Angabe des Anzapfungsbereichs	24
5.2	Anzapfungsspannung – Anzapfungsstrom. Genormte Kategorien der Änderung der Anzapfungsspannung. Anzapfung mit höchster Spannung	25
5.3	Anzapfungsleistung. Anzapfungen mit voller Leistung – Anzapfungen mit verringerter Leistung	27
5.4	Festlegung der Anzapfungen in Anfrage und Auftrag	28
5.4.1	Konstruktionstechnische Festlegung	28
5.4.2	Funktionstechnische Festlegung	28
5.5	Festlegung der Kurzschlussimpedanz	29
5.6	Kurzschlussverluste und Übertemperatur	30
6	Kurzzeichen für Schaltung und Phasenverschiebung	31
6.1	Kurzzeichen für Schaltung und Phasenverschiebung von Drehstromtransformatoren und Einphasentransformatoren, die in einer Drehstrombank verbunden sind	31
6.1.1	Schaltgruppe	31
6.1.2	Stundenzahl-Schreibweise	31
6.1.3	Wicklungen, die bestimmungsgemäß nicht belastet werden	32
6.1.4	Umschaltbare Wicklungen	32
6.1.5	Beispiele	32
6.2	Kurzzeichen für Schaltung und Phasenverschiebung von Einphasentransformatoren, die nicht in einer Drehstrombank sind	35
6.2.1	Schaltgruppe	35
6.2.2	Stundenzahl-Schreibweise	35
6.2.3	Wicklungen, die bestimmungsgemäß nicht belastet werden	35
6.2.4	Umkonfigurierbare Wicklungen	35
6.2.5	Beispiele	35
7	Leistungsschilder	36
7.1	Angaben, die in jedem Fall zu machen sind	36
7.2	Zusätzliche Angaben, die nach Bedarf anzugeben sind	37
8	Sicherheit, Umwelt und weitere Anforderungen	38
8.1	Sicherheits- und Umweltaanforderungen	38

	Seite
8.1.1 Auslaufen von Flüssigkeit.....	38
8.1.2 Sicherheitsbetrachtungen.....	38
8.2 Bemessung der Neutralpunktverbindung	39
8.3 Flüssigkeitskonservierungssystem	39
8.4 Gleichströme in Neutralleiterstromkreisen	40
9 Grenzübergänge.....	40
10 Prüfungen	42
10.1 Allgemeine Bestimmungen für Stück-, Typ- und Sonderprüfungen.....	42
10.1.1 Stückprüfungen	43
10.1.2 Typprüfungen	44
10.1.3 Sonderprüfungen.....	44
10.2 Messung des Wicklungswiderstands	44
10.2.1 Allgemeines	44
10.2.2 Trockentransformatoren	45
10.2.3 Flüssigkeitsgefüllte Transformatoren	45
10.3 Messung der Übersetzung und Überprüfung der Phasenverschiebung	45
10.4 Messung der Kurzschlussimpedanz und der Kurzschlussverluste	45
10.5 Messung der Leerlaufverluste und des Leerlaufstroms	46
10.6 Messung der Nullimpedanz(en) an Drehstromtransformatoren	47
10.7 Prüfungen an Stufenschaltern – Funktionsprüfung.....	48
10.8 Dichtheitsprüfung mit Druck für flüssigkeitsgefüllte Transformatoren.....	48
10.9 Vakuumprüfung der Durchbiegung für flüssigkeitsgefüllte Transformatoren.....	49
10.10 Druckprüfung der Durchbiegung für flüssigkeitsgefüllte Transformatoren.....	49
10.11 Vakuumdichtheitsprüfung vor Ort für flüssigkeitsgefüllte Transformatoren	50
10.12 Überprüfung der Kern- und Rahmenisolation.....	51
11 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).....	51
12 Hochfrequente transiente Schaltvorgänge.....	51
Anhang A (informativ) Prüfliste der Angaben, die mit Anfrage und Auftrag vorzusehen sind.....	52
Anhang B (informativ) Beispiele von Festlegungen für Transformatoren mit Anzapfungen	56
Anhang C (informativ) Festlegung der Kurzschlussimpedanz durch Grenzwerte.....	60
Anhang D (informativ) Beispiele für Schaltungen von Drehstromtransformatoren.....	61
Anhang E (informativ) Temperaturkorrektur der Kurzschlussverluste.....	64
Anhang F (informativ) Literaturhinweise.....	66
Anhang G (informativ) Einrichtungen für den zukünftigen Einbau von Zustandsüberwachungssystemen für Transformatoren.....	67
Anhang H (informativ) Umwelt- und Sicherheitsbetrachtungen	68
Bilder	
Bild 1a – Spannungsänderung bei konstantem Fluss CFVV.....	26

	Seite
Bild 1b – Spannungsänderung bei veränderlichem Fluss VFVV	26
Bild 1c – Kombinierte Spannungsänderung CbVV	27
Bild 2a – Veranschaulichung der „Stundenzahl“-Schreibweise	33
Bild 2b – Veranschaulichung der „Stundenzahl“-Schreibweise für Transformatoren mit offenen Wicklungen	34
Bild 2c – Veranschaulichung der „Stundenzahl“-Schreibweise	36
Bild C.1 – Beispiel der Festlegung der Kurzschlussimpedanz durch Grenzwerte.....	60
Bild D.1 – Allgemeine Schaltungen.....	61
Bild D.2 – Zusätzliche Schaltungen	62
Bild D.3 – Bezeichnung der Schaltungen von Drehstrom-Spartransformatoren durch Schaltgruppen. Spartransformator Ya0	63
Bild D.4 – Beispiel von drei Einphasentransformatoren, die zu einer Drehstrombank zusammengeschaltet sind (Schaltgruppe Yd5)	63

1 Anwendungsbereich, Betriebsbedingungen und Komponenten

1.1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der Internationalen Norm IEC 60076 gilt für Drehstrom- und Einphasentransformatoren (einschließlich Spartransformatoren) mit Ausnahme bestimmter Kategorien von Klein- und Sondertransformatoren wie:

- Einphasentransformatoren mit Bemessungsleistungen kleiner 1 kVA und Drehstromtransformatoren kleiner 5 kVA;
- Transformatoren, die keine Wicklungen mit einer Bemessungsspannung von mehr als 1 000 V haben;
- Messwandler;
- Bahntransformatoren montiert auf rollendem Material;
- Anlasstransformatoren;
- Prüftransformatoren;
- Schweißtransformatoren;
- explosionsgeschützte und Bergbautransformatoren;
- Unter-Wasser-Transformatoren für Tiefseeanwendungen.

Wenn es für solche Kategorien von Transformatoren keine IEC-Normen gibt, kann dennoch dieser Teil von IEC 60076 entweder vollständig oder teilweise Anwendung finden.

Diese Norm beschreibt nicht die Anforderungen, die einen Transformator zur Errichtung an Orten befähigen, die der allgemeinen Öffentlichkeit zugänglich sind.

Für die Kategorien von Transformatoren und Drosselspulen, für die eigene IEC-Normen vorhanden sind, findet dieser Teil nur in dem Maß Anwendung, wenn auf ihn in der anderen Norm durch einen Querverweis besonders hingewiesen wird. Solche Normen gibt es für:

- Drosselspulen im Allgemeinen (IEC 60076-6);
- Trockentransformatoren (IEC 60076-11);
- selbstgeschützte Transformatoren (IEC 60076-13);
- gasgefüllte Leistungstransformatoren (IEC 60076-15);
- Transformatoren für Windenergieanlagen-Anwendungen (IEC 60076-16) – dieses Dokument ist noch nicht freigegeben. Durch das IEC-Sekretariat zu klären.
- Bahntransformatoren und Drosselspulen für Bahnanwendungen (IEC 60310);
- Stromrichtertransformatoren für industrielle Anwendungen (IEC 61378-1);
- Stromrichtertransformatoren für HGÜ-Anwendungen (IEC 61378-2).

An verschiedenen Stellen in diesem Teil wird festgelegt oder empfohlen, dass bezüglich alternativer oder zusätzlicher technischer Lösungen oder Verfahren eine „Vereinbarung“ erzielt werden muss. Eine solche Vereinbarung ist zwischen dem Hersteller und dem Käufer zu treffen. Die Themen sollten vorzugsweise zu einem frühen Zeitpunkt erörtert und die Vereinbarungen in die Vertragsunterlagen aufgenommen werden.

1.2 Betriebsbedingungen

1.2.1 Übliche Betriebsbedingungen

Dieser Teil von IEC 60076 enthält genaue Anforderungen an Transformatoren zur Verwendung unter den folgenden Bedingungen:

a) Aufstellungshöhe

Eine Höhe über NN, die 1 000 Meter nicht übersteigt.

b) Kühlmitteltemperatur

Die Temperatur der Kühlluft darf beim Eintritt in den Kühler folgende Werte nicht überschreiten:

40 °C zu keiner Zeit;

30 °C als Monatsdurchschnitt im heißesten Monat;

20 °C als Jahresdurchschnitt.

Sie darf nicht unter den folgenden Werten liegen:

–25 °C im Fall eines Transformators für Außenaufstellung;

–5 °C im Fall von Transformatoren bei denen Transformator und Kühler für Innenraumaufstellung vorgesehen sind.

Dies gilt für die nach 3.12 festgelegten Monats- und Jahresdurchschnitte.

Bei wassergekühlten Transformatoren darf die Temperatur des Kühlwassers beim Eintritt in den Kühler folgende Werte nicht überschreiten:

25 °C zu keiner Zeit;

20 °C als Jahresdurchschnitt.

Weitere Einschränkungen bezüglich der Kühlung werden angegeben für:

- flüssigkeitsgefüllte Transformatoren in IEC 60076-2;
- Trockentransformatoren in IEC 60076-11.

ANMERKUNG 1 Bei Transformatoren mit sowohl Luft-/Wasser- als auch Wasser-/Flüssigkeits-Wärmetauschern beziehen sich die Umgebungsbedingungen im Zwischenkreis eher auf die Lufttemperatur als auf die Wassertemperatur die den Normalwert überschreiten können.

ANMERKUNG 2 Beim Eintritt in den Kühler findet man eher die entsprechende Temperatur als die Außenlufttemperatur. Das bedeutet, dass der Betreiber dafür sorgen muss, dass, falls die Installation Bedingungen erzeugen kann, bei denen die Umluft am Ausgang des Kühlers auftreten kann, dass das bei Abschätzung der Kühllufttemperatur in Betracht gezogen werden muss.

c) Schwingungsform der angelegten Spannung

Eine angelegte sinusförmige Spannung mit einem gesamten Oberschwingungsgehalt nicht über 5 % und einem geradzahligem Oberschwingungsgehalt nicht über 1 %.

d) Oberschwingungsgehalt des Laststroms

Gesamtoberschwingungen des Laststroms nicht über 5 % des Bemessungsstroms.

ANMERKUNG 1 Transformatoren, bei denen die Gesamtoberschwingungen des Laststroms 5 % des Bemessungsstroms überschreiten oder Transformatoren, die insbesondere für die Versorgung von Leistungselektronik oder Gleichrichterlasten vorgesehen sind, sollten nach IEC 61378 festgelegt sein.

ANMERKUNG 2 Transformatoren können ohne erheblichen Verlust der Lebensdauer bei Bemessungsstrom mit einem Stromüberschwingungsgehalt von weniger als 5 % betrieben werden, jedoch ist dabei festzustellen, dass die Temperaturerhöhung bei allen Oberschwingungsbelastungen die Bemessungserhöhung übersteigen wird.

e) Symmetrie der angelegten Dreiphasenspannung

Bei Dreiphasentransformatoren ein System von angelegten Dreiphasenspannungen, die annähernd symmetrisch sind, das heißt, dass die höchste Außenleiterspannung nicht mehr als 1 % höher sein darf als die niedrigste Außenleiterspannung im Dauerbetrieb oder 2 % höher für eine kurze Zeit (ungefähr 30 Minuten) unter außergewöhnlichen Bedingungen.

f) Installationsumgebung

Eine Umgebung mit einem Verschmutzungsgrad (siehe IEC 60137 und IEC 60815), der keine besondere Berücksichtigung bezüglich der äußeren Isolation der Transformatordurchführungen oder des Transformators selbst erfordert.

Eine Umgebung, die keiner Erdbebenaktivität ausgesetzt ist, da sie anderenfalls besondere Berücksichtigungen in der Trafoauslegung erfordern würde. (Es wird angenommen, dass das der Fall ist, wenn der Bodenbeschleunigungspegel a_g unter 2 ms^{-2} oder näherungsweise bei $0,2g$ liegt.)¹⁾

Wenn der Transformator in einem Gehäuse errichtet wird, das nicht vom Transformatorhersteller geliefert wird, abseits von der Kühlungseinrichtung, z. B. in einem Schallschutzgehäuse, darf die den Transformator umgebende Lufttemperatur zu keiner Zeit 40°C überschreiten.

Umgebungsbedingungen innerhalb der folgenden Festlegungen entsprechen der IEC 60721-3-4:

- Klimabedingungen 4K2, ausgenommen die niedrigste Umgebungstemperatur beträgt -25°C ;
- besondere Klimabedingungen 4Z2, 4Z4, 4Z7;
- biologische Bedingungen 4B1;
- chemisch aktive Substanzen 4C2;
- mechanisch aktive Substanzen 4S3;
- mechanische Bedingungen 4M4.

Bei Transformatoren, die für Innenraumaufstellung vorgesehen sind, können einige dieser Bedingungen nicht anwendbar sein.

1.2.2 Berücksichtigung von ungewöhnlichen Betriebsbedingungen

Jede ungewöhnliche Betriebsbedingung (siehe 4.5), die eine Sonderbetrachtung bei der Auslegung eines Transformators erfordern kann, muss in der Anfrage und im Auftrag festgelegt werden. Das können Faktoren sein wie große Aufstellungshöhe, extrem hohe oder niedrige Umgebungstemperaturen, tropische Luftfeuchte, Erdbebentätigkeit, starke Verschmutzung, ungewöhnliche Schwingungsformen der Spannung oder des Belastungsstroms, hohe Sonneneinstrahlung und zeitweilig aussetzende Belastung. Sie können ebenso die Bedingungen für Verschiffung, Lagerung und Errichtung, sowie Gewichts- und Abmessungsbeschränkungen betreffen (siehe Anhang A).

