

DIN EN IEC 62044-3



ICS 17.220.20; 29.100.10

Entwurf

Einsprüche bis 2023-07-12
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 62044-3:2001-12 und
DIN EN 62044-3
Berichtigung 1:2022-03

**Kerne aus weichmagnetischen Materialien –
Messverfahren –
Teil 3: Messungen der magnetischen Eigenschaften im
Leistungsbereich
(IEC 51/1411/CD:2022);
Text Deutsch und Englisch**

Cores made of soft magnetic materials –
Measuring methods –
Part 3: Magnetic properties at high excitation level
(IEC 51/1411/CD:2022);
Text in German and English

Noyaux en matériaux magnétiques doux –
Méthodes de mesure –
Partie 3: Propriétés magnétiques à niveau élevé d'excitation
(IEC 51/1411/CD:2022);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-05-12 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm 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.

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

Gesamtumfang 91 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 51/1411/CD:2022-05 „Cores made of soft magnetic materials – Measuring methods – Part 3: Magnetic properties at high excitation level“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom IEC/TC 51 „Magnetic components, ferrite and magnetic powder materials“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC . Das Dokument wurde den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf FprEN nur 6 Wochen beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

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.

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

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

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

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

Änderungen

Gegenüber DIN EN 62044-3:2001-12 und DIN EN 62044-3 Berichtigung 1:2022-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Hinzufügung des Anhangs F und des Anhangs G.

Inhalt		Seite
1	Anwendungsbereich.....	6
2	Normative Verweisungen.....	6
3	Begriffe und Symbole.....	6
3.1	Begriffe.....	7
3.2	Symbole.....	8
4	Allgemeine Voraussetzungen für Messungen im Leistungsapplikationsbereich.....	9
4.1	Allgemeine Angaben.....	9
4.1.1	Bezug zur Praxis.....	9
4.1.2	Effektive Kernparameter und Materialeigenschaften.....	9
4.1.3	Reproduzierbarkeit des magnetischen Zustandes.....	9
4.2	Messspule.....	9
4.2.1	Anzahl der Windungen.....	9
4.2.2	Einzelwicklung und Doppelwicklung.....	10
4.3	Montage aus Kernen, die aus mehr als einem Teil bestehen (gepaarte Kernformen).....	10
4.4	Messeinrichtung.....	11
5	Prüflinge.....	13
6	Messablauf.....	14
6.1	Allgemeiner Ablauf.....	14
6.2	Messverfahren für die (effektive) Amplitudenpermeabilität.....	15
6.2.1	Zweck.....	15
6.2.2	Messprinzip.....	15
6.2.3	Messkreis und Messgeräte.....	15
6.2.4	Messverfahren.....	15
6.2.5	Berechnung.....	16
6.3	Messverfahren für die Verlustleistung.....	16
6.3.1	Zweck.....	16
6.3.2	Messverfahren und Messprinzip.....	16
7	Erforderliche Angaben.....	19
8	Prüfbericht.....	20
Anhang A (informativ) Grundsaltungen und zugehörige Messgeräte zur Messung der Amplitudenpermeabilität.....		21
Anhang B (informativ) Effektivwert-Verfahren zur Messung der Verlustleistung – Beispiel für eine Messschaltung und das zugehörige Messverfahren.....		24
B.1	Messverfahren.....	24
B.2	Messspule.....	24
B.3	Messeinrichtung.....	25
B.4	Messverfahren.....	25
B.5	Impulsmessung und Genauigkeit.....	25

Anhang C (informativ) Multiplizierende Verfahren zur Messung der Verlustleistung – Grundsaltungen und zugehörige Messverfahren.....	27
C.1 Grundsaltungen.....	27
C.2 Anforderungen.....	29
C.3 Messspule.....	29
C.4 Genauigkeit.....	29
C.5 Verfahren mit V-A-W-Messgerät.....	29
C.6 Verfahren mit Impedanzanalysator.....	30
C.7 Digitalisierungsverfahren.....	30
C.8 Vektorspektrometer-Verfahren.....	30
C.9 Kreuz-Leistungs-Verfahren.....	31
Anhang D (informativ) Reflexionsverfahren zur Messung der Verlustleistung – Grundsaltung und zugehörige Messverfahren.....	32
D.1 Grundsaltung.....	32
D.2 Anforderungen.....	32
D.3 Messspule.....	32
D.4 Messverfahren und Messgenauigkeit.....	32
Anhang E (informativ) Kalorimetrisches Messverfahren zur Messung der Verlustleistung.....	34
E.1 Grundsaltung.....	34
E.2 Anforderungen.....	35
E.3 Messspule.....	35
E.4 Genauigkeit.....	35
E.5 Messungen im thermischen Gleichgewicht.....	35
E.5.1 Messungen über kalibrierten thermischen Widerständen.....	35
E.5.2 Messung durch Angleichung der Erwärmung von Kern und Widerstand.....	36
E.6 Messungen ohne thermisches Gleichgewicht.....	36
Anhang F (normativ) Magnetische Eigenschaften unter Impulsbedingungen.....	37
F.1 Zweck.....	37
F.2 Terminologie.....	37
F.2.1 Impulsaussteuerung ohne Vormagnetisierungsfeld.....	37
F.2.2 Impulserregung mit Vormagnetisierungsfeld.....	38
F.2.3 Impulspermeabilität μ_p	38
F.2.4 Impulsamplitude U_m	38
F.2.5 Impulsdauer t_d	38
F.2.6 Impuls-Induktivitätsfaktor A_{LP}	39
F.2.7 Grenzwert des Produkts aus Spannung und Zeit $(U \cdot t)_{lim}$	39
F.2.8 Nichtlinearität (mit der Zeit).....	39
F.2.9 Impulswiederholrate.....	39
F.3 Grundlage der Verfahren.....	39
F.4 Prüflinge.....	39

F.5	Messspule.....	40
F.6	Messeinrichtung.....	40
F.7	Messverfahren.....	41
F.7.1	Allgemeines.....	41
F.7.2	Messung von Impulsinduktivitätsfaktor und Magnetisierungsstrom.....	42
F.7.3	Messung der Nichtlinearität des Magnetisierungsstroms.....	43
F.8	Berechnung.....	44
Anhang G (informativ) Beispiele für Schaltungen zur Impulsmessung.....		46
Literaturhinweise.....		47
Bilder		
Bild A.1 – Grundsaltungen zur Messung der Amplitudenpermeabilität.....		22
Bild B.1 – Beispiel für eine Messschaltung für das Effektivwert-Verfahren.....		24
Bild C.1 – Grundsaltungen für multiplizierende Messverfahren.....		28
Bild D.1 – Grundsaltung.....		32
Bild E.1 – Grundsaltung und zugehörige Messverfahren – Messaufbau.....		34
Bild F.1 – Impulsaussteuerung ohne Vormagnetisierungsfeld.....		37
Bild F.2 – Impulserregung mit Vormagnetisierungsfeld.....		38
Bild F.3 – Parameter des Spannungsimpulses.....		42
Bild F.4 – Typische Messkurvenformen.....		43
Bild F.5 – Nichtlinearität des Magnetisierungsstroms.....		44
Bild G.1 – Messung ohne Gleichspannungsanteil und mit einzelnen Impulsen.....		46
Bild G.2 – Messung mit Gleichspannungsanteil und mit wiederholten Impulsen.....		46
Tabellen		
Tabelle 1 – Auswahl multiplizierender Verfahren und zugehöriger Bereiche für Wellenformen der Aussteuerung, Datenerfassung und -verarbeitung.....		17

Kerne aus weichmagnetischen Materialien – Messverfahren – Teil 3: Messungen der magnetischen Eigenschaften im Leistungsapplikationsbereich

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 62044 legt Messverfahren zur Messung der Verlustleistung und der Amplitudenpermeabilität von magnetischen Kernen fest, die geschlossene magnetische Kreise bilden und im Leistungsapplikationsbereich als Induktoren, Drosseln, Übertrager oder in ähnlichen Einrichtungen der Leistungselektronik eingesetzt werden.

Die Verfahren, die in diesem Dokument angegeben werden, können Messungen der magnetischen Eigenschaften im Frequenzbereich von Gleichstrom bis 10 MHz und sogar noch darüber für Kalorimeter- und Reflexionsverfahren umfassen. Die Anwendbarkeit einzelner Verfahren für bestimmte Frequenzbereiche ist vom geforderten Genauigkeitsgrad abhängig.

Die in dieser Norm beschriebenen Verfahren stützen sich auf die am besten geeigneten sinusförmigen Aussteuerungen. Andere periodische Signalformen können gleichfalls zur Aussteuerung eingesetzt werden, jedoch kann eine entsprechende Genauigkeit der Messverfahren bei diesen Signalformen nur dann gesichert werden, wenn die angewendeten Messkreise und -geräte die Aussteuerungsamplituden und Phasenverhältnisse der Signale verarbeiten können, die innerhalb des Frequenzspektrums den Wellenformen der vorgegebenen Induktion und Feldstärke nur mit geringfügig schlechterer Genauigkeit entsprechen.

