

DIN EN 50708-3-1



ICS 29.180

EntwurfEinsprüche bis 2024-09-05
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 50708-3-1:2023-08**Leistungstransformatoren –
Zusätzliche europäische Anforderungen –
Teil 3-1: Große Leistungstransformatoren –
Allgemeine Anforderungen;
Deutsche und Englische Fassung FprEN 50708-3-1:2024**

Power transformers –
Additional European requirements –
Part 3-1: Large power transformer –
General requirements;
German and English version FprEN 50708-3-1:2024

Transformateurs de puissance –
Exigences européennes supplémentaires –
Partie 3-1: Transformateurs de grande puissance –
Exigences générales;
Version allemande et anglaise FprEN 50708-3-1:2024

Anwendungswarnvermerk

Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-07-05 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil das beabsichtigte Dokument von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Merianstraße 28, 63069 Offenbach am Main.

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 41 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments FprEN 50708-3-1:2024-01 „Leistungstransformatoren – Zusätzliche europäische Anforderungen – Teil 3-1: Große Leistungstransformatoren – Allgemeine Anforderungen“ (Schluss-Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und der Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung der FprEN 50708-3-1:2024-01 beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Das europäische Dokument FprEN 50708-3-1:2024-01 „Power transformers – Additional European requirements – Part 3-1: Large power transformer – General requirements“ wurde vom CLC/TC 14 „Power transformers“ des Europäischen Komitees für Elektrotechnische Normung (CENELEC) erarbeitet und von CENELEC den Nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium DKE/K 321 „Transformatoren“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

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.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 50708-3-1:2023-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) dieses Dokument wurde einer allgemeinen Überarbeitung in Bezug auf Stufe 2 der Verordnung (EU) Nr. 548/2014 der Kommission vom 21. Mai 2014 und deren Änderung in Nr. 2019/1783 vom 1. Oktober 2019 unterzogen;
- b) weitere wesentliche Änderungen sind in Anhang A angegeben:
 - Einzelheiten und Festlegungen zur Berechnung Lastfaktor des maximalen Wirkungsgrads (KPEI) in A.1 wurden verbessert, insbesondere für Transformatoren mit unterschiedlichen Kühlungsarten oder Kühlungsschritten;
 - die Graphen in A.2 wurden in Übereinstimmung mit Stufe 2 aktualisiert und die Graphen wurden verbessert, auch in diesem Teil insbesondere für Transformatoren mit unterschiedlichen Kühlungsarten oder Kühlungsschritten.

Deutsche Fassung

**Leistungstransformatoren – Zusätzliche europäische Anforderungen –
Teil 3-1: Große Leistungstransformatoren – Allgemeine Anforderungen**

Power transformers – Additional European
requirements – Part 3-1: Large power
transformer – General requirements

Transformateurs de puissance – Exigences européennes
supplémentaires – Partie 3-1: Transformateurs
de grande puissance – Exigences générales

Dieser Entwurf für eine Europäische Norm wird den CENELEC-Mitgliedern zur CENELEC-Umfrage vorgelegt.
CENELEC Termin: 2024-03-22.

Er wurde von CLC/TC 14 erstellt.

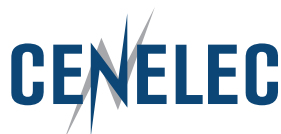
Wenn aus diesem Entwurf eine Europäische Norm wird, sind die CENELEC-Mitglieder gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Dieser Entwurf für eine Europäische Norm wurde von CENELEC in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch) erstellt. 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, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Warnvermerk: Dieses Schriftstück hat noch nicht den Status einer Europäischen Norm. Es wird zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Es kann sich noch ohne Ankündigung ändern und darf nicht als Europäische Norm in Bezug genommen werden.



