

Zu diesem Dokument sind eine oder mehrere Berichtigung/en erschienen.
Sie sind online recherchier- und kostenfrei bestellbar unter www.beuth.de

DIN EN 60404-6



ICS 17.220.20; 29.030

Magnetische Werkstoffe –**Teil 6: Verfahren zur Messung der magnetischen Eigenschaften
weichmagnetischer und pulverförmiger Werkstoffe bei Frequenzen im
Bereich 20 Hz bis 200 kHz mit Hilfe von Ringproben (IEC 60404-6:2003);
Deutsche Fassung EN 60404-6:2003**

Magnetic materials –

Part 6: Methods of measurement of the magnetic properties of magnetically soft metallic and powder materials at frequencies in the range of 20 Hz to 200 kHz by the use of ring specimens (IEC 60404-6:2003);

German version EN 60404-6:2003

Matériaux magnétiques –

Partie 6: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des matériaux métalliques et des matériaux en poudre, magnétiquement doux aux fréquences comprises entre 20 Hz et 200 kHz, sur des éprouvettes en forme de tore (CEI 60404-6:2003);

Version allemande EN 60404-6:2003

Gesamtumfang 24 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE



Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2003-09-01 angenommene EN 60404-6 gilt als DIN-Norm ab 2004-10-01.

Nationales Vorwort

Zu diesem Dokument wurde ein Kurzverfahren in den DIN-Mitteilungen veröffentlicht.

Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 171 „Magnetische Legierungen und Stahl“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 68 „Magnetic alloys and steels“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zum Jahr 2007 unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

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

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.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen 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.

Magnetische Werkstoffe
Teil 6: Verfahren zur Messung der magnetischen Eigenschaften
weichmagnetischer und pulverförmiger Werkstoffe bei Frequenzen im Bereich
20 Hz bis 200 kHz mit Hilfe von Ringproben
(IEC 60404-6:2003)

Magnetic materials – Part 6: Methods of measurement of the magnetic properties of magnetically soft metallic and powder materials at frequencies in the range of 20 Hz to 200 kHz by the use of ring specimens
(IEC 60404-6:2003)

Matériaux magnétiques – Partie 6: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des matériaux métalliques et des matériaux en poudre, magnétiquement doux aux fréquences comprises entre 20 Hz et 200 kHz, sur des éprouvettes en forme de tore
(CEI 60404-6:2003)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2003-09-01 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, Litauen, 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

Vorwort

Der Text der Schriftstücke 68/271/FDIS und 68/275/RVD, zukünftige 2. Ausgabe von IEC 60404-6, ausgearbeitet von dem IEC TC 68 „Magnetic alloys and steels“, wurde der IEC-CENELEC parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2003-09-01 als EN 60404-6 angenommen.

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): 2004-06-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2006-09-01

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norminhalt.

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

In dieser Norm ist Anhang ZA normativ und sind die Anhänge A und B informativ.

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60404-6:2003 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung ist unter „Literaturhinweise“ zu der aufgelisteten Norm die nachstehende Anmerkung einzutragen:

IEC 62044 ANMERKUNG Harmonisiert in der Reihe EN 62044 (nicht modifiziert).

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Allgemeine Grundzüge der Messung	5
4 Temperaturmessungen	6
5 Messung der Permeabilitätszahl und der Magnetisierungskurve nach dem Verfahren der Spannungs-Stromstärke-Messung	7
6 Messung des spezifischen Gesamtverlusts nach dem Leistungsmessgerät-Verfahren	10
7 Messung der magnetischen Eigenschaften im Wechselfeld mit Hilfe digitaler Impedanzbrücken	11
8 Messung der magnetischen Eigenschaften mit Hilfe digitaler Verfahren	13
9 Unsicherheiten	16
10 Prüfbericht	16
Anhang A (informativ) Anforderungen an Wicklungen und Messgeräte zur Minimierung zusätzlicher Verluste	19
A.1 Einführung	19
A.2 Verminderung der zusätzlichen Verluste	19
Anhang B (informativ) Regelung der sinusförmigen Schwingungsform nach digitalem Verfahren	20
Literaturhinweise	21
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	22
 Bild 1 – Schaltung bei dem Ringprobenverfahren	 16
Bild 2 – Grundzüge des Leistungsmessgerät-Verfahrens	17
Bild 3 – Schaltung beim digitalen Impedanzbrücken-Verfahren	17
Bild 4 – Schaltung beim digitalen Verfahren	18

Einleitung

Diese Ausgabe der Norm IEC 60404-6 wurde unter dem „Maintenance programme of publication“ des TC 68 von der WG 2 erarbeitet. Die Messungen im Gleichfeld in der ersten Ausgabe dieser Norm werden jetzt von IEC 60404-4 und deren Änderung A1 abgedeckt. Diese Ausgabe der Norm IEC 60404-6 schließt Messungen im Wechselfeld an weichmagnetischen Pulverwerkstoffen ein. Da Messungen an diesen Werkstoffen bei hohen Frequenzen Gebrauch machen von einigen der Verfahren, die auch für Messungen an magnetischen Komponenten benutzt werden, hat eine aktive Zusammenarbeit mit IEC TC 51 stattgefunden. IEC TC 51 hat kürzlich begonnen, die Normenreihe IEC 62044 zu veröffentlichen. Dieses Normungsprojekt wird aus vier Teilen bestehen. IEC 62044-3 gibt für verschiedene Ferritkern-Anwendungen geeignete Messverfahren für die magnetischen Eigenschaften bei hohen Erregungsniveaus an. Andererseits erfüllt diese Ausgabe von IEC 60404-6 die Forderung nach Messungen an Nicht-Ferrit-Werkstoffen, so dass die beiden Normen sich gut ergänzen.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der Normenreihe IEC 60404 beschreibt Verfahren zur Messung der magnetischen Wechselfeld-Eigenschaften im Wechselfeld von Werkstoffen außer Elektroblech und Weichferriten bei Frequenzen im Bereich 20 Hz bis 200 kHz. Die von diesem Teil der Reihe IEC 60404 abgedeckten Werkstoffe schließen jene speziellen Legierungen ein, die in IEC 60404-8-6 aufgelistet sind, amorphe und nanokristalline Werkstoffe, gepresste und gesinterte sowie metallische Spritzgussteile, wie solche, die in IEC 60404-8-9 aufgeführt sind, Gussteile und weichmagnetische, zusammengesetzte Werkstoffe.

Das Anliegen dieser Norm ist es, die allgemeinen Grundzüge und die technischen Details der Messung der magnetischen Eigenschaften weichmagnetischer Werkstoffe mit Hilfe des Ringprobenverfahrens festzulegen. Bei Werkstoffen in Pulverform wird der Werkstoff nach einem für diesen geeigneten Pressverfahren in die Form einer Ringprobe gebracht.

Magnetische Messungen im Gleichfeld an weichmagnetischen Werkstoffen müssen in Übereinstimmung mit dem Ringprobenverfahren nach IEC 60404-4 ausgeführt werden. Die Bestimmung der magnetischen Kennzahlen weichmagnetischer Komponenten muss in Übereinstimmung mit IEC 62044-3 vorgenommen werden.