Ergänzende Bestimmungen für Bemessung und Prüfung sind in anderen Veröffentlichungen angegeben:

- Übertemperaturen und Kühlung bei hoher Umgebungstemperatur oder bei großer Aufstellungshöhe: IEC 60076-2 für flüssigkeitsgefüllte Transformatoren und IEC 60076-11 für Trockentransformatoren;
- äußere Isolation bei großer Aufstellungshöhe: IEC 60076-3 für flüssigkeitsgefüllte Transformatoren und IEC 60076-11 für Trockentransformatoren.

1.3 Komponenten

Falls nicht anders festgelegt, müssen Durchführungen mit IEC 60137 übereinstimmen, Stufenschalter mit IEC 60214 und Isolierflüssigkeiten müssen mit IEC 60296 übereinstimmen für Mineralöl oder nach Vereinbarung für andere Flüssigkeiten.

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

IEC 60060 series, *High-voltage test techniques*

¹⁾ Siehe IEC 60083-3-3.

IEC 60076-2:1993, *Power transformers – Part 2: Temperature rise*

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

IEC 60076-5:2000, *Power transformers – Part 5: Ability to withstand short circuit*

IEC 60076-10:2001, *Determination of sound level*

IEC 60076-11:2004, *Dry type transformers*

IEC 60137:2008, *Insulated bushings for alternating voltages above 1 000 V*

IEC 60270, *High voltage test techniques, partial discharge measurements*

IEC 60529 (Ed. 2-1):2001, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

IEC 60616:1978, *Terminal and tapping markings for power transformers*

IEC 62262, *Degree of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impact (code IK)*

ISO 3:1973, *Preferred numbers – Series of preferred numbers*

ISO 9001:2000, *Quality systems – Model for quality assurance in design/development, production, installation and servicing*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Teils von IEC 60076 gelten die folgenden Begriffe. Andere Benennungen verwenden die im Internationalen Elektrotechnischen Wörterbuch (IEV) angegebene Bedeutung.

3.1 Allgemeines

3.1.1

Leistungstransformator

statisches Gerät mit zwei oder mehr Wicklungen, das durch elektromagnetische Induktion ein System von Wechselspannung und -strom in ein anderes System von Spannung und Strom umwandelt, mit üblicherweise unterschiedlichen Werten bei der gleichen Frequenz, zum Zweck der Übertragung von elektrischer Energie

[IEV 421-01-01, modifiziert]

3.1.2

Spartransformator

Transformator, in dem mindestens zwei Wicklungen ein gemeinsames Teil besitzen

[IEV 421-01-11]

ANMERKUNG Wo es notwendig ist, auszudrücken, dass ein Transformator keine Sparschaltung hat, können Begriffe wie „Transformator mit getrennten Wicklungen“ oder „Zweiwicklungstransformator“ verwendet werden (siehe IEV 421-01-13).

3.1.3

Zusatztransformator

Transformator, anders als ein Spartransformator, bei dem eine Wicklung für die Reihenschaltung in einem Stromkreis vorgesehen ist, um dessen Spannung zu ändern und/oder seine Phase zu verschieben. Die andere Wicklung ist eine Erregerwicklung

[IEV 421-01-12, modifiziert]

3.1.4

flüssigkeitsgefüllter Transformator

Transformator bei dem magnetischer Kreis und Wicklungen in Flüssigkeit eingetaucht sind

3.1.5

Trockentransformator

Transformator bei dem magnetischer Kreis und Wicklungen nicht in eine Isolierflüssigkeit eingetaucht sind

[IEV 421-01-16]

3.1.6

Flüssigkeitskonservierungssystem

System in einem flüssigkeitsgefüllten Transformator durch das die Wärmeausdehnung der Flüssigkeit ermöglicht wird. Kontakt zwischen der Flüssigkeit und der Außenluft kann dadurch manchmal vermindert oder vermieden werden.

3.1.7

festgelegter Wert

Wert, der vom Käufer zum Zeitpunkt des Auftrags festgelegt wurde

3.1.8

Auslegungswert

erwarteter Wert der in der Auslegung durch die Anzahl der Windungen im Fall des Windungsverhältnisses gegeben ist oder aus der Auslegung der Wicklung berechnet im Fall der Impedanz

3.2 Anschlusspunkte und Neutralpunkt

3.2.1

Anschlusspunkt

leitendes Element, das zur Verbindung einer Wicklung mit äußeren Leitern dient

3.2.2

Außenleiter-Anschlusspunkt

Anschlusspunkt, der für den Anschluss an einen Außenleiter eines Netzes vorgesehen ist
[IEV 421-02-01]

3.2.3

Neutralpunkt-Anschlusspunkt

- a) Bei Drehstromtransformatoren und Drehstrombänken aus Einphasentransformatoren:
Anschlusspunkt oder Anschlusspunkte zum Anschluss an den gemeinsamen Anschlusspunkt (den Neutralpunkt) einer Wicklung in Stern- oder Zickzackschaltung
 - b) Bei Einphasentransformatoren:
Anschlusspunkt, der zum Anschluss an den Neutralpunkt eines Netzes vorgesehen ist
- [IEV 421-02-02, modifiziert]

3.2.4

Neutralpunkt

Punkt eines symmetrischen Spannungssystems, der üblicherweise Erdpotential hat

3.2.5

entsprechende Anschlusspunkte

Anschlüsse verschiedener Wicklungen eines Transformators, die mit dem gleichen Buchstaben oder dem entsprechenden Kurzzeichen gekennzeichnet sind
[IEV 421-02-03]

3.3 Wicklungen

3.3.1

Wicklung

Gesamtheit der Windungen, die einen elektrischen Kreis bilden, verknüpft mit einer der Spannungen die dem Transformator zugeordnet ist

ANMERKUNG Bei einem Drehstromtransformator ist die „Wicklung“ die Kombination der Wicklungsstränge (siehe 3.3.3). [IEV 421-03-01, modifiziert]

3.3.2

Wicklung mit Anzapfung

Wicklung, bei der die wirksame Windungszahl in Stufen geändert werden kann

3.3.3

Wicklungsstrang

Gesamtheit der Windungen, die eine Phase einer dreiphasigen Wicklung bilden

ANMERKUNG Der Begriff „Wicklungsstrang“ sollte nicht zur Kennzeichnung der Gesamtheit aller Wicklungen auf einem bestimmten Schenkel verwendet werden. [IEV 421-03-02, modifiziert]

3.3.4

Oberspannungswicklung²⁾

Wicklung mit der höchsten Bemessungsspannung

[IEV 421-03-03]

3.3.5

Unterspannungswicklung²⁾

Wicklung mit der niedrigsten Bemessungsspannung

[IEV 421-03-04]

ANMERKUNG Bei einem Zusatztransformator kann die Wicklung mit der niedrigeren Bemessungsspannung den höheren Isolationspegel haben.

3.3.6

Mittelspannungswicklung²⁾

Wicklung eines Mehrwicklungstransformators, deren Bemessungsspannung zwischen denen der Wicklungen mit höchster und niedrigster Bemessungsspannung liegt

[IEV 421-03-05]

3.3.7

Hilfswicklung

Wicklung, die im Vergleich zu der Bemessungsleistung des Transformators nur für eine kleine Last vorgesehen ist

[IEV 421-03-08]

3.3.8

Ausgleichswicklung

zusätzliche, dreieckgeschaltete Wicklung, die bei stern-stern- oder stern-zickzack-geschalteten Transformatoren vorgesehen ist, um deren Nullimpedanz zu verringern (siehe 3.7.3)

[IEV 421-03-09, modifiziert]

ANMERKUNG Eine Wicklung wird nur dann als Ausgleichswicklung betrachtet, wenn sie nicht zum dreiphasigen Anschluss an ein äußeres Netz vorgesehen ist.

3.3.9

Parallelwicklung

gemeinsamer Teil der Wicklungen eines Spartransformators

[IEV 421-03-10]

3.3.10

Reihenwicklung

Teil der Wicklung eines Spartransformators oder die Wicklung eines Zusatztransformators, die für die Reihenschaltung mit einem Stromkreis vorgesehen ist

[IEV 421-03-11, modifiziert]

²⁾ Die Wicklung, die unter Betriebsbedingungen die Wirkleistung der angelegten Spannung aufnimmt, wird als eine „Primärwicklung“ bezeichnet und die, die die Wirkleistung an eine Last abgibt, als eine „Sekundärwicklung“. Diese Begriffe haben keine Bedeutung im Hinblick darauf, welche der Wicklungen die höhere Bemessungsspannung hat und sie sollten außer im Zusammenhang mit der Richtung des Wirkleistungsflusses nicht verwendet werden (siehe IEV 421-03-06 und -07). Eine weitere Wicklung im Transformator, üblicherweise mit einer kleineren Bemessungsleistung als die „Sekundärwicklung“, wird dann oft als „Tertiärwicklung“ bezeichnet, siehe auch Begriff 3.3.8.

3.3.11

Erregerwicklung

Wicklung eines Zusatztransformators, die Leistung an die Reihewicklung abgeben soll

[IEV 421-03-12, modifiziert]

3.4 Bemessungsdaten

3.4.1

Bemessungsdaten

Zahlenwerte, die den Größen zugeordnet sind, die den Betrieb des Transformators unter den in diesem Teil von IEC 60076 festgelegten Bedingungen kennzeichnen, die der Hersteller garantiert und auf denen die Prüfungen basieren

3.4.2

Bemessungsgrößen

Größen (Spannung, Strom usw.), deren Zahlenwerte die Bemessungsdaten kennzeichnen

ANMERKUNG 1 Bei Transformatoren mit Anzapfungen beziehen sich die Bemessungsgrößen auf die Hauptanzapfung (siehe 3.5.2), wenn nichts anderes festgelegt ist. Entsprechende Größen mit sinngemäßer Bedeutung, die sich auf bestimmte andere Anzapfungen beziehen, werden Anzapfungsgrößen genannt (siehe 3.5.10).

ANMERKUNG 2 Spannungen und Ströme werden immer als Effektivwerte angegeben, wenn nichts anderes festgelegt ist.

3.4.3

Bemessungsspannung einer Wicklung

U_r

Spannung, die nach Festlegung zwischen den Anschlusspunkten einer Wicklung ohne Anzapfungen oder einer Wicklung mit Anzapfungen, die mit der Hauptanzapfung verbunden ist, anzulegen ist (siehe 3.5.2) oder die im Leerlauf auftritt. Bei einer Drehstromwicklung ist es die Spannung zwischen den Außenleiteranschlüssen.

[IEV 421-04-01, modifiziert]

ANMERKUNG 1 Die Bemessungsspannungen aller Wicklungen treten im Leerlauf gleichzeitig auf, wenn die an eine dieser Wicklungen angelegte Spannung ihren Bemessungswert hat.

ANMERKUNG 2 Bei Einphasentransformatoren, die für den Anschluss im Stern vorgesehen sind, um eine Drehstrombank zu bilden oder für den Anschluss zwischen dem Außenleiter und dem Neutralpunkt eines Drehstromsystems, wird die Bemessungsspannung als Außenleiterspannung geteilt durch $\sqrt{3}$ angegeben, z. B. $400/\sqrt{3}$ kV.

ANMERKUNG 3 Bei einphasigen Transformatoren, die für den Anschluss zwischen den Außenleitern eines Netzes vorgesehen sind, wird die Bemessungsspannung als Außenleiterspannung angegeben.

3.4.4

Bemessungsübersetzung

Verhältnis der Bemessungsspannung einer Wicklung zur Bemessungsspannung einer anderen Wicklung mit niedrigerer oder gleicher Bemessungsspannung

[IEV 421-04-02]

3.4.5

Bemessungsfrequenz

f_r

Frequenz, für die der Transformator betriebsmäßig ausgelegt ist

[IEV 421-04-03, modifiziert]

3.4.6

Bemessungsleistung

S_r

herkömmlicher Wert der einer Wicklung zugewiesenen Scheinleistung, die zusammen mit ihrer Bemessungsspannung den Bemessungsstrom bestimmt

ANMERKUNG Beide Wicklungen eines Zweiwicklungstransformators haben die gleiche Bemessungsleistung, die nach Definition die Bemessungsleistung des gesamten Transformators ist.

3.4.7

Bemessungsstrom

I_r

der über einen Außenleiteranschluss einer Wicklung fließende Strom, der aus Bemessungsleistung S_r und Bemessungsspannung U_r für die Wicklung abgeleitet wird

[IEV 421-04-05, modifiziert]

ANMERKUNG 1 Bei einer Drehstromwicklung wird der Bemessungsstrom I_r angegeben durch:

$$I_r = \frac{S_r}{\sqrt{3} \cdot U_r}$$

ANMERKUNG 2 Bei den Wicklungen eines Einphasentransformators für die zur Bildung einer Drehstrombank eine Dreieckschaltung vorgesehen ist, wird der Bemessungsstrom als Außenleiterstrom geteilt durch $\sqrt{3}$ angegeben:

$$I_r = \frac{I_{\text{Außenleiter}}}{\sqrt{3}}$$

ANMERKUNG 3 Bei Einphasentransformatoren, die nicht für die Schaltung zur Bildung einer Drehstrombank vorgesehen sind, ist der Bemessungsstrom:

$$I_r = \frac{S_r}{U_r}$$

ANMERKUNG 4 Bei offenen Wicklungen eines Transformators ist der Bemessungsstrom der offenen Wicklungen gleich der Bemessungsleistung, geteilt durch die Anzahl der Außenleiter und durch die Bemessungsspannung der offenen Wicklung:

$$I_r = \frac{S_r}{\text{Anzahl der Außenleiter} \cdot U_r}$$

3.5 Anzapfungen

3.5.1

Anzapfung

in einem Transformator, der eine Wicklung mit Anzapfung besitzt, eine spezifische Schaltung dieser Wicklung, die eine bestimmte wirksame Windungszahl der Wicklung mit Anzapfung darstellt und daher ein bestimmtes Windungsverhältnis zwischen dieser Wicklung und jeder anderen Wicklung mit einer festen Windungszahl

ANMERKUNG Eine der Anzapfungen ist die Hauptanzapfung und andere Anzapfungen werden im Verhältnis zur Hauptanzapfung durch ihre entsprechenden Anzapfungsfaktoren beschrieben. Siehe die nachfolgenden Begriffe für diese Ausdrücke.

