

DIN EN 50629

ICS 29.180

Ersatz für
DIN EN 50629:2016-03
Siehe Anwendungsbeginn

**Energiekennwerte von Großleistungstransformatoren
($U_m > 36$ kV oder $S_r \geq 40$ MVA);
Deutsche Fassung EN 50629:2015 + A1:2016 + A2:2018**

Energy performance of large power transformers
($U_m > 36$ kV or $S_r \geq 40$ MVA);

German version EN 50629:2015 + A1:2016 + A2:2018

Performance énergétique des transformateurs de grande puissance
($U_m > 36$ kV ou $S_r \geq 40$ MVA);

Version allemande EN 50629:2015 + A1:2016 + A2:2018

Gesamtumfang 48 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2015-06-25 angenommene Europäische Norm und die am 2016-05-23 angenommene Änderung A1 und die am 2017-11-13 angenommene Änderung A2 als DIN-Norm ist 2019-03-01.

Für DIN EN 50629:2016-03 besteht eine Übergangsfrist bis 2020-11-13.

Nationales Vorwort

Vorausgegangene Norm-Entwürfe: E DIN EN 50629/A1:2016-10 und E DIN EN 50629/A2:2018-11.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium UK 321.2 „Transformatoren, Leistungen und Abmessungen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

- A1** Die Änderung A1 wurde eingearbeitet und mit einer senkrechten Linie und A1 am linken Textrand gekennzeichnet.
- A2** Die Änderung A2 wurde eingearbeitet und mit einer senkrechten Linie und A1 am linken Textrand gekennzeichnet.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 50629:2016-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Folgende Abschnitte bzw. Kapitel wurden überarbeitet bzw. erweitert:
- Abschnitt 1, Anwendungsbereich;
 - Abschnitt 3, Begriffe;
 - 4.1, Allgemeines;
 - 5.1, Normierte Werte für den PEI-Mindestwert;
 - 5.3, Daten auf dem Leistungsschild;
 - 5.5.2, Überprüfungsverfahren für die Marktaufsicht.

Frühere Ausgaben

DIN EN 50629: 2016-03

Energiekennwerte von Großleistungstransformatoren
($U_m > 36$ kV oder $S_r \geq 40$ MVA)

Energy performance of large power transformers
($U_m > 36$ kV or $S_r \geq 40$ MVA)

Performance énergétique des transformateurs
de grande puissance
($U_m > 36$ kV ou $S_r \geq 40$ MVA)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2015-06-25, die A1 am 2016-05-23 und die A2 am 2017-11-13 angenommen. 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 CEN-CENELEC Management Centre 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 CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

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



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

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	5
Europäisches Vorwort zur Änderung A1	5
Europäisches Vorwort zur Änderung A2	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	9
4 Berechnung von Wirkungsgrad und Effizienzindex.....	12
4.1 Allgemeines	12
4.2 Allgemeine Gleichung für den Wirkungsgrad	13
4.3 Maximaler Wirkungsgrad.....	14
5 Mindestwerte für den maximalen Wirkungsgrad	14
5.1 Normierte Werte für den PEI-Mindestwert	14
5.2 Optimierung von Transformatorverlusten in Abhängigkeit von ihrer Anwendung.....	16
5.3 Daten auf dem Leistungsschild	17
5.4 Bestandsdaten des Transformators	17
5.5 Grenabweichungen, Messunsicherheiten und Marktaufsicht.....	17
5.5.1 Werksabnahme	17
5.5.2 Überprüfungsverfahren für die Marktaufsicht.....	18
6 Gegenwärtig ausgenommene Transformorkategorien.....	19
7 Kapitalisierung von Verlusten	19
Anhang A (normativ) PEI-Mindestwerte für Trocken-Großleistungstransformatoren.....	20
Anhang B (informativ) Gleichungen, Kurven und Berechnungen des maximalen Wirkungsgrads	21
B.1 Berechnung von k_{PEI}	21
B.2 Kurve von Wirkungsgrad und Lastfaktor mit Verlustbeiträgen	22
B.2.1 Allgemeines	22
B.2.2 Beispiel für einen typischen ONAN- oder ONAN/ONAF-Transformator	22
B.2.3 Beispiel für einen typischen ONAN- oder ONAN/ONAF-Transformator	23
B.3 Kurven der vorgeschriebenen PEI-Werte und der Bemessungsleistung	24
B.4 Unabhängigkeit des PEI von der Bemessungsleistung	24
B.5 Berechnung von Verlusten aus PEI, k_{PEI} und S_r	25
Anhang C (informativ) Formblatt für die notwendigen Daten	26
C.1 Beispiel für ein Formblatt für die notwendigen Daten	26
C.2 Anweisung zum Ausfüllen der Tabelle	27
Anhang D (informativ) Referenzwerte für den maximalen Wirkungsgrad	28
D.1 Allgemeines	28
D.2 Referenzzahlen	28