Normalerweise müssen die Messungen bei Zimmertemperatur von $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ an Ringproben durchgeführt werden, die vorher zuerst aufmagnetisiert und dann abmagnetisiert wurden. Über andere Temperaturbereiche können Messungen gemäß zwischen Hersteller und Käufer getroffenen Vereinbarungen vorgenommen werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten normativen Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 62044-3:2000, *Cores made of soft magnetic materials – Measuring methods – Part 3: Magnetic properties at high excitation levels*.

IEC 60404-2:1996, *Magnetic materials – Part 2: Methods of measurement of the magnetic properties of electrical steel sheet and strip by means of an Epstein frame*.

IEC 60404-4:1995, *Magnetic materials – Part 4: Methods of measurement of d.c. magnetic properties of iron and steel, Amendment 1:2000*.

IEC 60404-8-6:1999, *Magnetic materials – Part 8-6: Specifications for individual materials – Soft magnetic metallic materials*.

IEC 60404-8-9:1994, *Magnetic materials – Part 8: Specifications for individual materials – Section 9: Standard specification for sintered soft magnetic materials*.

ISO/IEC Guide to the expression of uncertainty in measurement, 1993.

3 Allgemeine Grundzüge der Messung

Die Messungen werden an einem geschlossenen magnetischen Kreis in der Form einer Ringprobe, die mit einer oder zwei Wicklungen bewickelt ist, ausgeführt.

3.1 Probe

Die Probe muss die Form eines Ringes mit rechteckigem Querschnitt haben, der auf folgende Weise hergestellt sein kann:

- a) durch Wickeln von dünnen Streifen oder Draht zu einem Toroid-Kern nach Art einer Uhrfeder oder
- b) durch Aufschichtung von gestanzten, Laser-geschnittenen oder fotochemisch geätzten Ringen oder
- c) durch Pressen und Sintern von Pulvern, durch Spritzguss oder durch Gießen.

Im Fall von Pulverwerkstoffen wird die Ringprobe durch Spritzguss oder durch Pressen (gegebenenfalls unter Erhitzung) in Übereinstimmung mit den Empfehlungen des Werkstoffherstellers zum Erreichen der optimalen magnetischen Eigenschaften des Pulverwerkstoffes hergestellt.

Bei allen Typarten der Probe sollten vor der Wärmebehandlung Grate und scharfe Kanten entfernt werden. Im Falle von hochpermeablem Werkstoff ist es vorzuziehen, die Ringprobe in eine zweiteilige, ringförmige Dose einzuschließen, in die die Probe eng hineinpasst, ohne dass mechanische Spannungen in den Werkstoff eingeführt werden.

Der Ring muss so bemessen sein, dass das Verhältnis des äußeren zum inneren Durchmesser nicht größer als 1,4 und vorzugsweise kleiner als 1,25 ist.

Bei festen Werkstoffen und gepressten Pulverwerkstoffen müssen die Abmaße der Proben, d. h. der äußere und der innere Durchmesser und die Höhe des Rings, mit geeigneten kalibrierten Messgeräten gemessen werden. Die Abmaße müssen jeweils an mehreren Stellen der Probe gemessen und dann gemittelt werden. Die Querschnittsfläche der Probe muss errechnet werden gemäß:

$$A = \frac{D - d}{2} h \quad (1)$$

Dabei ist:

- A die Querschnittsfläche der Probe in Quadratmeter;
- D der äußere Durchmesser der Probe in Meter;
- d der innere Durchmesser der Probe in Meter;
- h die Höhe der Probe in Meter.

Bei Kernen aus einem geschichteten Stapel oder aus gewickelten Streifen muss die Querschnittsfläche der Probe aus der Masse, der Dichte und den Werten des inneren und äußeren Durchmessers des Rings berechnet werden. Die Masse und die Durchmesser müssen mit geeigneten kalibrierten Messgeräten gemessen werden. Als Dichte ist der vom Hersteller des Werkstoffs angegebene konventionelle Wert der Dichte zu verwenden. Die Querschnittsfläche muss berechnet werden nach:

$$A = \frac{2 m}{\rho \pi (D + d)} \quad (2)$$

Dabei ist:

- m die Masse der Probe in Kilogramm;
- ρ die Dichte des Werkstoffs in Kilogramm je Kubikmeter.

Für die Berechnung der magnetischen Feldstärke ist es notwendig, die mittlere magnetische Weglänge der Probe zu bestimmen gemäß:

$$\ell_m = \pi \frac{D + d}{2} \quad (3)$$

Dabei ist ℓ_m die mittlere magnetische Weglänge der Probe in Meter.

Wenn der spezifische Gesamtverlust zu bestimmen ist, dann muss die Masse der Probe gemessen werden.

3.2 Wicklungen

Die Anzahl der Wicklungen und die Anzahl der Windungen hängen von der benutzten Messeinrichtung und dem angewandten Messverfahren ab. Für Verlustmessungen sind normalerweise eine Magnetisier- und eine Sekundärwicklung erforderlich. In diesem Fall muss die Sekundärwicklung so nah wie möglich an der Probe liegen, um die Wirkung des von der Wicklung eingeschlossenen Luftflusses zu minimieren. Sämtliche Wicklungen müssen gleichförmig über die gesamte Länge der Probe gewickelt sein.

Bei Messungen bei Frequenzen oberhalb von technischen Frequenzen muss dafür gesorgt werden, dass Komplikationen auf Grund von Kapazität und anderen Effekten vermieden werden. Diese werden im Anhang A vorgestellt und diskutiert.

Es muss dafür Sorge getragen werden, dass die Drahtisolierung beim Wickeln nicht beschädigt wird, was einen Kurzschluss zur Probe hin verursachen würde. Mit einem geeigneten Wechselstrom-Isolations-Widerstandsmessgerät muss geprüft und sichergestellt werden, dass kein direkter Kontakt zwischen der Wicklung und der Probe besteht.

4 Temperaturmessungen

Wenn die Kenntnis der Temperatur der Probenoberfläche gefordert ist, dann muss die Temperatur durch Anbringen eines kalibrierten unmagnetischen Thermoelements (z. B. eines Thermoelements von Typ T) an die Probe gemessen werden. Wenn die Probe gekapselt ist, dann muss ein kleines Loch in die Kapsel gebohrt werden, und das Thermoelement in Kontakt mit dem Kernwerkstoff angebracht werden, wobei darauf zu achten ist, dass der Probenwerkstoff unversehrt bleibt. Wenn dieses nicht möglich ist, muss das Thermoelement an der Kapsel angebracht und dieses Vorgehen im Prüfbericht erwähnt werden. Das Thermoelement muss mit einem geeigneten kalibrierten Digitalvoltmeter verbunden werden zur Messung seiner Ausgangsspannung, der mit Hilfe der Kalibriertabelle des Thermoelements der entsprechende Temperaturwert zugeordnet werden kann.

Wenn sich herausstellt, dass sich die Probentemperatur nach dem Magnetisieren zeitlich ändert, dann müssen die magnetischen Eigenschaften entweder wenn eine vereinbarte Temperatur erreicht ist oder nach einer zwischen Käufer und Hersteller vereinbarten Zeit gemessen werden. Wenn Messungen bei höheren Temperaturen gemacht werden sollen, dann können diese durchgeführt werden, indem die Probe zur Einstellung der geforderten Temperatur in einen geeigneten Ofen eingesetzt wird.