ANMERKUNG Für einige weichmetallische Magnetwerkstoffe kann es erforderlich sein, bestimmte allgemeine Grundsätze zu beachten, die sich, spezifisch für diese Materialien, auf die Vorbereitung der Prüflinge und die vorgeschriebenen Berechnungen beziehen. Diese Grundsätze sind in IEC 60404-8-6 angegeben.

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 60205, *Calculation of the effective parameters of magnetic piece parts*

IEC 60401-3:2015, *Ferrite materials – Guide on the format of data appearing in manufacturers' catalogues of transformer and inductor cores*

IEC 61332:2016, *Soft ferrite material classification*

IEC 62044-1:2002, *Cores made of soft magnetic materials - Measuring methods - Part 1: Generic specification*

3 Begriffe und Symbole

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <https://www.iso.org/obp>

3.1 Begriffe

3.1.1

(effektive) Amplitudenpermeabilität

Amplitudenpermeabilität: μ_a , effektive Amplitudenpermeabilität: μ_{ea}

magnetische Permeabilität, die bei vorgegebenem Scheitelwert der effektiven magnetischen Flussdichte $\hat{B}_e$ und dem Scheitelwert der effektiven magnetischen Feldstärke $\hat{H}_e$, jeweils beim angegebenen Wert, erreicht wird, wenn sich magnetische Induktion und Feldstärke periodisch zeitlich verändern und deren Amplituden-Durchschnittswert null ist und das zu untersuchende Material zu Beginn in einem neutralen Zustand ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Definition unterscheidet sich von der in IEC 60050 [221-03-07].

Anmerkung 2 zum Begriff: Es werden zwei verschiedene Definitionen der Amplitudenpermeabilität benutzt, nämlich:

- diejenige, bei der die Scheitelwerte für die realen Wellenformen von Induktion und Feldstärke gelten,
- diejenige, bei der die Scheitelwerte für die Grundwellenanteile der Induktion und des Feldes gelten.

Anmerkung 3 zum Begriff: Magnetische Induktion und Feldstärke und die daraus abgeleitete Amplitudenpermeabilität können sogar quasi-statische Größen sein, vorausgesetzt, dass der Kern zyklisch magnetisiert wird und keine Aufweitung der B-H-Kurve erfolgt.

3.1.2

maximale (effektive) Amplitudenpermeabilität

$\mu_{ea \max}$

Höchstwert der (effektiven) Amplitudenpermeabilität, wenn die Amplitude der Aussteuerung ($\hat{B}_e$ oder $\hat{H}_e$) verändert wird

3.1.3

Aussteuerung

magnetische Induktion oder magnetische Feldstärke, bei der Wellenform und Amplitude innerhalb eines festgelegten Bereiches bleiben

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn die Induktion (Feldstärke) als Führungsgröße der Aussteuerung ausgewählt wird, dann kann die sich ergebende Wellenform der Feldstärke (Induktion) hinsichtlich der Aussteuerungswellenform auf Grund des nichtlinearen Verhaltens des magnetischen Materials verzerrt sein.

3.1.4

Leistungapplikationsbereich

Aussteuerung, bei der die Permeabilität von der Aussteuerungsamplitude (besonders bei niedrigen Frequenzen) abhängig ist und/oder bei der die Verlustleistung zu einer merklichen Erwärmung führt (besonders bei hohen Frequenzen)

3.1.5

Aussteuerungswicklung

Wicklung der Messspule, an die die Aussteuerungsspannung angelegt wird oder durch die der Aussteuerungsstrom fließt

3.1.6

Spannungsmesswicklung

unbelastete Wicklung einer Messspule, über der die durch die Aussteuerung induzierte elektromotorische Kraft bestimmt werden kann

3.1.7

Messwicklung

Wicklung, üblicherweise eine belastete oder unbelastete Sekundärwicklung, die für Messungen, unabhängig von Aussteuerungs- und/oder Spannungsmesswicklung, verwendet werden kann

3.1.8

Verlustleistung

vom Kern aufgenommene Leistung

3.2 Symbole

Für sämtliche Gleichungen in dieser Norm werden SI-Grundeinheiten benutzt. Bei der Anwendung von Vielfachen oder Bruchteilen müssen Potenzfaktoren zur Basis 10 verwendet werden.

A_e	effektive magnetische Fläche des Kerns
$\hat{B}_e$	Scheitelwert der effektiven magnetischen Flussdichte im Kern
f	Frequenz
$\hat{H}_e$	Scheitelwert der effektiven magnetischen Feldstärke im Kern
l_e	effektive magnetische Weglänge des Kerns
L	Induktivität
i	Momentanwert des Stroms
I	Strom
N	Anzahl der Windungen der Messspulenwicklung
P	Verlustleistung im Kern
Q_c	Gütefaktor des Kerns bei einer vorgegebenen Frequenz
R	Widerstandswert
t	Zeit
T	Temperatur
u	Momentanwert der Spannung
U	Spannung
V_e	effektives magnetisches Volumen des Kerns
δ	relativer Fehler, relative Abweichung usw.
Δ	absoluter Fehler, absolute Abweichung usw.
μ_{ea}	(effektive) Amplitudenpermeabilität
μ_0	magnetische Konstante: etwa $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$
π	die Zahl 3,14159...
φ	Phasenverschiebung
ω	Kreisfrequenz = $2\pi f$

ANMERKUNG 1 Zusätzliche Indizierung (tief- oder hochgestellt usw.) gibt die nähere Bedeutung eines entsprechenden Symbols an.

ANMERKUNG 2 Symbole, die nur vorübergehend im Text benutzt werden, sind an der betreffenden Stelle im Text definiert.

ANMERKUNG 3 Effektive Parameter, wie effektive magnetische Weglänge l_e , effektive magnetische Fläche des Kerns A_e und effektives magnetisches Volumen des Kerns V_e werden nach IEC 60205 berechnet.

ANMERKUNG 4 Im weiteren Text dieser Norm werden die Begriffe Induktion und Feldstärke in abgekürzter Form für magnetische Induktion und magnetische Feldstärke verwendet.

4 Allgemeine Voraussetzungen für Messungen im Leistungapplikationsbereich

4.1 Allgemeine Angaben

4.1.1 Bezug zur Praxis

Die Messbedingungen, -verfahren und -abläufe müssen so ausgewählt werden, dass die Messergebnisse für die Vorhersage des Verhaltens des Kerns unter praktischen Anwendungsbedingungen anwendbar sind. Dies bedeutet nicht, dass alle Messbedingungen, besonders die Wellenformen der Aussteuerung, mit den praktischen Bedingungen übereinstimmen müssen.

4.1.2 Effektive Kernparameter und Materialeigenschaften

Die meisten Kernformen haben weder einen gleichförmigen magnetischen Kernquerschnitt noch haben sie gleichmäßig verteilte Wicklungen entlang der magnetischen Weglänge, so dass die Messwerte nicht die Amplitudenpermeabilität und die Verlustleistung des Materials liefern, sondern effektive Werte dieser Parameter, die der effektiven Induktion $\hat{B}_e$ und der effektiven Feldstärke $\hat{H}_e$ im Kern entsprechen.

Für die Messung der materialspezifischen Amplitudenpermeabilität und Verlustleistung muss der Kern Ring- oder Torroidform besitzen, bei der das Verhältnis von Außen- zu Innendurchmesser nicht größer als 1,4 sein sollte und die Wicklungen, eng am Kern anliegend, so gleichmäßig wie möglich verteilt sein sollten, damit der Kopplungsfaktor so nah wie möglich bei 1 liegt.

4.1.3 Reproduzierbarkeit des magnetischen Zustandes

Die Messung muss bei einem klar definierten und reproduzierbaren magnetischen Zustand durchgeführt werden, um alle möglichen zeitabhängigen Effekte und Remanenzerscheinungen auszuschließen.

Jede durchzuführende Messung mit vorgegebener Aussteuerung muss, wenn nicht anders festgelegt, nach einer Zeit $t_m = t_c + \Delta t$ nach einer magnetischen Konditionierung durchgeführt werden; t_c ist dabei diejenige Zeitspanne, in der die magnetische Konditionierung durchgeführt wird und nach der die vorgegebene Aussteuerung angelegt wird; Δt ist die Zeitspanne während der der Kern konstant der vorgegebenen Aussteuerung ausgesetzt wird.

4.2 Messspule

4.2.1 Anzahl der Windungen

Die Windungsanzahl jeder Wicklung der Messspule muss hinsichtlich der Messbedingungen, verwendeten Messgeräte und beabsichtigten Genauigkeit festgelegt werden. Die Wicklungen müssen so dicht wie möglich am Kern anliegen, um den Kopplungsfaktor (magnetische Flussskopplung) zwischen den Messspulenwicklungen und dem Kern und zwischen den Windungen der Messspulenwicklung so gut wie möglich 100 % anzunähern.

Widerstand, Eigenkapazität und Wicklungskapazität jeder Wicklung sollten so klein wie möglich sein, um daraus resultierende Abweichungen des Messergebnisses so gering wie möglich zu halten.

