

DIN EN IEC 63300



ICS 29.100.10

**Prüfverfahren für elektrische und magnetische Eigenschaften
magnetischer Pulverkerne
(IEC 63300:2023);
Deutsche Fassung EN IEC 63300:2023**

Test methods for electrical and magnetic properties of magnetic powder cores
(IEC 63300:2023);
German version EN IEC 63300:2023

Méthodes d'essai des propriétés électriques et magnétiques des noyaux en poudre
magnétique
(IEC 63300:2023);
Version allemande EN IEC 63300:2023

Gesamtumfang 59 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2023-08-01 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2024-09-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN IEC 63300:2022-03.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium DKE/K 625 „Magnetische Bauelemente und deren Komponenten“ 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.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom IEC/TC 51 „Magnetic components, ferrite and magnetic powder materials“ erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC .

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieses Dokuments bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<https://webstore.iec.ch>“ zu diesem Dokument angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees das Dokument

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

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.

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.

Deutsche Fassung

Prüfverfahren für elektrische und magnetische
Eigenschaften magnetischer Pulverkerne
(IEC 63300:2023)

Test methods for electrical and magnetic
properties of magnetic powder cores
(IEC 63300:2023)

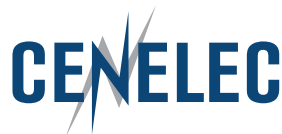
Méthodes d'essai des propriétés électriques et
magnétiques des noyaux en poudre magnétique
(IEC 63300:2023)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2023-08-01 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, 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.



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

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 51/1419/CDV, zukünftige 1. Ausgabe der IEC 63300, erarbeitet vom IEC/TC 51 „Magnetic components, ferrite and magnetic powder materials“ wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN IEC 63300:2023 angenommen.

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) 2024-05-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow) 2026-08-01

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Komitee des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Gremien ist auf den Internetseiten des CENELEC abrufbar.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 63300:2023 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

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

IEC 61007:2020	ANMERKUNG	Angenommen als EN IEC 61007:2020 (nicht modifiziert).
IEC 62044 (Reihe)	ANMERKUNG	Angenommen als EN 62044 (Reihe).
IEC 62044-1	ANMERKUNG	Angenommen als EN 62044-1.
IEC 62044-2	ANMERKUNG	Angenommen als EN 62044-2.
IEC 62044-3	ANMERKUNG	Angenommen als EN 62044-3.

Anhang ZA
(normativ)

Normative Verweisungen auf internationale Publikationen
mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

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).

ANMERKUNG 1 Ist eine internationale Publikation durch gemeinsame Abänderungen modifiziert worden, gekennzeichnet durch (mod.), dann gilt die entsprechende EN oder das HD.

ANMERKUNG 2 Aktualisierte Informationen über die in diesem Anhang aufgeführten aktuellen Fassungen der Europäischen Normen sind hier verfügbar: www.cencenelec.eu

<u>Publikation</u>	<u>Jahr</u>	<u>Titel</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Jahr</u>
IEC 63182-2	–	Magnetic powder cores - Guidelines on dimensions and the limits of surface irregularities - Part 2: Ring-cores	EN IEC 63182-2	–

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	4
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen.....	5
EINLEITUNG.....	11
1 Anwendungsbereich.....	12
2 Normative Verweisungen.....	12
3 Begriffe, Abkürzungen und Symbole.....	12
3.1 Begriffe.....	12
3.2 Abkürzungen.....	12
3.3 Symbole.....	12
4 Instrumente und Geräte.....	13
4.1 Allgemeine Maßnahmen.....	13
4.2 Erregungsquelle.....	13
4.2.1 Allgemeine Maßnahmen.....	13
4.2.2 Sinuswellen-Erregungsquelle.....	14
4.2.3 Rechteckwellen-Erregungsquelle.....	14
4.2.4 Berechnung der magnetischen Flussdichte.....	15
4.3 Messausrüstung.....	15
4.3.1 Allgemeine Maßnahmen.....	15
4.3.2 Spannungsmessgerät.....	15
4.3.3 Datenerfassungssystem.....	16
4.4 Sensor.....	16
4.4.1 Messwiderstand.....	16
4.4.2 Stromwandler.....	16
4.5 Andere Beschreibungen.....	16
4.5.1 Zwischenverbinder.....	16
4.5.2 Thermostat.....	17
5 Probe.....	17
5.1 Magnetischer Kern.....	17
5.2 Wicklung.....	17
5.2.1 Wicklungszustände.....	17
5.2.2 Zweischichtwicklung.....	18
5.2.3 Einschichtwicklung.....	18
5.3 Montage der Probe.....	19
5.4 Parameter der Probe.....	19
6 Messbedingungen.....	19
6.1 Beziehung zur Praxis.....	19
6.2 Effektive Parameter.....	20
6.3 Magnetischer Messzustand.....	20