3.5.2

Hauptanzapfung

Anzapfung, auf die sich die Bemessungsgrößen beziehen

[IEV 421-05-02]

3.5.3

Anzapfungsfaktor (entsprechend einer gegebenen Anzapfung)

Das Verhältnis:

$$\frac{U_d}{U_r} \text{ (Anzapfungsfaktor) oder } 100 \frac{U_d}{U_r} \text{ (prozentualer Anzapfungsfaktor)}$$

Dabei ist

U_r die Bemessungsspannung der Wicklung (siehe 3.4.3);

U_d die Spannung, die im Leerlauf an den Anschlüssen der Wicklung der betreffenden Anzapfung entstehen würde, wenn die Bemessungsspannung an eine Wicklung ohne Anzapfungen angelegt wird.

ANMERKUNG Bei Zusatztransformatoren ist der Anzapfungsfaktor gleich dem Verhältnis der Spannung der Zusatzwicklung einer entsprechenden gegebenen Anzapfung zu U_r . [IEV 421-05-03, modifiziert]

3.5.4

Plus-Anzapfung

Anzapfung, deren Anzapfungsfaktor größer als 1 ist

[IEV 421-05-04]

3.5.5

Minus-Anzapfung

Anzapfung, deren Anzapfungsfaktor kleiner als 1 ist

[IEV 421-05-05]

3.5.6

Anzapfungsstufe

Differenz zwischen den prozentualen Anzapfungsfaktoren zweier benachbarter Anzapfungen

[IEV 421-05-06]

3.5.7

Anzapfungsbereich

der Änderungsbereich des prozentualen Anzapfungsfaktors bezogen auf den Wert 100

ANMERKUNG Wenn sich dieser Faktor von $100 + a$ bis $100 - b$ erstreckt, lautet der Anzapfungsbereich „+ a %, – b %“ oder „± a %“, wenn $a = b$ ist. [IEV 421-05-07]

3.5.8

Anzapfungsübersetzung (eines Wicklungspaares)

die Übersetzung ist gleich der Bemessungsübersetzung

- multipliziert mit dem Anzapfungsfaktor der Wicklung mit Anzapfung, wenn diese die Oberspannungswicklung ist;
- dividiert durch den Anzapfungsfaktor der Wicklung mit Anzapfung, wenn diese die Unterspannungswicklung ist. [IEV 421-05-08]

ANMERKUNG Während die Bemessungsübersetzung nach Definition mindestens gleich 1 ist, kann die Anzapfungsübersetzung bei bestimmten Anzapfungen kleiner als 1 sein, wenn die Bemessungsübersetzung nahe bei 1 liegt.

3.5.9

Anzapfungsgrößen

jene Größen, deren Zahlenwerte die Betriebsweise einer bestimmten Anzapfung festlegen (außer der Hauptanzapfung)

ANMERKUNG Anzapfungsgrößen gibt es für jede Wicklung des Transformators, nicht nur für die Wicklung mit Anzapfung (siehe 5.2 und 5.3).

Die Anzapfungsgrößen sind:

- Anzapfungsspannung (analog zur Bemessungsspannung, 3.4.3);
- Anzapfungsleistung (analog zur Bemessungsleistung, 3.4.6);
- Anzapfungsstrom (analog zum Bemessungsstrom, 3.4.7).

[IEV 421-05-10, modifiziert]

3.5.10

Anzapfung mit voller Leistung

Anzapfung, deren Anzapfungsleistung gleich der Bemessungsleistung ist

[IEV 421-05-14]

3.5.11

Anzapfung mit verringerter Leistung

Anzapfung, deren Anzapfungsleistung kleiner als die Bemessungsleistung ist

[IEV 421-05-15]

3.5.12

Stufenschalter

Einrichtung zum Wechseln der Anzapfungsanschlüsse einer Wicklung, die betrieben werden kann, während der Transformator an Spannung liegt oder unter Last steht

[IEV 421-11-01]

3.5.13

spannungsfreier Stufenschalter

Einrichtung zum Wechseln der Anzapfungsanschlüsse einer Wicklung, die nur betrieben werden kann, während der Transformator spannungsfrei ist (vom Netz getrennt)

3.5.14

größte zulässige Anzapfungsbetriebsspannung

die Spannung bei Bemessungsfrequenz eines Transformators, die so ausgelegt ist, dass sie der entsprechenden Anzapfungsleistung in jeder einzelnen Anzapfungsstufe dauerhaft ohne Beschädigung standhält. Die Spannung wird durch U_m begrenzt.

ANMERKUNG Diese Spannung wird üblicherweise auf 105 % der Bemessungsspannung (Anzapfungsspannung) begrenzt, wenn nicht eine höhere Spannung in der Spezifikation des Käufers für die Anzapfung gefordert wird (siehe 5.4) entweder ausdrücklich oder als Ergebnis einer Festlegung nach 5.4.2.

3.6 Verluste und Leerlaufstrom

ANMERKUNG Die Werte beziehen sich auf die Hauptanzapfung (siehe 3.5.2), wenn nicht ausdrücklich eine andere Anzapfung genannt ist.

3.6.1

Leerlaufverluste

aufgenommene Wirkleistung, wenn die Bemessungsspannung (Anzapfungsspannung) bei Bemessungsfrequenz an die Anschlusspunkte einer der Wicklungen angelegt wird, die andere Wicklung oder die anderen Wicklungen bleiben unbelastet

[IEV 421-06-01, modifiziert]

3.6.2

Leerlaufstrom

Effektivwert des Stromes, der durch einen Außenleiter-Anschlusspunkt einer Wicklung fließt, wenn die Bemessungsspannung (Anzapfungsspannung) bei Bemessungsfrequenz angelegt wird, die andere Wicklung oder die anderen Wicklungen bleiben unbelastet

ANMERKUNG 1 Bei einem Drehstromtransformator ist der Wert das arithmetische Mittel der Stromwerte in den drei Außenleitern.

ANMERKUNG 2 Der Leerlaufstrom einer Wicklung wird oft in Prozent des Bemessungsstroms dieser Wicklung angegeben. Bei einem Mehrwicklungstransformator bezieht sich dieser Prozentwert auf die Wicklung mit der höchsten Bemessungsleistung. [IEV 421-06-02, modifiziert]

3.6.3

Kurzschlussverluste

die bei Bemessungsfrequenz und Bezugstemperatur (siehe 10.1) aufgenommene Wirkleistung, bezogen auf ein Wicklungspaar, wenn der Bemessungsstrom (Anzapfungsstrom) durch die Außenleiter-Anschlusspunkte

einer der Wicklungen fließt, und die Anschlusspunkte der anderen Wicklung kurzgeschlossen sind. Weitere Wicklungen, falls vorhanden, bleiben offen.

ANMERKUNG 1 Bei einem Zweiwicklungstransformator gibt es nur eine Wicklungskombination und nur einen Wert der Kurzschlussverluste. Bei einem Mehrwicklungstransformator gibt es verschiedene Werte der Kurzschlussverluste entsprechend den verschiedenen Zweiwicklungskombinationen (siehe Abschnitt 7 von IEC 60076-8). Eine Zahl für die kombinierten Kurzschlussverluste für den gesamten Transformator bezieht sich auf eine bestimmte Kombination der Wicklungsbelastung. Im Allgemeinen ist er üblicherweise einer direkten Messung während der Prüfung nicht zugänglich.

ANMERKUNG 2 Wenn die Wicklungen eines Wicklungspaares unterschiedliche Werte der Bemessungsleistung haben, werden die Kurzschlussverluste auf den Bemessungsstrom der Wicklung mit der kleineren Bemessungsleistung bezogen, und die Bezugsleistung sollte genannt werden.

3.6.4

Gesamtverluste

Summe von Leerlauf- und Kurzschlussverlusten

ANMERKUNG Der Leistungsverbrauch der Hilfseinrichtungen ist in den Gesamtverlusten nicht enthalten und ist getrennt anzugeben. [IEV 421-06-05, modifiziert]

3.7 Kurzschlussimpedanz und Spannungsfall

3.7.1

Kurzschlussimpedanz eines Wicklungspaares

gleichwertige Reihenimpedanz $Z = R + jX$, in Ohm, bei Bemessungsfrequenz und Bezugstemperatur zwischen den Anschlusspunkten einer Wicklung eines Wicklungspaares, wenn die Anschlusspunkte der anderen Wicklung kurzgeschlossen sind und weitere Wicklungen, falls vorhanden, offen sind. Bei einem Drehstromtransformator wird die Impedanz als Impedanz je Phase angegeben (gleichwertige Sternschaltung).

Bei einem Transformator mit einer Wicklung mit Anzapfung wird die Kurzschlussimpedanz auf eine bestimmte Anzapfung bezogen. Wenn nicht anders angegeben, gilt die Hauptanzapfung.

ANMERKUNG Diese Größe kann in bezogener, dimensionsloser Form als Bruchteil z der Bezugsimpedanz Z_{ref} der gleichen Wicklung des Wicklungspaares ausgedrückt werden. In Prozentschreibweise:

$$z = 100 \frac{Z}{Z_{\text{ref}}}$$

Dabei ist

$$Z_{\text{ref}} = \frac{U^2}{S_r} \quad (\text{die Gleichung gilt sowohl für Drehstrom- als auch für Einphasentransformatoren.})$$

U die Spannung (Bemessungsspannung oder Anzapfungsspannung) der Wicklung, auf die sich Z und Z_{ref} beziehen;

S_r der Bezugswert der Bemessungsleistung.

Der Relativwert ist auch gleich dem Verhältnis zwischen der angelegten Spannung während einer Kurzschlussmessung, die das Fließen des entsprechenden Bemessungsstroms (oder Anzapfungsstroms) bewirkt, und der Bemessungsspannung (oder Anzapfungsspannung). Diese angelegte Spannung wird als Kurzschlussspannung [IEV 421-07-01] des Wicklungspaares bezeichnet. Sie wird gewöhnlich in Prozent ausgedrückt. [IEV 421-07-02, modifiziert]

3.7.2

Spannungsfall oder -anstieg unter einer bestimmten Lastbedingung

der arithmetische Unterschied zwischen der Leerlaufspannung einer Wicklung und der Spannung, die an den Anschlusspunkten derselben Wicklung bei einer bestimmten Belastung und einem bestimmten Leistungsfaktor auftritt. Die Spannung, die an die (eine der) andere(n) Wicklung(en) angelegt wird, ist gleich:

- ihrem Bemessungswert, wenn der Transformator auf die Hauptanzapfung eingestellt ist (die Leerlaufspannung der zuerst genannten Wicklung ist dann gleich ihrem Bemessungswert);

- der Anzapfungsspannung, wenn der Transformator auf eine andere Anzapfung eingestellt ist.

Diese Differenz wird im Allgemeinen in Prozent der Leerlaufspannung der Wicklung ausgedrückt.

ANMERKUNG Bei Mehrwicklungstransformatoren hängt der Spannungsfall oder -anstieg nicht nur von der Belastung und dem Leistungsfaktor der Wicklung selbst ab, sondern auch von der Belastung und dem Leistungsfaktor der anderen Wicklungen (siehe IEC 60076-8). [IEV 421-07-03]

3.7.3

Nullimpedanz (einer Drehstromwicklung)

die Impedanz, ausgedrückt in Ohm, je Phase bei Bemessungsfrequenz zwischen den Außenleiter-Anschlusspunkten einer Drehstromwicklung in Stern- oder Zickzackschaltung, die miteinander verbundenen sind und ihrem Neutralpunkt-Anschlusspunkt

[IEV 421-07-04, modifiziert]

ANMERKUNG 1 Die Nullimpedanz kann mehrere Werte annehmen, da sie davon abhängt, wie die Anschlusspunkte der anderen Wicklung oder Wicklungen verbunden und belastet ist (sind).

ANMERKUNG 2 Die Nullimpedanz kann vom Wert des Stroms und von der Temperatur abhängen, besonders bei Transformatoren ohne eine Wicklung in Dreieckschaltung.

ANMERKUNG 3 Die Nullimpedanz kann auch als relativer Wert in gleicher Weise wie die Kurzschlussimpedanz (Mitimpedanz) ausgedrückt werden (siehe 3.7.1).

3.8 Übertemperatur

die Differenz zwischen der Temperatur des betrachteten Teils und der Temperatur des äußeren Kühlmittels, siehe IEC 60076-2

[IEV 421-08-01, modifiziert]

3.9 Isolation

Begriffe, die sich auf die Isolation beziehen, siehe IEC 60076-3

3.10 Schaltungen

3.10.1

Sternschaltung (Y-Schaltung)

Wicklungsschaltung, die so angeordnet ist, dass ein Ende jedes der Wicklungsstränge eines Drehstromtransformators oder jeder der Wicklungen gleicher Bemessungsspannung von Einphasentransformatoren, die in einer Drehstrombank zusammengefasst sind, an einem gemeinsamen Punkt (dem Neutralpunkt) zusammengeschaltet wird und das andere Ende an seinen entsprechenden Außenleiter-Anschlusspunkt

[IEV 421-10-01, modifiziert]

3.10.2

Dreieckschaltung (D-Schaltung)

Wicklungsschaltung, die so angeordnet ist, dass die Wicklungsstränge eines Drehstromtransformators oder die Wicklungen gleicher Bemessungsspannung von Einphasentransformatoren, die in einer Drehstrombank zusammengefasst sind, in Reihe geschaltet werden, um einen geschlossenen Stromkreis zu bilden

[IEV 421-10-02, modifiziert]

3.10.3

offene Dreieckschaltung

Wicklungsschaltung, bei der die Wicklungsstränge eines Drehstromtransformators oder die Wicklungen gleicher Bemessungsspannung von Einphasentransformatoren, die in einer Drehstrombank zusammengefasst sind, in Reihe geschaltet werden, wobei eine Ecke des Dreiecks nicht geschlossen wird

[IEV 421-10-03]

3.10.4

Zickzackschaltung (Z-Schaltung)

Wicklungsschaltung, die aus zwei Wicklungsteilen besteht, der erste Teil ist im Stern geschaltet, der zweite ist in Reihe zwischen den ersten Teil und die Außenleiter-Anschlusspunkte geschaltet. Beide Teile sind so angeordnet, dass jede Phase des zweiten Teils auf einem anderen Transformatorschenkel gewickelt wird, als das Gegenstück des ersten Wicklungsteils, mit dem sie verschaltet ist. Zu den Fällen, in denen die Wicklungsteile gleiche Spannungen haben, siehe Anhang D

3.10.5

offene Wicklungen

die Wicklungsstränge eines Drehstromtransformators, die innerhalb des Transformators nicht miteinander verbunden sind

[IEV 421-10-05, modifiziert]

3.10.6

Phasenverschiebung einer Drehstromwicklung

Winkelverschiebung zwischen den Zeigern, welche die Spannungen (Real- oder Imaginärteil) zwischen dem Neutralpunkt und den entsprechenden Anschlusspunkten von zwei Wicklungen darstellen, ein Spannungs-Mitsystem wird an die Oberspannungs-Anschlusspunkte angelegt, aufeinander folgend in alphabetischer Reihenfolge, falls es mit Buchstaben bezeichnet ist oder in numerischer Reihenfolge, falls es nummeriert ist. Es wird angenommen, dass sich die Zeiger im Gegenuhrzeigersinn drehen (siehe Abschnitt 6 und Anhang D)

[IEV 421-10-08, modifiziert]

ANMERKUNG Der Zeiger der Oberspannungswicklung wird als Bezugsgröße genommen, und die Phasenverschiebung für jede andere Wicklung wird üblicherweise durch die „Stundenzahl“ ausgedrückt, d. h. die Stundenzahl angegeben durch den Zeiger der Wicklung, wenn der Zeiger der Oberspannungswicklung auf 12 zeigt (steigende Stundenzahlen bedeuten zunehmende Phasennacheilung).

