# DIN EN IEC 60404-17

DIN

ICS 29.030

Einsprüche bis 2020-05-20

**Entwurf**

## Magnetische Werkstoffe – Teil 17: Verfahren zur Messung der magnetostriktiven Kenndaten von Elektroband und -blech mittels eines Tafelmessgeräts und eines optischen Sensors (IEC 68/623/CD:2019); Text Deutsch und Englisch

Magnetic materials – Part 17: Methods of measurement of the magnetostriction characteristics of electrical steel strip and sheet by means of a single sheet tester and an optical sensor (IEC 68/623/CD:2019); Text in German and English

### Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-03-20 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, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt 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 65 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
DIN-Normenausschuss Eisen und Stahl (FES)

AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04

## Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 68/623/CD:2019 „Magnetic materials – Part 17: Methods of measurement of the magnetostriction characteristics of electrical steel strip and sheet by means of a single sheet tester and an optical sensor“ (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 TC 68 „Magnetic alloys and steels“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und 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 K 171 „Magnetische Legierungen und Stahl“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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

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

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

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.



Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04

## Inhalt

Seite

Einleitung ..... 5
1 Anwendungsbereich ..... 6
2 Normative Verweisungen ..... 6
3 Begriffe ..... 6
4 Allgemeine Grundlagen ..... 8
4.1 Grundlage des Verfahrens ..... 8
4.2 Probekörper ..... 10
4.3 Prüfeinrichtung ..... 10
4.3.1 Allgemeines ..... 10
4.3.2 Joch ..... 10
4.3.3 Wicklungen ..... 12
4.3.4 Optischer Sensor ..... 13
4.3.5 Optisches Ziel ..... 13
4.3.6 Klemmstück ..... 13
4.3.7 Einfügeblech ..... 14
4.3.8 Stopper ..... 14
4.4 Luftflusskorrektur ..... 15
4.5 Leistungsquelle ..... 15
4.6 Messgeräte ..... 15
5 Messprozedur ..... 17
5.1 Messprinzip ..... 17
5.2 Vorbereitung der Messung ..... 17
5.3 Einstellen der Leistungsquelle ..... 18
6 Bestimmung der Kenndaten ..... 19
6.1 Bestimmung der magnetischen Polarisation $J(t)$ ..... 19
6.2 Bestimmung der magnetostriktiven Dehnung $\lambda(t)$ ..... 19
6.3 Bestimmung der Schmetterlingsschleife ..... 20
6.4 Bestimmung des Scheitel-Scheitel-Werts $\lambda_{p\text{-}p}$ und des Null-Scheitel-Werts $\lambda_{0\text{-}p}$ ..... 20
7 Vergleichspräzision des Scheitel-Scheitel-Werts $\lambda_{p–p}$ ..... 20
8 Prüfbericht ..... 21
Anhang A (informativ) A-gewichtete Kenndaten der Magnetostriktion ..... 22
A.1 Allgemeines ..... 22
A.2 Bestimmung des A-gewichteten Schnellepegels $L_{vA}$ ..... 22
A.3 Bestimmung des A-gewichteten Beschleunigungspegels $L_{aA}$ ..... 23
Anhang B (normativ) Messung der magnetostriktive Kenndaten bei einer anliegenden Druckspannung ..... 24
B.1 Allgemeines ..... 24

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04

Seite

B.2 Probekörper ... 24
B.3 Prüfeinrichtung ... 24
B.4 Messprozedur ... 26
B.5 Bestimmung der Kenndaten ... 26
Anhang C (informativ) Anforderungen an das Tafelmessgerät für Messungen der magnetostriktiven Kenndaten ... 27
C.1 Allgemeines ... 27
C.2 Ordnungsgemäße Einstellung der Basislänge der Magnetostriktionsmessung ... 27
C.3 Strenge Regelung der sinusförmigen induzierten Sekundärspannung ... 27
C.4 Isolierung der Prüfeinrichtung von externen Schallquellen ... 28
C.5 Unterdrückung der auf den Probekörper wirkenden Reibungskraft ... 28
C.6 Unterdrückung der Schwingungen des Probekörpers aus der Ebene heraus ... 29
C.7 Vermeidung von Resonanzen im Probekörper und in der Prüfeinrichtung ... 30
C.8 Gesichtspunkt der Kalibrierung ... 30
Anhang D (informativ) Numerische Luftflusskorrektur ... 31
Anhang E (informativ) Regelung der sinusförmigen Wellenform der induzierten Sekundärspannung im digitalen Verfahren ... 32
Literaturhinweise ... 34