ANMERKUNG Ein zweiter kleinerer zeitabhängiger Relaxationseffekt kann ebenfalls die magnetischen Eigenschaften beeinflussen. Für die Werkstoffarten dieser Norm ist dieser Effekt normalerweise überdeckt von Änderungen durch Temperaturänderungen. Wenn jedoch solche magnetischen Relaxationseffekte in Erscheinung treten, dann soll man die Probe bei der vorgeschriebenen magnetischen Flussdichte oder magnetischen Feldstärke verharren lassen für eine vereinbarte Zeitdauer, bevor die endgültigen Messungen ausgeführt werden.

5 Messung der Permeabilitätszahl und der Magnetisierungskurve nach dem Verfahren der Spannungs-Stromstärke-Messung

5.1 Einführung

Die Messungen werden bei Frequenzen von normalerweise 20 Hz bis 200 kHz nach dem Ringprobenverfahren ausgeführt, wobei die höchste anwendbare Frequenz durch die Eigenschaften der Messgeräte bestimmt wird.

ANMERKUNG 1 Wenn geeignete kalibrierte Messgeräte verfügbar sind, kann die obere Grenze bis 1 MHz hinausgeschoben werden.

ANMERKUNG 2 Messungen im Gleichfeld sind entsprechend dem in IEC 60404-4 beschriebenen Verfahren auszuführen.

ANMERKUNG 3 Eine Auswahl von Verfahren zur Messung von Verlust und effektiver Permeabilität von Kernen aus der laufenden Produktion im Bereich hoher Erregung und bei Frequenzen, die sich von praktisch Gleichfeld bis zu 10 MHz und darüber hinaus erstrecken, ist in 6.2 und 6.3 von IEC 62044-3 angegeben.

5.2 Messplatz und Schaltung

Die Ringprobe ist mit einer Magnetisierungswicklung N_1 und einer Sekundärwicklung N_2 zu bewickeln (siehe 3.2 und Anhang A).

Der Messplatz muss wie in Bild 1 gezeigt geschaltet werden.

Die Änderung der Wechselstromquelle in Spannung und Frequenz am Ausgang darf während der Messung jeweils $\pm 0,2\%$ des eingestellten Wertes nicht überschreiten. Die Wechselstromquelle ist mit einem den tatsächlichen Effektivwert oder den Spitzenwert anzeigenden Stromstärkemessgerät und einem Präzisionswiderstand in Reihe mit der Magnetisierungswicklung N_1 auf der Ringprobe zu verbinden, um die Magnetisierungsstromstärke zu messen.

Der Sekundärkreis besteht aus einer Sekundärwicklung N_2 , die mit zwei Spannungsmessgeräten parallel verbunden ist. Das eine Spannungsmessgerät V_2 misst den wahren Effektivwert der Spannung, das andere Spannungsmessgerät V_1 misst die Gleichrichtmittelwert-Spannung, ist aber im Allgemeinen skaliert in Gleichrichtmittelwert-Spannung $\times 1,111$.

ANMERKUNG Die Schwingungsform der induzierten Sekundärspannung sollte mit einem Oszilloskop kontrolliert werden, um sicherzustellen, dass nur die Grundwelle vorliegt.

5.2.1 Schwingungsform der Sekundärspannung oder des Magnetisierungsstroms

Um vergleichbare Messungen zu erhalten, muss vorher vereinbart werden, dass entweder die Schwingungsform der Sekundärwicklungsspannung oder die des Magnetisierungsstroms innerhalb eines Formfaktors von $1,111 \pm 1\%$ sinusförmig gehalten werden muss. Im letzteren Fall ist ein induktionsfreier, im Magnetisierungskreis in Reihe geschalteter Widerstand erforderlich.

ANMERKUNG 1 Die Zeitkonstante des induktionsfreien Widerstandes sollte niedrig sein, um sicherzustellen, dass die Schwingungsform innerhalb der angegebenen Grenzen liegt.

ANMERKUNG 2 Der induktionsfreie Widerstand kann derselbe sein, der für die Messung der Magnetisierungsstromstärke benutzt wird.

ANMERKUNG 3 Die Einregelung der sinusförmigen Schwingungsform kann mit digitalen Verfahren erreicht werden (siehe Anhang B).

Im Frequenzbereich zwischen 20 Hz und 50 kHz kann der Formfaktor der Sekundärspannung mit Hilfe zweier Spannungsmessgeräte mit hoher Impedanz (typischerweise $> 1\text{ M}\Omega$ mit 90 pF bis 150 pF parallel) bestimmt werden, die an die Sekundärwicklung angeschlossen werden. Eines der Spannungsmessgeräte muss

den Effektivwert der Spannung anzeigen und das andere den Gleichrichtmittelwert der Sekundärspannung. Der Formfaktor wird dann bestimmt aus dem Verhältnis des Effektivwerts zum Gleichrichtmittelwert.

ANMERKUNG 4 Für optimale Leistungsübertragung kann es notwendig sein, die Windungszahl der Magnetisierungs-Wicklung zu optimieren und so an die Ausgangsimpedanz der Leistungsquelle anzupassen. Dies kann ermittelt werden aus:

$$Z = j\omega L \quad (4)$$

Dabei ist:

Z die Ausgangsimpedanz der Leistungsquelle in Ohm;

ω die Kreisfrequenz des Ausgangssignals der Leistungsquelle in s^{-1} ;

L die effektive Induktivität der Magnetisierungswicklung der Ringprobe in Henry, berechnet nach

$$L = \frac{N_1^2 A \mu_0 \mu_r}{\ell_m} \quad (5)$$

Dabei ist:

N_1 die Windungszahl der Magnetisierungswicklung;

A die Querschnittsfläche der Probe in Quadratmeter;

μ_0 die magnetische Feldkonstante ($= 4 \pi \cdot 10^{-7}$ Henry/Meter);

μ_r die Permeabilitätszahl der Probe;

ℓ_m die mittlere magnetische Weglänge der Probe in Meter.

Wenn die Permeabilitätszahl nicht bekannt ist, kann eine Vormessung der magnetischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte wie in 5.3 und 5.4 beschrieben und die Berechnung der Permeabilitätszahl nach 5.5 erforderlich sein.

5.3 Bestimmung der magnetischen Feldstärke

Die magnetische Feldstärke, bei der die Messung auszuführen ist, ist aus der folgenden Beziehung zu berechnen:

$$H = \frac{N_1 \cdot I}{\ell_m} \quad (6)$$

Dabei ist:

H die magnetische Feldstärke in Ampere je Meter;

N_1 die Windungszahl der Magnetisierungswicklung der Probe;

I die Magnetisierungsstromstärke in Ampere;

ℓ_m die mittlere magnetische Weglänge in Meter.

Normalerweise wird die Amplitude der magnetischen Feldstärke bestimmt durch Messen des Effektivwerts der Magnetisierungsstromstärke und durch Multiplikation mit dem Faktor $\sqrt{2}$. Bei sinusförmigem Magnetisierungsstrom definiert dies den korrekten Spitzenwert der magnetischen Feldstärke. Bei sinusförmiger magnetischer Flussdichte definiert dies einen äquivalenten Spitzenwert der magnetischen Feldstärke, der, bei einer gegebenen Magnetisierungsstromstärke, zahlenmäßig niedriger ist. Alternativ kann der Spitzenwert der magnetischen Feldstärke mit Hilfe eines den Spitzenwert anzeigenden Stromstärkemessgerätes oder eines solchen Spannungsmessgerätes mit Präzisionswiderstand bestimmt werden.