3.10.7

Schaltgruppe

übliche Bezeichnungsweise, welche die Schaltungen der Ober-, Mittel- (falls vorhanden) und Unterspannungswicklungen und ihre relative(n) Phasenverschiebung(en) angibt, ausgedrückt als eine Kombination aus Buchstaben- und Stundenzahl(en)

[IEV 421-10-09, modifiziert]

3.11 Prüfungsarten

3.11.1

Stückprüfung

Prüfung, der jeder einzelne Transformator unterzogen wird

3.11.2

Typprüfung

Prüfung, die an einem Transformator durchgeführt wird, der repräsentativ ist für andere Transformatoren, um nachzuweisen, dass diese Transformatoren mit den festgelegten Anforderungen übereinstimmen, die nicht durch Stückprüfungen abgedeckt werden. Ein Transformator wird als repräsentativ für andere betrachtet, wenn er nach den gleichen Zeichnungen unter Verwendung der gleichen Techniken und Werkstoffe in der gleichen Fabrik hergestellt wurde.

Auslegungsänderungen, die völlig unbedeutend für eine besondere Typprüfung sind, würden keine Wiederholung dieser Typprüfung erfordern.

Auslegungsänderungen, die zu einer Verringerung von Werten und Belastungen führen, die für eine besondere Typprüfung von Bedeutung sind, erfordern keine neue Typprüfung, falls das vom Käufer und vom Hersteller angenommen wird.

ANMERKUNG Bei Transformatoren unter 20 MVA und $U_m \leq 72,5$ kV können bedeutende Änderungen in der Auslegung annehmbar sein, falls sie durch einen Nachweis der Übereinstimmung mit den Anforderungen der Typprüfung unterstützt werden.

3.11.3

Sonderprüfung

Prüfung, die anders ist als eine Typ- oder Stückprüfung und zwischen Hersteller und Käufer vereinbart wird. Sonderprüfungen können an einem oder an allen Transformatoren einer besonderen Auslegung durchgeführt werden. Dies ist durch den Käufer in der Anfrage und im Auftrag für jede Sonderprüfung festzulegen.

3.12 Meteorologische Daten bezüglich der Kühlung

3.12.1

Temperatur des Kühlmittels zu jeder Zeit

höchste Tagestemperatur des heißesten Tages

3.12.2

mittlere Monatstemperatur

Hälfte der Summe aus dem Mittelwert der täglichen Höchstwerte und dem Mittelwert der täglichen Tiefstwerte während eines einzelnen Monats, ermittelt über viele Jahre

3.12.3

mittlere Jahrestemperatur

ein Zwölftel der Summe der mittleren Monatstemperaturen

3.13 Andere Begriffe

3.13.1

Laststrom

Effektivwert des Stroms in jeder Wicklung unter Betriebsbedingungen

3.13.2

Gesamtüberschwingungsanteil

Verhältnis des Effektivwerts aller Oberschwingungen zum Effektivwert der Grundschwingung

$$\text{Gesamtüberschwingungsanteil} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n E_i^2}}{E_1} \quad (\text{für die Spannung})$$

$$\text{Gesamtüberschwingungsanteil} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n I_i^2}}{I_1} \quad (\text{für den Strom})$$

Dabei ist

E_i Effektivwert der Spannung der i -ten Oberschwingung

I_i Effektivwert des Stroms der i -ten Oberschwingung

3.13.3

geradzahliger Oberschwingungsanteil

Verhältnis des Effektivwerts aller geradzahligen Oberschwingungen zum Effektivwert der Grundschwingung

$$\text{geradzahliger Oberschwingungsanteil} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n E_{2i}^2}}{E_1} \quad (\text{für die Spannung})$$

$$\text{geradzahlicher Oberschwingungsanteil} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{i=n} I_{2i}^2}}{I_1} \quad (\text{für den Strom})$$

Dabei ist

E_i Effektivwert der Spannung der i -ten Oberschwingung

I_i Effektivwert des Stroms der i -ten Oberschwingung

4 Bemessungsdaten

4.1 Bemessungsleistung

4.1.1 Allgemeines

Die Bemessungsleistung für jede Wicklung muss entweder vom Käufer festgelegt werden oder der Käufer muss dem Hersteller hinreichende Informationen liefern, um die Bemessungsleistung im Anfragestadium bestimmen zu können.

Der Transformator muss eine zugeordnete Bemessungsleistung für jede Wicklung haben, die auf dem Leistungsschild angegeben sein muss. Die Bemessungsleistung bezieht sich auf die Dauerbelastung. Sie ist ein Bezugswert für Garantien und Prüfungen bezüglich der Kurzschlussverluste und Übertemperaturen.

Falls verschiedene Werte der Scheinleistung unter verschiedenen Randbedingungen zugeordnet werden, z. B. bei unterschiedlichen Kühlungsverfahren, ist der höchste dieser Werte die Bemessungsleistung.

Ein Zweiwicklungstransformator hat nur einen Wert der Bemessungsleistung, der für beide Wicklungen identisch ist.

Bei Mehrwicklungstransformatoren hat der Käufer die geforderten Leistungs-Belastungskombinationen festzulegen mit der Aussage, falls notwendig, der getrennten Wirk- und Blindleistungen.

Wenn am Transformator die Bemessungsspannung an eine Primärwicklung angelegt ist und der Bemessungsstrom durch die Anschlusspunkte einer Sekundärwicklung fließt, nimmt der Transformator für dieses Wicklungspaar die entsprechende Bemessungsleistung auf.

Der Transformator muss im Dauerbetrieb in der Lage sein, die Bemessungsleistung (bei einem Mehrwicklungstransformator: die festgelegte(n) Kombination(en) der Wicklungsbemessungsleistungen) unter Bedingungen zu führen, die in 1.2 beschrieben sind, ohne die in IEC 60076-2 festgelegten Grenzwerte für die Übertemperaturen zu überschreiten.

ANMERKUNG 1 Die Auslegung der Bemessungsleistung in diesem Abschnitt besagt, dass es sich um einen Wert der vom Transformator aufgenommenen Scheinleistung handelt - einschließlich seiner Eigenaufnahme an Wirk- und Blindleistung. Die Scheinleistung, die der Transformator an den Stromkreis abgibt, der an den Anschlusspunkten der Sekundärwicklung unter Bemessungsbelastung angeschlossen ist, weicht von der Bemessungsleistung ab. Die Spannung zwischen den sekundären Anschlusspunkten weicht von der Bemessungsspannung um den Spannungsfall (oder -anstieg) im Transformator ab. Die Abweichung des Spannungsfalls in Abhängigkeit vom Leistungsfaktor der Belastung ist in den Festlegungen für die Bemessungsspannung und den Anzapfungsbereich enthalten (siehe IEC 60076-8, Abschnitt 7).

Nationale Praxis kann unterschiedlich sein.

ANMERKUNG 2 Bei einem Mehrwicklungstransformator gibt die Hälfte der arithmetischen Summe der Werte der Bemessungsleistung aller Wicklungen (getrennte Wicklungen, keine Sparschaltung) eine grobe Abschätzung der physikalischen Größe im Vergleich zu einem Zweiwicklungstransformator.

4.1.2 Vorzugswerte für die Bemessungsleistung

Bei Transformatoren bis 20 MVA sollten die Werte der Bemessungsleistung vorzugsweise aus der Reihe R10 nach ISO 3 (1973), „Normzahlen, Normzahlreihen“ entnommen werden:

(... 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1 000 usw.) kVA.

ANMERKUNG Nationale Umsetzungen können davon abweichen.

4.1.3 Minimale Leistung bei alternativen Kühlungsarten

Wenn der Anwender eine besondere Forderung für eine minimale Leistung bei einer besonderen Kühlungsart hat, die sich von der Kühlungsart für die Bemessungsleistung unterscheidet, muss diese in der Anfrage festgehalten werden.

Der Transformator muss im Dauerbetrieb in der Lage sein, die festgelegte, minimale Leistung (bei einem Mehrwicklungstransformator: die festgelegte(n) Kombination(en) der Wicklungsbemessungsleistungen) unter den Bedingungen führen zu können, die in 1.2 beschrieben sind und unter der festgelegten Kühlungsart, ohne die in IEC 60076-2 festgelegten Grenzwerte für die Übertemperaturen zu überschreiten.

ANMERKUNG Ein Beispiel dafür ist ein Transformator mit natürlicher Kühlung (ONAN), für den der Betrieb mit einem bestimmten niedrigsten Prozentwert der Bemessungsleistung gefordert wird, um die Verluste durch Eigenbedarf zu decken.

4.1.4 Belastung unterhalb der Bemessungsleistung

Ein Transformator und seine Teilkomponenten nach IEC 60076-1 ist unter einigen Umständen in der Lage, eine Belastung oberhalb der Bemessungsleistung zu führen. Das Verfahren zur Berechnung der zulässigen Belastung kann in IEC 60076-7 und in IEC 60076-12 gefunden werden.

Jede besondere Anforderung für eine Belastung oberhalb der Bemessungsleistung muss gemeinsam mit dem Nachweisverfahren (Prüfung oder Berechnung) vom Käufer in der Anfrage und im Vertrag festgelegt werden. Diese Anforderungen können Sonderbelastungen, Umgebungstemperaturen und Grenzwerte der Übertemperatur beinhalten.

ANMERKUNG 1 Diese Option wird im Besonderen dazu verwendet, eine Grundlage für Auslegung und Garantiewerte hinsichtlich einer vorübergehenden Notbelastungen des Leistungstransformators zu geben.

Die Durchführungen, Stufenschalter, Stromwandler und andere Hilfseinrichtungen müssen so ausgewählt werden, dass sie die Belastbarkeit des Transformators nicht einschränken.

ANMERKUNG 2 Diese Anforderungen sind nicht anwendbar für Sondertransformatoren, von denen einige keine Belastbarkeit oberhalb der Bemessungsleistung benötigen. Für andere werden besondere Anforderungen festgelegt.

4.2 Kühlungsverfahren

Der Anwender muss das Kühlmedium festlegen (Luft oder Wasser).

Falls der Anwender besondere Anforderungen an das (die) Kühlungsverfahren hat, müssen diese in der Anfrage festgelegt werden.

Zu weiteren Informationen, siehe IEC 60076-2.

4.3 Lastabwurf an Transformatoren mit Direktanschluss an einen Generator

Transformatoren, die für den Direktanschluss an einen Generator derart vorgesehen sind, dass sie mit einem Lastabwurf beaufschlagt werden können, müssen in der Lage sein, der 1,4fachen Bemessungsspannung an den Transformatoranschlusspunkten, an die der Generator angeschlossen ist, für 5 s standzuhalten.

4.4 Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz

4.4.1 Bemessungsspannung

Die Bemessungsspannung muss entweder vom Käufer festgelegt werden oder für besondere Anwendungen muss der Käufer dem Hersteller ausreichende Informationen zur Verfügung stellen, um die Bemessungsspannung im Anfragestadium bestimmen zu können.

Der Transformator muss für jede Wicklung eine zugewiesene Bemessungsspannung besitzen, die auf dem Leistungsschild angegeben sein muss.

4.4.2 Bemessungsfrequenz

Die Bemessungsfrequenz muss vom Käufer als die normale, ungestörte Frequenz des Netzes festgelegt werden.

Die Bemessungsfrequenz ist die Basis der garantierten Werte, wie Verluste, Impedanz und Schallpegel.

4.4.3 Betrieb bei einer höheren Spannung als der Bemessungsspannung und/oder bei einer anderen als der Bemessungsfrequenz

Verfahren zur Bestimmung geeigneter Werte der Bemessungsspannung und des Anzapfungsbereichs zwecks Abdeckung einer Reihe von Belastungsfällen (Belastung und Leistungsfaktor, entsprechend den Betriebsspannungen des Netzes) sind in IEC 60076-8 beschrieben.

Innerhalb der vorgeschriebenen Werte von U_m für die Transformatorwicklungen, muss ein Transformator für den Dauerbetrieb bei Bemessungsspannung geeignet sein, ohne eine Beschädigung bei Bedingungen der „Übererregung“, wenn das Verhältnis von Spannung zur Frequenz (V/Hz) das entsprechende Verhältnis bei Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz um nicht mehr als 5 % übersteigt, soweit nicht anders durch den Käufer festgelegt.

Im Leerlauf müssen Transformatoren für den Dauerbetrieb bei einem Verhältnis der Spannung zur Frequenz (V/Hz) von 110 % des Bemessungswertes geeignet sein.