7	Prüfverfahren für die Verlustleistung.....	20
7.1	Zusammenfassung.....	20
7.2	Wechselstromverfahren.....	21
7.3	Gleichstromverfahren.....	21
7.4	Kalorimetrisches Verfahren.....	21
8	Prüfverfahren für die effektive Permeabilität.....	21
8.1	Zusammenfassung.....	21
8.2	Großsignal-Wechselstromverfahren.....	22
8.3	Impedanzverfahren.....	23
8.4	Impulsverfahren.....	23
9	Prüfverfahren für die effektive komplexe Permeabilität.....	23
10	Prüfverfahren für den Qualitätsfaktor (Q).....	23
11	Überprüfung der Messgenauigkeit.....	23
	Anhang A (informativ) Wechselstromverfahren.....	24
A.1	Überblick.....	24
A.2	Grundlegendes Schaltdiagramm.....	25
A.3	Messeinrichtung.....	25
A.3.1	Hochfrequente Erregungsquelle.....	25
A.3.2	Erregerwicklung N_1 und Spannungsmesswicklung N_2	25
A.3.3	Messwiderstand R	26
A.3.4	Datenerfasser.....	26
A.4	Prüfschritte.....	26
A.5	Messprinzip.....	26
A.6	Fehleranalyse.....	27
A.7	Zu berücksichtigende Aspekte.....	27
A.7.1	Messfehler.....	27
A.7.2	Abzug des Wicklungsverlusts.....	27
A.8	Spezifische Prüfverfahren.....	28
A.8.1	Verfahren mit B-H-Analysegerät.....	28
A.8.2	Leistungsanalyseverfahren.....	28
A.8.3	Kapazitives reaktives Kompensationsverfahren.....	28
A.9	Messung für den Qualitätsfaktor (Q).....	30
	Anhang B (informativ) Gleichstromverfahren.....	31
B.1	Überblick.....	31
B.2	Grundlegendes Schaltdiagramm.....	31
B.3	Messeinrichtung.....	31
B.3.1	Gleichspannungsquelle U_i	31
B.3.2	Gleichstrom-/Wechselstrom-Umrichter.....	31
B.3.3	Erregerwicklung N_1	32

B.3.4 Gleichstrommessgerät und Gleichspannungsmessgerät für die Messung des Mittelwerts..... 32