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
Europäisches Vorwort.....	6
Einleitung.....	7
1 Anwendungsbereich.....	8
2 Normative Verweisungen.....	8
3 Begriffe.....	8
4 Betriebsbedingungen.....	8
5 Bemessungsdaten und allgemeine Bedingungen.....	8
5.1 Anforderungen an die Energieeffizienz.....	8
5.1.1 Allgemeines.....	8
5.1.2 PEI-Mindestwerte.....	8
5.1.3 Optimierung von Transformatorverlusten in Abhängigkeit von ihrer Anwendung.....	11
6 Leistungsschild.....	11
7 Grenzübergänge.....	11
8 Abnahmeprüfungen.....	12
9 Zubehörteile und Armaturen.....	12
10 Kapitalisierung von Verlusten.....	12
11 Transformatorüberholung.....	12
Anhang A (informativ) Gleichungen, Kurven und Berechnungen des maximalen Wirkungsgrads.....	13
A.1 Berechnung von k_{PEI}	13
A.2 Kurve von Wirkungsgrad und Lastfaktor mit Verlustbeiträgen.....	15
A.2.1 Allgemeines.....	15
A.2.2 Beispiel für einen typischen ONAN-Transformator.....	15
A.2.3 Beispiel für einen ONAN/ONAF-Transformator.....	16
A.2.4 Beispiel für einen bestimmten OFAF-Transformer (mit P_{c0} und P_{ck}).....	17
A.3 Unabhängigkeit des PEI von der Bemessungsleistung.....	19
A.4 Berechnung von Verlusten aus PEI, k_{PEI} und S_r	19
Anhang ZZ (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den Ökodesign-Anforderungen der Verordnung (EU) Nr. 548/2014 der Kommission vom 21. Mai 2014 und ihrer Änderung Nr. 2019/1783 vom 1. Oktober 2019 zur Umsetzung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich Kleinleistungs-, Mittelleistungs- und Großleistungstransformatoren.....	21
Literaturhinweise.....	23
Bilder	
Bild A.1 – Graph zur Veranschaulichung der Beziehung zwischen Wirkungsgrad und Lastfaktor (ONAN)...	16
Bild A.2 – Graph zur Veranschaulichung der Beziehung zwischen Wirkungsgrad und Lastfaktor (ONAN-ONAF).....	17
Bild A.3 – Graph zur Veranschaulichung der Beziehung zwischen Wirkungsgrad und Lastfaktor (OFAF)....	18
Tabellen	
Tabelle 1 – Mindestwerte für den maximalen Wirkungsgrad von flüssigkeitsgefüllten Großleistungstransformatoren.....	9

Tabelle 2 – Mindestwerte für den maximalen Wirkungsgrad von Trocken-Großleistungstransformatoren mit $U_m \leq 36$ kV.....	10
Tabelle 3 – Mindestwerte für den maximalen Wirkungsgrad von Trocken-Großleistungstransformatoren mit $U_m > 36$ kV.....	10
Tabelle A.1.....	15
Tabelle A.2.....	16
Tabelle A.2.....	17
Tabelle ZZ.1 – Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und der Verordnung (EU) Nr. 548/2014 der Kommission vom 21. Mai 2014 und ihrer Änderung Nr. 2019/1783 vom 1. Oktober 2019.	21

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (FprEN 50708-3-1:2024) wurde vom CLC/TC 14 „Transformatoren“ erarbeitet.

Dieses Dokument wird derzeit zur Umfrage vorgelegt.

Nachstehende Daten wurden vorgeschlagen:

- | | | |
|---|-------|---|
| spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene angekündigt werden muss | (doa) | dor + 6 Monate |
| • spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss | (dop) | dor + 12 Monate |
| • spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen | (dow) | dor + 36 Monate (bei der Abstimmung zu bestätigen oder zu ändern) |

Dieses Dokument wird EN 50708-3-1:2020 und alle Änderungen und Berichtigungen (falls vorhanden) ersetzen.

FprEN 50708-3-1:2023 enthält die folgenden wesentlichen technischen Änderungen gegenüber EN 50708-3-1:2020:

- Dieses Dokument wurde einer allgemeinen Überarbeitung in Bezug auf Stufe 2 der Verordnung (EU) Nr. 548/2014 der Kommission vom 21. Mai 2014 und deren Änderung in Nr. 2019/1783 vom 1. Oktober 2019 unterzogen.
- Weitere wesentliche Änderungen sind in Anhang A angegeben:
 - o Einzelheiten und Festlegungen zur Berechnung Lastfaktor des maximalen Wirkungsgrads (KPEI) in A.1 wurden verbessert, insbesondere für Transformatoren mit unterschiedlichen Kühlungsarten oder Kühlungsschritten.
 - o Die Graphen in A.2 wurden in Übereinstimmung mit Stufe 2 aktualisiert und die Graphen wurden verbessert, auch in diesem Teil insbesondere für Transformatoren mit unterschiedlichen Kühlungsarten oder Kühlungsschritten.

Dieses Dokument wurde unter einem Normungsauftrag erstellt, der von der Europäischen Kommission und der Europäischen Freihandelszone an CENELEC gegeben wurde, und unterstützt grundlegende Anforderungen von EU-Richtlinien/Verordnungen.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe den informativen Anhang ZZ, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

Einleitung

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Anforderungen des allgemeinen Teils EN 50708-1-1:2020.