Vor der Messung muss die Probe sorgfältig abmagnetisiert werden. Dabei ist von einer Feldstärke auszugehen, die nicht kleiner als das 10fache der Koerzitivfeldstärke ist, und die entsprechende Magnetisierungs-

stromstärke ist langsam auf null herunterzufahren. Das Abmagnetisieren muss bei der gleichen oder einer niedrigeren Frequenz als die bei den Messungen benutzte Frequenz vorgenommen werden.

5.4 Bestimmung der magnetischen Flussdichte

Die Sekundärspannung muss mit Hilfe des kalibrierten Gleichrichtmittelwert-Spannungsmessgerätes V_1 gemessen und die magnetische Flussdichte aus der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$\overline{|U_2|} = 4 \cdot f \cdot A \cdot \hat{B} \cdot N_2 \quad (7)$$

Dabei ist:

$\overline{|U_2|}$ der Gleichrichtmittelwert der Sekundärspannung in Volt;

f die Frequenz in Hertz;

\hat{B} der Scheitelwert der magnetischen Flussdichte in Tesla;

A die Querschnittsfläche der Probe in Quadratmeter;

N_2 die Windungszahl der Sekundärwicklung.

Abhängig von der Höhe der magnetischen Feldstärke und dem Verhältnis der Querschnittsfläche der Probe zu der der Sekundärwicklung kann es erforderlich sein, die magnetische Flussdichte mit dem zwischen Probe und Sekundärwicklung eingeschlossenen Luftfluss zu korrigieren. Der korrigierte Wert B der magnetischen Flussdichte ist durch die folgende Beziehung gegeben:

$$B = B' - \mu_0 H \frac{(A' - A)}{A} \quad (8)$$

Dabei ist:

B' der gemessene Wert der magnetischen Flussdichte in Tesla;

μ_0 die magnetische Feldkonstante ($= 4 \pi \cdot 10^{-7}$ Henry/Meter);

H die magnetische Feldstärke in Ampere/Meter;

A' die von der Sekundärspule eingeschlossene Querschnittsfläche;

A die Querschnittsfläche der Probe in Quadratmeter.

5.5 Bestimmung der Wechselfeld-Permeabilitätszahl und der Amplituden-Permeabilitätszahl

Für Wertepaare der magnetischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte ist die Wechselfeld-Permeabilitätszahl zu bestimmen gemäß

$$\mu_{a, \text{rms}} = \frac{\hat{B}}{\mu_0 \sqrt{2} \tilde{H}} \quad (9)$$

und die Amplituden-Permeabilitätszahl nach

$$\mu_a = \frac{\hat{B}}{\mu_0 \hat{H}} \quad (10)$$

Dabei ist:

$\mu_{a, \text{rms}}$ die Wechselfeld-Permeabilitätszahl (für sinusförmige magnetische Flussdichte);

μ_a die Amplituden-Permeabilitätszahl;

μ_0 die magnetische Feldkonstante ($\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7}$ Henry/Meter);

- \hat{B} der Scheitelwert der magnetischen Flussdichte in Tesla;
 \tilde{H} der Effektivwert der magnetischen Feldstärke in Ampere je Meter;
 \hat{H} der Scheitelwert der magnetischen Feldstärke in Ampere je Meter.

5.6 Bestimmung der Magnetisierungskurve

Die Probe ist sorgfältig abzumagnetisieren wie in 5.3 beschrieben. Durch schrittweises Erhöhen der Magnetisierungsstromstärke können Wertepaare der magnetischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte gewonnen werden, mit denen die Magnetisierungskurve aufgezeichnet werden kann.

6 Messung des spezifischen Gesamtverlusts nach dem Leistungsmessgerät-Verfahren

6.1 Grundzüge des Messverfahrens

Die Grundzüge des Messverfahrens sind ähnlich denen des in der Norm IEC 60404-2 beschriebenen Verfahrens mit der Ausnahme, dass der Epstein-Rahmen durch die Ringprobe ersetzt wird und dass der Messplatz die Messung bei den geforderten Frequenzen erlaubt. Die Messung des spezifischen Gesamtverlusts ist bei sinusförmiger magnetischer Flussdichte auszuführen. Bei einigen Proben kann dies eine Rückführungs-Regelung des Leistungsverstärkers oder digitale Regelung der Schwingungsform der Magnetisierungsstromstärke erforderlich machen (siehe Anhang B), um sinusförmige Flussdichte einzuhalten. Der Messplatz und die Wicklungen der Probe müssen wie in Bild 2 gezeigt geschaltet werden.

ANMERKUNG Eine Auswahl von Verfahren für die Messung des spezifischen Gesamtverlusts und der Amplitudenpermeabilität bei hoher Aussteuerung bei Frequenzen von praktisch Gleichfeld bis hinauf zu 10 MHz und höher wird in 6.2 und 6.3 der Norm IEC 62044-3 angegeben.

6.1.1 Gleichrichtmittelwert-Spannungsmessgerät, V_1

Der Mittelwert der gleichgerichteten Sekundärspannung ist mit einem kalibrierten Gleichrichtmittelwert-Spannungsmessgerät zu messen. Die Belastung des Sekundärkreises muss so klein wie möglich sein (siehe Anhang A). Folglich ist ein elektronisches Leistungsmessgerät mit hoher Eingangsimpedanz zu benutzen.

ANMERKUNG Messgeräte dieses Typs sind normalerweise in Gleichrichtmittelwert multipliziert mit dem Faktor 1,111 skaliert.

6.1.2 Effektivwert-Spannungsmessgerät, V_2

Es ist ein kalibriertes, den Effektivwert anzeigendes Spannungsmessgerät zu benutzen. Wie zuvor muss die Belastung des Sekundärkreises so klein wie möglich gehalten werden, vorzugsweise ist ein elektronisches Spannungsmessgerät zu benutzen (siehe Anhang A).

6.1.3 Leistungsmessung

Es ist ein kalibriertes Leistungsmessgerät zu benutzen, das für Schaltungen geeignet ist, die einen niedrigen Leistungsfaktor aufweisen können ($\cos \phi$ bis hinunter zu 0,1). Die Eingangsimpedanz des Spannungskreises muss so hoch wie möglich sein (siehe Anhang A).

6.1.4 Messung des spezifischen Gesamtverlusts

Die Probe muss wie im 5.3 beschrieben sorgfältig abmagnetisiert werden. Die Stromstärke in der Magnetisierungswicklung N_1 ist zu erhöhen, bis die Spannung am Spannungsmessgerät V_1 (das den Gleichrichtmittelwert anzeigt) der geforderten magnetischen Flussdichte, berechnet nach Gleichung (7), entspricht.

Die an den beiden Spannungsmessgeräten V_1 und V_2 abgelesenen Werte sind zu registrieren und der Formfaktor der induzierten Sekundärspannung ist zu berechnen und gemäß 5.2.1 zu überprüfen. Der am Leistungsmessgerät abgelesene Wert ist dann zu registrieren.