B.4 Prüfschritte..... 32

B.5 Messprinzip..... 32

B.6 Zu berücksichtigende Aspekte..... 33

B.6.1 Umrichterverlust..... 33

B.6.2 Abzug des Wicklungsverlusts..... 33

Anhang C (informativ) Kalorimetrisches Verfahren..... 34

C.1 Überblick..... 34

C.2 Grundlegendes Schaltdiagramm..... 34

C.3 Messeinrichtung..... 34

C.3.1 Erregungsquelle..... 34

C.3.2 Temperatursensor..... 34

C.3.3 Wärmeisolierter Behälter..... 35

C.3.4 Wärmemedium..... 35

C.3.5 Probe..... 35

C.4 Prüfschritte..... 35

C.5 Messprinzip..... 35

C.6 Zu berücksichtigende Aspekte..... 35

C.7 Spezifische Prüfverfahren..... 36

C.7.1 Kalorimetrisches Kalibrierungsverfahren..... 36

C.7.2 Vergleichendes kalorimetrisches Verfahren..... 37

Anhang D (informativ) Großsignal-Wechselstromverfahren..... 39

D.1 Überblick..... 39

D.2 Grundlegendes Schaltdiagramm..... 40

D.3 Messeinrichtung..... 40

D.3.1 Hochfrequente Erregungsquelle..... 40

D.3.2 Erregerwicklung N_1 und Spannungsmesswicklung N_2 40

D.3.3 Messwiderstand R..... 41

D.3.4 Datenerfasser..... 41

D.4 Prüfschritte..... 41

D.5 Messprinzip..... 41

D.6 Zu berücksichtigende Aspekte..... 42

Anhang E (informativ) Impedanzverfahren..... 43

E.1 Überblick..... 43

E.2 Grundlegendes Schaltdiagramm..... 43

E.3 Messeinrichtung..... 43

E.3.1 Impedanz-Analysegerät oder LCR-Messgerät..... 43

E.3.2 Erregerwicklung N_1 43

E.4 Prüfschritte..... 43

E.5	Messprinzip.....	44
E.6	Zu berücksichtigende Aspekte.....	44
Anhang F (informativ) Impulsverfahren.....		45
F.1	Überblick.....	45
F.2	Grundlegendes Schaltdiagramm.....	45
F.3	Messeinrichtung.....	45
F.3.1	Messwiderstand R_i	45
F.3.2	Schalter S.....	46
F.3.3	Erregerwicklung N_i	46
F.3.4	Kondensator C.....	46
F.4	Prüfschritte.....	46
F.5	Messprinzip.....	46
F.6	Zu berücksichtigende Aspekte.....	48
Anhang G (informativ) Verfahren zur Verifizierung und Kriterien für die Beurteilung.....		49
Anhang H (informativ) Anwendung der Gleichstrom-Vormagnetisierung auf den Kern.....		52
H.1	Überblick.....	52
H.2	Zu berücksichtigende Aspekte.....	54
Anhang I (informativ) Verweisungen.....		55
I.1	Überblick.....	55
I.2	Einfluss der Anstiegszeit der Rechteckwellenerregung auf den Kernverlust.....	55
I.3	Phasenfehlergrenze.....	56
I.4	Abweichung von Gleichung (8).....	57
I.5	SRF-Erwägung der Probe.....	57
Literaturhinweise.....		59
Bilder		
Bild 1 – Bild der Rechteck-Wellenform.....		15
Bild A.1 – Diagramm des Wechselstromverfahrens.....		25
Bild A.2 – Schaltdiagramm der Blindleistungskompensation des Kondensators.....		29
Bild A.3 – Zeigerdiagramm der Blindleistungskompensation des Kondensators.....		30
Bild B.1 – Diagramm des Wechselstrommessverfahrens.....		31
Bild C.1 – Diagramm des kalorimetrischen Verfahrens.....		34
Bild C.2 – Diagramm des kalorimetrischen Kalibrierungsverfahrens.....		37
Bild C.3 – Diagramm des vergleichenden kalorimetrischen Verfahrens.....		38
Bild D.1 – Diagramm des Großsignal-Wechselstromverfahrens.....		40
Bild E.1 – Diagramm des Impedanzverfahrens.....		43
Bild F.1 – Diagramm des Impulsverfahrens.....		45
Bild F.2 – Erregungsspannung und Stromwellenform in der Erregerwicklung.....		47
Bild G.1 – Diagramm des Kerninduktors mit Luftspalt.....		50
Bild H.1 – Diagramm der Anwendung der Gleichstrom-Vormagnetisierung.....		53

Bild I.1 – Rechteckwellen-Erregungsquelle..... 56

Bild I.2 – Diagramm des Verhältnisfehlers und Phasenfehlers..... 56

Bild I.3 – Äquivalentes Schaltungsmodell der Probe..... 58

Tabellen

Tabelle 1 – Vergleich der Messverfahren für die Verlustleistung..... 21

Tabelle I.1 – Beispiel für k , α , β und andere Parameter..... 56

Tabelle I.2 – Beispiel für einen Kernverlustfehler mit verschiedenen Werten für t_r 56

Tabelle I.3 – Beispiel für den Kernverlust-Messfehler und Verhältnisfehler für den Phasenfehler..... 57