	Seite
D.3 Abweichungen von den Referenzwerten	33
D.3.1 Allgemeines	33
D.3.2 Spartransformatoren	33
D.3.3 Spannungs- und Isolationspegel.....	33
D.3.4 Transformatoren mit mehr als zwei Wicklungen	33
D.3.5 Kurzschlussimpedanz	33
D.3.6 Anzapfungsbereich	34
D.3.7 Verluste an anderen Anzapfungen als der Bemessungsanzapfung.....	34
D.3.8 Einzelne Phasen	35
D.4 Ausnahmen von Referenzwerten.....	35
D.4.1 Allgemeines	35
D.4.2 Transformatoren mit einer unüblichen Kombination von Wicklungen und Spannungen	35
D.4.3 Einschränkungen bei der Installation	35
D.4.4 Offshore-Installation	35
D.4.5 Einschränkungen für den Transport.....	35
D.4.6 Transformatoren für eine zeitweilige Installation.....	35
D.4.7 Stromrichtertransformatoren	35
D.4.8 Trockentransformatoren und gasisolierte Transformatoren.....	36
D.4.9 Weitere Ausnahmen.....	36
Anhang E (informativ) Kapitalisierung von Verlusten	37
E.1 Allgemeine Theorie und Konzept der Kapitalisierung	37
E.2 Einfluss von Kapitalisierungswerten	37
E.3 Gleichung für die Kapitalisierung	39
E.3.1 Allgemeines	39
E.3.2 Berechnung des Faktors A.....	39
E.3.3 Berechnung des Faktors B.....	40
E.3.4 Anwendung der Faktoren A und B bei der Bewertung von Ausschreibungen.....	42
E.3.5 Ermittlung der Faktoren A und B.....	42
Anhang F (informativ) Grundlagen für zulässige Prüfabweichungen im Rahmen der Marktaufsicht	44
Anhang ZZ (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den Anforderungen der Verordnung (EU) Nr. 548/2014 der Kommission vom 21. Mai 2014 zur Umsetzung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf Kleinleistungs-, Mittelleistungs- und Großleistungstransformatoren	45
Literaturhinweise	46
Bilder	
Bild B.1 – Graphik beschreibt die Beziehung zwischen Wirkungsgrad und Lastfaktor.....	23
Bild B.2 – Graphik beschreibt die Beziehung zwischen Wirkungsgrad und Lastfaktor.....	24
Bild B.3 – Kurve des Mindestwertes für den maximalen Wirkungsgrad	24
Bild D.1 – PEI-Verteilung.....	30
Bild D.2 – PEI-Verteilung nach Spannungsklassen	31

	Seite
Bild D.3 – PEI-Verteilung nach Einsatz	31
Bild D.4 – Vergleich der statistischen Verteilung von PEI mit T1 und T2.....	32
Bild D.5 – Vergleich der Referenzwerte für das effektive Perzentil mit T1 und T2	32
Bild E.1 – Beispiel für den Einfluss der Kapitalisierungskosten auf die Transformatorverluste	38
Bild E.2 – Veranschaulichung des Lastprofils	40
Bild F.1 – Kombination von Verlustwerten.....	44
 Tabellen	
Tabelle 1 – Mindestwerte für den maximalen Wirkungsgrad von Öltransformatoren	15
Tabelle A.1 – Mindestanforderungen an den maximalen Wirkungsgrad von Trocken-Großleistungstransformatoren	20
Tabelle B.1	22
Tabelle B.2.....	23
Tabelle C.1.....	26
Tabelle D.1 – Referenzzahlen nach der Anzahl von Einheiten (PEI).....	29
Tabelle D.2 – Referenzzahlen nach Designs (PEI).....	29

Vorwort

Dieses Dokument (EN 50629:2015) wurde vom Technischen Komitee CLC/TC 14 „Power transformers“ erarbeitet.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2016-06-25
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2018-06-25

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC [und/oder CEN] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erstellt, das von der Europäischen Kommission und der Europäischen Freihandelszone an CENELEC gegeben wurde, und unterstützt Anforderungen der Verordnung der Kommission (EU).