Bei einem Stromwert vom K -fachen des Bemessungsstroms ($0 \leq K \leq 1$) muss die Übererregung in Übereinstimmung mit der folgenden Gleichung begrenzt werden:

$$\frac{U}{U_r} \cdot \frac{f_r}{f} \cdot 100 \leq 110 - 5K^2 (\%)$$

Falls der Transformator bei einem Verhältnis von Spannung zur Frequenz (V/Hz) oberhalb des oben genannten betrieben werden soll, muss das vom Käufer in der Anfrage angegeben werden.

4.5 Berücksichtigung von unüblichen Betriebsbedingungen

Der Käufer muss in seiner Anfrage jede Betriebsbedingung angeben, die nicht durch übliche Betriebsbedingungen abgedeckt ist. Beispiele solcher Bedingungen sind:

- hohe oder niedrige Umgebungstemperatur außerhalb der in 1.2.1 beschriebenen Grenzen;
- eingeschränkte Belüftung;
- Aufstellungshöhe oberhalb der in 1.2.1 beschriebenen Grenze;
- schädigende(r) Dämpfe oder Rauch;
- Wasserdampf;
- Feuchtigkeit oberhalb der in 1.2.1 beschriebenen Grenzen;
- Tropfwasser;

- Salzsprühnebel;
- übermäßiger und abschleifender Staub;
- hoher Oberschwingungsgehalt des Laststroms, siehe 1.2.1;
- Verzerrung der Netzspannungswellenform;
- schnelle transiente Überspannungen siehe Abschnitt 12;
- verknüpfte Blindleistungskompensation und kapazitive Schaltverfahren zur Begrenzung des Einschaltstroms;
- überlagerter Gleichstrom;
- Erdbebensicherheit, die eine gesonderte Betrachtung in der Auslegung erfordern würde;
- außergewöhnliche mechanische Stöße und Vibrationen;
- Sonneneinstrahlung;
- regelmäßig häufige Erregung;
- regelmäßig häufige Kurzschlüsse;
- Verhältnis Spannung zur Frequenz (V/Hz) über die Werte von 4.4.3 hinaus;
- falls ein Aufwärtsmaschinentransformator im Rückwärtsbetrieb verwendet werden soll;
- Korrosionsschutz, entsprechend der Art der Installation. Der Käufer sollte die Schutzklasse nach ISO 12944 wählen oder es sollte eine Vereinbarung zwischen Käufer und Hersteller getroffen werden;
- schlechtere Lastabwurfbedingungen für Maschinentransformatoren als die in 4.3 angegebenen.

Das Transformatorpflichtenheft für den Betrieb unter solchen unüblichen Bedingungen muss zwischen Hersteller und Käufer vereinbart werden

Ergänzende Anforderungen, innerhalb festgelegter Grenzen, für die Bemessung und Prüfung von Transformatoren, die für andere, als die in 1.2 genannten Bedingungen des Normalbetriebs, ausgelegt sind, wie beispielsweise hohe Kühllufttemperaturen oder eine Aufstellungshöhe über 1 000 m sind in IEC 60076-2 angegeben.

4.6 Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m und Isolationsprüfpegel

Für Außenleiter-Anschlusspunkte muss U_m , soweit nicht anders vom Käufer festgelegt, als der niedrigste Wert der Tabelle 2 oder Tabelle 4 aus IEC 60076-3, je nach Anwendung, genommen werden, der die Bemessungsspannung für jede Wicklung überschreitet.

Bei Transformatorwicklungen mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel größer als 72,5 kV hat der Käufer festzulegen, ob irgendein Neutralpunkt-Anschlusspunkt für diese Wicklung im Betrieb direkt geerdet werden muss oder nicht und falls nicht, muss U_m der Neutralpunkt-Anschlusspunkte vom Käufer festgelegt werden.

Wenn nicht anders vom Käufer festgelegt, müssen die Isolationsprüfpegel als der niedrigste anwendbare Wert entsprechend U_m , aus Tabelle 2 oder Tabelle 4 der IEC 60076-3 genommen werden.

4.7 Zusätzliche Informationen, die für die Anfrage erforderlich sind

4.7.1 Art des Transformators

Art des Transformators, z. B. Volltransformator (Transformator mit getrennten Wicklungen), Spartransformator oder Zusatztransformator müssen vom Anwender festgelegt werden.

4.7.2 Wicklungsanschluss und Anzahl der Außenleiter

Der erforderliche Wicklungsanschluss muss vom Anwender in Übereinstimmung mit der Terminologie, die in Abschnitt 6 verwendet wird sein, um der Anwendung zu entsprechen.

Falls eine im Dreieck geschaltete Ausgleichswicklung erforderlich ist, muss sie vom Käufer festgelegt werden. Für Transformatoren in Stern-Stern-Schaltung oder Spartransformatoren, falls die Auslegung einen geschlossenen magnetischen Kreis für den Nullfluss besitzt und keine Dreieckswicklung festgelegt ist, sind die Anforderungen zwischen Hersteller und Käufer zu diskutieren (siehe IEC 60076-8).

ANMERKUNG Ein geschlossener magnetischer Kreis für den Nullfluss existiert in einem Transformator in Rahmenbauform und in einem Transformator in Kernbauform mit einem unbewickelten Schenkel oder unbewickelten Schenkeln.

Falls es Anforderungen für hohe oder niedrige Grenzwerte der Nullimpedanz gibt, müssen diese vom Käufer angegeben werden und können den Kernaufbau beeinflussen und die Notwendigkeit für eine Dreieckswicklung. Falls die Nullanforderungen die Verwendung einer im Dreieck geschalteten Wicklung vorschreiben, die nicht direkt vom Käufer festgelegt wurde, muss das vom Hersteller eindeutig in den Angebotspapieren festgelegt werden.

Der Transformatorhersteller darf eine dreieckgeschaltete Prüfwicklung nicht verwenden, falls eine Dreieckswicklung nicht festgelegt wurde, es sei denn, der Käufer stimmt ausdrücklich zu.

Falls es eine besondere Anforderung entweder für eine Bank von Einphasentransformatoren oder eine für Drehstromeinheit gibt, muss diese vom Anwender genau angegeben werden. Anderenfalls muss der Hersteller in den Angebotsunterlagen klar darstellen, welcher Transformatortyp angeboten wird.

4.7.3 Schallpegel

Wenn der Käufer eine besondere Anforderung für einen garantierten größten Schallpegel hat, muss dieser in der Anfrage angegeben sein und sollte vorzugsweise als Schalleistungspegel ausgedrückt werden.

Soweit nicht anders festgelegt, muss der Schallpegel als der Leerlauf-Schallpegel genommen werden, zusammen mit der gesamten Kühlanlage, die erforderlich ist, um die Bemessungsleistung im Betrieb zu erreichen.

Der während der Prüfung nach IEC 60076-10 gemessene Schallpegel darf den Garantiewert des größten Schallpegels nicht überschreiten. Der garantierte größte Schallpegel ist ein Grenzwert ohne zulässige Abweichung.

Der Schallpegel im Betrieb wird vom Laststrom beeinflusst (siehe IEC 60076-10). Falls der Käufer eine Messung des Schallpegels unter Laststrom fordert, muss das in der Anfrage angegeben werden.

4.7.4 Transport

4.7.4.1 Transportbeschränkungen

Falls Grenzwerte für die Transportgröße oder das Transportgewicht anzuwenden sind, müssen sie in der Anfrage angegeben werden.

Falls irgendwelche andere, besondere Bedingungen während des Transports gelten, müssen sie in der Anfrage angegeben werden. Das könnte auch die Begrenzung von Isolierflüssigkeit während des Transports einbeziehen oder unterschiedliche Umgebungsbedingungen die erfahrungsgemäß während des Transports erwartet werden können, im Gegensatz zu denen im stationären Betrieb.

4.7.4.2 Transportbeschleunigung

Der Transformator muss so ausgelegt und konstruiert werden, dass er einer gleichförmigen Beschleunigung von 1 g in alle Richtungen standhält (zusätzlich zur Gravitationsbeschleunigung in vertikaler Richtung), ohne irgendeine Beschädigung, nachgewiesen durch Berechnung der statischen Kräfte.

Falls der Transport nicht in der Verantwortung des Herstellers liegt und es zu erwarten ist, dass die Beschleunigungswerte während des Transports den Wert von 1 g übersteigen, müssen die Beschleunigungen und ihre Häufigkeiten in der Anfrage festgelegt werden. Falls höhere Beschleunigungen vom Kunden festgelegt werden, muss der Hersteller die Übereinstimmung mit Hilfe von Berechnungen nachweisen.

Falls beabsichtigt ist, den Transformator als Wandertransformator einzusetzen, muss das in der Anfrage angegeben werden.

ANMERKUNG Die Verwendung von Stoßaufzeichnungsgeräten während des Transports von Großtransformatoren ist übliche Praxis.

5 Anforderungen an Transformatoren mit einer Wicklung mit Anzapfung

5.1 Allgemeines – Angabe des Anzapfungsbereichs

Die folgenden Unterabschnitte gelten für Transformatoren, bei denen nur eine der Wicklungen eine Wicklung mit Anzapfung ist.

Bei einem Mehrwicklungstransformator gelten die Aussagen für die Kombination der Wicklung mit Anzapfung mit einer der Wicklungen ohne Anzapfungen.

Bei Transformatoren mit den Festlegungen nach 5.4.2 muss die Angabe durch den Käufer festgelegt werden, wie unter Punkt 3 in diesem Abschnitt beschrieben.

Bei Transformatoren in Sparschaltung werden die Anzapfungen manchmal am Neutralpunkt angeordnet, was bedeutet, dass die effektive Windungszahl gleichzeitig in beiden Wicklungen geändert wird. Bei solchen Transformatoren, wenn sie nicht mit den Festlegungen nach 5.4.2 übereinstimmen, sind die Einzelheiten der Anzapfungen Gegenstand der Vereinbarung. Die Anforderungen in diesem Abschnitt sollten, soweit anwendbar, verwendet werden.

Soweit nicht anders festgelegt, befindet sich die Hauptanzapfung in der Mitte des Anzapfungsbereichs. Andere Anzapfungen werden durch ihre Anzapfungsfaktoren gekennzeichnet. Die Anzahl der Anzapfungen und der Änderungsbereich der Transformatorübersetzung können in Form einer Kurzangabe durch die Abweichungen des prozentualen Anzapfungsfaktors vom Wert 100 ausgedrückt werden (bezüglich der Begriffsbestimmungen siehe 3.5).

Beispiel: Ein Transformator mit einer 160-kV-Wicklung mit Anzapfung, die insgesamt 21 symmetrisch angeordnete Anzapfungen besitzt, lautet die Angabe:

$$(160 \pm 10 \times 1,5 \%) / 66 \text{ kV.}$$

Wenn aus irgendeinem Grund der Anzapfungsbereich unsymmetrisch zur Bemessungsspannung festgelegt ist, können wir erhalten:

$$\left(160 \begin{array}{l} + 12 \times 1,5 \% \\ - 8 \times 1,5 \% \end{array} \right) / 66 \text{ kV.}$$

Bezüglich der vollständigen Darstellung der den einzelnen Anzapfungen zugeordneten Daten auf dem Leistungsschild, siehe Abschnitt 7.

Einige Anzapfungen können leistungsreduzierte Anzapfungen sein aufgrund von Einschränkungen entweder durch die Anzapfungsspannung oder den Anzapfungsstrom. Die Grenzanzapfungen, an denen solche Begrenzungen auftreten, werden „Anzapfung mit höchster Spannung“ und „Anzapfung mit größtem Strom“ genannt (siehe Bild 1).

5.2 Anzapfungsspannung – Anzapfungsstrom. Genormte Kategorien der Änderung der Anzapfungsspannung. Anzapfung mit höchster Spannung

Die Kurzbezeichnung des Anzapfungsbereichs und der Anzapfstufen gibt den Änderungsbereich der Transformatorübersetzung an. Aber die zugeordneten Werte der Anzapfungsgrößen sind nicht allein durch diese vollständig bestimmt. Eine zusätzliche Information ist notwendig. Diese kann entweder in tabellarischer Form mit Anzapfungsleistung, Anzapfungsspannung und Anzapfungsstrom für jede Anzapfung gegeben sein oder als Text, der die „Kategorie der Spannungsänderung“ und mögliche Grenzen des Bereichs angibt, innerhalb dessen die Anzapfungen „Anzapfungen mit voller Leistung“ sind.

Die Kategorien der Änderung der Anzapfungsspannung sind wie folgt festgelegt:

Spannungsänderung bei konstantem Fluss CFVV

Die Anzapfungsspannung in jeder nicht angezapften Wicklung ist von Anzapfung zu Anzapfung gleich. Die Anzapfungsspannungen in der Wicklung mit Anzapfung sind proportional zu den Anzapfungsfaktoren. Siehe Bild 1a.

Spannungsänderung bei veränderlichem Fluss VFVV

Die Anzapfungsspannung in der Wicklung mit Anzapfung ist von Anzapfung zu Anzapfung gleich. Die Anzapfungsspannungen in jeder nicht angezapften Wicklung sind umgekehrt proportional zum Anzapfungsfaktor. Siehe Bild 1b.

Kombinierte Spannungsänderung CbVV

In vielen Anwendungsfällen und besonders bei Transformatoren mit einem großen Anzapfungsbereich wird eine Kombination festgelegt, die beide Grundprinzipien verwendet, die jeweils auf verschiedene Teile des Anzapfungsbereichs angewendet werden: die kombinierte Spannungsänderung (CbVV). Der Umschaltpunkt wird als „Anzapfung mit höchster Spannung“ bezeichnet. Für dieses System gilt Folgendes:

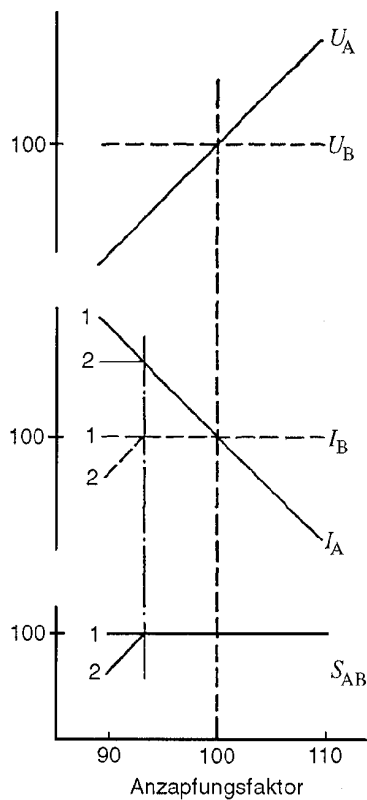
CFVV gilt für Anzapfungen mit Anzapfungsfaktoren unterhalb der höchsten Spannung des Anzapfungsfaktors.