**Bilder**

Bild 1 – Darstellungen von Schmetterlingsschleife, Scheitel-Scheitel-Wert und Null-Scheitel-Wert ... 7
Bild 2 – Schematische Darstellung eines Prüfaufbaus (Querschnitt) ... 8
Bild 3 – Schematische Darstellung der Prüfrahmen mit unterschiedlichen Jochtypen ... 11
Bild 4 – Grundlegende Schaltung des Messsystems ... 16
Bild B.1– Schematische Darstellung eines Prüfaufbaus für die Messung bei einer anliegenden Druckspannung (Querschnitt) ... 25



Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04

## Einleitung

Magnetostriktion ist eine magnetisch-mechanische Eigenschaft, die mit Ferromagnetismus einhergeht. Die Definition von Magnetostriktion ist in IEC 60050-121 als „umkehrbare Verformung eines Körpers als Folge einer Magnetisierung, die durch ein angelegtes magnetisches Feld bewirkt wird“ angegeben. Dieses Dokument gibt magnetostriktive Kenndaten von Elektroband und -blech in einem angelegten magnetischen Wechselfeld bei Netzfrequenz an.

Das Umgebungsproblem aufgrund der von Transformatoren und anderen Elektrostahl-Anwendungen (z. B. Vorschaltgeräte, Motoren) ausgehenden Belästigung durch akustischen Schall ist ein Anliegen der Industrie. Die Magnetostriktion von Elektrostahl ist als eine der Ursachen der Schallentwicklung anerkannt, insbesondere da die Minderung des Transformatorrauschens für die Umgebung erforderlich ist. Jedoch ist der Zusammenhang zwischen den magnetostriktiven Kenndaten von Elektrostahl und dem Transformatorrauschen kompliziert und bislang nicht geklärt. Eines der grundlegenden Probleme besteht darin, dass Normen für die Messung der magnetostriktiven Kenndaten fehlen.

Dieses Dokument stellt Standardverfahren für die Messung der magnetostriktiven Kenndaten von Elektroband und -blech bereit. Die technischen Einzelheiten wurden nach intensiven Beratungen von Experten zum Thema Magnetostriktion spezifiziert, so dass eine zufriedenstellende Vergleichspräzision erwartet werden kann. Die Messung erfordert die Erkennung leichter Vibrationen des Probekörpers mit einer Auflösung von mindestens 0,01 µm. Um diese Auflösung sicherzustellen, mussten nicht nur die magnetischen Aspekte, sondern auch die mechanischen Aspekte der Prüfeinrichtung, z. B. der Einfluss von Reibung und externen Vibrationen, spezifiziert werden.

Die magnetostriktiven Kenndaten der Schmetterlingsschleife sowie der Scheitel-Scheitel- und der Null-Scheitel-Wert der magnetostriktiven Dehnung werden in diesem Dokument spezifiziert. Ergänzende Kenndaten des A-gewichteten Schnellepegels und des A-gewichteten Beschleunigungspegels werden in Anhang A beschrieben.

Der technische Bericht IEC/TR 62581 [3][1] hat die Verfahren zur Messung der magnetostriktiven Kenndaten von Elektrostahl mittels eines Tafelmessgeräts überprüft. Bei der Messung kamen unterschiedliche Verfahren zum Einsatz. Bei Verfahren, die Sensoren nutzen, die im Kontakt zum Probekörper stehen, ist es jedoch schwierig, die mit den Kontaktverfahren im Zusammenhang stehenden Schallschwingungen zu erkennen. Darüber hinaus erfordern die Verfahren die Anwendung besonderer Fähigkeiten zur Durchführung der Messung. Deshalb stellt dieses Dokument Verfahren bereit, die einen optischen Sensor verwenden, und zwar einen Laser-Doppler-Vibrometer, der die Anforderungen von kontaktlosen, hochauflösenden Messungen mit hoher Vergleichspräzision erfüllt.