Im Fall von Ring- oder Torroidkernen müssen die Wicklungen gleichmäßig um den Kernumfang verteilt werden.

Die Anschlüsse, besonders die der Aussteuerungswicklung, sollten aus isolierter Litze bestehen, wenn dies für Hochfrequenzmessungen erforderlich ist.

Wenn ein Kern mit scharfkantigen Ecken und Kanten bewickelt werden muss, sollte besonders darauf geachtet werden, dass die Drahtisolierung nicht beschädigt wird und dass bei der Anwendung von Litze keine Einzeldrähte gebrochen sind.

4.2.2 Einzelwicklung und Doppelwicklung

Die Anwendung einer gemeinsamen Wicklung für Aussteuerung und Spannungsmessung wird empfohlen, wenn:

- die Kopplung zwischen Aussteuerungswicklung und Spannungsmesswicklung soweit reduziert ist, dass sie zu nicht vernachlässigbaren Fehlern bei der Bestimmung der gemessenen Induktion B im Kern führt;
- die Wicklungskapazität zu groß ist;
- keine Gründe vom Aufbau des Messschaltkreises dagegen sprechen, die Eingänge der Messgeräte mit der Aussteuerungswicklung direkt zu verbinden.

ANMERKUNG 1 Wird eine gemeinsame Wicklung benutzt, so muss deren Wicklungswiderstand so klein wie möglich gehalten werden, um die ohmschen Wicklungsverluste im Vergleich zur Verlustleistung im Kern vernachlässigbar klein zu halten.

Die Verwendung separater Aussteuerungswicklungen und Spannungsmesswicklungen (doppelte Wicklung) wird empfohlen, wenn aus irgendwelchen Gründen die Aussteuerungswicklung galvanisch von den Spannungs- und Strommessgeräten getrennt sein sollte, zum Beispiel, um ein schwebendes Potential oder eine DC-Verbindung mit deren Eingängen zu vermeiden.

ANMERKUNG 2 Die Verwendung von getrennten Aussteuer- und Spannungsmesswicklungen ist kritisch, da eine 100%ige Kopplung praktisch kaum zu erreichen ist.

ANMERKUNG 3 Wird die zur Berechnung der Induktion im Kern benötigte Spannung über einer Spannungsmesswicklung gemessen, so stellt die gemessene Verlustleistung allein die Kernverlustleistung ohne die ohmschen Wicklungsverluste in der stromführenden Wicklung (Aussteuerungswicklung) dar.

ANMERKUNG 4 Bei Frequenzen über 200 kHz wird die Anwendung von zwei Wicklungen empfohlen.

4.3 Montage aus Kernen, die aus mehr als einem Teil bestehen (gepaarte Kernformen)

Ein aus mehreren Teilen bestehender Kern, der um die Messspule herum zu montieren ist, muss durch Kleben, ein Band oder durch eine Klemmvorrichtung während der gesamten Messung dauerhaft zusammengehalten werden.

Für jedes dieser Fügeverfahren zum Zusammenhalten der Kernteile gelten folgende Anforderungen:

- die Zusammenhaltkraft muss sich gleichmäßig über die Berührungsflächen verteilen, ohne dass Biegespannungen im Kern erzeugt werden;
- die Kernteile müssen fest und unverrückbar in ihrer Position zueinander festgehalten werden;
- wenn ein festgelegtes Klemmverfahren angewendet wird, so muss eine anfänglich um 10 % erhöhte Kraft bei Zusammenfügen des Kerns wirksam sein, um feine Oberflächenirregularitäten auf den geschliffenen Kontaktflächen abzubreaken. Anschließend muss die vorgegebene Klemmkraft mit einer Grenzabweichung von $\pm 5\%$ wirksam sein;
- die Haltekraft darf sich nur mit einer Grenzabweichung von $\pm 1\%$ während des gesamten Messvorganges unter allen Messbedingungen, einschließlich innerhalb des gesamten Temperaturbereichs, ändern.

Die Montage derartiger Kerne muss nach den folgenden Anweisungen erfolgen:

Die Kontaktflächen der Kernteile müssen hinsichtlich Beschädigungen und Sauberkeit untersucht werden. Beschädigte Kernteile dürfen nicht verwendet werden. Die Kontaktflächen müssen durch einen nicht schleifendes Verfahren gesäubert werden, z. B. vorsichtiges Abreiben mit einem trockenen Waschlleder. Falls die Passflächen verklebt werden sollen, müssen diese Flächen vorher entfettet werden. Staubpartikel müssen mit trockener, sauberer Druckluft abgeblasen werden. Die Kontaktflächen dürfen niemals mit bloßen Fingern berührt werden. Die so behandelten Kernteile müssen anschließend um die Messspule herum montiert werden, wobei deren Lage hinsichtlich des Kerns nach unterschiedlichen Verfahren fixiert werden kann, z. B. durch Einlegen einer Distanzscheibe. Die Kernteile werden danach zentriert und verklebt oder mit einer

Klemmvorrichtung zusammengefügt. Der verwendete Klebstoff, sofern vorgesehen, muss gleichmäßig auf einer Kontaktfläche verteilt werden, damit ein möglichst dünner Film entstehen kann, der richtig ausgehärtet wird.

Im Falle einer Klemmvorrichtung muss die Klemmkraft der maßgeblichen Spezifikation entsprechen. Die geklebten, bandagierten oder geklemmten Kerne müssen unter festgelegten Bedingungen (siehe auch IEC 62044-1:2002, Abschnitt 3) für eine festgelegte Zeit entspannen, die ausreichend bemessen ist, damit sich alle durch Klemmen, Kleben oder Bandagieren entstandenen Spannungszustände völlig abbauen.

4.4 Messeinrichtung

4.4.1

Grundsätzlich kann jedes geeignete Messgerät eingesetzt werden. Beispiele für geeignete Messkreise werden in den Anhängen A bis E angegeben.

Zusätzlich zu den speziellen Anforderungen, die für jeden verwendeten einzelnen Messkreis bzw. jedes Messverfahren gelten, müssen die nachfolgend aufgeführten allgemeinen Anforderungen erfüllt werden.

4.4.2

Um die Induktions- (Feldstärke-)Aussteuerung sicherzustellen, muss die Ausgangsimpedanz der Aussteuerungsquelle niedrig (hoch) sein gegenüber der Reihenimpedanz der Aussteuerungswicklung der Messspule, die mit dem zu prüfenden Kern zusammengebaut ist, und dem Strommesswiderstand.

4.4.3

Wenn eine sinusförmige Aussteuerung festgelegt ist, muss der Oberwellenanteil kleiner als 1 % der Grundwelle sein. Sofern Rechtecksignale festgelegt sind, müssen die zutreffenden Anforderungen aus Anhang F eingehalten werden.

4.4.4

Während der Messdauer dürfen Veränderungen der Aussteuerungsamplitude nicht größer als $\pm 0,05$ % sein und die Frequenzstabilität muss dem Messverfahren und den verwendeten Messgeräten angepasst sein.

4.4.5

Die Spannungsmessgeräte sowie weitere Spannung abtastende Messgeräte müssen einen Frequenzbereich besitzen, der alle Harmonischen der gemessenen Spannung von 1 % oder mehr der Grundwellenamplitude umfasst. Dieser Frequenzbereich muss in der zutreffenden Messgerätespezifikation festgelegt sein.

4.4.6

Die Spannungsmessgeräte sowie weitere Spannung abtastende Messgeräte müssen hohe Eingangsimpedanzen aufweisen, damit sie, besonders bei hohen Frequenzen, nur einen vernachlässigbaren Einfluss auf den Messkreis haben. Messköpfe mit hoher Eingangsimpedanz und niedriger Eingangskapazität können Belastungen des Messkreises verringern.

4.4.7

Die Messabweichung der Spannungsmessgeräte und/oder anderer Spannung abtastender Messgeräte, festgelegt für eine bestimmte kalibrierte Sinuswellenform, darf für Effektivwerte (RMS) und Mittelwerte $\pm 0,5$ % und für Scheitelwerte ± 1 % nicht überschreiten, sofern der Scheitelwertfaktor der zu messenden Wellenform innerhalb der Grenzwerte des Messgerätes liegt.

Wenn die Messabweichung die oben genannten Grenzwerte überschreitet, wird eine sinusförmige Aussteuerung mit einem Oberwellenanteil kleiner als 1 % empfohlen, und

- zur Ermittlung von Effektiv(RMS)-, Mittel- und Scheitelwerten sinusförmiger Wellenformen wird ein Spannungsmessgerät mit echter Effektivwertmessung mit einer Messabweichung von ± 1 % empfohlen. Die Mittel- und Scheitelwerte werden durch Multiplikation der angezeigten Effektivwerte mit folgenden Faktoren berechnet: Mittelwert = $0,9 \times$ Effektivwert, Scheitelwert = $1,414 \times$ Effektivwert;
- zur Ermittlung von Effektiv(RMS)-, Mittel- und Scheitelwerten nicht sinusförmiger Wellenformen muss ein digitales Speicheroszilloskop mit Signalprozessor oder ein geeignetes Erfassungs- und Verarbeitungsgerät eingesetzt werden. Ein derartiges Gerät muss die Wellenform mit einer Abtastfrequenz von mindestens 150 Messpunkten je Wellenformperiode mit einer Auflösung von mindestens 8 Bit abtasten.