Tabelle I.4 – Beispiel für ΔL bei verschiedenen Frequenzen..... 58

EINLEITUNG

Magnetische Pulverkerne sind durch eine geringe relative Permeabilität, eine hohe gesättigte Flussdichte und geringen Verlust gekennzeichnet. Aus diesem Grund ist die äquivalente Impedanz einer Probe des magnetischen Pulverkerns im Vergleich zu Ferrit ohne Luftspalt sehr viel geringer und der Magnetisierungsstrom sehr hoch, so dass die erforderliche Erregungsquelle sowohl eine hohe Frequenz als auch eine hohe Leistungskapazität benötigt, was in der Praxis schwer zu erreichen ist. Darüber hinaus liegt der Impedanzwinkel eines geprüften magnetischen Pulverkerns sehr nahe an 90° und dies erschwert die genaue Messung der Verlustleistung erheblich.

Die Normenreihe IEC 62044 bietet Messverfahren für magnetische Eigenschaften bei geringen und hohen Erregungsgraden für magnetische Kerne aus magnetischen Oxiden oder metallischen Pulvern. Die in der Normenreihe IEC 62044 vorgestellten Verfahren können die Messanforderungen für die magnetischen Eigenschaften magnetischer Pulverkerne jedoch nicht vollständig erfüllen. Es ist daher nützlich, eine Norm für geeignete Messverfahren für die magnetischen Eigenschaften magnetischer Pulverkerne vorliegen zu haben.

Neue Prüfverfahren mit Impulswellenerregung und Gleichstromverfahren, die die Eigenschaften von magnetischen Pulverkernen berücksichtigen, werden in diesem Dokument zusätzlich zu einigen Änderungen der bisherigen Prüfverfahren vorgestellt. Darüber hinaus wird in dem Dokument ein Luftkern-Induktor mit Einschichtwicklung oder Zweischichtwicklung aufgrund seiner linearen Eigenschaften eingeführt, um die Genauigkeit von Prüfverfahren für die magnetischen Eigenschaften magnetischer Pulverkerne zu überprüfen oder zu kalibrieren.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument bietet die besten Prüfverfahren für die elektrischen und magnetischen Eigenschaften magnetischer Pulverkerne für induktive Bauteile in elektronischen Geräten, Schaltnetzteile und Stromwandler und präsentiert Messprinzipien, den Anwendungsbereich und die wichtigen Punkte für jedes Verfahren.

Die folgenden Parameter werden zur Charakterisierung magnetischer Pulverkerne verwendet: Induktivitätsfaktor, effektive Permeabilität, komplexe relative Permeabilität, Temperaturkoeffizient der Permeabilität, Frequenzkoeffizient der Permeabilität, Gleichstrom-Vormagnetisierungseigenschaften, Verlustleistung und Qualitätsfaktor. Dieses Dokument dient als Grundlage für die Bestimmung der charakteristischen Parameter magnetischer Pulverkerne.

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).

IEC 63182-2, *Magnetic powder cores - Guidelines on dimensions and the limits of surface irregularities - Part 2: Ring-cores*

3 Begriffe, Abkürzungen und Symbole

3.1 Begriffe

In diesem Dokument werden keine Begriffe aufgeführt.

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>

3.2 Abkürzungen

ARV	mittlerer Korrekturwert (en: average rectification value)
EPR	äquivalenter Parallelwiderstand (en: equivalent parallel resistance)
ESR	Ersatzserienwiderstand (en: equivalent series resistance)
FFT	schnelle Fourier-Transformation (en: fast Fourier transform)
MSE	modifizierte Steinmetz-Formel (en: modified Steinmetz equation)
PWM	Pulsdauermodulation (en: pulse width modulation)
RMS	Effektivwert (en: root mean square)
SCR	Thyristor (en: silicon controlled rectifier)
SRF	Eigenresonanzfrequenz (en: self-resonant frequency)
ZVS	Nullspannungsschaltbetrieb (en: zero voltage switching)

3.3 Symbole

Für sämtliche Gleichungen in dieser Norm werden SI-Grundeinheiten benutzt. Wenn Vielfache oder Subvielfache verwendet werden, muss die entsprechende Zehnerpotenz eingeführt werden.