Die magnetostriktiven Kenndaten von kornorientiertem Elektroband und -blech entlang der Walzrichtung können durch die Anwendung von Druckspannungen in dieser Richtung, die in der Praxis vorkommen können, beeinträchtigt werden. Dies hängt von der Kornorientierung des Werkstoffs und der Zugspannung innerhalb des Werkstoffs, der durch die Oberflächenbeschichtungen ausgeübt wird, ab. Verfahren zur Messung bei einer anliegenden Druckspannung werden in Anhang B beschrieben.

Internationale Ringversuchsvergleiche von Messungen der magnetostriktiven Eigenschaften wurden durchgeführt [4], [5], [6]. Deren Ergebnisse sind in dieses Dokument eingeflossen.

[1] Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04

# Magnetische Werkstoffe – Teil 17: Verfahren zur Messung der magnetostriktiven Kenndaten von Elektroband und -blech mittels eines Tafelmessgeräts und eines optischen Sensors

## 1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60404 gilt für Elektroband und -blech zur Messung der magnetostriktiven Kenndaten in einem angelegten magnetischen Wechselfeld bei Netzfrequenz.

Dieses Dokument definiert die allgemeinen Grundlagen und technischen Einzelheiten für die Messung der magnetostriktiven Kenndaten von Elektroband und -blech mittels eines Tafelmessgeräts und eines optischen Sensors.

Dieses Dokument ist anwendbar auf die Messung

– der Schmetterlingsschleife;

– des Scheitel-Scheitel-Werts $\lambda_{p–p;}$

– des Null-Scheitel-Werts $\lambda_{0–p}$.

Die magnetostriktiven Kenndaten werden bei sinusförmiger induzierter Sekundärspannung, bestimmten Scheitelwerten der magnetischen Polarisation und für eine festgelegte Frequenz bestimmt.

Die Messungen werden bei einer Umgebungstemperatur von (23 ± 5) °C an vorher abmagnetisierten Probekörpern ausgeführt.

ANMERKUNG In diesem gesamten Dokument wird der Begriff „magnetische Polarisation“ benutzt, wie er in IEC 60050-121 beschrieben ist. In einigen Normen der Reihe IEC 60404 wird der Begriff „magnetische Flussdichte“ benutzt.

## 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 60050-121, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 121: Electromagnetism*

IEC 60050-221, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 221: Magnetic materials and components*

IEC 61672-1, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-121, IEC 60050-221 und die folgenden Begriffe.

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

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

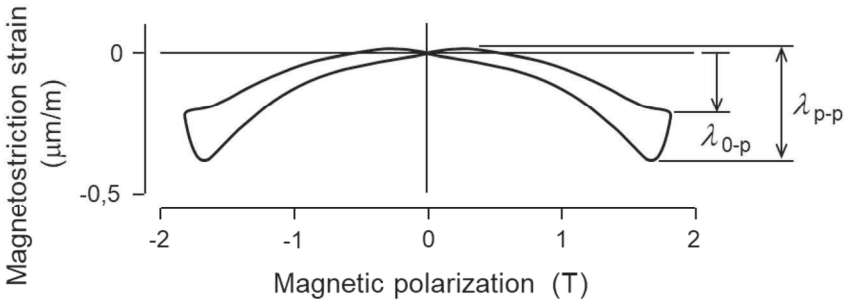


AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04

**3.1**
**Schmetterlingsschleife**
**Schmetterlingskurve**
Hystereseschleife der magnetostriktiven Dehnung gegen magnetische Polarisation entlang der Richtung des angelegten magnetischen Wechselfelds über eine Periode der Magnetisierung

BEISPIEL




| Englisch | Deutsch |
|---|---|
| Magnetostricion strain | Magnetostriktive Dehnung |
| Magnetic polarization | Magnetische Polarisation |

**Legende**

$\lambda_{p-p}$ Scheitel-Scheitel-Wert

$\lambda_{0-p}$ Null-Scheitel-Wert

**Bild 1 – Darstellungen von Schmetterlingsschleife, Scheitel-Scheitel-Wert und Null-Scheitel-Wert**

**3.2**
**Scheitel-Scheitel-Wert**
**$\lambda_{p-p}$**

Amplitude der magnetostriktiven Dehnung zwischen den Scheitelpunkten entlang der Richtung des angelegten magnetischen Wechselfelds unter Verwendung eines absoluten Werts, angegeben in µm/m

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Scheitel-Scheitel-Wert kann aus der in Bild 1 dargestellten Schmetterlingsschleife abgelesen werden.