6.1.5 Bestimmung des spezifischen Gesamtverlusts

Die Leistung P_m , die mit Hilfe des Leistungsmessgeräts gemessen wird, schließt diejenige Leistung ein, die durch die Messgeräte im Sekundärkreis verbraucht wird. Diese ist in erster Näherung gleich $(1,111 \overline{|U_2|})^2 / R_i$, da die Sekundärspannung annähernd sinusförmig ist.

Somit ist der Gesamtverlust P_c der Probe zu berechnen nach:

$$P_c = \frac{N_1}{N_2} \cdot P_m - \frac{(1,111 \overline{|U_2|})^2}{R_i} \quad (11)$$

Dabei ist:

P_c der berechnete Wert des Gesamtverlusts der Probe in Watt;

P_m die Leistung gemessen mit Hilfe des Leistungsmessgeräts in Watt;

N_1 die Windungszahl der Magnetisierungswicklung;

N_2 die Windungszahl der Sekundärwicklung;

$\overline{|U_2|}$ der Gleichrichtmittelwert der Sekundärspannung in Volt;

R_i der kombinierte äquivalente Widerstand der Messgeräte im Sekundärkreis in Ohm.

Der spezifische Gesamtverlust P_s ist zu berechnen durch Teilen von P_c durch die Masse der Probe.

Es ist also

$$P_s = \frac{P_c}{m} \quad (12)$$

Dabei ist:

P_s der spezifische Gesamtverlust der Probe in Watt je Kilogramm;

m die Masse der Probe in Kilogramm.

7 Messung der magnetischen Eigenschaften im Wechselfeld mit Hilfe digitaler Impedanzbrücken

7.1 Grundzüge des Messverfahrens

Digitale Impedanzbrücken (auch bekannt unter den Begriffen Impedanz-Analysatoren und LCR-Messgeräte) werden vielfach benutzt zur Messung der Induktanz und anderer technischer Eigenschaften von magnetischen Komponenten. Diese Messgeräte können zur Bestimmung magnetischer Eigenschaften wie Wechselfeld-Induktanzpermeabilität und spezifischer Gesamtverlust eingesetzt werden, vorausgesetzt, gewisse Einschränkungen werden beachtet. Dieses Verfahren geht davon aus, dass die Ringprobe elektrisch äquivalent einer Parallelkombination aus einer Induktanz und einem Widerstand ist. Die Wechselfeld-Induktanzpermeabilität wird aus der Induktanz und der spezifische Gesamtverlust aus dem Widerstand berechnet.

ANMERKUNG 1 LCR-Messgeräte werden im Allgemeinen nur für Vergleichsmessungen benutzt.

ANMERKUNG 2 Die Wechselfeld-Induktanzpermeabilität ist die Permeabilität, die aus der gemessenen induktiven Komponente der Impedanz des elektrischen Kreises bestimmt wird, wobei die magnetische Probe – unter Bedingungen, bei denen die Flussdichte sich zeitlich sinusförmig ändert mit dem Mittelwert null – repräsentiert wird durch die induktive Komponente parallel zu einer resistiven Komponente.

Die nach diesem Verfahren durchgeführten Prüfungen müssen beschränkt werden auf den linearen Anfangsteil der Magnetisierungskurve, wo die Bedingungen sinusförmiger magnetischer Flussdichte und

magnetischer Feldstärke vorherrschen. Die Probe muss gemäß 3.1 vorbereitet werden. Eine Einzelwicklung (N_1) mit so hoher Windungszahl, dass die Flussdichte sinusförmig gehalten wird, ist zu verwenden.

7.2 Messplatz

Der Prüfungsmessplatz ist in Bild 3 wiedergegeben und besteht aus den dort gezeigten Komponenten.

7.2.1 Digitale Impedanzmessbrücke

Die kalibrierte digitale Impedanzmessbrücke muss die Konfiguration einer 4-Zweig-Kelvin-Typ-Brücke haben mit der Möglichkeit, die Parallel-Induktivität L_p und den Parallel-Widerstand R_p zu messen. Die Ausgangsimpedanz der Signalquelle muss so klein sein, dass die Flussdichte in der Probe sinusförmig ist. Die Brücke muss die Möglichkeit bieten, die Impedanz der Verbindungsleitungen zwischen Messgerät und Probe zu kompensieren (nullen).

7.2.2 Effektivwert-Stromstärkemessgerät

Ein kalibriertes Effektivwert-Stromstärkemessgerät ist für die Messung der Magnetisierungsstromstärke zu benutzen. Die Magnetisierungsstromstärke kann ebenfalls gemessen werden mit einem induktivitätsfreien Präzisionswiderstand in Reihe mit der Magnetisierungswicklung und einem kalibrierten Effektivwert-Spannungsmessgerät, das die Spannung über den Präzisionswiderstand misst. Die Forderung nach einem separaten Messgerät kann entfallen, wenn das digitale Impedanz-Messgerät mit einem internen Stromstärkemessgerät ausgestattet ist oder wenn die Einstellgenauigkeit der Signalquelle auf unabhängige Weise nachgewiesen wurde.

7.2.3 Gleichrichtmittelwert-Spannungsmessgerät

Der Mittelwert der gleichgerichteten Sekundärspannung ist mit einem kalibrierten Gleichrichtmittelwert-Spannungsmessgerät mit hoher Eingangsimpedanz (typisch $> 1 \text{ M}\Omega$ parallel mit 90 pF bis 150 pF) zu messen.

ANMERKUNG Messgeräte dieses Typs sind normalerweise skaliert in Gleichrichtmittelwert multipliziert mit 1,111.

7.2.4 Effektivwert-Spannungsmessgerät

Ein kalibriertes, den Effektivwert anzeigendes Spannungsmessgerät mit hoher Eingangsimpedanz (typisch $> 1 \text{ M}\Omega$ parallel mit 90 pF bis 150 pF) ist zu verwenden.

7.3 Durchführung

Vor der Messung ist das Messgerät nach den Angaben des Herstellers zu nullen, um die Impedanz der Zuleitungen zu kompensieren. Bei einer Prüfung bei hohen Frequenzen sollte die von der Wicklung herrührende Impedanz eliminiert werden. Hierzu kann man einen nicht-magnetischen Kern, der den gleichen Querschnitt hat und mit gleicher Windungszahl bewickelt ist wie die Probe, an das Messgerät anschließen.

Nachdem die Verbindung der Probe mit dem Messgerät hergestellt ist, muss die Probe abmagnetisiert werden, wobei entweder die Signalquelle des Messgeräts oder eine externe Quelle benutzt wird. Das Prüfen ist bei steigenden Werten entweder der Magnetisierungsstromstärke (magnetische Feldstärke) oder der Flussdichte durchzuführen. Die Beziehung zwischen magnetischer Feldstärke und Magnetisierungsstromstärke ist durch Gleichung (7) und die zwischen Flussdichte und der in die Wicklung induzierten Spannung durch Gleichung (8) gegeben. Der Formfaktor der in die Wicklung induzierten Spannung ist mit Hilfe der von den Spannungsmessgeräten V_1 und V_2 erhaltenen Spannungen zu bestimmen. Die gemessenen Induktanzen und Resistanzen sind entweder von Hand oder mit elektronischen Hilfsmitteln aufzuschreiben.