Dieses Dokument enthält besondere Anforderungen für spezifische Transformatoren oder Transformatoranwendungen, die auf den Anforderungen des allgemeinen Teils EN 50708-1-1:2020 beruhen.

Dieses Dokument sollte in Verbindung mit den Anforderungen in den allgemeinen Teilen angewendet werden.

Die besonderen Anforderungen der untergeordneten Teile von EN 50708 ergänzen, ändern oder ersetzen bestimmte Anforderungen der allgemeinen Teile von EN 50708-1 und/oder EN 50708-1-X, die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokuments gültig sind. Fehlende Verweisungen darauf, dass ein Teil oder Abschnitt eines allgemeinen Teils ausgenommen ist, bedeuten, dass die entsprechenden Abschnitte des allgemeinen Teils gelten sind (undatierte Verweisungen).

Anforderungen aus weiteren Teilen „X“, bei denen „X“ größer als 1 ist und die für von diesem Dokument berücksichtigte Fälle letztlich relevant sind, gelten ebenfalls. Somit ergänzt, ändert oder ersetzt dieser Teil auch bestimmte dieser Anforderungen, die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokuments gültig sind.

Die Hauptabschnittsnummerierung eines jeden Teils erfolgt nach dem Muster und den entsprechenden Verweisungen von EN 50708-1-1:2020. Die Nummern hinter der spezifischen Nummer dieses Dokuments beziehen sich auf die entsprechenden Teile oder Abschnitte der anderen Teile der Normenreihe EN 50708, die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Teils gültig sind und die in diesem Dokument unter „Normative Verweisungen“ aufgeführt sind (datierte Verweisungen).

Wenn nach Veröffentlichung des untergeordneten Teils neue allgemeine Teile oder Änderungen mit geänderter Nummerierung veröffentlicht wurden, stimmen die Abschnittsnummern in den untergeordneten Teilen, die auf den allgemeinen Teil verweisen, möglicherweise nicht mehr mit jenen der aktualisierten Ausgabe des allgemeinen Teils überein. Datierter Verweisungen sollten beachtet werden.

1 Anwendungsbereich

Der Anwendungsbereich dieses Dokuments umfasst die Festlegung der Energieeffizienz von Großleistungstransformatoren in Übereinstimmung mit EN 50708-1-1:2020.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 50708-1-1:2020, *Leistungstransformatoren - Zusätzliche europäische Anforderungen - Teil 1-1: Allgemeiner Teil - Allgemeine Anforderungen*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 50708-1-1:2020.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

4 Betriebsbedingungen

Die besonderen Anforderungen für Betriebsbedingungen sind in EN 50708-1-1:2020 angegeben.

5 Bemessungsdaten und allgemeine Bedingungen

5.1 Anforderungen an die Energieeffizienz

5.1.1 Allgemeines

Für Großleistungstransformatoren wird die Anforderung an die Energieeffizienz als Mindestwert des maximalen Wirkungsgrads angegeben.

Der maximale Wirkungsgrad muss nach EN 50708-1-1:2020 berechnet werden.

Die Tabelle in diesem Abschnitt gibt die Mindestwerte für die Energieeffizienz für Stufe 1 (TIER1) bis Stufe 2 (TIER2) an.

Stufe 1 wurde für die Werte von Verlusten seit dem 1. Juli 2015 entsprechend Verordnung (EU) Nr. 548/2014 der Kommission vom 21. Mai 2014 und ihrer Änderung in Nr. 2019/1783 vom 1. Oktober 2019 angewendet.

Stufe 2 wurde für die Werte von Verlusten seit dem 1. Juli 2021 entsprechend Verordnung (EU) Nr. 548/2014 der Kommission vom 21. Mai 2014 und ihrer Änderung in Nr. 2019/1783 vom 1. Oktober 2019 angewendet.

5.1.2 PEI-Mindestwerte

Flüssigkeitsgefüllte Großleistungstransformatoren und Trocken-Großleistungstransformatoren müssen Mindestwerte für den maximalen Wirkungsgrad entsprechend Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 aufweisen.

Für Bemessungsleistungen, die von den in Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 angegebenen Werten abweichen, muss der entsprechende PEI-Wert durch lineare Interpolation von zwei benachbarten Werten bestimmt werden.