**3.3**
**Null-Scheitel-Wert**
**$\lambda_{0-p}$**
Wert der magnetostriktiven Dehnung entlang der Richtung des angelegten magnetischen Wechselfelds bei einem Scheitelwert der magnetischen Polarisation unter Verwendung eines positiven oder negativen Werts, angegeben in µm/m

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Null-Scheitel-Wert kann aus der in Bild 1 dargestellten Schmetterlingsschleife abgelesen werden.

**3.4**
**A-gewichteter Schnellepegel**
**$L_{vA}$**
Indikator der magnetostriktiven Schnelle, bewertet anhand von Oberschwingungen der magnetostriktiven Schnelle mittels des in IEC 61672-1 definierten A-gewichteten Filters, angegeben in dB(A)

Anmerkung 1 zum Begriff: $L_{vA}$ entspricht einem A-gewichteten Schalldruckpegels einer Membran, die mit einem Signal äquivalent zur Magnetostriktion einer Längeneinheit des Werkstoffs in einem angelegten magnetischen Wechselfeld schwingt.

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04

**3.5**
**A-gewichteter Beschleunigungspegel**
**$L_{aA}$**
Indikator der magnetostriktiven Beschleunigung, bewertet anhand von Oberschwingungen der magnetostriktiven Beschleunigung mittels des in IEC 61672-1 definierten A-gewichteten Filters, angegeben in dB(A)

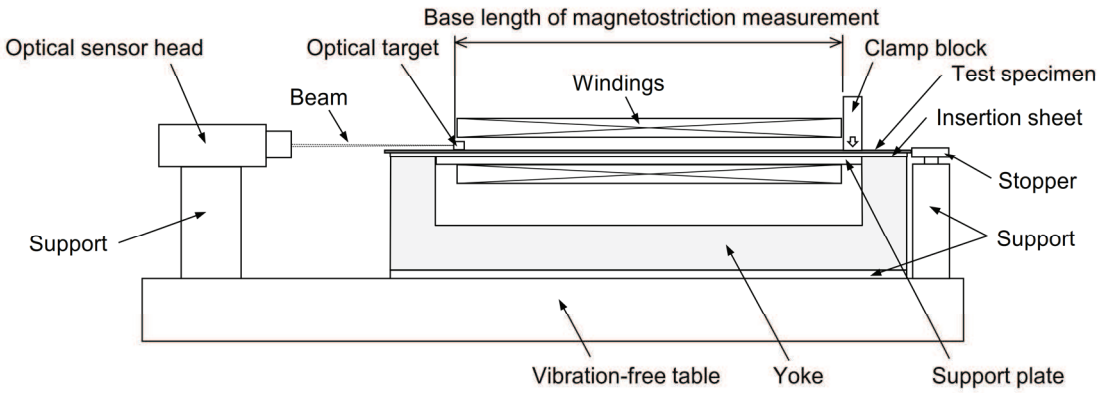
Anmerkung 1 zum Begriff: $L_{aA}$ ist relevant für einen A-gewichteten Schallenergiepegel einer Membran, die mit einem Signal äquivalent zur Magnetostriktion einer Längeneinheit des Werkstoffs in einem angelegten magnetischen Wechselfeld schwingt.

# 4 Allgemeine Grundlagen

## 4.1 Grundlage des Verfahrens

Eine schematische Darstellung eines Prüfaufbaus ist in Bild 2 wiedergegeben. Eine Prüfeinrichtung, bestehend aus Wicklungen, einem Joch, einer Auflage, einem Einfügeblech, einem Klemmstück, einem Stopper, einem optischen Sensor und anderen Trägerbauteilen, muss an einem schwingungsfreien Tisch befestigt werden. Die Prüfeinrichtung kann auf eine starre Grundplatte montiert werden, die unmagnetisch und an einem schwingungsfreien Tisch befestigt ist.