VFVV gilt für Anzapfungen mit Anzapfungsfaktoren oberhalb der höchsten Spannung des Anzapfungsfaktors.

Siehe Bild 1c.

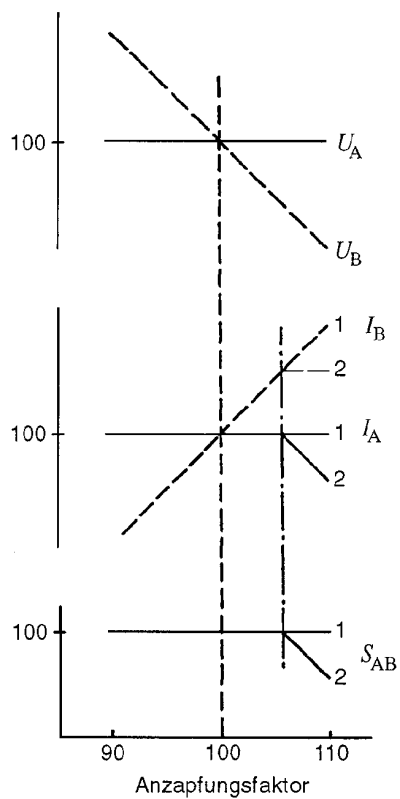
Kurzzeichen für die Bilder 1a, 1b und 1c:

U_A, I_A	Anzapfungsspannung und Anzapfungsstrom der Wicklung mit Anzapfung.
U_B, I_B	Anzapfungsspannung und Anzapfungsstrom der nicht angezapften Wicklung.
S_{AB}	Anzapfungsleistung.
Abszisse	Prozentualer Wert des Anzapfungsfaktors (Angabe der relativen Anzahl effektiver Windungen in der Wicklung mit Anzapfung).
1	Kennzeichnet die Anzapfungen mit voller Leistung über den gesamten Anzapfungsbereich.
2	Kennzeichnet „Anzapfung mit höchster Spannung“, „Anzapfung mit größtem Strom“ und den Bereich der Anzapfungen mit verringerter Leistung.



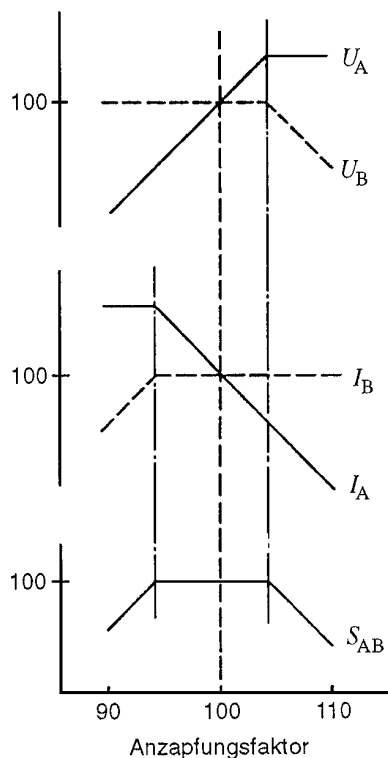
Wahlweise ist die Anzapfung mit größtem Strom dargestellt.

Bild 1a – Spannungsänderung bei konstantem Fluss CFVV



Wahlweise ist die Anzapfung mit größtem Strom dargestellt.

Bild 1b – Spannungsänderung bei veränderlichem Fluss VFVV



Der Umschaltunkt ist im Plus-Anzapfungsbereich dargestellt. Er stellt beides dar, eine Anzapfung mit höchster Spannung (U_A) und eine Anzapfung mit größtem Strom (I_B konstant, den Umschaltunkt nicht überschreitend). Eine zusätzliche, wahlweise Anzapfung mit größtem Strom (im CFVV-Bereich) ist ebenfalls dargestellt.

Bild 1c – Kombinierte Spannungsänderung CbVV

5.3 Anzapfungsleistung. Anzapfungen mit voller Leistung – Anzapfungen mit verringerter Leistung

Falls für Strom und Spannung für jede Anzapfung nichts anderes festgelegt ist, muss Folgendes gelten:

Alle Anzapfungen müssen Anzapfungen für volle Leistung sein, das heißt, der Bemessungs-Anzapfungsstrom für jede Anzapfung muss gleich der Bemessungsleistung geteilt durch die Bemessungs-Anzapfungsspannung für jede Stufe sein, ausgenommen bei folgenden Festlegungen.

Bei Volltransformatoren bis einschließlich 2 500 kVA mit einem Anzapfungsbereich nicht größer als $\pm 5\%$ muss der Bemessungs-Anzapfungsstrom an allen Minus-Anzapfungen gleich dem Bemessungs-Anzapfungsstrom der Hauptanzapfung sein. Das bedeutet, dass die Hauptanzapfung eine „Anzapfung mit größtem Strom“ ist.

Bei Transformatoren mit einem Anzapfungsbereich größer als $\pm 5\%$ können Einschränkungen bei den Werten für die Anzapfungsspannung oder den Anzapfungsstrom festgelegt werden, die anderenfalls erheblich über die Bemessungswerte hinausgehen würden. Wenn solche Einschränkungen festgelegt sind, sind die betroffenen Anzapfungen „Anzapfungen mit verringerter Leistung“. Dieser Abschnitt beschreibt solche Anordnungen.

Wenn der Anzapfungsfaktor von 1 abweicht, kann der Anzapfungsstrom für die Anzapfungen mit voller Leistung über den Bemessungsstrom in einer der Wicklungen hinausgehen. Wie Bild 1a zeigt, trifft dies auf die Minus-Anzapfungen der Wicklung mit Anzapfung unter CFVV und auf die Plus-Anzapfungen der nicht angezapften Wicklung unter VFVV (Bild 1b) zu. Um die entsprechende Verstärkung der in Betracht kommenden Wicklung zu begrenzen, besteht die Möglichkeit, eine Anzapfung mit größtem Strom festzulegen. Von dieser Anzapfung an sind dann alle weiteren Werte des Anzapfungsstroms der Wicklung als konstant festgelegt. Das bedeutet, dass die restlichen Anzapfungen in Richtung der äußersten Anzapfung Anzapfungen mit verringerter Leistung sind (siehe Bilder 1a, 1b und 1c).

Unter CbVV muss die „Anzapfung mit höchster Spannung“ – der Umschaltpunkt zwischen CFVV und VFVV – gleichzeitig die „Anzapfung mit größtem Strom“ sein, soweit nicht anders festgelegt. Das bedeutet, dass der Strom in der nicht angezapften Wicklung bis zur äußersten Plus-Anzapfung konstant bleibt (Bild 1c).

5.4 Festlegung der Anzapfungen in Anfrage und Auftrag

Der Käufer muss die Anforderungen für die Anzapfung entweder nach 5.4.1 oder nach 5.4.2 festlegen.

Der Käufer muss angeben, ob es vorgesehen ist, den Stufenschalter oder die Stufenschalter unter Last oder spannungsfrei zu betreiben.

In den Fällen, in denen die Spannungsänderung bei veränderlichem Fluss VFVV angewendet wird, ist es nur möglich, die Übersetzung der Auslegung über den Stellbereich an zwei Stellen anzupassen. Der Käufer muss festlegen, wo die Auslegungsübersetzung zur festgelegten Übersetzung passt, z. B. an den äußersten Anzapfungen, Haupt- und größter Anzapfung oder Haupt- und kleinster Anzapfung. Es wird angenommen, soweit nicht anders festgelegt, dass die beiden äußersten Anzapfungen die passenden Übersetzungen ergeben.

ANMERKUNG Abschnitt 5.4.1 verlangt, dass der Anwender die anzuzapfende Wicklung und die genaue Anzapfungsleistung festlegt. Abschnitt 5.4.2 legt die Gesamtspannung und die Stromanforderungen fest und fordert vom Hersteller die Auswahl der Wicklung oder der Wicklungen, die angezapft werden sollen. Eine solche Festlegung kann zu einer Vielzahl von möglichen Transformatorauslegungen führen. IEC 60076-8 gibt Einzelinformationen zu den Anzapfungsanordnungen und den Berechnungen des Spannungsfalls.

5.4.1 Konstruktionstechnische Festlegung

Die nachfolgenden Angaben sind erforderlich, um die Auslegung eines Transformators zu festzulegen.

- a) Welche Wicklung muss angezapft werden?
- b) Die Anzahl der Stufen und die Anzapfungsstufe (oder der Anzapfungsbereich und die Anzahl der Stufen). Wenn nicht anders festgelegt, muss angenommen werden, dass der Anzapfungsbereich symmetrisch zur Hauptanzapfung liegt und dass die Anzapfungsstufen in der Wicklung mit Anzapfung gleich sind. Wenn aus irgendwelchen Gründen die Auslegung ungleiche Stufen hat, muss das im Angebot angegeben werden.
- c) Die Kategorie der Spannungsänderung und falls die kombinierte Spannungsänderung angewendet wird, der Umschaltpunkt (Anzapfung mit höchster Spannung, siehe 5.2).
- d) Ob eine Begrenzung des größten Stroms (Anzapfungen mit verringerter Leistung) anzuwenden ist und, falls ja, für welche Anzapfungen.

Anstelle der Punkte c) und d) kann die Anwendung einer tabellarischen Darstellung der gleichen Art, wie sie auf dem Leistungsschild benutzt wird, von Vorteil sein (siehe Beispiel im Anhang B).

5.4.2 Funktionstechnische Festlegung

Diese Art der Festlegung dient dazu, dem Käufer zu erlauben, betriebliche Anforderungen festzulegen und nicht die Kategorie der Spannungsänderung oder die Angabe, welche Wicklung anzupapfen ist.

Dieses Festlegungsverfahren ist nicht auf Volltransformatoren bis einschließlich 2 500 kVA und mit einem Anzapfungsbereich, der $\pm 5\%$ überschreitet, anwendbar.

Die folgenden Informationen müssen vom Käufer in der Anfrage angegeben werden, zusätzlich zu der in Abschnitt 4 festgelegten Bemessungsspannung und Bemessungsleistung:

- 1) Richtung des Leistungsflusses (kann in beide Richtungen fließen).
- 2) Die Anzahl der Anzapfungsstufen und die Größe der Anzapfungsstufe, ausgedrückt als Prozentwert der Bemessungsspannung an der Hauptanzapfung. Falls der Anzapfungsbereich über die Haupt-

wicklung nicht symmetrisch ist, muss das angegeben werden. Falls die Anzapfstufen über den Anzapfbereich nicht gleich sind, muss das angegeben werden.

ANMERKUNG Es kann sein, dass der Änderungsbereich und die Anzahl der Stufen wichtiger sind, als die exakte Spannung an der Hauptanzapfung zu erreichen. In diesem Fall können der Änderungsbereich und die Anzahl der Stufen festgelegt werden. Zum Beispiel +5 % bis –10 % in 11 Stufen.

- 3) Welche Spannung muss zum Zweck der Festlegung der Bemessungs-Anzapfungsspannung geändert werden?

ANMERKUNG Die Bemessungs-Anzapfungsspannung ist erforderlich, um die Basis-Impedanz für jede Anzapfung zu bestimmen. Bei diesem Verfahren der Festlegung kann die Bemessungs-Anzapfungsspannung nicht zur Bestimmung der Bemessungs-Anzapfungsleistung verwendet werden.

- 4) Alle Anforderungen zur Festlegung des Windungsverhältnisses zwischen zwei bestimmten Wicklungen für einen Transformator mit mehr als zwei Wicklungen.
- 5) Niedrigster Leistungsfaktor bei Volllast (das hat Auswirkungen auf den Spannungsfall des Transformators).
- 6) Ob irgendeine Anzapfung oder ein Anzapfbereich als Anzapfung mit verringerter Leistung gelten kann.

Der Hersteller wird aus der Anordnung der Wicklungen, die Wicklung oder die Wicklungen auswählen, die angezapft sind. Der Transformator muss in der Lage sein, den Bemessungsstrom in der Sekundärwicklung in allen Anzapfstufen, die mit den oben genannten Betriebsbedingungen übereinstimmen, zu liefern, ohne die Anforderungen an die Übertemperatur nach den Festlegungen in IEC 60076-2 zu überschreiten.

Der Transformator muss so ausgelegt werden, dass er den Spannungen und Flüssen, die aus den oben angegebenen Lastbedingungen entstehen, ohne Beschädigung standhalten kann (einschließlich jeder festgelegten Überlastbedingung). Eine Berechnung zum Nachweis, dass diese Bedingung erfüllt ist, muss dem Käufer im Angebot mitgeliefert werden.

Ein Beispiel ist im Anhang B angegeben (Beispiel 4).

Anderenfalls kann der Anwender eine Reihe von Lastfällen unterbreiten, mit Angabe von Werten für die Wirk- und die Blindleistung (mit eindeutiger Angabe der Richtung des Leistungsflusses) und den zugehörigen Lastspannungen. Diese Fälle sollten die Extremwerte der Spannungsübersetzung unter voller und verringerter Leistung zeigen (siehe das „Sechs-Parameter-Verfahren von IEC 60076-8“). Auf der Grundlage dieser Information wird der Hersteller die Anzapfungswicklung auswählen und die Bemessungsgrößen und Anzapfungsgrößen in seinem Angebotsvorschlag festlegen. Eine Vereinbarung muss zwischen dem Hersteller und dem Käufer zur Auslegung der Anzapfungsgrößen getroffen werden.

5.5 Festlegung der Kurzschlussimpedanz

Bei Transformatoren ohne Anzapfungen, die eine Spannungsänderung von 5 % der Hauptanzapfung überschreiten, muss die Kurzschlussimpedanz eines Wicklungspaares nur auf die Hauptanzapfung festgelegt werden, entweder in Form von Ohm je Phase Z oder in Form eines prozentualen Anteils z bezogen auf die Bemessungsleistung und die Bemessungsspannung des Transformators (siehe 3.7.1). Anderenfalls kann die Impedanz nach einem der folgenden Verfahren bestimmt werden.