Zum Zusammenhang mit den Anforderungen der Verordnung der Kommission (EU) siehe den informativen Anhang ZZ, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

Europäisches Vorwort zur Änderung A1

Dieses Dokument (EN 50629:2015/A1:2016) wurde von CLC/TC 14 „Leistungstransformatoren“ erarbeitet.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2017-05-23
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2019-05-23

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC [und/oder CEN] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erstellt, das von der Europäischen Kommission und der Europäischen Freihandelszone an CENELEC gegeben wurde, und unterstützt grundlegende Anforderungen der Verordnung der Kommission (EU).

Zum Zusammenhang mit der Verordnung der Kommission (EU) siehe den informativen Anhang ZZ, der Bestandteil von EN 50629:2015 ist.

A1

Europäisches Vorwort zur Änderung A2

Dieses Dokument (EN 50629:2015/A2:2018) wurde von CLC/TC 14 „Leistungstransformatoren“ erarbeitet.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2017-11-13^{N1}
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2020-11-13

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC [und/oder CEN] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erstellt, das von der Europäischen Kommission und der Europäischen Freihandelszone an CENELEC gegeben wurde, und unterstützt grundlegende Anforderungen der Verordnung der Kommission (EU).

Zum Zusammenhang mit der Verordnung der Kommission (EU) siehe den informativen Anhang ZZ, der Bestandteil von EN 50629:2015 ist.

^{N1} Nationale Fußnote: Das DOP wurde nachträglich durch CLC korrigiert und lautet nun 2018-11-13.

Einleitung

Diese Europäische Norm wurde im Auftrag der Europäischen Kommission unter dem Mandat EC 24/2011 erstellt und gilt für Großleistungstransformatoren im Rahmen der Verordnung (EU) Nr. 548/2014 der Kommission vom 21. Mai 2014.

Für Großleistungstransformatoren (Large Power Transformers, LPT) ist die strenge Definition des Wirkungsgrades basierend auf der abgegebenen und der aufgenommenen Wirkleistung alleine nicht zur Bewertung der Energiekennwerte geeignet, da die Verluste entweder konstant (Leerlaufverluste) oder vom Strom (Kurzschlussverluste) abhängig sind und bei konventioneller Wirkungsgradbetrachtung daher null ergeben würden, wenn nur Blindleistung übertragen wird (die Übertragung von Blindleistung ist sehr wichtig für den Betrieb von Netzen). Daher ist die übliche Berechnung des Wirkungsgrades für einen Vergleich von Bauformen von Transformatoren, die innerhalb eines Spektrums von Betriebsbedingungen eingesetzt werden können, nicht zweckmäßig.

Im Allgemeinen können für Kurzschluss- und Leerlaufverluste Großleistungstransformatoren keine optimalen Werte für eine bestimmte Bemessungsleistung angegeben werden, da diese durch eine Vielzahl von unterschiedlichen Anwendungen beeinflusst wird.

Zur Festlegung einer Kennzahl für eine spezifische Transformatorauslegung, die innerhalb eines großen Bereiches anwendbar ist, anstelle einer Zahl, die sich in Abhängigkeit von den Systembedingungen im Sekundentakt ändert, muss der Energiekennwert von Leistungstransformatoren beschrieben werden. Für diesen Zweck ist ein Energiekennwert, und zwar der maximale Wirkungsgrad (Peak Efficiency Index, PEI) aufgestellt worden, der auf den Wirkleistungsverlusten und der abgegebenen Gesamtleistung beruht und unabhängig vom Phasenwinkel der Last, vom Lastfaktor und von der Bemessungsleistung ist.

Dieses Dokument stellt ein normiertes Verfahren zur Bewertung der Energiekennwert von Leistungstransformatoren mit Hilfe des maximalen Wirkungsgrades (PEI) zur Verfügung, gibt Referenzwerte für den PEI an und die Gründe dafür, warum bestimmte Transformatoren Wirkungsgrade aufweisen, die höher oder niedriger sind als die Referenzwerte.

Die Festlegung eines angemessenen Wertes für den Mindestwert des maximalen Wirkungsgrades wird den Gesamtwirkungsgrad der installierten Transformatoren beeinflussen, da jene Einheiten mit einem schlechten Wirkungsgrad ausgeschlossen werden, mit Ausnahme von bestimmten Transformatoren, die speziellen Einschränkungen unterliegen.