ANMERKUNG Der Scheitelwertfaktor ist das Verhältnis des Scheitelwertes zum Effektivwert (RMS) der gemessenen Wellenform.

4.4.8

Der Widerstand des in Reihe zur Messspule geschalteten Strommesswiderstandes muss eine Grundgenauigkeit von mindestens ± 1 Zählwert in der 3. signifikanten Stelle, eingeschlossen alle temperaturabhängigen Schwankungen des Widerstands, haben. Die temperaturabhängigen Schwankungen können durch einen Kühlkörper oder eine gekühlte Unterlage, auf der der Widerstand befestigt wird, verringert werden.

Die Induktivität L des Widerstands R im Frequenzbereich, festgelegt in 4.4.5, darf den folgenden Wert nicht überschreiten:

$$L \leq \frac{R}{\omega_m} \sqrt{2\delta\hat{U}_R}$$

Dabei ist

R	Widerstandswert des Widerstandes;
$\omega_m = 2\pi f_m$	f_m gleich der höchsten Frequenz innerhalb des in 4.4.5 festgelegten Frequenzbereiches;
$\delta\hat{U}_R$	zulässiger Anstieg des relativen Spannungsabfalls $\hat{U}_R$ über dem Widerstand R auf Grund der Induktivität L bei der Frequenz f_m .

Beispiel

Für $\delta\hat{U}_R = 0,1$ %, $R = 1 \Omega$ und eine höchste Frequenz $f_m = 500$ kHz muss die Induktivität L kleiner sein als $(2\pi \times 500 \times 10^3)^{-1} \times 1 \times (2 \times 0,001)^{0,5} = 14,2$ nH.

Der Strommesswiderstand kann durch einen angepassten Stromwandler ersetzt werden, sofern die Messabweichung für die Amplituden- und Phasenmessung im gesamten Frequenzbereich nach 4.4.5 nicht schlechter wird. Außerdem muss der Stromwandler ein lineares Übertragungsverhalten aufweisen, d. h. er darf keine Oberwellen erzeugen.

ANMERKUNG Für die Messung der Amplitudenpermeabilität ist hauptsächlich die Amplitudengenauigkeit des Stromwandlers von Interesse.

4.4.9

Alle Verbindungen zwischen den Teilen des Messkreises müssen so kurz wie möglich sein. Zusätzlich müssen alle gemeinsamen Verbindungen, wenn mehr als eine notwendig ist, die gleiche Länge besitzen und vom gleichen Typ sein, damit keine zusätzlichen Phasenverschiebungen auftreten können. Die Phasenverschiebung $\Delta\varphi$ zwischen den Kanälen, die gleichphasig zu den Signalen für Induktion und Feldstärke vorgegeben sind, darf im Frequenzbereich nach 4.4.5 folgenden Wert nicht überschreiten:

$$\Delta\phi = \pm \frac{\delta P(\Delta\phi)}{Q_c} \text{ radian}$$

Dabei ist

$\delta P(\Delta\phi)$ der Anteil der gesamten Abweichung der Verlustleistungsmessung, der auf die Phasenverschiebung $\Delta\phi$ zurückzuführen ist;

$Q_c = \frac{\omega \hat{B}_e \hat{H}_e}{2P_v}$ der Gütefaktor des zu prüfenden Kerns;

$\omega = 2\pi f$ die Kreisfrequenz;

$\hat{B}_e$ und $\hat{H}_e$ der Scheitelwert der effektiven Induktion bzw. effektiven Feldstärke im Kern;

$P_v = P/V_e$ die volumenbezogene Verlustleistung, dabei ist V_e das magnetische Volumen des Kerns.

Wenn eine nicht sinusförmige Aussteuerung gewählt wurde, müssen die Phasenverschiebungen für jede Oberwelle bestimmt werden. Für jede Oberwellenfrequenz müssen die Werte der vorstehend aufgeführten Parameter bei der Berechnung verwendet werden.

Beispiel

$\delta P(\Delta\phi)$ muss innerhalb von ± 1 % mit einer Güte $Q = 5$ bei einem vorgegebenen Kern und festgelegten Messbedingungen liegen. Daraus folgt, dass $\Delta\phi$ innerhalb von $\pm 0,01/5 = \pm 0,002$ rad liegen muss.

4.4.10

Alle Verbindungsstücke, Stecker, Schalter und Vielschalter (Multiplexer), die mit dem Messkreis für Spannung oder Strom in Verbindung stehen, müssen die vorgegebenen Spannungen sowie die Konditionierungs- und Messströme einwandfrei entsprechend der Messspezifikation übertragen können. Kontaktübergangswiderstand, Phasenverschiebung, induktive und kapazitive Kopplung sowie Reihenimpedanz und Parallel-Scheinleitwert, der bzw. die durch Einbringen eines solchen Verbindungselementes in den Messkreis erzeugt werden, dürfen im festgelegten Frequenzbereich (wie in 4.4.5 festgelegt) nur einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Messergebnisse besitzen.

4.4.11

Messungen und/oder eine Kalibrierung sollte(n) durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die resultierende Messunsicherheit für die Amplitudenpermeabilität und die Verlustleistung unter allen Messbedingungen nicht die Messunsicherheit überschreitet, die für ein vorgegebenes Messverfahren und einen vorgegebenen Messkreis im entsprechenden Anhang festgelegt ist.

4.4.12

Es muss eine temperaturgeregelter Umgebung vorgesehen werden, die ein thermisches Gleichgewicht für den Kern und diese Umgebung innerhalb festgelegter Temperaturgrenzwerte für alle Konditionierungs-, Einstell-, Mess- und Ablesevorgänge aufrechterhalten kann.

5 Prüflinge

Für die Messung müssen Kerne, die einen geschlossenen magnetischen Kreis bilden, aus einer normalen Serienproduktion genommen werden.

6 Messablauf

6.1 Allgemeiner Ablauf

6.1.1

Die zu messenden Kerne und die Messspule müssen nach 4.3 montiert werden.

Ring- und Torroidkerne müssen Wicklungen nach 4.2.1 erhalten.

6.1.2

Der Kern muss in einer temperaturgeregelten Umgebung nach 4.4.12 aufbewahrt werden. Alle Messvorgänge wie magnetische Konditionierung, Einstellung und Messung müssen durchgeführt werden, nachdem die Temperatur des Kerns erreicht wurde und stabil innerhalb der zulässigen Grenzwerte gehalten wird.

6.1.3

Die Spannungen, die den Scheitelwerten von Induktion $\hat{B}_e$ und Feldstärke $\hat{H}_e$ entsprechen, bei denen die Messung durchzuführen ist, sind nach folgenden Gleichungen zu berechnen:

- für $\hat{B}_e$ -Aussteuerung: $U_{av} = 4 \cdot f \cdot N \cdot A_e \cdot \hat{B}_e$
dabei ist N gleich N_1 , wenn eine gemeinsame Wicklung (für Aussteuerungs- und Spannungsmessfunktionen) benutzt wird; N gleich N_2 gilt, wenn eine Sekundärwicklung für die Spannungsmessfunktionen verwendet wird;
- für $\hat{H}_e$ -Aussteuerung: $\hat{U}_R = R \cdot I_e \cdot \hat{H}_e / N_1$

Die zugehörigen Symbole sind in 3.2 definiert, und N_1 ist die Windungszahl der Aussteuerungswicklung.

ANMERKUNG 1 Bei einer praktisch rein sinusförmigen Induktion $\hat{B}_e$ kann die $\hat{B}_e$ entsprechende Spannung mit Spannungsmessgeräten mit Effektivwert- oder Scheitelwertanzeige gemessen werden. Die entsprechenden Effektivwerte U_{rms} und Scheitelwerte $\hat{U}$ dieser Spannungen werden berechnet mit:

$$U_{rms} = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot A_e \cdot \hat{B}_e$$

$$\hat{U} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot A_e \cdot \hat{B}_e$$

ANMERKUNG 2 Wenn ein Stromwandler anstelle des Widerstands R eingesetzt wird, so wird der Scheitelwert des Stroms $\hat{I}$, der $\hat{H}_e$ entspricht, als $\hat{I} = \hat{H}_e \cdot l_e / N_1$ berechnet.

ANMERKUNG 3 Wird eine andere Querschnittsfläche als A_e , z. B. A_{min} , zur Berechnung von U_{av} verwendet, so muss dies eindeutig in der entsprechenden Spezifikation angegeben werden.

6.1.4

Der Kern wird mit einem elektrischen Verfahren nach IEC 62044-1:2002, 5.2, Punkt a) konditioniert, sofern keine andere Festlegung getroffen wurde.