Die PEI-Anforderungen gelten für Transformatoren und Spartransformatoren.

Für Spartransformatoren ist die Referenzleistung für PEI-Werte die Bemessungsleistung.

Dreiphasen- und Einphasentransformatoren müssen im Vergleich zur Bemessungsleistung des jeweiligen Transformators bewertet werden.

**Tabelle 1 – Mindestwerte für den maximalen Wirkungsgrad
von flüssigkeitsgefüllten Großleistungstransformatoren**

S_r (MVA)	Mindestwert für den maximalen Wirkungsgrad (%)	
	Stufe 1	Stufe 2
≤ 0,025	97,742	98,251
0,05	98,584	98,891
0,1	98,867	99,093
0,16	99,012	99,191
0,25	99,112	99,283
0,315	99,154	99,320
0,4	99,209	99,369
0,5	99,247	99,398
0,63	99,295	99,437
0,8	99,343	99,473
1	99,360	99,484
1,25	99,418	99,487
1,6	99,424	99,494
2	99,426	99,502
2,5	99,441	99,514
3,15	99,444	99,518
4	99,465	99,532
5	99,483	99,548
6,3	99,510	99,571
8	99,535	99,593
10	99,560	99,615
12,5	99,588	99,640
16	99,615	99,663
20	99,639	99,684
25	99,657	99,700
31,5	99,671	99,712
40	99,684	99,724

S_r (MVA)	Mindestwert für den maximalen Wirkungsgrad (%)	
	Stufe 1	Stufe 2
50	99,696	99,734
63	99,709	99,745
80	99,723	99,758
100	99,737	99,770
125	99,737	99,780
160	99,737	99,790
≥ 200	99,737	99,797

Tabelle 2 – Mindestwerte für den maximalen Wirkungsgrad von Trocken-Großleistungstransformatoren mit $U_m \leq 36$ kV

S_r (MVA)	Mindestwert für den maximalen Wirkungsgrad (%)	
	Stufe 1	Stufe 2
$3,15 < S_r \leq 4$	99,348	99,382
5	99,354	99,387
6,3	99,356	99,389
8	99,357	99,390
≥ 10	99,357	99,390

Tabelle 3 – Mindestwerte für den maximalen Wirkungsgrad von Trocken-Großleistungstransformatoren mit $U_m > 36$ kV

S_r (MVA)	Mindestwert für den maximalen Wirkungsgrad (%)	
	Stufe 1	Stufe 2
$\leq 0,05$	96,174	96,590
0,1	97,514	97,790
0,16	97,792	98,016
0,25	98,155	98,345
0,4	98,334	98,570
0,63	98,494	98,619
0,8	98,677	98,745
1	98,775	98,837
1,25	98,832	98,892
1,6	98,903	98,960
2	98,942	98,996
2,5	98,933	99,045
3,15	99,048	99,097
4	99,158	99,225

S _r (MVA)	Mindestwert für den maximalen Wirkungsgrad (%)	
	Stufe 1	Stufe 2
5	99,200	99,265
6,3	99,242	99,303
8	99,298	99,356
10	99,330	99,385
12,5	99,370	99,422
16	99,416	99,464
20	99,468	99,513
25	99,521	99,564
31,5	99,551	99,592
40	99,567	99,607
50	99,585	99,623
≥ 63	99,590	99,626

5.1.3 Optimierung von Transformatorverlusten in Abhängigkeit von ihrer Anwendung

Der PEI-Mindestwert, der in jedem Fall eingehalten werden muss, kann durch unterschiedliche Kombinationen von Leerlauf- und Kurzschlussverlusten erreicht werden. Dies ist gleichzusetzen mit unterschiedlichen Lastfaktoren, bei denen der PEI auftritt. Das Verhältnis von Kurzschluss- und Leerlaufverlusten muss auf die jeweilige Anwendung zugeschnitten werden, um den besten Ist-Wirkungsgrad im Betrieb zu erreichen. Dazu stehen die folgenden Möglichkeiten zur Verfügung:

- Verlustbewertungen für Leerlauf- und Kurzschlussverluste anstellen, die die voraussichtliche Belastung reflektieren (das ist die empfohlene Methode);
- Vorgabe von Höchstwerten für Leerlauf- und Kurzschlussverluste;
- Festlegen eines Mindestwerts für den Wirkungsgrad bei einem bestimmten Lastfaktor.

ANMERKUNG 1 Der zugehörige PEI darf bei verschiedenen Lastfaktoren auftreten.