Mit einem Mindestwert für den maximalen Wirkungsgrad wird eine Untergrenze für den Wirkungsgrad eines Transformators festgesetzt, jedoch ist die Anwendung einer angemessenen Verlustkapitalisierung beim Kauf von Transformatoren eine Voraussetzung für die Auswahl eines Transformators mit dem optimalen, wirtschaftlich gerechtfertigten Wirkungsgrad. Anwender, die sich nicht der Verlustkapitalisierung bedienen, sollten dringend die Vorteile dieser Vorgehensweise prüfen.

Bei großen Einheiten über 100 MVA kann der wirtschaftlich erreichbare Wirkungsgrad eines Transformators durch die technischen Parameter des Netzes (z. B. Impedanz) sowie spezifische Rahmenbedingungen für den Transport und die Aufstellung begrenzt sein. Da die betreffenden Einheiten normalerweise von den Betreibern großer Energieübertragungssysteme erworben werden, die in der Regel hohe Verlustkapitalisierungswerte verwenden, entsprechen diese Einheiten von über 100 MVA hinsichtlich des Wirkungsgrades üblicherweise bereits dem Stand der Technik.

Bei Transformatoren mit unüblichen Konfigurationen und/oder mit erheblichen Größen- oder Massebeschränkungen kann es aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen unzweckmäßig sein, die Mindestanforderung an den Wirkungsgrad zu erfüllen. In diesen Fällen ist der Nachweis des höchsten sinnvollen Wirkungsgrades zulässig (siehe Abschnitt 6).

Es wird angemerkt, dass der in diesem Dokument beschriebene Ansatz der Energiekennwerte grundsätzlich auch auf Transformatoren anwendbar ist, die nicht zum Anwendungsbereich dieser Norm gehören.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm gilt für neue Dreiphasen- und Einphasen-Leistungstransformatoren mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel von mehr als 36 kV und einer Bemessungsleistung von mindestens 5 kVA oder einer Bemessungsleistung von mindestens 40 MVA unabhängig von der höchsten Spannung für Betriebsmittel.

Der Anwendungsbereich dieser Europäischen Norm erstreckt sich auf:

- das Definieren der angemessenen Energieeffizienzkriterien;
- das Festlegen von Mindestwerten für die Energiekennzahl anhand einer Bewertung der Energieeffizienz der in den letzten 10 Jahren in Europa installierten Transformatoren;
- das Vorschlagen von höheren Mindestenergiekennwert, um die Energieeffizienz neuer Transformatoren zu erhöhen;
- das Aufstellen eines Leitfadens für die Betrachtung der Gesamtbetriebskosten (Total Cost of Ownership, TCO).

Diese Europäische Norm beinhaltet auch ein Formblatt zur Erfassung der Effizienzdaten, mit dem zukünftig Referenzdaten für den Wirkungsgrad übermittelt werden können.

ANMERKUNG 1 Die vorliegende Norm behandelt Transformatoren nach der Verordnung (EU) Nr. 548/2014 der Kommission und gibt außerdem besondere Hinweise für Einphasentransformatoren, Spartransformatoren, Mehrwicklungstransformatoren und Transformatoren mit OD- und OF-Kühlsystemen, die notwendig sind um die korrekte Anwendung der Energiekennwerte für die einzelnen Kategorien von Transformatoren sicherzustellen.

Transformatoren, die nicht zum Anwendungsbereich dieses Dokumentes gehören, sind:

- Messwandler, die eigens zur Versorgung von Messgeräten, Zählern, Relais und ähnlichen Geräten ausgelegt sind;
- Transformatoren mit Unterspannungswicklungen, die eigens zur Verwendung mit Gleichrichtern ausgelegt sind, um Gleichstrom zu liefern;
- Transformatoren, die eigens dazu ausgelegt sind, direkt mit einem Ofen verbunden zu werden;
- Transformatoren, die eigens zur Verwendung in Offshore-Anlagen und schwimmenden Offshore-Anlagen ausgelegt sind;
- Transformatoren, die eigens für den Notfallbetrieb ausgelegt sind;
- Transformatoren und Spartransformatoren, die eigens für die Stromversorgung von Eisenbahnen ausgelegt sind;
- Erdungstransformatoren, d. h. Dreiphasentransformatoren, die einen Sternpunkt für die Erdung einer Anlage bieten;
- auf Schienenfahrzeugen montierte Fahrzeugtransformatoren, d. h. direkt oder über einen Umformer mit einer Wechselstrom- oder Gleichstromoberleitung verbundene Transformatoren zur Verwendung in ortsfesten Eisenbahnanlagen;
- Anfahrtransformatoren, die eigens für das Einschalten von Drehstrommotoren ausgelegt sind, um Spannungseinbrüche zu verhindern;
- Prüftransformatoren, die eigens für die Verwendung in einem Stromkreis zur Erzeugung einer bestimmten Spannung oder Stromstärke zur Prüfung elektrischer Betriebsmittel ausgelegt sind;
- Schweißtransformatoren, die eigens zur Verwendung in Lichtbogen- oder Widerstandsschweißeinrichtungen ausgelegt sind;
- Transformatoren, die eigens für explosionsgeschützte Anwendungen und Anwendungen im Untertagebau ausgelegt sind;
- Transformatoren, die eigens für Tiefwasseranwendungen (unter Wasser) ausgelegt sind;
- Netzkopplungstransformatoren von Mittelspannung zu Mittelspannung bis zu 5 MVA;