Bei Transformatoren mit Anzapfungen, die eine Spannungsänderung von 5 % der Hauptanzapfung überschreiten, müssen die Impedanzwerte in Form von Z oder z auf die Hauptanzapfung und die äußerste(n) Anzapfung(en) festgelegt werden. Bei solchen Transformatoren müssen die Impedanzwerte auch während der Prüfung der Kurzschlussimpedanz und Kurzschlussverluste gemessen werden (siehe 10.4) und müssen unter den in Abschnitt 9 angegebenen Grenzabweichungen betrachtet werden. Wenn die Impedanz als prozentualer Anteil z ausgedrückt wird, muss sie auf die Bemessungs-Anzapfungsspannung (dieser Anzapfung) und die Bemessungsleistung des Transformators (der Hauptanzapfung) bezogen werden.

ANMERKUNG Die Auswahl eines Impedanzwertes durch den Anwender unterliegt einander widersprechenden Forderungen: Begrenzung des Spannungsabfalls gegenüber der Begrenzung des Überstroms unter Netzfehler-

bedingungen. Wirtschaftliche Optimierung der Auslegung, unter Berücksichtigung der Verluste, führt zu einem bestimmten Impedanzwertebereich. Parallellauf mit einem vorhandenen Transformator erfordert eine zu diesem passende Impedanz (siehe IEC 60076-8, Abschnitt 8).

Wenn in einer Anfrage nicht nur die Festlegung der Impedanz auf der Hauptanzapfung, sondern auch ihre Änderung über den Anzapfungsbereich enthält, bedeutet dies eine wesentliche Einschränkung der Auslegung (die Anordnung der Wicklungen zueinander und ihre Geometrie). Beim Transformator-Pflichtenheft und bei der Auslegung muss auch in Betracht gezogen werden, dass große Änderungen der Impedanz zwischen den Anzapfstufen die Wirkung der Anzapfungen verringern oder verstärken können.

Alternativ können maximale und minimale Impedanzen in Form von Z oder z für jede Anzapfung über den gesamten Anzapfungsbereich festgelegt werden. Das kann mit Hilfe eines Diagramms oder einer Tabelle erfolgen (siehe Anhang C). Die Grenzen sollten, wo möglich, mindestens so weit auseinander liegen, um beidseitige Grenabweichungen nach Abschnitt 9, angewandt auf die Mittellinie zwischen ihnen, zu ermöglichen. Gemessene Werte dürfen nicht außerhalb der Grenzen liegen, die Grenzwerte ohne Grenabweichungen sind.

ANMERKUNG Die festgelegten maximalen und minimalen Impedanzen sollten eine Abweichung der Impedanz zulassen, die mindestens so groß ist, wie die Grenabweichungen, die in Abschnitt 9 angegeben sind. Eine engere Grenabweichung kann nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer verwendet werden.

ANMERKUNG Eine Impedanz basierend auf der Bemessungs-Anzapfungsspannung und der Bemessungsleistung des Transformators an der Hauptanzapfung bedeutet, dass das Verhältnis zwischen Ohm je Phase Z und dem prozentualen Anteil der Impedanz z für jede Stufe verschieden sein wird und auch davon abhängen wird, auf welcher Wicklung die Spannungsänderung festgelegt wird. Große Sorgfalt ist deshalb erforderlich, um sicherzustellen, dass die festgelegte Impedanz richtig ist. Das ist besonders für Transformatoren wichtig, für die ein Anzapfungsleistung festgelegt ist, die sich von der Bemessungsleistung an der Hauptanzapfung unterscheidet.

5.6 Kurzschlussverluste und Übertemperatur

- Wenn der Anzapfungsbereich innerhalb von $\pm 5\%$ und die Bemessungsleistung nicht über 2 500 kVA liegt, beziehen sich die Garantiewerte der Kurzschlussverluste und der Übertemperatur nur auf die Hauptanzapfung und die Erwärmungsprüfung wird auf dieser Anzapfung durchgeführt.
- Wenn der Anzapfungsbereich $\pm 5\%$ überschreitet oder die Bemessungsleistung über 2 500 kVA liegt, müssen die Garantiewerte der Verluste an der Position der Hauptanzapfung angegeben werden, soweit nicht anders vom Käufer im Anfragestadium festgelegt. Falls eine solche Anforderung besteht, muss angegeben werden, für welche Anzapfungen, zusätzlich zur Hauptanzapfung, die Kurzschlussverluste vom Hersteller garantiert werden müssen. Diese Kurzschlussverluste werden auf die zugehörigen Anzapfungsstromwerte bezogen. Die Grenzwerte der Übertemperatur sind für alle Anzapfungen bei der entsprechenden Anzapfungsleistung, Anzapfungsspannung und Anzapfungsstrom gültig.

Die Erwärmungs-Typprüfung darf nur, wenn nicht anders festgelegt, auf einer Anzapfung durchgeführt werden. Diese wird, wenn nicht anders vereinbart, die „Anzapfung mit größtem Strom“ sein (die gewöhnlich die Anzapfung mit den höchsten Kurzschlussverlusten ist). Die Gesamtverluste für die gewählte Anzapfung entsprechen der Prüfleistung zur Bestimmung der Flüssigkeitsübertemperatur während der Erwärmungsprüfung und der Anzapfungsstrom für diese Anzapfung ist der Bezugsstrom für die Bestimmung der Übertemperatur der Wicklung oberhalb der Flüssigkeit. Zu Informationen über Regeln und Prüfungen im Hinblick auf Übertemperaturen von flüssigkeitsgefüllten Transformatoren, siehe IEC 60076-2.

Grundsätzlich muss die Erwärmungsprüfung nachweisen, dass die Kühleinrichtung zur Abfuhr der größten Gesamtverluste auf jeder Anzapfung ausreichend ist und dass die Übertemperatur über Umgebungstemperatur jeder Wicklung auf jeder Anzapfung den festgelegten Höchstwert nicht überschreitet.

Der zweite Zweck erfordert normalerweise die Auswahl der „Anzapfung mit größtem Strom“ für die Prüfung. Der Betrag der einzuspeisenden Gesamtverluste zur Bestimmung der maximalen Flüssigkeitsübertemperatur muss dem höchsten Wert für jede Anzapfung entsprechen, selbst wenn diese eine andere als die für die Prüfung angeschlossene Anzapfung ist (siehe auch IEC 60076-2, 5.2).

ANMERKUNG 1 Bei einem Spartransformator sind die größten Ströme in den Reihen- und Parallelwicklungen normalerweise in zwei unterschiedlichen Stufenstellungen. Deshalb kann für die Prüfung eine Zwischenstellung ausgewählt werden, um zu ermöglichen, dass die Anforderungen nach IEC 60076-2 während der gleichen Prüfung an beiden Wicklungen erfüllt werden.

ANMERKUNG 2 Bei einigen Anzapfungsanordnungen führt die Anzapfungswicklung keinen Strom in der Anzapfstufe des größten Stroms. Deshalb kann, falls die Übertemperatur der Anzapfungswicklung bestimmt werden soll, eine andere Anzapfung gewählt werden oder eine gesonderte Prüfung vereinbart werden.

6 Kurzzeichen für Schaltung und Phasenverschiebung

Vollständige Informationen müssen auf dem Leistungsschild angegeben sein (siehe 7.2).

Diagramme mit Anschlusskennzeichnungen und mit Hinweis auf Einbaustromwandler, die verwendet werden, müssen auf dem Leistungsschild angegeben sein, zusammen mit den Textinformationen, die in Abschnitt 7 festgelegt sind.

6.1 Kurzzeichen für Schaltung und Phasenverschiebung von Drehstromtransformatoren und Einphasentransformatoren, die in einer Drehstrombank verbunden sind

Beispiele von Schaltungen in allgemeiner Anwendung werden mit Schaltbildern im Anhang D gezeigt.

6.1.1 Schaltgruppe

Die Stern-, Dreieck- oder Zickzackschaltung eines Satzes von Wicklungssträngen eines Drehstromtransformators oder von Wicklungen gleicher Spannung von Einphasentransformatoren, zusammengefasst in einer Drehstrombank, muss durch die Großbuchstaben Y, D oder Z für die Oberspannungswicklung (OS) und durch die Kleinbuchstaben y, d oder z für die Mittel- (MS) und die Unterspannungswicklungen (US) angegeben werden.

Falls der Neutralpunkt einer Wicklung in Stern- oder Zickzackschaltung herausgeführt ist, muss die Kennzeichnung YN (yn) bzw. ZN (zn) sein. Das ist auch auf Transformatoren anwendbar, bei denen die Neutralpunkt-Anschlusspunkte für jeden Wicklungsstrang getrennt herausgeführt, aber zusammengeschaltet werden, um für den Service einen Neutralpunkt zu bilden. Für ein Wicklungspaar in Sparschaltung wird das Kurzzeichen für die Unterspannungswicklung durch den Buchstaben a ersetzt.

Bei einem Drehstromtransformator mit offenen Wicklungen (die nicht im Transformator zusammengeschaltet sind, sondern bei denen beide Enden jedes Wicklungsstrangs zu Anschlusspunkten herausgeführt sind, z. B. die Außenleiterwicklungen von Längsregler- und Phasenschieber-Transformatoren) lautet die Angabe III (OS) oder iii (Mittel- oder Unterspannungswicklungen).

Buchstabenkennzeichnungen für die verschiedenen Wicklungen eines Transformators werden in absteigender Reihenfolge der Bemessungsspannungen unabhängig vom vorgesehenen Leistungsfluss angegeben. Dem Wicklungsschaltungsbuchstaben für jede Mittel- und Unterspannungswicklung folgt unmittelbar seine Phasenverschiebungs-„Stundenzahl“ (siehe Begriff 3.10.6).

6.1.2 Stundenzahl-Schreibweise

Es gelten folgende Vereinbarungen der Schreibweise.

Die Schaltbilder zeigen oben die Oberspannungswicklung und darunter die Unterspannungswicklung. (Die Richtungen der induzierten Spannungen sind auf dem oberen Teil der Wicklungen wie in Bild 2a angegeben.)

Das Zeigerdiagramm der Oberspannungswicklung zeigt mit der Phase I auf 12 Uhr. Der Zeiger der Phase I der Unterspannungswicklung zeigt in die Richtung der induzierten Spannung, die sich für die gezeigte Schaltung ergibt. Das Stundenzahlsymbol ist die Stunde, auf die die Unterspannung zeigt.

Der Drehsinn der Zeigerdiagramme ist im Gegenuhrzeigersinn und ergibt die Folge I – II – III.

ANMERKUNG Die Nummerierung ist willkürlich. Die Anschlusskennzeichnung am Transformator folgt der nationalen Praxis. Eine Anleitung kann man in IEC 60616 finden.

Offene Wicklungen haben keine Stundenzahl-Schreibweise, weil das Phasenverhältnis dieser Wicklungen mit anderen Wicklungen von der äußeren Beschaltung abhängt.

6.1.3 Wicklungen, die bestimmungsgemäß nicht belastet werden

Das Vorhandensein einer Ausgleichs – oder Prüfwicklung (eine im Dreieck oder im Stern geschaltete Wicklung, die nicht mit einer äußeren Drehstromlast abgeschlossen ist) wird, unter Verwendung des Kurzzeichens +d oder +y, nach dem Kurzzeichen für die belastbaren Wicklungen angegeben, entsprechend ihrer Schaltung, wie in den folgenden Beispielen gezeigt.

Kurzzeichen: YNa0+d oder YNa0+y

6.1.4 Umschaltbare Wicklungen

Falls ein Transformator für eine umkonfigurierbare Wicklungsschaltung angegeben ist, wird die alternative Koppelspannung und die Schaltung hinter der Lieferkonfiguration in Klammern gesetzt, wie in den folgenden Beispielen gezeigt:

Wenn die Oberspannung 220 kV oder 110 kV (umschaltbare Spannung) sein kann, aber eine Sternschaltung für beide Spannungen gefordert wird, der Transformator in einer Konfiguration für 220 kV geliefert wird und die Unterspannung 10,5 kV in Dreieckschaltung ist:

Kurzzeichen: 220(110)/10,5 kV YNd11

Wenn die Unterspannung 11 kV in Sternschaltung und 6,35 kV in Dreieckschaltung sein kann, der Transformator in einer Konfiguration für 11 kV in Sternschaltung geliefert wird und die Oberspannung 110 kV in Sternschaltung ist:

Kurzzeichen: 110/11(6,35) kV YNy0(d11)

Wenn die Unterspannungszeigergruppe umkonfigurierbar ist, ohne die Bemessungsspannung zu ändern (11 kV in diesem Beispiel), der Transformator in d11 geliefert wird und die Oberspannung 110 kV in Sternschaltung ist:

Kurzzeichen: 110/11 kV YNd11(d1)

6.1.5 Beispiele

Beispiele werden nachfolgend gezeigt und einige ihrer zeichnerischen Darstellungen in den Bildern 2a und 2b.

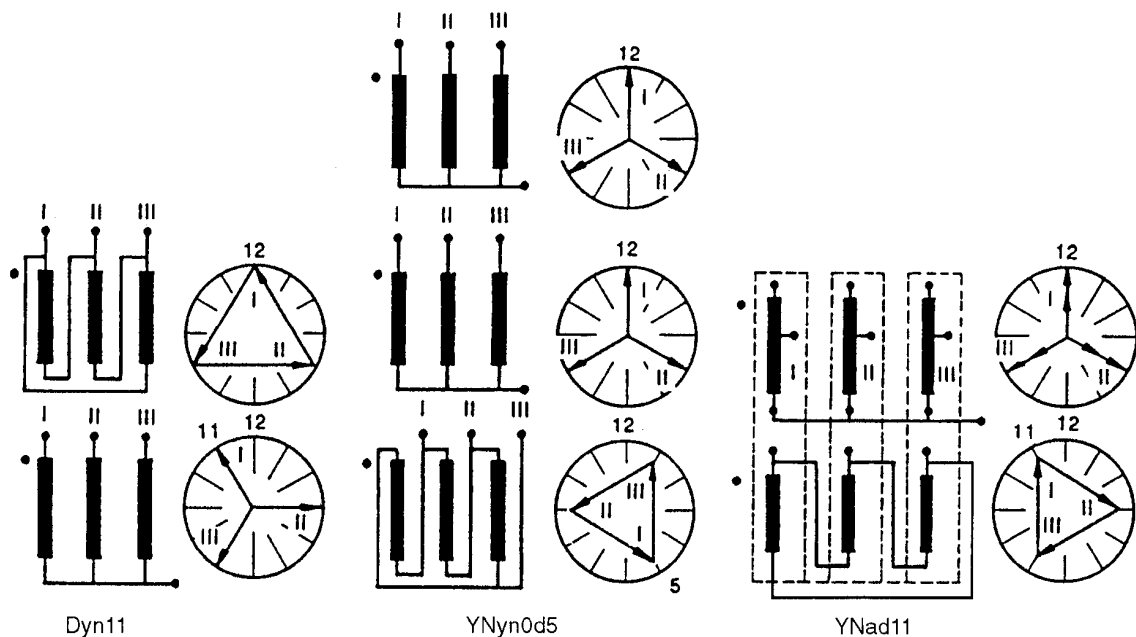


Bild 2a – Veranschaulichung der „Stundenzahl“-Schreibweise

- Ein Transformator mit der Oberspannungswicklung, bemessen für 20 kV, in Dreieckschaltung, der Unterspannungswicklung, bemessen für 400 V, in Sternschaltung mit herausgeführtem Neutralpunkt. Die Unterspannungswicklung eilt der Oberspannungswicklung um 300 ° nach.