Es ist nicht immer möglich, bei einem digital geregelten Messplatz die geforderte Magnetisierungsstromstärke oder Flussdichte genau einzustellen. Unter diesen Umständen und bei diesem Verfahren ist Dateninterpolation notwendig und erlaubt.

7.4 Bestimmung der Wechselfeld-Induktanzpermeabilitätszahl

Die Wechselfeld-Induktanzpermeabilitätszahl der Probe ist dann zu berechnen nach

$$\mu_p = \frac{L_p \ell_m}{N_1^2 A \mu_0} \quad (13)$$

Dabei ist:

- μ_p die Wechselfeld-Induktanzpermeabilitätszahl;
- L_p die gemessene Parallel-Induktanz in Henry;
- ℓ_m die mittlere magnetische Weglänge der Probe in Meter;
- N_1 die Windungszahl der Wicklung;
- A die Querschnittsfläche der Probe in Quadratmeter;
- μ_0 die magnetische Feldkonstante ($= 4 \pi 10^{-7}$ Henry/Meter).

7.5 Bestimmung des spezifischen Gesamtverlusts

Der spezifische Gesamtverlust kann aus dem Parallel-Widerstand wie folgt berechnet werden:

$$P_s = \frac{\left(1,111 \overline{|U_2|} \right)^2}{m} \left\{ \frac{1}{R_p} - \frac{1}{R_w} \right\} \quad (14)$$

Dabei ist:

- P_s der spezifische Gesamtverlust der Probe in Watt pro Kilogramm;
- $\overline{|U_2|}$ der Gleichrichtmittelwert der Sekundärspannung in Volt;
- m die Masse der Probe in Kilogramm;
- R_p der Parallel-Widerstand in Ohm;
- R_w der Widerstand der Wicklung in Ohm (siehe auch Anhang A).

8 Messung der magnetischen Eigenschaften mit Hilfe digitaler Verfahren

8.1 Einführung

Die Messungen werden nach dem Ringprobenverfahren durchgeführt, wobei die Frequenz nach oben begrenzt wird durch die Eigenschaften des Spannungsmessgerätes und durch den Frequenzgang des induktivitätsfreien Präzisionswiderstandes, der zur Bestimmung der Magnetisierungstromstärke mit der Magnetisierungswicklung in Reihe geschaltet ist.

8.2 Messplatz und Schaltung

Die Ringprobe muss wie im Bild 4 gezeigt in die Schaltung eingebaut werden.

Die Änderung der Wechselstromquelle in Ausgangsspannung und -frequenz darf während der Messung jeweils $\pm 0,2 \%$ des eingestellten Wertes nicht überschreiten. Die Wechselstromquelle ist mit der auf die Probe gewickelten Magnetisierungswicklung und mit einem induktivitätsfreien Präzisionswiderstand, über den ein kalibrierter analog/digital Spannungswandler (A/D) V_1 gelegt ist, in Reihe anzuschließen.

Der Sekundärkreis besteht aus einer Sekundärwicklung N_2 , angeschlossen an einen A/D-Spannungswandler V_2 .

ANMERKUNG Die Auflösung des A/D-Spannungswandlers muss ausreichend sein. Die Abtastrate der benutzten Messeinrichtung muss eine ausreichende Anzahl von Abtastwerten pro Periode garantieren. Die Abtastung jedes Wertepaares muss gleichzeitig erfolgen (zu Einzelheiten siehe Veröffentlichungen über digitale Signalverarbeitung).

8.3 Schwingungsform des Magnetisierungsstromes

Um vergleichbare Messungen zu erhalten, muss vorher vereinbart werden, dass die Schwingungsform entweder der Sekundärspannung oder des Magnetisierungsstromes innerhalb eines Formfaktors von $1,111 \pm 1\%$ sinusförmig gehalten werden muss.

ANMERKUNG Für das Einstellen einer guten Schwingungsform der Sekundärspannung oder der Magnetisierungsstromstärke kann es notwendig sein, die Windungszahl der Magnetisierungswicklung zu optimieren und so an die Ausgangsimpedanz der Leistungsquelle anzupassen. Dies kann aus den in den Gleichungen (4) und (5) gegebenen Bedingungen ermittelt werden.

8.4 Magnetisierungswicklung

Die Forderungen von Abschnitt 3.2 und Anhang A müssen erfüllt werden.

8.5 Bestimmung der magnetischen Feldstärke

Die magnetische Feldstärke, bei der die Messung ausgeführt werden soll, wird berechnet nach

$$H(t) = \frac{N_1}{R \ell_m} \cdot U_1(t) \quad (15)$$

Dabei ist:

$H(t)$ die magnetische Feldstärke in Ampere pro Meter;

N_1 die Windungszahl der Magnetisierungswicklung;

$U_1(t)$ die Spannung zur Zeit t über dem induktionsfreien Präzisionswiderstand zur Bestimmung der Magnetisierungsstromstärke in Volt;

ℓ_m die mittlere magnetische Weglänge in Meter;

R der Wert des induktionsfreien Präzisionswiderstandes in Reihe mit der Magnetisierungswicklung zur Bestimmung der Magnetisierungsstromstärke in Ohm.

Mit den diskreten Werten der Spannung U_1 wird die magnetische Feldstärke berechnet nach

$$H_i = \frac{N_1}{R \ell_m} \cdot U_{1i} \quad (16)$$

Dabei ist:

H_i der diskrete Wert der magnetischen Feldstärke in Ampere pro Meter;

U_{1i} der diskrete Wert der Spannung über dem induktionsfreien Präzisionswiderstand zur Bestimmung der Magnetisierungsstromstärke in Volt.

8.6 Bestimmung der magnetischen Flussdichte

Die induzierte Sekundärspannung muss mit einem kalibrierten A/D-Spannungswandler gemessen werden, und die magnetische Flussdichte ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$B(t) = -\frac{1}{N_2 A} \int_0^t U_2(t) dt + K \quad (17)$$

Dabei ist:

- $B(t)$ die Flussdichte in Tesla;
- N_2 die Windungszahl der Sekundärwicklung;
- $U_2(t)$ die Sekundärspannung zur Zeit t in Volt;
- A die Querschnittsfläche der Probe in Quadratmeter;
- K hat einen solchen Wert, dass der zeitliche Mittelwert von $B(t)$ gleich Null ist.

8.7 Bestimmung der Wechselfeld-Permeabilitätszahl

Für Wertepaare der magnetischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte ist die Wechselfeld-Permeabilitätszahl nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$\mu_a = \frac{\hat{B}}{\mu_o \hat{H}} \quad (18)$$

Dabei ist:

- μ_a die Wechselfeld-Permeabilitätszahl;
- μ_o die magnetische Feldkonstante ($= 4 \pi 10^{-7}$ Henry/Meter);
- \hat{B} der Scheitelwert der magnetischen Flussdichte in Tesla;
- \hat{H} der Scheitelwert der magnetischen Feldstärke in Ampere/Meter.

8.8 Bestimmung der Magnetisierungskurve

Die Probe ist sorgfältig abzumagnetisieren. Durch schrittweise Erhöhung der Magnetisierungsstromstärke erhält man Wertepaare der maximalen magnetischen Feldstärke und der maximalen magnetischen Flussdichte, mit denen die Wechselfeldmagnetisierungskurve aufgetragen werden kann.