- Großleistungstransformatoren, wenn nachgewiesen wird, dass für eine bestimmte Anwendung technisch realisierbare Alternativen nicht verfügbar sind, um die durch die Verordnung (EU) Nr. 548/2014 vorgeschriebenen Mindestenergiekennzahl zu erfüllen;
- Großleistungstransformatoren, die als gleichwertiger Ersatz für bestehende Großleistungstransformatoren am gleichen physischen Standort/in der gleichen Anlage dienen, wenn der Ersatz nicht ohne unverhältnismäßige Kosten im Zusammenhang mit der Beförderung und/oder Installation möglich ist.

A1 Falls eine der beiden letzten Ausschließungen ausgewiesen wird, sollte das bei der Unterzeichnung des Vertrages durch eine Erklärung des Kunden dokumentiert werden.

Für Trocken-Großleistungstransformatoren sind in der Europäischen Verordnung PEI-Mindestwerte veröffentlicht worden, die in Anhang A angegeben sind.

ANMERKUNG 2 Damit Übereinstimmung besteht, wurde an dieser Stelle die Liste der Ausschlüsse aus der Verordnung (EU) Nr. 548/2014 übernommen. In der angegebenen EU-Ausschlussliste wurden einige Transformatoren allein deshalb ausgeschlossen, weil CENELEC zum gegebenen Zeitpunkt keine PEI-Daten zur Verfügung standen, auf die angemessene PEI-Werte gestützt werden konnten. Wenn diese Informationen zukünftig vorliegen, können dann geeignete PEI-Werte abgeleitet werden. Diese besonderen Kategorien sind in Abschnitt 6 für eine zukünftige Berücksichtigung aufgeführt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 60076 (alle Teile), *Leistungstransformatoren (IEC 60076, alle Teile)*

EN 60076-19, *Leistungstransformatoren – Teil 19: Regeln für die Bestimmung von Unsicherheiten in der Messung der Verluste von Leistungstransformatoren und Drosselpulen (IEC/TS 60076-19)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 60076-1:2011 und die folgenden Begriffe.

3.1

Großleistungstransformator

LPT

(en: Large Power Transformer)

Leistungstransformatoren mit einer höchsten Spannung für Betriebsmittel von mehr als 36 kV und einer Bemessungsleistung von mindestens 5 kVA oder einer Bemessungsleistung von mindestens 40 MVA unabhängig von der höchsten Spannung für Betriebsmittel

3.2

Lastfaktor

k

Verhältnis von Primärstrom zu Bemessungsstrom eines Transformators

Anmerkung 1 zum Begriff: In der Regel $0 \leq k \leq 1$.

3.3

abgegebene Scheinleistung

kS_r

Produkt aus dem Lastfaktor und der Bemessungsleistung

3.4

Wirkungsgrad

EI

(en: Efficiency Index)

Verhältnis der abgegebenen Scheinleistung eines Transformators abzüglich der elektrischen Verluste zur abgegebenen Scheinleistung des Transformators

3.5

maximaler Wirkungsgrad

PEI

(en: Peak Efficiency Index)

Höchstwert des Wirkungsgrades, der bei optimalem Leistungsfaktor erreicht werden kann

3.6

Lastfaktor des maximalen Wirkungsgrades

k_{PEI}

Lastfaktor, bei dem der maximale Wirkungsgrad auftritt

A2

3.7

angegebene Werte

3.7.1

angegebener Verlustwert

vom Hersteller gemessener und im Prüfbericht und auf dem Leistungsschild angegebener Verlust

A2

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Definition gilt für Leerlauf- und Kurzschlussverluste.

Anmerkung 2 zum Begriff: Nach EN 60076-1 beziehen sich der angegebene Wert und der garantierte Wert auf zwei verschiedene Begriffe. Garantierte Werte bezeichnen vertraglich angeführte Werte, während angegebene Werte im Zusammenhang mit Konformitätsüberprüfungen zu Verordnung (EU) Nr. 548/2014 der Kommission angeführt werden.