6.1.5

Nach der festgelegten Zeit t_c , nach der die Konditionierung begonnen wurde, wird die Aussteuerungsquelle so schnell wie möglich, vorzugsweise innerhalb von $t_c = (2 \pm 0,5)$ s, auf die zeitabhängigen Parameter, die festgelegte Frequenz, Wellenform und Amplitude für die Aussteuerung eingestellt.

ANMERKUNG 4 Die Einhaltung der richtigen Aussteuerungswellenform sollte unter allen Messbedingungen überwacht werden. Bei der Induktions-Aussteuerung sollte der Eingang des Überwachungsgerätes vorzugsweise an eine getrennte Spannungsmesswicklung angeschlossen werden.

6.1.6

Die Messwerte müssen zum Zeitpunkt t_m aufgenommen werden, und anschließend muss die Aussteuerung sofort abgeschaltet werden. Die Dauer, in der die Aussteuerung auf den Kern geschaltet ist, muss so kurz wie möglich sein, jedoch keinesfalls länger als 10 s, um eine merkliche Eigenerwärmung des Kerns zu vermeiden.

6.1.7

Wenn ein Kern unter Impulsbedingungen mit oder ohne überlagerte(r) Gleichstromkomponente angesteuert wird, müssen die zusätzlichen Bedingungen nach Anhang F berücksichtigt werden.

6.2 Messverfahren für die (effektive) Amplitudenpermeabilität

6.2.1 Zweck

Beschreibung eines Messverfahrens zur Messung der effektiven Amplitudenpermeabilitäten von weichmagnetischen Kernen in geschlossenen magnetischen Kreisen im Leistungsapplikationsbereich mit periodischen symmetrischen Wellenformen.

ANMERKUNG Alternativ kann der Scheitelwert der Induktion bei einem festgelegten Scheitelwert der Feldstärke oder der Scheitelwert der Feldstärke bei einem festgelegten Scheitelwert der Induktion bestimmt werden.

6.2.2 Messprinzip

Die Induktion und die Feldstärke im Kern werden als Mittelwerte der Spannung je Halbwelle über der Spannungsmesswicklung der Messspule und dem Scheitelwert der Spannung über dem in Reihe mit der Aussteuerungswicklung geschalteten Widerstand bestimmt. Die einzelnen Messungen werden bei vorgegebenen Scheitelwerten von entweder Induktion oder Feldstärke, Frequenz und Temperatur durchgeführt. Messkreis und Messgeräte

6.2.3 Messkreis und Messgeräte

Grundsätzlich können alle Messgeräte, die die Funktionalitäten der Messkreise nach Anhang A erfüllen, eingesetzt werden.

Die in 4.4 angegebenen Anforderungen müssen erfüllt werden. Die Anforderungen in 4.4.2 und 4.4.3 müssen nicht vollständig erfüllt sein, weil bei der Messung der Amplitudenpermeabilität die Wellenformen von Induktion bzw. Feldstärke im Allgemeinen keine kritischen Messgrößen sind.

ANMERKUNG Ist die Amplitudenpermeabilität nur für die Scheitelwerte der Grundwellenanteile von Induktion und Feldstärke zu bestimmen, so sollten diese Scheitelwerte mit frequenzselektiven Messgeräten unter Beachtung der Anforderungen in 4.4 gemessen werden.

6.2.4 Messverfahren

Der allgemeine Ablauf nach 6.1 muss beachtet werden.

Zur Bestimmung des festgelegten Mittelwertes U_{av} der Spannung über der Spannungsmesswicklung muss entweder der Scheitelwert $\hat{U}_R$ der Spannung über dem Widerstand R oder der Scheitelwert $\hat{I}$ des Stromes, der durch die Aussteuerungswicklung fließt, bestimmt werden.

Zur Bestimmung der Feldstärkenaussteuerung wird der Wert von U_{av} entweder beim festgelegten Wert von $\hat{U}_R$ oder $\hat{I}$ abgelesen.

ANMERKUNG Wenn in der Messspezifikation gefordert wird, dass die Induktion bei einer vorgegebenen Feldstärke zu messen ist, oder umgekehrt die Feldstärke bei einer vorgegebenen Induktion gemessen werden soll, wird der festgelegte Scheitelwert der Aussteuerung eingestellt und entweder die sich ergebende Induktion $\hat{B}_e$ oder die sich ergebende Feldstärke $\hat{H}_e$ bestimmt.

6.2.5 Berechnung

Die (effektive) Amplitudenpermeabilität wird festgelegt aus:

$$\mu_{ea} = \frac{\hat{B}_e}{\mu_0 \cdot \hat{H}_e} = \frac{I_e R}{4 \cdot \mu_0 \cdot f \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot A_e} \cdot \frac{U_{av}}{\hat{U}_R}$$

oder wenn anstatt des Widerstands R ein Stromwandler eingesetzt wird:

$$\mu_{ea} = \frac{I_e}{4 \cdot \mu_0 \cdot f \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot A_e} \cdot \frac{U_{av}}{\hat{I}}$$

Dabei ist

U_{av}	der Mittelwert der Spannung über der Spannungsmesswicklung N_2 ;
$\hat{U}_R$	der Scheitelwert der Spannung über dem Widerstand R;
$\hat{I}$	der Scheitelwert des Stroms durch die Aussteuerungswicklung N_1 ;
N_1	die Windungsanzahl der Aussteuerungswicklung N_1 ;
N_2	die Windungsanzahl der Messwicklung N_2 ;

Alle anderen Symbole sind in 3.2 definiert.

ANMERKUNG Wenn die Funktionen für Aussteuerung und Spannungsmessung von einer einzigen Primärwicklung N_1 erfüllt werden, wird N_2 durch N_1 ersetzt und das Produkt $N_1 N_2$ wird durch N_1^2 ersetzt.

6.3 Messverfahren für die Verlustleistung

6.3.1 Zweck

Beschreibung eines Messverfahrens zur Messung der Verlustleistung von weichmagnetischen Kernen in geschlossenen magnetischen Kreisen im Leistungsapplikationsbereich mit periodischen Wellenformen.

6.3.2 Messverfahren und Messprinzip

6.3.2.1 Allgemeines

Die folgenden Verfahren eignen sich hinsichtlich Prinzip und Anwendung.

6.3.2.2 Effektivwert-Verfahren (RMS)

Dieses Verfahren ist:

- generell dann anwendbar, wenn Messkreis, Aufbau und verwendete Messgeräte den Anforderungen nach 4.4 entsprechen;
- weniger empfindlich gegenüber verzerrten Wellenformen.

Der Effektivwert (RMS) wird gebildet aus Summe und Differenz zweier Spannungen, von denen die erste über der unbelasteten Messwicklung der auf dem Kern befindlichen Messwicklung und die zweite über dem in Reihe zur Aussteuerungwicklung dieser Spule geschalteten Widerstand mit einem Echt-Effektivwert-Spannungsmessgerät gemessen werden. Die Differenz der Quadrate dieser Effektivwerte der Spannungen ist proportional zur Verlustleistung im Kern.

Das zugehörige Messverfahren wird in Anhang B angegeben.

6.3.2.3 Multiplizierende Verfahren

6.3.2.3.1 Allgemeines

Diese Verfahren, die auf dem Prinzip der identischen Strom-Spannungsmultiplikation beruhen, sind empfindlich für Phasenverschiebungsfehler.

Die Spannung hinsichtlich der Induktion und die Spannung hinsichtlich der Feldstärke im Kern werden aufgenommen und nach einem analogen, digitalen oder einem gemischten Verfahren im Zeit- oder Frequenzbereich verarbeitet und multipliziert. Einige dieser Verfahren werden in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 – Auswahl multiplizierender Verfahren und zugehöriger Bereiche für Wellenformen der Aussteuerung, Datenerfassung und -verarbeitung

Messverfahren	Bereich für			Unterabschnitt in Anhang C
	Anwendbare Wellenformen der Aussteuerung	Datenerfassung	Datenverarbeitung	
V-A-W-Messgerät	Sinusförmige Schwingungen	Zeit	Zeit	C.4
Impedanzanalysator	Sinusförmige Schwingungen	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	C.5
Digitalisierung	Beliebig	Zeit	Zeit	C.6
Vektorspektrometer	Beliebig	Schulungshäufigkeit	Schulungshäufigkeit	C.7
Kreuz-Leistungs-Verfahren	Beliebig	Zeit	Schulungshäufigkeit	C.8

Die zugehörigen Messverfahren werden in Anhang C angegeben.

6.3.2.3.2 Verfahren mit V-A-W-Messgerät

Dieses Verfahren ist begrenzt auf die in 4.4.3 definierte sinusförmige Aussteuerung.

Ein V-A-W-Messgerät multipliziert intern die gemessenen Spannungen und erzeugt dabei ein zeitlich gemittelt Produkt der Momentanwerte dieser Spannungen, die proportional der Verlustleistung im Kern sind.