f	ist die Frequenz in Hertz (Hz);
T_s	ist der Zyklus in Sekunden (s);
B_m	ist der Scheitelwert der effektiven magnetischen Flussdichte, in Tesla (T);
H_m	ist der Scheitelwert der effektiven magnetischen Feldstärke, in Ampere je Meter (A/m);
P_c	ist die von dem Kern absorbierte Verlustleistung in Watt (W);
P_w	ist der Wicklungsverlust in Watt (W);
P_{cv}	ist die von dem Kern absorbierte Leistungsdichte in Watt je Kubikmeter (W/m ³);
A_e	ist die effektive Querschnittsfläche des Kerns in Quadratmetern (m ²);
l_e	ist die effektive magnetische Pfadlänge des Kerns in Metern (m);
V_e	ist das effektive Volumen des Kerns in Kubikmetern (m ³);
φ	ist die Phase in Radian (rad);
$\Delta\varphi$	ist der absolute Phasenverschiebungsfehler in Radian (rad);
N_2	ist die Windungszahl der Spannungsmesswicklung;
ΔT	ist der Temperaturanstieg in Grad Celsius (°C);
N_1	ist die Windungsanzahl der Erregerwicklung;
μ_0	ist die magnetische Konstante (die Permeabilität des Vakuums), etwa $4 \times \pi \times 10^{-7}$ H/m;
μ_{ea}	ist die effektive Amplituden-Permeabilität;
$\mu_{e\Delta}$	ist die effektive inkrementelle Permeabilität.

4 Instrumente und Geräte

4.1 Allgemeine Maßnahmen

Für die Messungen müssen ein geeigneter Stromkreis (wie in Anhang A bis Anhang F und in Anhang H festgelegt) und Instrumente ausgewählt werden.

4.2 Erregungsquelle

4.2.1 Allgemeine Maßnahmen

Die von den Herstellern angegebenen Eigenschaften magnetischer Pulverkerne basieren üblicherweise auf einer Sinuswellen-Erregungsquelle, da diese Messung die höchste Wiederholpräzision bietet und einfach zu replizieren ist. Die Anwendungen umfassen zahlreiche verschiedene nicht-sinusförmige Bedingungen, so dass Verfahren für die Prüfung mit anderen Wellenformen für bestimmte Fälle erforderlich sind. Auf Sinuswellen basierende Daten sind als allgemeiner Bezugspunkt für die Charakterisierung von Materialien, den Vergleich von Materialien, Korrelationsprüfungen zwischen Laboren und die Festlegung klarer Spezifikationsgrenzen besonders nützlich. Die Erregungsquellen in diesem Dokument umfassen Sinuswellen- und Rechteckwellenquellen. Es ist zu beachten, dass die Wellenform einer Spannungsquelle (die die magnetische Flussdichte bestimmt) nicht notwendigerweise der Wellenform des damit verbundenen Stroms entspricht (da die magnetische Flussdichte durch die induktiven Eigenschaften der Probe (DUT, en: Device Under Test) bestimmt wird). Gleichmaßen entspricht die Wellenform einer Stromquelle (die die magnetische Feldstärke bestimmt) nicht notwendigerweise der Wellenform der damit verbundenen Spannung (aus der induzierten Flussdichte). Die Erregungsquelle muss eine geringe innere Impedanz mit einem stabilen Frequenz- und Amplitudenwert innerhalb von $\pm 0,1$ % während der Messung aufweisen.

4.2.2 Sinuswellen-Erregungsquelle

Wenn die Sinuswellenerregung festgelegt ist, muss der gesamte Oberschwingungsanteil der Erregungsquelle weniger als 1 % betragen. Im Fall der sinusförmigen Erregungsspannung wird die magnetische Flussdichte anhand der Gleichung (1) berechnet.

$$B_m = \frac{\sqrt{2} \times U_{1\text{rms}}}{2 \times \pi \times f \times A_e \times N_1} \quad (1)$$

Dabei ist

$U_{1\text{rms}}$ der Effektivwert (RMS) der Erregungsspannung in Volt (V).