A2

3.7.2

angegebener Wert der vom Kühlsystem für den Leerlaufbetrieb benötigten elektrischen Leistung

elektrische Leistung, welche die Lüfter- und Ölpumpenmotoren für den Leerlaufbetrieb benötigen, abgeleitet aus den Prüfzertifikaten

Anmerkung 1 zum Begriff: Die elektrische Leistung, die das Kühlsystem für den Leerlaufbetrieb benötigt, wird nicht ständig gemessen, da dies eine Typprüfung nach EN 60076-1 ist.

A2

3.7.3

angegebener PEI-Wert

aus den vom Kühlsystem für den Leerlaufbetrieb benötigten angegebenen Leerlaufverlust-, Kurzschlussverlust- und Leistungswerten berechneter maximaler Wirkungsgrad (PEI) entsprechend den Definitionen 3.6 und 3.7 und der Gleichung in 4.3.

A1

3.8

ausgeschlossene Transformatoren

A1

3.8.1

Messwandler

Wandler entsprechend der Definition in 3.1.1 von EN 61869-1:2009, selbst wenn er die Energie für den Betrieb des angeschlossenen Betriebsmittels bereitstellt

Anmerkung 1 zum Begriff Der Unterschied zwischen der Definition in der Verordnung 548/2014 und der Definition von CENELEC besteht in der Verwendung des Wortes „Versorgung“ anstelle von „Übertragung von Informationssignalen“.

3.8.2

Transformator mit Unterspannungswicklungen, der eigens zur Verwendung mit Gleichrichtern ausgelegt ist, um Gleichstrom zu liefern

Transformator, der eigens zur Versorgung von Leistungselektronik oder Gleichrichterlasten nach EN 61378-1 ausgelegt und vorgesehen ist

Anmerkung 1 zum Begriff Diese Definition umfasst Transformatoren, die zur Verwendung mit Gleichrichtern ausgelegt sind, um in bestimmten Anwendungen Gleichstrom zu liefern.

Anmerkung 2 zum Begriff Die Benennung „Unterspannungswicklung“ bezieht sich auf die Wicklung mit der niedrigsten Bemessungsspannung nach EN 60076-1, unabhängig vom Spannungspegel.

Anmerkung 3 zum Begriff Diese Definition umfasst keine

- Transformatoren, die dafür ausgelegt sind, Wechselstrom aus Gleichstromquellen zu liefern, wie z. B. Transformatoren für Windenergieanlagen und photovoltaische Anwendungen;
- Transformatoren, die für Anwendungen im Zusammenhang mit der Übertragung und Verteilung von Gleichstrom ausgelegt sind.

Deshalb sind sie Teil des Anwendungsbereichs dieser Norm und müssen der Verordnung (EU) Nr. 548/2014 der Kommission entsprechen.

3.8.3

Transformator, der eigens zur Verwendung in Offshore-Anlagen und schwimmenden Offshore-Anlagen ausgelegt ist

Transformator, der auf stationären oder schwimmenden Offshore-Plattformen, Offshore-Windenergieanlagen oder an Bord von Schiffen und allen Arten von Seefahrzeugen zu installieren ist

3.8.4

Transformator, der eigens für den Notfallbetrieb ausgelegt ist

Transformator, der nur dafür ausgelegt ist, eine bestimmte, zeitlich begrenzte Situation abzudecken, wenn die übliche Energieversorgung aufgrund entweder eines unvorhergesehenen Ereignisses, wie z. B. eines Ausfalls, oder der Aufrüstung einer Station unterbrochen ist, jedoch nicht, um eine bestehende Station fortlaufend auszubauen

Anmerkung 1 zum Begriff Derartige Transformatoren können einige spezifische Eigenschaften aufweisen, durch die sie für den Notfall- oder zeitweiligen Betrieb im Gegensatz zum bestimmungsgemäßen Betrieb geeignet sind. Beispiele für einige spezifische Eigenschaften sind:

- mehrere Wicklungen, wodurch sie für den Einsatz an verschiedenen Standorten geeignet sind;
- besonders geringe Masse oder besonders kleine Maße für einen einfachen Transport oder Besonderheit, für den Transport in kleinere Einheiten zerlegt zu werden;
- erhöhte Überlastfähigkeit, erreicht durch die Verwendung von bestimmten Materialien;
- dauerhafte Montage auf einer Transporteinrichtung.