ANMERKUNG 2 Typische Werte für das Verhältnis zwischen Kurzschluss- und Leerlaufverlusten können von 3 für hoch belastete Transformatoren (wie GSU) bis zu 6 bis 7 und mitunter mehr als 10 für schwach belastete Einheiten (z. B. Transformatoren im Übertragungs- und Verteilnetz) reichen.

6 Leistungsschild

Die zusätzlichen Anforderungen für das Leistungsschild sind in EN 50708-1-1:2020 enthalten.

7 Grenzabweichungen

Die zusätzlichen Anforderungen für Grenzabweichungen sind in EN 50708-1-1:2020 enthalten.

8 Abnahmeprüfungen

Während Werksabnahmeprüfungen müssen die aus den Verlustmessungen berechneten PEI-Werte gleich den oder größer als die Werte sein, die in den Tabellen angegeben sind.

Der Prüfbericht der Transformatoren muss den PEI-Wert und den entsprechenden Wert k_{PEI} enthalten.

9 Zubehörteile und Armaturen

Eine Liste der Zubehörteile und Armaturen wird in den entsprechenden Teilen erarbeitet.

10 Kapitalisierung von Verlusten

Die Anforderungen für die Kapitalisierung von Verlusten sind in EN 50708-1-1:2020 angegeben.

11 Transformatorüberholung

Die zusätzlichen Anforderungen für Transformatorüberholung sind in EN 50708-1-1:2020 enthalten.

Anhang A (informativ)

Gleichungen, Kurven und Berechnungen des maximalen Wirkungsgrads

A.1 Berechnung von k_{PEI}

In diesem Teil von Anhang A sind zusätzliche Informationen zu EN 50708-1-1:2020, Anhang A, enthalten, und es ist die mathematische Herleitung des Lastfaktors angegeben, mit dem der Effizienzindex auf den Höchstwert gebracht werden kann.

Die Grundgleichung für den Wirkungsgrad ist:

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

Entsprechend den Definitionen

- ist PEI der Höchstwert des Verhältnisses der übertragenen Scheinleistung eines Transformators abzüglich der elektrischen Verluste zur übertragenen Scheinleistung;

ANMERKUNG 1 Der PEI ist der Höchstwert des Wirkungsgrads (EI), der bei optimalem Leistungsfaktorwert erreicht werden kann.

- ist k_{PEI} (Lastfaktor des maximalen Wirkungsgrads): der Lastfaktor, bei dem der maximale Wirkungsgrad auftritt.

ANMERKUNG 2 Bei alternativen Kühlungsarten kann eine iterative Berechnung des k_{PEI} erforderlich sein. In jedem Fall ist der k_{PEI} an dem Punkt definiert, an dem der höchste PEI auftritt.

Die PEI-Berechnung bildet den relativen höchsten Punkt der EI-Funktion ab.

Zur Berücksichtigung von $P_{ck}(k)$: es wird angenommen, dass P_{ck} ein konstanter Wert für einen Kühlungsschritt (i) ist: $P_{ck(i)}$ ergibt sich in der Praxis aus der Berechnung von k_{PEI} für jeden Wert von P_{ck} mit der nachgenannt angegebenen Gleichung, und nachfolgender Auswahl des niedrigsten berechneten Werts von k_{PEI} , der zum zugehörigen Kühlungsschritt passt.

Deshalb wird zum Zweck der Vereinfachung auf einen bestimmten Kühlungsschritt (i) Bezug genommen. Die Funktion $EI(k)$ erreicht ihr Maximum, wenn deren Ableitung gleich Null ist, und es gilt:

$$EI'(k) = \left[\frac{k \cdot S_r - (P_0 + P_{c0}) - (k^2 \cdot P_k + P_{ck(i)})}{k \cdot S_r} \right]'$$

Damit ist

$$EI'(k) = \frac{[k \cdot S_r - (P_0 + P_{c0}) - (k^2 \cdot P_k + P_{ck(i)})]' \cdot k \cdot S_r - [k \cdot S_r - (P_0 + P_{c0}) - (k^2 \cdot P_k + P_{ck(i)})] \cdot [k \cdot S_r]'}{[k \cdot S_r]^2}$$

d. h.

$$EI'(k) = \frac{[S_r - 2k \cdot P_k] \cdot k \cdot S_r - [k \cdot S_r - (P_0 + P_{c0}) - (k^2 \cdot P_k + P_{ck(i)})] \cdot [S_r]'}{k^2 \cdot S_r^2}$$