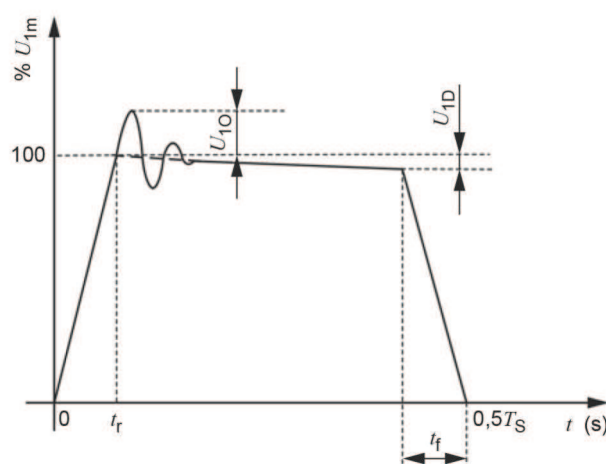
4.2.3 Rechteckwellen-Erregungsquelle

Wenn die Rechteckwellen-Erregung (die PWM-Wellenform [Pulsdauermodulation] mit einem Arbeitszyklus von 0,5) wie in Bild 1 gezeigt festgelegt ist (die negative Halbwelle entspricht der Form der positiven Halbwelle), muss die Überschwingweite U_{10} weniger als 5 % der Spitzenimpulsamplitude U_{1m} betragen, die Regeldifferenz U_{1D} weniger als 2 % der Spitzenimpulsamplitude U_{1m} betragen und die Impulsanstiegsdauer t_r und die Impulsabfalldauer t_f müssen weniger als 1 % des Zyklus der Rechteckwelle betragen.

ANMERKUNG Abschnitt I.2 enthält die Begründung von „weniger als 1 %“.

Im Fall einer Rechteckwellen-Erregungsspannung wird die magnetische Flussdichte anhand der Gleichung (2) berechnet.

$$B_m = \frac{U_{1m}}{4 \times f \times A_e \times N_1} \quad (2)$$



Legende

- U_{1m} Spitzenimpulsamplitude, der Höchstwert auf einer glatten Kurve, extrapoliert durch das Impulsdach des Impulses, alle anfänglichen „Spitzen“ und „Überschwinger“ außer Betracht lassend, deren Dauer kleiner als 10 % der Impulsdauer ist. In Volt (V) (siehe IEC 61007:2020, 3.3)
- t_r Anstiegsdauer des Impulses
- t_f Abfalldauer des Impulses
- U_{1D} Regeldifferenz
- U_{10} Temperaturüberschreitung

Bild 1 – Bild der Rechteck-Wellenform

4.2.4 Berechnung der magnetischen Flussdichte

Die magnetische Flussdichte mit beliebiger Wellenform-Erregungswechselspannung kann anhand der Gleichung (3) berechnet werden.

$$B_m = \frac{U_1}{4 \times f \times A_e \times N_1} \quad (3)$$

Dabei ist

- U_1 der mittlere Korrekturwert (ARV) der beliebigen Wellenform-Erregungswechselspannung in Volt (V).

4.3 Messausrüstung

4.3.1 Allgemeine Maßnahmen

Spannungsmessgerät oder Spannungsmesseinrichtung müssen eine hohe innere Impedanz haben. Um Messfehler zu reduzieren, müssen die Messfühler eine hohe Eingangsimpedanz haben. Zusätzlich muss die Bandbreite des Spannungsmessgeräts oder der Spannungsmesseinrichtung die Oberschwingungsfrequenz abdecken, deren Amplitude 1 % der Grundschwingungsamplitude entspricht.

4.3.2 Spannungsmessgerät

Um den Effektivwert, den Mittelwert und den Spitzenwert der Erregungsspannung zu messen, wird ein Spannungsmessgerät mit einer Genauigkeit von 0,2 % empfohlen.

4.3.3 Datenerfassungssystem

Um den Effektivwert, den Mittelwert und den Spitzenwert der Erregungsspannung genau zu messen, darf die Abtastrate des Datenerfassungssystems nicht weniger als 256 Punkte je Zyklus betragen und die Auflösung nicht weniger als 12 Bit.