6.3.2.3.3 Verfahren mit Impedanzanalysator

Dieses Verfahren ist begrenzt auf die in 4.4.3 definierte sinusförmige Aussteuerung.

Bei diesem Messprinzip bestimmt der Impedanzanalysator bei der Grundwellenfrequenz die Vektorkomponenten der Spannungen, die der Induktion und Feldstärke im Kern entsprechen, und berechnet daraus einen der Verlustleistung im Kern entsprechenden Parallelwiderstand. Die Verlustleistung im Kern ergibt sich aus dem Quadrat der Spannung hinsichtlich der Induktion dividiert durch den Parallelwiderstand.

6.3.2.3.4 Digitalisierungsverfahren

Dieses Messprinzip ist für beliebige Wellenformen der Aussteuerung geeignet.

Die gemessenen Spannungen werden erfasst und mit einem Digitalisierer in digitale Daten konvertiert. Für jeden Datenpunkt wird das Produkt der zugehörigen Spannungen berechnet. Die Verlustleistung des Kern ist proportional zum Mittelwert der multiplizierten Spannungen über einen Wellenformzyklus.

6.3.2.3.5 Vektorspektrometer-Verfahren

Dieses Messprinzip ist für beliebige Wellenformen der Aussteuerung geeignet.

Die Amplituden und die Phasendifferenz der Spannungssignale werden mit einem Netzwerkanalysator gemessen. Die Messung wird sowohl bei der Grundwellenfrequenz als auch bei den Oberwellenfrequenzen der anliegenden Spannungen durchgeführt.

Die Verlustleistung im Kern wird bestimmt durch Summierung der Verlustleistungskomponenten von Grund- und Oberwellen.

6.3.2.3.6 Kreuz-Leistungs-Verfahren

Dieses Messprinzip ist für beliebige Wellenformen der Aussteuerung geeignet.

Bei einem festgelegten Wert der Aussteuerung werden ein oder mehrere Zyklen der gemessenen Spannungen erfasst und in digitale Daten konvertiert.

Das komplexe Spektrum der gemessenen Zyklen wird mit einer FFT (Fast-Fourier-Transformation) berechnet. Aus diesen Daten wird das Kreuz-Leistungsspektrum ermittelt.

Die Verlustleistung im Kern wird bestimmt durch Summierung der Realteile im Kreuz-Leistungsspektrum bei jeder Frequenz.

6.3.2.4 Reflexions-Messverfahren

Dieses Verfahren beruht auf der Messung der Differenz zwischen eingestrahelter Leistung P_F und reflektierter Leistung P_R und ist

- nicht auf sinusförmige Aussteuerungen beschränkt;
- für Frequenzen über 500 kHz geeignet;
- besser geeignet für die Induktions-Aussteuerung.

Die Messung wird mit einem Reflexionsmessgerät durchgeführt, das an einen 2-Kanal-Messkopf angeschlossen ist. Ein Spannungsmessgerät, das parallel zur Spannungsmesswicklung geschaltet ist, überwacht die Spannung. Ein mittelwertbildendes Spannungsmessgerät oder anderes Mittelwertmessgerät, das an eine Spannungsmesswicklung angeschlossen ist, ermöglicht die Einstellung des Induktions-Scheitelwertes der Aussteuerung.

ANMERKUNG Im Falle einer Feldstärkeaussteuerung kann die Einfügung eines in Reihe geschalteten Strommesswiderstandes, der parallel zum Spannungsmessgerät liegt, zu einer Verringerung der Messgenauigkeit führen.

Das zugehörige Messverfahren wird in Anhang D angegeben.

6.3.2.5 Kalorimetrische Messverfahren

Diese Verfahren, die auf der Messung der Erwärmung einer Flüssigkeit in einem Behälter beruhen, die durch Verlustleitung des bewickelten Kerns verursacht wird, sind

- besonders für Kalibrierzwecke geeignet;
- weniger von der Messfrequenz abhängig;
- nicht abhängig von verzerrten Signalformen;
- sehr zeitaufwendig (üblicherweise einige Stunden je Messpunkt).

Im Zustand des thermischen Gleichgewichts wird die Verlustleistung dadurch bestimmt, dass die Temperaturdifferenz ΔT (erzeugt durch die Leistungsverluste im bewickelten Kern) über einem kalibrierten temperaturabhängigen Widerstand gemessen wird, oder die Temperaturdifferenz ΔT wird an einen gleichen Wert ΔT angepasst, indem einem ohmschen (Heiz-)Widerstand eine bestimmte Leistung zugeführt wird.

Für den Zustand, dass sich kein thermisches Gleichgewicht eingestellt hat, wird die gemessene beabsichtigte Temperatur als Einstellpunkt verwendet. Die Bestimmung der Verlustleistung im bewickelten Kern kann dann dadurch durchgeführt werden, dass vorgegebene Leistungen an einem ohmschen Widerstand verbraucht werden, wobei der bewickelte Kern entweder zu- oder abgeschaltet wird.

Die zugehörigen Messverfahren werden in Anhang E angegeben.

7 Erforderliche Angaben

Für Messungen, die nach dieser Norm durchgeführt werden sollen, müssen folgende Angaben zur Verfügung stehen:

- 1) Messfrequenz(en);
- 2) Temperatur(en) der Messung(en) mit Grenzabweichung(en);
- 3) Art der Aussteuerung: Induktion oder Feldstärke;
- 4) Wellenform der Aussteuerung;
- 5) Kernquerschnitt, der für Berechnungen benutzt wird, sofern es nicht der effektive magnetische Kernquerschnitt A_e ist;
- 6) Scheitelwert(e) für die Aussteuerung;
- 7) Messverfahren und zugehörige Messschaltung;
- 8) Windungsanzahl N_1 der Aussteuerungswicklung;
- 9) Windungsanzahl N_2 der Spannungsmesswicklung (wenn angewendet);
- 10) Windungsanzahl N_3 der Messwicklung, wenn diese Wicklung erforderlich ist;
- 11) Typ und Größe der benutzten Drähte sowie der Wickelaufbau auf dem Kern;
- 12) Anfangs-Amplitude des elektrischen Konditionierungsstroms;
- 13) Zeitabschnitte t_c , in denen die Aussteuerung eingestellt ist, und Zeitabschnitte t_m , in denen die Messung nach Beginn der magnetischen Konditionierung durchgeführt wurde;
- 14) Genauigkeitsanforderung;
- 15) Angabe der Ergebnisse, z. B. als Einzelwert, als Reihe von Einzelwerten oder als Funktionskennlinien, wie Verlustleistung als Funktion der Temperatur bei vorgegebenen Werten der effektiven Induktion $\hat{B}_e$ und Frequenz; Amplitudenpermeabilität als Funktion der effektiven Induktion bei vorgegebener Frequenz und Temperatur, usw.

Wenn die für die Eigenschaften des Kernmaterials zutreffenden Mess- und/oder Prüfbedingungen (Punkte 1) bis 6)) auszuwählen sind, sollten die in IEC 60401-3:2015, Abschnitt 3 und Abschnitt 4, und die in IEC 61332:2016, Unterabschnitt 4.3 angegebenen Empfehlungen berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 1 Punkt 10) ist nicht notwendig für die Messung der Amplitudenpermeabilität.

ANMERKUNG 2 Weitere Angaben können, soweit notwendig, den Bauartspezifikationen entnommen werden.

8 Prüfbericht

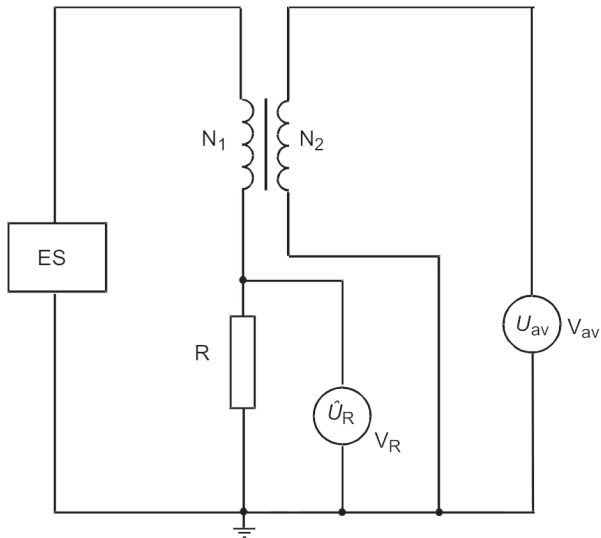
Der Prüfbericht muss, soweit erforderlich, enthalten:

- a) Erklärung über die Konformität der Prüfungen nach dieser Norm;
- b) Typ, Maße, Material und Seriennummer oder Kennzeichen des (der) Prüflings (Prüflinge);
- c) Stichprobengröße;
- d) gemessene Parameter;
- e) angewendetes Prüfverfahren und dessen Genauigkeit;
- f) Prüfbedingungen (Punkte 1) bis 6)) nach Abschnitt 7.