8.9 Bestimmung der spezifischen Gesamtverluste

Der spezifische Gesamtverlust P_s entspricht der Fläche der Hysteresenschleife, die mit den B-H-Wertepaaren gebildet werden kann.

Somit ist der spezifische Gesamtverlust P_s der Probe nach der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$P_s = \frac{f N_1}{N_2 m R} \int_{t=0}^T U_1(t) U_2(t) dt \quad (19)$$

Dabei ist:

- P_s der spezifische Gesamtverlust der Probe in Watt pro Kilogramm;
- f die Frequenz in Hertz;
- N_1 die Windungszahl der Magnetisierungswicklung;
- N_2 die Windungszahl der Sekundärwicklung;
- m die Masse der Probe in Kilogramm;
- R der Wert des induktionsfreien Präzisionswiderstandes in Reihe mit der Magnetisierungswicklung zur Bestimmung der Magnetisierungsstromstärke in Ohm;
- T die Periodendauer, $T = 1/f$, in Sekunden;
- $U_1(t)$ die Spannung zur Zeit t über dem induktionsfreien Präzisionswiderstand zur Bestimmung der Magnetisierungsstromstärke in Volt;
- $U_2(t)$ die induzierte Sekundärspannung zu einer Zeit t in Volt.

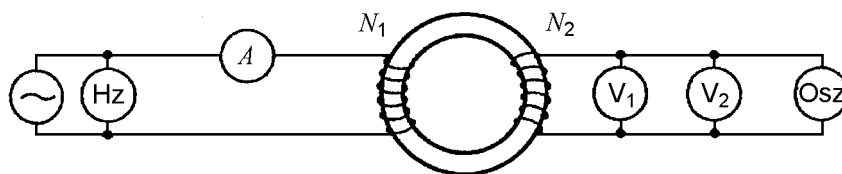
9 Unsicherheiten

Die einzelnen Beiträge zur Unsicherheit einer bestimmten Messung müssen festgestellt und dann kombiniert werden gemäß den Richtlinien des „ISO/IEC Guide to the expression of uncertainty in measurement“.

10 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss, soweit erforderlich, die folgenden Angaben enthalten:

- Typ und Seriennummer oder Kennzeichnung der Probe;
- Anzahl der Wicklungen und Windungszahlen der Probe;
- Masse und Abmaße der Probe und bei dünnem Werkstoff die Dichte;
- die Frequenz;
- das angewandte Prüfverfahren;
- die Umgebungstemperatur;
- die Oberflächentemperatur der Probe;
- die Zeitspanne zwischen Magnetisieren und Messen;
- die Art der Schwingungsform: Sinusform der induzierten Sekundärspannung oder Sinusform des Magnetisierungsstroms;
- das Verfahren zur Bestimmung des Scheitelwerts der Stromstärke;
- die gemessenen Größen und ihre Unsicherheit.

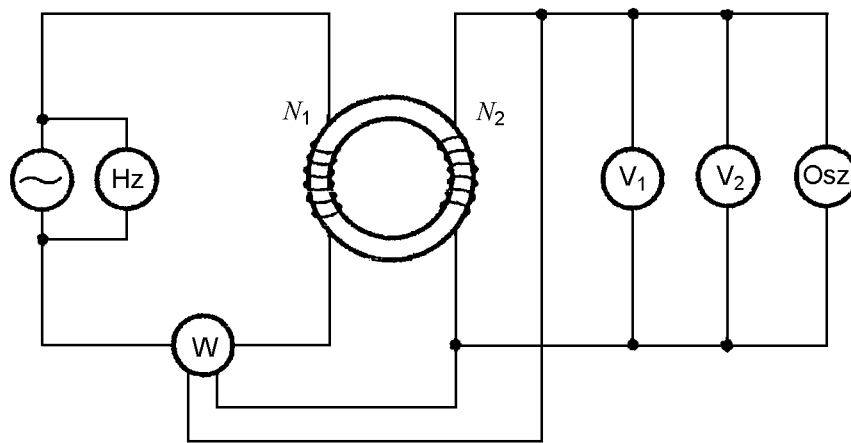


Legende:

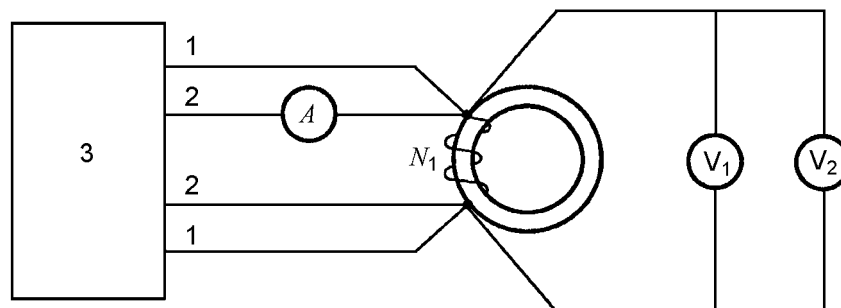
- ~ Leistungsquelle (normalerweise ein Oszillator und Leistungsverstärker)
- A Effektivwert oder Spitzenwert anzeigendes Stromstärkemessgerät oder ein Effektivwert oder Spitzenwert anzeigendes Spannungsmessgerät und Präzisionswiderstand für die Magnetisierungsstromstärkemessung
- Hz Frequenzmessgerät
- N_1 Magnetisierungswicklung
- N_2 Sekundärwicklung
- Osz Oszilloskop
- V_1 Gleichrichtwert-Spannungsmessgerät
- V_2 Effektivwert-Spannungsmessgerät

ANMERKUNG Wenn Messungen sinusförmiger Stromstärke ausgeführt werden, dann ist ein induktivitätsfreier Widerstand in Reihe mit der Magnetisierungswicklung zu schalten um sicherzustellen, dass der Widerstand des Magnetisierungskreises mindestens 10-mal größer ist als die Induktanz der Probe.

Bild 1 – Schaltung bei dem Ringprobenverfahren

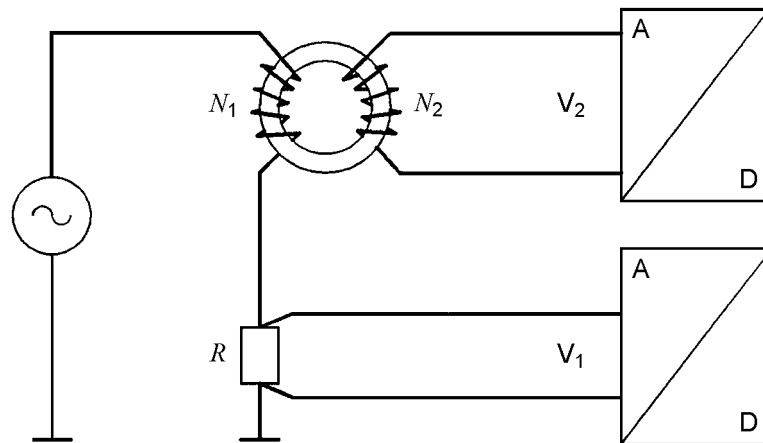
**Legende:**

- ~ Leistungsquelle (normalerweise ein Oszillator und Leistungsverstärker)
- H_z Frequenzmessgerät
- N_1 Magnetisierungswicklung
- N_2 Sekundärwicklung
- Osz Oszilloskop
- W Leistungsmessgerät
- V_1 Gleichrichtmittelwert-Spannungsmessgerät
- V_2 Effektivwert-Spannungsmessgerät