4.4 Sensor

4.4.1 Messwiderstand

Der Widerstandsfehler des Messwiderstands muss weniger als 0,1 % betragen (einschließlich Temperaturdrift des Widerstands). Die Parasitärinduktivität des Messwiderstands muss der Gleichung (4) und der Gleichung (5) entsprechen.

$$L \leq \frac{R}{2 \times \pi \times f} \sqrt{2 \times \delta_a} \quad (4)$$

$$L \leq \frac{R \times \tan(\delta_\varphi)}{2 \times \pi \times f} \quad (5)$$

Dabei ist

L	die Parasitärinduktivität des Messwiderstands in Henry (H);
R	der Widerstand des Messwiderstands in Ohm (Ω);
δ_a	der zulässige relative Fehler des Spannungsabfalls über dem Messwiderstand bei der Prüffrequenz (ohne Maßeinheit);
δ_φ	die Phasendifferenz der Spannung und des Stroms am Messwiderstand bei der Prüffrequenz in Radian (rad).

BEISPIEL Für $\delta_a = 0,1 \%$, $\delta_\varphi = 4,363 \times 10^{-4} \text{ rad} = 0,025^\circ$, $R = 1 \Omega$, $f = 500 \text{ kHz}$, dann gilt:

$$L \leq \frac{1}{2 \times \pi \times 500 \times 10^3} \sqrt{2 \times 0,001} = 14,2 \text{ nH} \quad (6)$$

$$L \leq \frac{1 \times \tan(0,025^\circ)}{2 \times \pi \times 500 \times 10^3} = 0,139 \text{ nH} \quad (7)$$

Die Parasitärinduktivität des Messwiderstands bei 500 kHz muss daher $L \leq 0,139 \text{ nH}$ sein.

4.4.2 Stromwandler

Der Amplitudenfehler (Fehlerrate) des Stromwandlers muss weniger als 5 % betragen. Die Phasenverschiebung (Phasenfehler) muss weniger als 0,000 436 Radian oder $0,025^\circ$ betragen.

ANMERKUNG Abschnitt I.3 beschreibt die Begründung mit „weniger als 5 %“.

4.5 Andere Beschreibungen

4.5.1 Zwischenverbinder

Der Störwiderstand, die Induktivität und die Kapazität, die durch die Verbinder in dem Messstromkreis erzeugt werden, müssen eine minimale Amplitude und wenige Phasenfehler innerhalb des Messfrequenzbereichs aufweisen.

Alle Anschlüsse in dem Stromkreis müssen so kurz wie möglich sein und Phasenfehler zwischen den Prüfkanälen müssen die Bedingungen der Gleichung (8) innerhalb des Messfrequenzbereichs erfüllen.

Wenn die Erregung nicht sinusförmig ist, muss der Phasenfehler jeder Oberschwingung berücksichtigt werden.

$$\Delta\varphi = \pm \frac{\delta_p}{Q} \quad (8)$$

Dabei ist

δ_p der relative Verlustleistungsfehler in Verbindung mit der Phasenverschiebung $\Delta\varphi$;

$Q = \frac{f \times B_m \times H_m}{2 \times P_{cv}}$ der Qualitätsfaktor der Probe.

ANMERKUNG Abschnitt I.4 enthält die Begründung von Gleichung (8).

BEISPIEL Für $\delta_p = \pm 1 \%$, $Q = 5$, dann gilt:

$$\Delta\varphi = \pm \frac{0,01}{5} = \pm 0,002 \text{ rad} \quad (9)$$

4.5.2 Thermostat

Um die magnetischen Eigenschaften bei einer bestimmten Temperatur zu messen, muss eine Wärmekammer vorgesehen werden und mit einer Temperaturregelung mit einem Temperaturfehler von weniger als $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ausgestattet sein.

5 Probe

5.1 Magnetischer Kern

Der für die Messung verwendete Kern muss einen geschlossenen magnetischen Stromkreis bilden. Für die Bewertung der Materialeigenschaften muss ein magnetischer Ringpulverkern mit einem Verhältnis zwischen Außen- und Innendurchmesser von weniger als 2 verwendet werden. Es wird empfohlen, die Größe des magnetischen Ringpulverkerns ohne Fase oder Beschichtung (Außendurchmesser $\times$ Innendurchmesser $\times$ Höhe) anzuwenden: 26,9 mm $\times$ 14,7 mm $\times$ 11,2 mm.