3.8.5

Transformatoren und Spartransformatoren, die eigens für die Stromversorgung von Eisenbahnen ausgelegt sind

Transformatoren entsprechend der Definition in EN 50329

3.8.6

Erdungstransformator, d. h. Dreiphasentransformator, der einen Sternpunkt für die Erdung einer Anlage bieten soll

Transformator entsprechend der Definition in 3.1.10 von EN 60076-6:2008

3.8.7

Fahrzeugtransformator

Transformator, der auf einem Schienenfahrzeug montiert, in die Fahr- und Hilfsstromkreise von Schienenfahrzeugen eingeschaltet ist und dem Anwendungsbereich von EN 60310 entspricht

3.8.8

Anfahrtransformator, der eigens für das Einschalten von Drehstrommotoren ausgelegt ist, um Spannungseinbrüche zu verhindern

Transformator, der während des normalen Betriebs spannungsfrei ist und zum Starten einer umlaufenden Maschine eingesetzt wird

3.8.9

Netzkopplungstransformator von Mittelspannung zu Mittelspannung bis zu 5 MVA

Transformator, der in einem Programm zur Umwandlung von Netzspannung verwendet wird und am Übergang zwischen zwei Spannungspegeln von zwei Mittelspannungsnetzen angeordnet ist sowie in der Lage sein muss, Überlasten im Notfall zu bewältigen

Anmerkung 1 zum Begriff Derartige Einheiten können Teil einer Kompaktstation, die auch Mittelspannungswiedereinschalter und Schutzeinrichtung umfasst, sein oder nicht.

4 Berechnung von Wirkungsgrad und Effizienzindex

4.1 Allgemeines

Der Energiekennwert eines Transformators kann auf verschiedene Weise angegeben werden, grundsätzlich aber unter Angabe:

- von Leerlauf- und Kurzschlussverlusten bei Bemessungslast oder bei einer bestimmten Referenzleistung;
- des Wirkungsgrades bei einem definierten Leistungsfaktor und bei einem bestimmten Lastfaktor wie z. B. 50 % oder 100 % der Bemessungslast;
- des maximalen Wirkungsgrades und der Last, bei der dieser auftritt.

Die allgemeine Definition des Wirkungsgrades wirft einige Schwierigkeiten auf wie z. B. die Frage, ob in die Berechnung die elektrische Energieaufnahme des Transformatorkühlsystems bei Leerlauf oder bei einer bestimmten Last einbezogen werden muss.

Für den Anwendungsbereich dieser Norm wurde der maximale Wirkungsgrad als Referenzwert für Kennzahlen des Wirkungsgrades festgelegt, da dieser keinem bestimmten Lastfaktor unterliegt (der je nach der Anwendung stark schwanken kann) und er nicht direkt von der Bemessungsleistung des Transformators abhängig ist. Der maximale Wirkungsgrad ist ein systemimmanenter Parameter des Transformators, der unabhängig davon ist, ob der Transformator in Abhängigkeit von der Art der Kühlung unterschiedliche Bemessungsleistungen aufweist.

Der maximale Wirkungsgrad beinhaltet die Verluste des Kühlsystems, welches im Leerlauf arbeitet. Wenn bei dem Lastfaktor, bei dem PEI auftritt, eine zusätzliche Kühlung erforderlich ist, muss der zusätzliche Verlust dieser Kühlung in die Berechnung von PEI einbezogen werden. Eine weitere Kühlung und der zugehörige Kühlungsverlust zum Erreichen der Bemessungsleistung werden ausgeschlossen.

ANMERKUNG 1 Dies gilt für Transformatoren, die mit Wärmetauschern ausgerüstet sind und zur Wärmeableitung Pumpen und Lüfter benötigen (z. B. ODAF, ODWF, OFWF, OFAF, OFAN).

ANMERKUNG 2 Wenn beim Beschaffungsprozess des Transformators das Verfahren der Verlustkapitalisierung genutzt wird, darf erwartet werden, dass der maximale Wirkungsgrad etwa bei der Belastung auftritt, bei der das Verhältnis zwischen Kurzschluss- und Leerlaufverlusten gleich dem Verhältnis zwischen den Kapitalisierungswerten für Kurzschluss- und Leerlaufverluste ist, mit der Ausnahme, dass diese Werte um die relativen Kosten zur Verminderung der Kurzschluss- und Leerlaufverluste verändert wurden (siehe Anhang D).