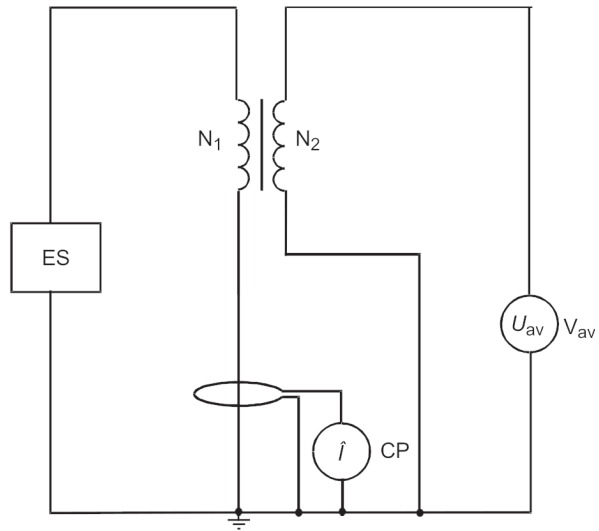
Anhang A (informativ)

Grundsaltungen und zugehörige Messgeräte zur Messung der Amplitudenpermeabilität

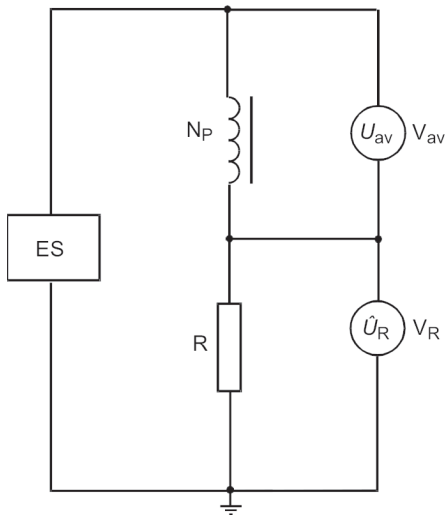
Die Grundsaltungen sind in Bild A.1 dargestellt.



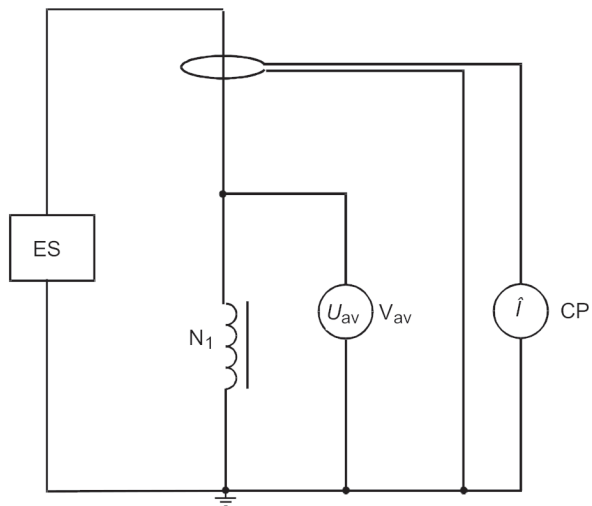
Schaltung a)



Schaltung b)



Schaltung c)



Schaltung d)

Verbindungen und Versorgung

Schaltung a) zwei Wicklungen, Aussteuerungswicklung N_1 und Spannungsmesswicklung N_2 mit induktivitätsfreiem Strommesswiderstand R ;

Schaltung b) zwei Wicklungen, Aussteuerungswicklung N_1 und Spannungsmesswicklung N_2 mit Stromwandler CP;

Schaltung c) einzelne Aussteuerungswicklung N_1 mit induktivitätsfreiem Strommesswiderstand R und Messgeräten V_{av} und V_R mit potentialfreiem Eingang;

Schaltung d) einzelne Aussteuerwicklung N_1 mit Stromwandler CP.

Komponenten

ES Aussteuerungsquelle, die üblicherweise aus einem Generator und einem Leistungsverstärker besteht;
(en: exciting source)

R Widerstand, über dem die Spannung gemessen wird, die proportional zum Strom I durch die Aussteuerwicklung ist;

- CP Stromwandler zur Messung des Scheitelwertes $\hat{I}$ des Stroms;
(en: current probe)
- VR Spannungsmessgerät oder Messinstrument zur Messung des Scheitelwertes $\hat{U}_R$ der Spannung über dem Widerstand R;
- V_{av} Spannungsmessgerät oder Messinstrument zur Messung des Mittelwertes U_{av} der Spannung;
- N_1 Aussteuerungs- bzw. Spannungsmesswicklungen.
und
 N_2

Bild A.1 – Grundsaltungen zur Messung der Amplitudenpermeabilität

Die verwendeten Schaltungen und Messgeräte sollten die Anforderungen nach 4.4 erfüllen.

Eine resultierende Gesamtgenauigkeit von ± 3 % kann erreicht werden, wenn die Anforderungen nach 4.4 eingehalten werden.

Anhang B (informativ)

Effektivwert-Verfahren zur Messung der Verlustleistung – Beispiel für eine Messschaltung und das zugehörige Messverfahren

B.1 Messverfahren

Für das Effektivwert-Verfahren (RMS) wird ein Schalter S verwendet, um das Effektivwert-Spannungsmessgerät (RMS) oder -instrument so zu schalten, dass sowohl die Summe als auch die Differenz der zu messenden zwei Spannungen aufgenommen werden können (siehe Bild B.1); die Kurzschlussverbindungen des Schalters müssen so nah wie möglich am Schalter angeordnet sein und das Effektivwert-Spannungsmessgerät oder -instrument muss mit dem Schalter über störungsarme, einfach geschirmte Kabel mit niedriger Eigenkapazität verbunden sein.

Es wird empfohlen, die Spannungsmessgeräte V_{rms} und V_{av} über Dämpfungsmessköpfe mit hoher Impedanz anzukoppeln, um das Risiko transienter Überspannungseffekte an V_{rms} und V_{av} zu verringern. Solche Effekte können entstehen, wenn die Aussteuerung zu plötzlich umgeschaltet wird und/oder die Kontaktstellungen des Schalters verändert werden.

Die Anforderungen nach 4.4.2, 4.4.4, 4.4.9 und 4.4.10 sollten erfüllt werden.

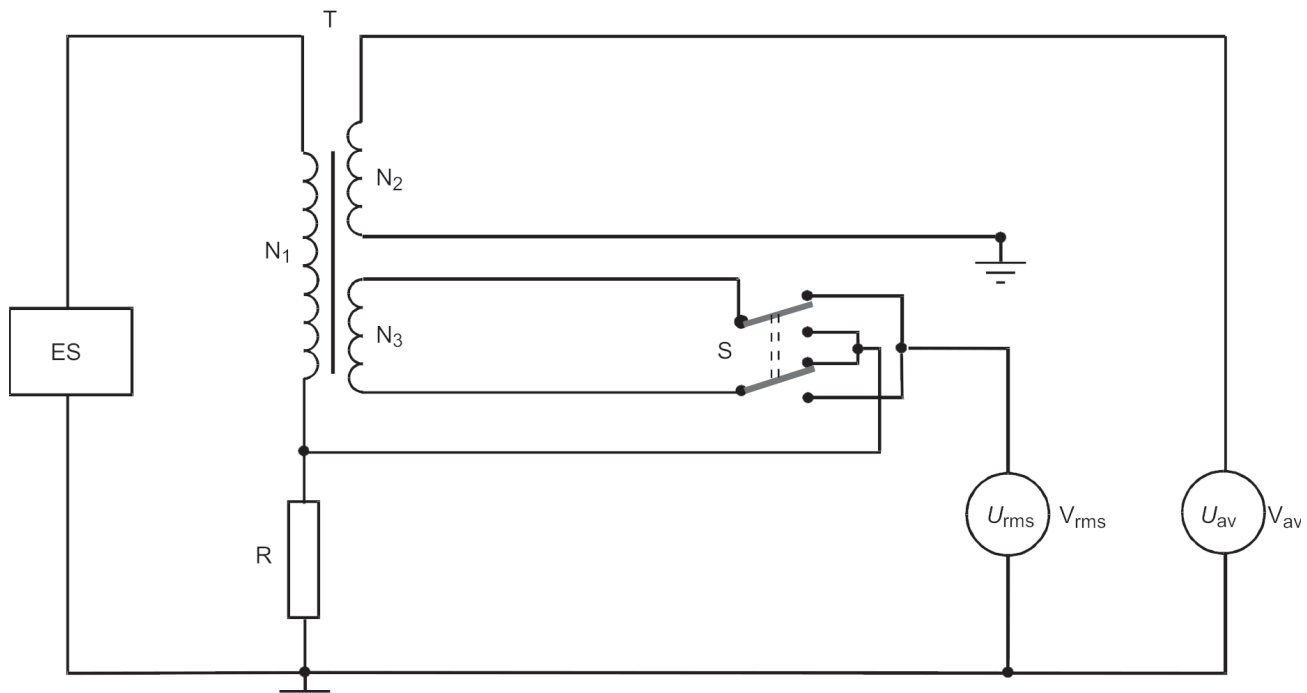


Bild B.1 – Beispiel für eine Messschaltung für das Effektivwert-Verfahren

B.2 Messspule

Für das Effektivwert-Verfahren (RMS) ist eine Dreifach-Messspule vorgesehen, die getrennte Aussteuerungs-, Mess- und Spannungsmesswicklungen besitzt.