Kurzzeichen: 20 000/400 V Dyn11

- Ein Dreiwicklungstransformator mit 123 kV-Oberspannungswicklung in Sternschaltung mit herausgeführtem Neutralpunkt. Eine Mittelspannungswicklung für 36 kV in Sternschaltung mit herausgeführtem Neutralpunkt, in Phase mit der Oberspannungswicklung aber nicht in Sparschaltung und einer dritten Wicklung für 7,2 kV in Dreieckschaltung, 150 ° nacheilend.

Kurzzeichen: 123/36/7,2 kV YNyn0d5

- Eine Gruppe von drei Einphasentransformatoren, ausgelegt für eine 400 kV-Oberspannung und eine 130 kV-Mittelspannung mit 22 kV-Tertiärwicklungen. Die Wicklungen in Sparschaltung sind im Stern geschaltet, während die Tertiärwicklungen im Dreieck geschaltet sind. Die Wicklung in Dreieckschaltung eilt der Oberspannungswicklung um 330 ° nach.

Kurzzeichen: $\frac{400}{\sqrt{3}} / \frac{130}{\sqrt{3}} / 22 \text{ kV}$ YNa0d11

Falls die Dreieckswicklung nicht auf drei Außenleiter-Anschlusspunkte herausgeführt wird, sondern nur als Ausgleichswicklung vorgesehen ist, würde das im Kurzzeichen durch ein Pluszeichen dargestellt. Es würde dann keine Schreibweise für die Phasenverschiebung der Ausgleichswicklung angewendet.

Kurzzeichen: $\frac{400}{\sqrt{3}} / \frac{130}{\sqrt{3}} / 22 \text{ kV}$ YNa0+d

Das Kurzzeichen würde für einen Drehstrom-Spartransformator mit derselben internen Schaltung gleich sein, mit Ausnahme der Spannungs-Schreibweise wie im nachfolgenden Beispiel.

- Ein Drehstromtransformator, ausgelegt für eine 400 kV-Oberspannung und eine 130 kV-Mittelspannung mit 22 kV-Tertiärwicklungen. Die Wicklungen in Sparschaltung sind im Stern geschaltet, während die Tertiärwicklungen im Dreieck geschaltet sind. Die Wicklung in Dreieckschaltung eilt der Oberspannungswicklung um 330° nach.

Kurzzeichen: 400/130/22 kV YNa0d11

Falls die Dreieckswicklung nicht auf drei Außenleiter-Anschlusspunkte herausgeführt wird, sondern nur als Ausgleichswicklung vorgesehen ist, würde das im Kurzzeichen durch ein Pluszeichen dargestellt. Es würde dann keine Schreibweise für die Phasenverschiebung der Stabilisierungswicklung angewendet.

Kurzzeichen: 400/130/22 kV YNa0+d

Ein Drehstrom-Maschinenaufspanntransformator, ausgelegt für ein 20 kV-Netz und eine 8,4 kV-Generatorseite. Die mit dem Generator verbundenen Wicklungen sind im Dreieck geschaltet, während die netzseitigen Wicklungen im Stern geschaltet sind. Die Dreieckswicklung eilt der Oberspannungswicklung um 330° nach.

Kennzeichen: 20/8.4 kV YNd11

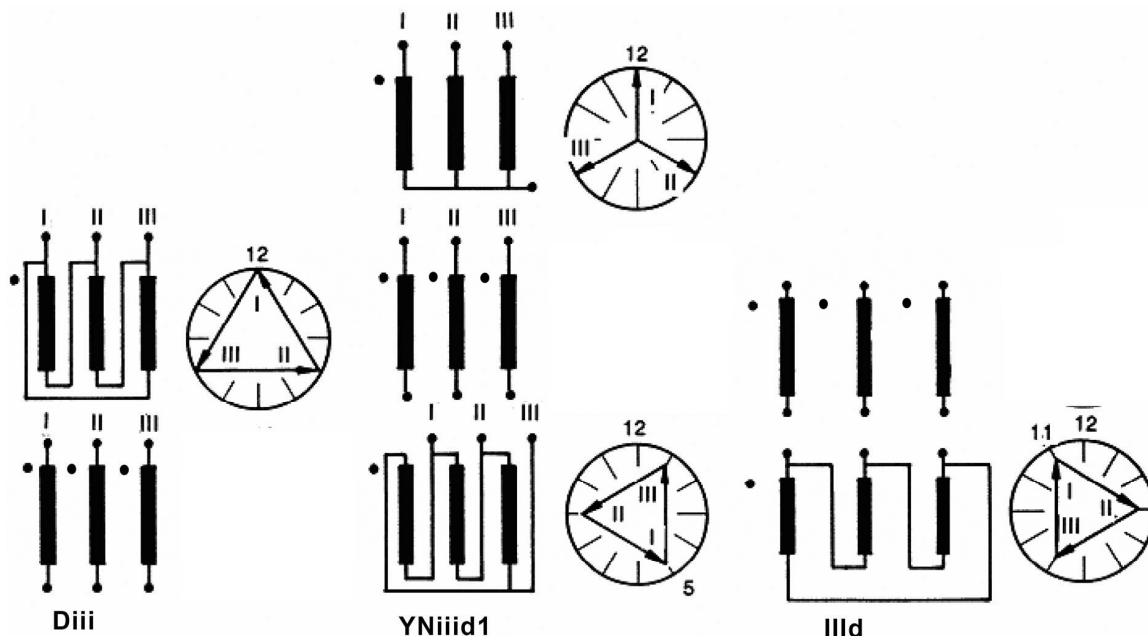


**Bild 2b – Veranschaulichung der „Stundenzahl“-Schreibweise
für Transformatoren mit offenen Wicklungen**

- Ein Drehstromtransformator, ausgelegt für eine 20 kV-Oberspannung in Dreieckschaltung und mit einer offenen 10 kV-Wicklung

Kennzeichen: 20/10 kV Diii

- Ein Drehstrom-Dreiwicklungstransformator, ausgelegt für eine 220 kV-Oberspannung in Sternschaltung mit einer offenen 40 kV-Wicklung und einer dritten 10 kV-Wicklung in Dreieckschaltung.

Kennzeichen: 220/40/10 kV YNiid1

- Ein Drehstrom-Zusatztransformator, ausgelegt für ein 400 kV-Netz und mit einer 40 kV-Erregerwicklung in Dreieckschaltung.

Kennzeichen: 400/40 kV IIId

6.2 Kurzzeichen für Schaltung und Phasenverschiebung von Einphasentransformatoren, die nicht in einer Drehstrombank sind

6.2.1 Schaltgruppe

Die Schaltung eines Satzes von Wicklungssträngen eines Einphasentransformators wird durch den Großbuchstaben I für die Oberspannungswicklung (OS) und den Kleinbuchstaben i für die Mittel- (MS) und die Unterspannungswicklungen (US) angegeben.

Buchstabenkennzeichnungen für die verschiedenen Wicklungen eines Transformators werden in absteigender Reihenfolge der Bemessungsspannungen unabhängig vom vorgesehenen Leistungsfluss angegeben. Dem Wicklungsschaltungsbuchstaben für jede Mittel- und Unterspannungswicklung folgt unmittelbar seine Phasenverschiebungs-„Stundenzahl“ (siehe Begriff 3.10.6).

Für ein Wicklungspaar in Sparschaltung wird das Kurzzeichen für die Unterspannungswicklung durch den Buchstaben a ersetzt.

6.2.2 Stundenzahl-Schreibweise

Die Stundenzahl von Einphasentransformatoren wird wie bei den Drehstromtransformatoren bestimmt, sie kann aber nur 0 sein, wenn beide Wicklungen phasengleich sind oder 6, wenn sie um 180 ° phasenverschoben sind.

6.2.3 Wicklungen, die bestimmungsgemäß nicht belastet werden

Das Vorhandensein einer Prüf – oder Zusatzwicklung, die nicht mit einer äußeren Last abgeschlossen ist, wird nach dem Kurzzeichen für die belastbaren Wicklungen, mit dem Kurzzeichen +i angegeben, wie im Beispiel unten gezeigt.

Kennzeichen: li0+i

6.2.4 Umkonfigurierbare Wicklungen

Falls ein Transformator für eine umkonfigurierbare Wicklungsschaltung angegeben ist, wird die alternative Koppelspannung und die Schaltung hinter der Lieferkonfiguration in Klammern gesetzt, wie in den folgenden Beispielen gezeigt:

- Wenn die Oberspannung 220 kV oder 110 kV (umschaltbare Spannung) sein kann, aber dieselbe Schaltung für beide Spannungen gefordert wird:

Kennzeichen: 220(110)/27,5 kV li0

- Wenn die Unterspannung 11 kV in 0 und 5,5 kV in 6 sein kann, der Transformator in 11 kV und 0-Konfiguration geliefert wird und die Oberspannung 110 kV ist:

Kennzeichen: 110/11(5,5) kV li0 (i6)

- Wenn die Unterspannungszeigergruppe umkonfigurierbar ist, ohne die Bemessungsspannung zu ändern (11 kV in diesem Beispiel), der Transformator in i0 geliefert wird und die Oberspannung 110 kV in Sternschaltung ist:

Kennzeichen: 110/11 kV li0 (i6)

6.2.5 Beispiele

Beispiele werden nachfolgend gezeigt und einige ihrer zeichnerischen Darstellungen in Bild 2c. Es gelten dieselben Vereinbarungen wie in Bild 2a.

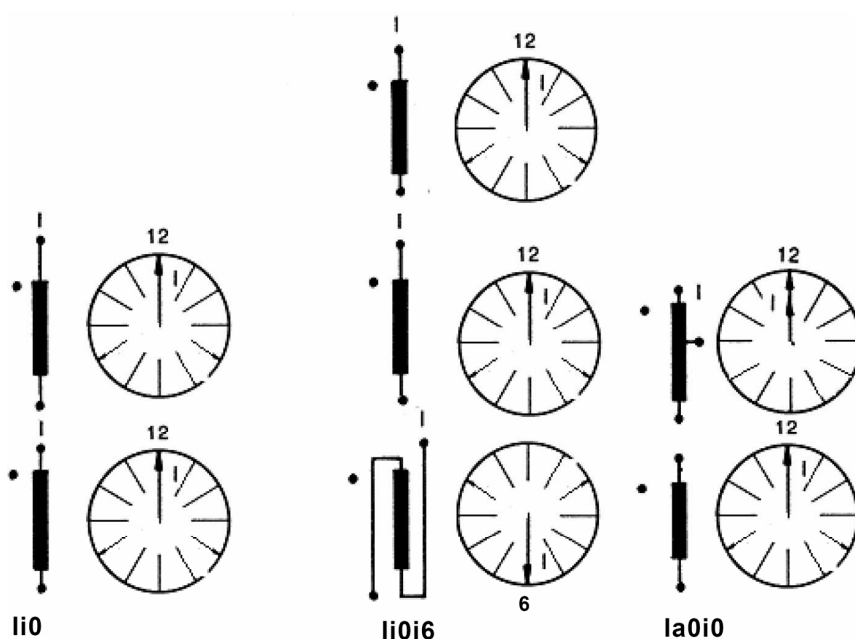


Bild 2c – Veranschaulichung der „Stundenzahl“-Schreibweise

- Ein Transformator mit der Oberspannungswicklung, bemessen für 20 kV, die Unterspannungswicklung, bemessen für 400 V. Die Unterspannungswicklung ist in Phase mit der Oberspannungswicklung.
Kennzeichen: 20 000/400 V li0
- Ein Dreiwicklungstransformator mit einer 123 kV-Oberspannung, eine Mittelspannungswicklung für 36 kV in Phase mit der Oberspannungswicklung aber nicht in Sparschaltung und einer dritten Wicklung für 7,2 kV, 180 ° nacheilend.
Kennzeichen: 123/36/7,2 kV li0i6
- Ein Phasenschieber-Spartransformator, ausgelegt für eine 400 kV-Oberspannung und eine 130 kV-Mittelspannung mit 22 kV-Tertiärwicklungen, alle in Phase.
Kennzeichen: 400/130/22 kV Ia0i0
- Falls die dritte Wicklung bestimmungsgemäß nicht belastet werden soll, würde das im Kurzzeichen durch ein Pluszeichen dargestellt. Es würde dann keine Schreibweise für die Phasenverschiebung der dritten Wicklung angewendet.
Kennzeichen: 400/130/22 kV li0+i

7 Leistungsschilder

Der Transformator muss mit einem Leistungsschild aus witterungsbeständigem Werkstoff geliefert werden, das an sichtbarer Stelle angebracht ist und die unten angegebenen entsprechenden Punkte enthält. Die Eintragungen auf dem Leistungsschild müssen unlöschar gekennzeichnet sein.

7.1 Angaben, die in jedem Fall zu machen sind

- a) Art des Transformators (z. B. Transformator, Spartransformator, Zusatztransformator, usw.);
- b) Nummer dieser Norm;
- c) Name des Herstellers;
- d) Fertigungsnummer des Herstellers;
- e) Baujahr;
- f) Phasenanzahl;