Wenn unter verschiedenen Umständen, zum Beispiel bei Anwendung unterschiedlicher Kühlungsverfahren (ONAN/ONAF, AN/AF usw.), verschiedene Werte der Scheinleistung zugewiesen werden, müssen sämtliche Werte auf dem Leistungsschild angegeben werden und der höchste dieser Werte ist die Bemessungsleistung. Das gilt auch, wenn ein künftiger Wert der Scheinleistung (zum Beispiel künftiger Wert bei ONAF, künftiger Wert bei AF usw.) angeführt wird.

Eine Bewertung von Verlusten muss anhand der Bemessungs-Dauerleistung erfolgen, wie in EN 60076-1 angegeben. Wenn ein zusätzliches Kühlungssystem, wie z. B. Pumpen oder Lüfter, nur bei zeitweiliger Überlastung und nicht zur Bemessung für Dauerbetrieb angewendet wird, kann eine derartige Überlastbemessung nicht als Bemessungsleistung ausgewiesen und folglich nicht auf dem Leistungsschild erwähnt werden.

4.2 Allgemeine Gleichung für den Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad beim Lastfaktor k wird nach Gleichung (1) berechnet:

$$\text{EI}(k) = \frac{kS_r - (P_0 + P_{c0}) - (k^2 P_k + P_{ck}(k))}{kS_r} \quad (\text{bezogener Wert}) \quad (1)$$

Dabei ist

- P_0 der Leerlaufverlustwert, gemessen an der Bemessungsanzapfung bei Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz;
- P_{c0} die elektrische Leistung, die das Kühlsystem für den Leerlaufbetrieb benötigt, abgeleitet aus den Leistungsmessungen der Lüfter- und Ölpumpenmotoren bei der Typprüfung;
- P_k der an der Bemessungsanzapfung gemessene Kurzschlussverlustwert bei Bemessungsstrom und Bemessungsfrequenz, korrigiert auf die Referenztemperatur nach EN 60076-1;
- $P_{ck}(k)$ die zusätzliche elektrische Leistung, die das Kühlsystem (zusätzlich zu P_{c0}) für den Betrieb bei k -facher Bemessungslast benötigt, abgeleitet aus den Leistungsmessungen der Lüfter- und Ölpumpenmotoren bei der Typprüfung;
- S_r die Bemessungsleistung des Transformators oder Spartransformators, auf der P_k basiert;
- k der Lastfaktor.

ANMERKUNG 1 Dieser Ansatz hält die Anschauung von EN 60076 (alle Teile) ein, die die Bemessungsleistung auf die Bemessungsspannung und den Bemessungsstrom der Transformatorwicklungen bezieht.

Die Ableitung von P_{ck} bei k_{PEI} erfolgt durch die Bestimmung der Gesamtleistungsaufnahme der Lüfter und Pumpen (aus den Messungen bei der Typprüfung) und dann die Zuordnung eines Anteils dieses Gesamtkühlverlustes zu der bei der PEI-Belastung erforderlichen Kühlung. Der genutzte Anteil ergibt sich aus dem Verhältnis des mittleren elektrischen Verlustes der Lüfter und Pumpen bei k_{PEI} bei Jahresmitteltemperatur der Umgebung (wenn es nicht anders angegeben ist, 20 °C) zum elektrischen Gesamtverlust der installierten Pumpen und Lüfter.

Falls die Lüfter und Pumpen variable Drehzahl aufweisen, ist unter Umständen eine zusätzliche Messung im Rahmen der Typprüfung erforderlich, um P_{ck} bei k_{PEI} zu bestimmen.

ANMERKUNG 2 Messungen der Leistungsaufnahme des Kühlsystems bei Stückprüfungen sind nicht notwendig.

Bei der Berechnung von PEI muss Folgendes beachtet werden.

- a) Die Referenztemperatur für Öltransformatoren mit einer mittleren Bemessungs-Wicklungsübertemperatur von höchstens 65 °K für OF bzw. ON oder 70 °K für OD beträgt 75 °C;
- b) Bei Transformatoren mit einer anderen mittleren Bemessungs-Wicklungsübertemperatur ist die Referenztemperatur gleich der mittleren Bemessungs-Wicklungsübertemperatur zuzüglich 20 °C oder gleich der Bemessungs-Wicklungsübertemperatur zuzüglich der Jahresmitteltemperatur des externen Kühlmediums, je nachdem, welcher Wert höher ist.

Wenn ein Kunde Transformatoren mit unterschiedlichen Isoliersystemen und unterschiedlichen mittleren Wicklungsübertemperaturen vergleichen muss, sollte die Referenztemperatur b) entsprechen.