ANMERKUNG Die Messwicklung wird dazu verwendet, um jede ungewollte Veränderung der Phasenverschiebung zwischen den Spannungen über der Messwicklung und dem Widerstand R durch angeschlossene Spannungsmessgeräte zu vermeiden. Dies ermöglicht auch die Erdung des Spannungsmessgerätes.

B.3 Messeinrichtung

Die Aussteuerungsquelle ES sollte die in 4.4.3 und 4.4.4 festgelegten Anforderungen erfüllen. Für Spannungsimpulse mit Rechteckform, mit oder ohne Gleichspannungsanteil, sollte die Aussteuerungsquelle die Anforderungen nach Abschnitt F.6 erfüllen. Wenn der Kern mit anderen als sinusförmigen oder rechteckförmigen Wellenformen angesteuert werden soll, dann sollten in der entsprechenden Spezifikation die besonderen Anforderungen nach Abschnitt F.6 festgelegt werden.

Der Übertrager T besteht aus dem zu messenden Kern mit drei getrennten Wicklungen: der Aussteuerungswicklung N_1 , Spannungsmesswicklung N_2 und der Messwicklung N_3 . Es wird empfohlen, die Windungsanzahl der Messwicklung N_3 so anzupassen, dass die Spannung über dieser Wicklung in der gleichen Größenordnung wie der Spannungsabfall über dem Strommesswiderstand R liegt. Die Genauigkeit dieses Verfahrens erhöht sich, wenn sich diese Spannungen wertmäßig annähern.

V_{rms} ist ein „Echt“-Effektivwert-Spannungsmessgerät oder ein anderes Effektivwert-Messgerät, das diese Funktion übernimmt. V_{av} ist ein mittelwertbildendes Voltmeter oder ein Mittelwertmessgerät. Sowohl V_{rms} als auch V_{av} sollten die Anforderungen nach 4.4.5, 4.4.6 und 4.4.7 erfüllen.

Weitere Anforderungen, die in 4.4 angegeben sind, sollten ebenso eingehalten werden.

B.4 Messverfahren

Das allgemeine Verfahren nach 6.1 sollte eingehalten werden. Bei diesem Verfahren ist die Anzeige des Effektivwert-Spannungsmessgerätes, wenn es zugeschaltet ist, derart abzulesen, dass zuerst die Summe und anschließend die Differenz der beiden gemessenen Spannungen ermittelt wird. Die Ablesungen müssen so schnell wie möglich erfolgen, so dass sie nur vernachlässigbar durch Änderungen des thermischen Zustands von Kern und Messspule beeinflusst werden können.

Berechnung

Die Verlustleistung des Kerns wird berechnet mit:

$$P = \overline{(u \times i)} = \frac{|U_1^2 - U_2^2|}{4 \cdot \frac{N_3}{N_1} \cdot R}$$

Dabei ist

$\overline{(u \times i)}$	das zeitlich gemittelte Produkt aus Momentanwerten der Spannung, die durch die Aussteuerung in der Aussteuerungswicklung in der Messspule, die zusammen mit der Aussteuerungswicklung und dem Kern den Prüfaufbau bilden, induziert wird, und dem Strom, der durch die Aussteuerungswicklung fließt;
U_1	der Effektivwert der Summe der Spannungen über der Messwicklung und über dem Messwiderstand R;
U_2	der Effektivwert der Differenz der vorstehend genannten Spannungen;
N_1	Windungsanzahl der Aussteuerungswicklung der Messspule;
N_3	Windungsanzahl der Messwicklung der Messspule;
R	Wert des Strommesswiderstandes.

B.5 Impulsmessung und Genauigkeit

Bei Impulsmessungen ist die Impulswiederholfrequenz f_p unter Berücksichtigung der Erholungszeit auszuwählen. In diesem Fall ist es besser, die Verlustleistung bezüglich der Energie je Zyklus $E = (u \times i)f_p$

anzugeben. Für eine vorgegebene Impulsamplitude und Impulsdauer ist dadurch E unabhängig von f_p , und es gilt im Allgemeinen $P = E \times f_p$.

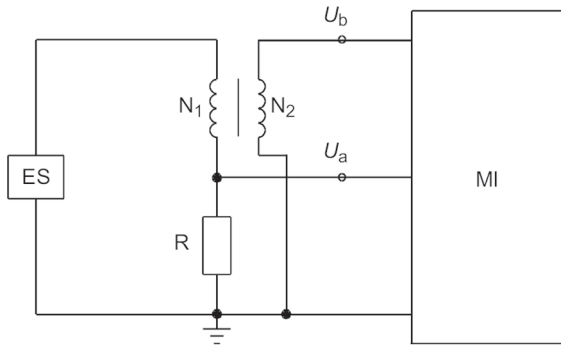
Für dieses Verfahren ergibt sich eine Genauigkeit von ± 5 % für die Verlustleistungsmessung, wenn die Anforderungen nach 4.4 eingehalten werden.

Anhang C (informativ)

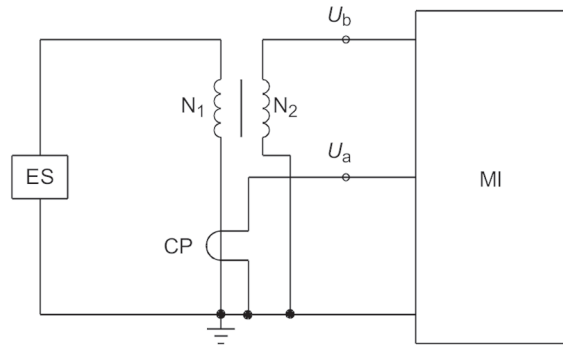
Multiplizierende Verfahren zur Messung der Verlustleistung – Grundsaltungen und zugehörige Messverfahren

C.1 Grundsaltungen

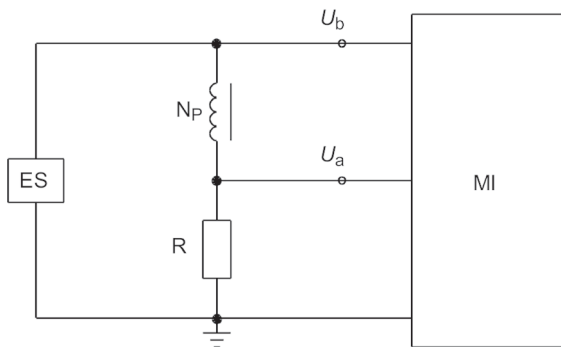
Die Grundsaltungen sind in Bild C.1 dargestellt.



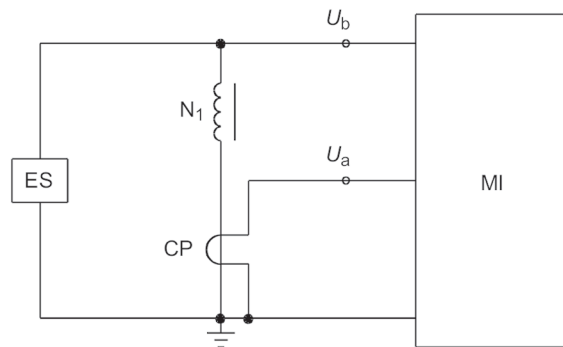
Schaltung a)



Schaltung b)



Schaltung c)



Schaltung d)

Verbindungen und Versorgung

Schaltung a) zwei Wicklungen, Aussteuerungswicklung N_1 und Spannungsmesswicklung N_2 mit induktivitätsfreiem Strommesswiderstand R ;

Schaltung b) zwei Wicklungen, Aussteuerungswicklung N_1 und Spannungsmesswicklung N_2 mit Stromwandler CP ;

Schaltung c) einzelne Aussteuerungswicklung N_1 mit induktivitätsfreiem Strommesswiderstand R und potentialfreien Eingängen;

Schaltung d) einzelne Aussteuerungswicklung N_1 mit Stromwandler CP .

Komponenten

ES Aussteuerungsquelle;
(en:
exciting
source)

R induktivitätsfreier Widerstand, über dem die Spannung U_a gemessen wird, die proportional zum Strom I durch die Aussteuerungswicklung N_1 ist;

MI Messinstrument, das die Funktionen Erfassung und Verarbeitung, einschließlich Multiplikation der Spannungen U_a und U_b erfüllt;

N_1 Aussteuerungswicklung;

N_2 Spannungsmesswicklung;

U_a proportionaler Spannungsabfall zum Strom I durch die Aussteuerungswicklung;

U_b Spannungsabfall über den Wicklungen N_1 oder N_2 ; der Mittelwert von U_b ist proportional zur Induktion im Kern (siehe 4.2.2);

U_a symbolisieren Momentan-, Mittel- oder Effektivwerte der Spannungen, die vom spezifischen multiplizierenden und Verfahren abhängig sind.