Bild 2 – Grundzüge des Leistungsmessgerät-Verfahrens**Legende:**

- 1 Spannungs-Anschluss
- 2 Strom-Anschluss
- 3 LCR-Messgerät
- A Effektivwert-Stromstärkemessgerät oder Effektivwert-Spannungsmessgerät mit Präzisionswiderstand zur Messung der Magnetisierungsstromstärke
- N_1 Wicklung
- V_1 Gleichrichtmittelwert-Spannungsmessgerät
- V_2 Effektivwert-Spannungsmessgerät

Bild 3 – Schaltung beim digitalen Impedanzbrücken-Verfahren



Legende:

N_1 Magnetisierungswicklung

N_2 Sekundärwicklung

R induktivitätsfreier Präzisionswiderstand in Reihe mit der Magnetisierungswicklung zur Bestimmung der Magnetisierungsstromstärke

V_1 A/D-Spannungswandler zur Messung der Magnetisierungsstromstärke

V_2 A/D-Spannungswandler zur Messung der induzierten Sekundärspannung

Bild 4 – Schaltung beim digitalen Verfahren

Anhang A (informativ)

Anforderungen an Wicklungen und Messgeräte zur Minimierung zusätzlicher Verluste

A.1 Einführung

Bei Frequenzen oberhalb technischer Frequenzen können durch die Probenwicklungen bedingte Zusatzverluste auftreten. Diese haben folgende Ursache:

- a) die Kapazität zwischen Magnetisierungs- und Sekundärwicklung auf der Probe,
- b) die Kapazität der Leitungen zwischen Sekundärwicklung und Messgeräten,
- c) die Kapazität und der Widerstand der Eingangskreise der Messgeräte und
- d) der dielektrische Verlust des Isolationsmaterials der Sekundärwicklung.

A.2 Verminderung der zusätzlichen Verluste

Die zusätzlichen Verluste können durch sorgfältige Wahl des Wicklungsdrahtes, der Wicklungstechnik und der Messgeräte minimiert werden.

Die Drahtisolation sollte aus einem Material mit niedrigem dielektrischen Verlust sein, zum Beispiel Polytetrafluoräthylen (PTFE) oder Polyäthylen, um die Wirkung des dielektrischen Verlusts zu minimieren.

Wenn möglich sollten die Magnetisierungs- und die Sekundärwicklung getrennt sein, um die Kapazität zwischen den Wicklungen klein zu halten.

Die Verbindungsleitungen zwischen Sekundärwicklung und Messgeräten sollten eine Isolation mit niedrigem dielektrischen Verlust haben und sollten so kurz wie möglich sein.

Die Messgeräte sollten eine niedrige Eingangskapazität und einen hohen Eingangswiderstand haben, um Last auf dem Sekundärkreis zu vermeiden.

Anhang B (informativ)

Regelung der sinusförmigen Schwingungsform nach digitalem Verfahren

Die vorgeschriebene, sinusförmige Schwingungsform der induzierten Sekundärspannung kann bei mittleren und hohen Frequenzen nur schwer mit Hilfe konventioneller, analoger Rückführungsverfahren erreicht werden. Instabilitäten und selbsterregte Schwingungen treten wahrscheinlich auf, wenn die Frequenz einige hundert Hertz übersteigt. Die digitale Rückführung ist grundsätzlich frequenzunabhängig und erwartungsgemäß unempfindlich in Bezug auf Schwingungsselbsterregung. Eine mögliche Realisierung dieses Verfahrens geht von der Annahme aus, dass die Zeitfunktionen $B(t)$ und $H(t)$ eine Parameter-Darstellung der Hystereseschleife $B(H)$ bilden. Unter dieser Annahme legt eine gewisse Zeitabhängigkeit der Stromstärke im Primärkreis (d. h. $H(t)$) die $B(t)$ -Funktion eindeutig fest. Ein vom Rechner gesteuerter Generator für beliebige Schwingungsform wird zur Erzeugung der erforderlichen $H(t)$ -Funktion verwendet. In iterativem Verfahren wird in jedem i -ten Schritt die dynamische $B(H)$ -Beziehung aktualisiert durch die aktuellen $B_i(t)$ - und $H_i(t)$ -Funktionen und wird zur Berechnung der Funktion $H_{i+1}(t)$ im $(i+1)$ -ten Schritt herangezogen. Die Iteration kann beendet werden, wenn der geforderte Formfaktorwert der Sekundärspannung $1,111 \pm 1\%$ erreicht ist. Die so berechnete $H(t)$ -Funktion muss dann in eine Funktion $V_g(t)$ umgeformt werden, die dem Schwingungsform-Generator zuzuführen ist. $V_g(t)$ kann in Beziehung gebracht werden zu der Beziehung

$$H(t) = \frac{N_1 I(t)}{\ell_m}$$

durch folgenden Lösungsweg. Wenn wir den gesamten Reihenwiderstand des Primärkreises mit R_s und die Verstärkung des Leistungsverstärkers mit G bezeichnen, dann können wir, geringfügige Kapazitätseffekte vernachlässigend, schreiben:

$$V_g(t) = \frac{1}{G} \left(\frac{R_s H(t) \ell_m}{N_1} + N_1 A \frac{dB(t)}{dt} \right) \quad (\text{B.1})$$

Dabei ist:

$$\frac{dB(t)}{dt} = \omega \hat{B} \sin(\omega t)$$

Nach dem gleichen Prinzip ist es möglich, die Funktion $B(t)$ zu bestimmen, die, für eine bestimmte Probe, zu einer sinusförmigen $H(t)$ -Funktion gehört, und entsprechend die Spannungsfunktion $V_g(t)$ zu errechnen, die der Quelle zuzuführen ist, um einen sinusförmigen Magnetisierungsstrom zu erhalten.

ANMERKUNG Wenn die Wirkung des Luftflusses zwischen Probe und Magnetisierungswicklung nicht vernachlässigt werden kann, dann muss der Zusatzterm

$$V_{\text{air}} = \frac{1}{G} \mu_0 N_1 (A' - A) \frac{dH(t)}{dt}$$

in Gleichung (B.1) eingeführt werden.

Literaturhinweise

IEC 62044 (all parts), *Cores made of soft magnetic materials – Measuring methods*.

Anhang ZA (normativ)

Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder 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 62044-3	2000	Cores made of soft magnetic materials – Measuring methods Part 3: Magnetic properties at high excitation level	EN 62044-3	2001
IEC 60404-2	1996	Magnetic materials Part 2: Methods of measurement of the magnetic properties of electrical steel sheet and strip by means of an Epstein frame	EN 60404-2	1998
IEC 60404-4	1995	Part 4: Methods of measurement of d.c. magnetic properties of magnetically soft materials	EN 60404-4	1997
A1	2000	–	A1	2002
IEC 60404-8-6	1999	Part 8-6: Specifications for individual materials – Soft magnetic metallic materials	–	–
IEC 60404-8-9	1994	Part 8: Specification for individual materials Section 9: Standard specification for sintered soft magnetic materials	–	–
ISO/IEC	1993	Guide to the expression of uncertainty in measurement	–	–