5.2 Wicklung

5.2.1 Wicklungszustände

Die Wicklung muss aus Draht mit minimalem Verlust bestehen und die Schicht muss dem Kern so nah wie möglich sein. Im Fall von Ringkernen müssen die Wicklungen gleichmäßig um den Kernumfang verteilt werden. Ist der Kern nicht ringförmig, muss der Magnetfluss gleichmäßig in dem Kern verteilt sein. Der mit der Erregerwicklung verbundene Verbinder muss isoliert sein und die Isolierung darf nicht beschädigt sein.

Die Eigenschwingungsfrequenz der Probe muss mindestens 10-mal höher sein als die Messfrequenz, damit die Störkapazität der Wicklung nur wenig Einfluss auf die Prüfergebnisse hat.

ANMERKUNG Abschnitt I.5 enthält weitere Informationen.

5.2.2 Zweischichtwicklung

Zweischicht- oder parallele Bifilarwicklungen werden für Kernverlustmessungen bevorzugt. Die beiden Wicklungen sind die Erregerwicklung und die Spannungsmesswicklung. Der Kopplungskoeffizient zwischen der Erregerwicklung und der Spannungsmesswicklung muss möglichst hoch sein, was aufgrund der geringen Materialpermeabilität der Pulverkerne schwierig ist.

5.2.3 Einschichtwicklung

Wenn das Messinstrument die magnetische Eigenschaft der Probe mit Zweischichtwicklung nicht messen kann, kann eine Probe mit Einschichtwicklung verwendet werden. Wenn der Wicklungsverlust der Probe im Vergleich zum Kernverlust sehr gering ist, kann der Wicklungsverlust vernachlässigt werden. Andernfalls sollten einige Maßnahmen getroffen werden, um den Wicklungsverlust abzugleichen. Die folgenden Maßnahmen werden empfohlen:

- a) Wenn die Erregung eine Sinuswellenform hat und der Drahtdurchmesser weniger als das Doppelte der Eindringtiefe beträgt (Skinneffekt-Tiefe), entsprechend der Prüffrequenz, entspricht der AC-Widerstand ungefähr dem DC-Widerstand. Die Eindringtiefe wird anhand der Gleichung (10) berechnet, und der Wicklungsverlust wird durch die Gleichung (11) geschätzt.

$$d = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \times \mu_r \times \gamma \times \pi \times f}} \quad (10)$$

$$P_w = I_{rms}^2 \times R_{dc} \quad (11)$$

Dabei ist

d	die Eindringtiefe in Metern (m);
μ_r	die relative Permeabilität des Drahts;
γ	die Leitfähigkeit des Drahts in Siemens/Meter (S/m);
I_{rms}	der Effektivwert des Magnetisierungsstroms in Ampere (A);
R_{dc}	der Gleichstromwiderstand der Wicklung in Ohm (Ω).

- b) Wenn die Erregung eine Sinuswellenform hat und der Drahtdurchmesser weniger als das Doppelte der Eindringtiefe beträgt, werden der AC-Widerstand und der Wicklungsverlust anhand der Gleichung (12) und Gleichung (13) geschätzt.

$$R_{ac} = \frac{D^2}{4d(D-d)} \times R_{dc} \quad (12)$$

$$P_w = I_{rms}^2 \times R_{ac} \quad (13)$$

Dabei ist

D	der Durchmesser des Wicklungsleiters in Metern (m);
d	die Eindringtiefe für den Skinneffekt in Metern (m);
I_{rms}	der Effektivwert des Magnetisierungsstroms in Ampere (A);
R_{ac}	der Wechselstromwiderstand der Probewicklung in Ohm (Ω).

- c) Wenn die Erregung eine Rechteckwellenform hat, kann der Wicklungsverlust auf der Grundlage der FFT-Oberschwingungsanalyse (Fast-Fourier-Transformation) für die lineare Eigenschaft des Wicklungsverlusts