ANMERKUNG 1 Verfahren zur Messung bei einer anliegenden Druckspannung werden in Anhang B spezifiziert.




| Englisch | Deutsch |
|---|---|
| Optical sensor head | Kopf des optischen Sensors |
| Support | Stütze |
| Beam | Strahl |
| Optical target | Optisches Ziel |
| Base length of magnetostriction measurement | Basislänge der Magnetostriktionsmessung |
| Vibration-free table | Schwingungsfreier Tisch |
| Windings | Wicklungen |
| Yoke | Joch |
| Clamp block | Klemmstück |
| Test specimen | Probekörper |
| Insertion sheet | Einfügeblech |
| Stopper | Stopper |
| Support | Stütze |
| Support plate | Auflage |

**Bild 2 – Schematische Darstellung eines Prüfaufbaus (Querschnitt)**

Ein Probekörper muss ein Elektroblech umfassen, das in den Innenraum der folgenden beiden, an einem Wickelkörper angebrachten Wicklungen (siehe 4.3.3) eingebracht wird:

– einer äußeren Primärwicklung (Magnetisierungswicklung);
– einer inneren Sekundärwicklung (induzierte Spannungswicklung).



AVA Documents Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04

Der Flusskreis wird durch ein Joch geschlossen, dessen Querschnittsfläche verglichen mit der Querschnittsfläche des Probekörpers ausreichend groß ist. Das Joch ist unter dem Probekörper anzuordnen, so dass die beiden Polflächen horizontal sind. Es können mehrere Jochtypen verwendet werden (siehe 4.3.2).

Die Längsachse des Wickelkörpers muss die Achse durch die beiden Polflächen mit einer Toleranz von ± 0,1 mm überlappen.

Die Auflage zwischen den beiden Polflächen muss starr, nichtleitend und unmagnetisch sein. Die obere Fläche der Auflage muss eben und koplanar zu den beiden Polflächen liegen. Die Auflage kann in den Wickelkörper integriert werden.

ANMERKUNG 3 Eine H-Spule kann in die Auflage eingebettet werden, um die auf den Probekörper wirkende magnetische Feldstärke zu bestimmen, was hilfreich für die Analyse der magnetostriktiven Kenndaten ist.

Zur Kontrolle der auf den Probekörper wirkenden Reibungskraft muss das Einfügeblech direkt unter dem Probekörper und an der Auflage und den beiden Polflächen ohne Luftspalt angeordnet werden. Das Einfügeblech muss allerdings austauschbar sein, um die Erhaltung einer glatten Oberflächenbeschaffenheit zu gewährleisten (siehe 4.3.7).

Der Probekörper muss so in den Wickelkörper eingebracht werden, dass die Längsachse des Probekörpers die des Wickelkörpers überlappt und die Endkante des Probekörpers in ganzer Breite Kontakt zum Stopper innerhalb des Jochs hat (siehe Bild 2).

ANMERKUNG 3 Fehlausrichtungen des Probekörpers und/oder des Wickelkörpers können zu Messabweichungen führen.

Das dem optischen Sensor zugewandte Ende des Probekörpers muss frei beweglich sein. Keine zusätzliche Masse darf an das Ende angeschlossen sein (siehe C.7).

Die außerhalb der Polflächen gelegenen Teile des Probekörpers dürfen nur einige Millimeter lang sein, um Schwingungen aus der Ebene heraus zu vermeiden (siehe C.6). Die Längsenden des Probekörpers müssen das Einfügeblech überragen.

ANMERKUNG 4 Die Längsenden des Probekörpers können durch das Schneiden verformt werden, und es können Luftspalte zwischen dem Probekörper und dem Einfügeblech entstehen.

Während der Messung müssen der Probekörper und das Einfügeblech an der Prüfeinrichtung an einer Position innerhalb des Jochs oder an der Polfläche mittels des Klemmstücks fixiert werden (siehe Bild 2 und 4.3.6).

Am Probekörper darf sich, mit Ausnahme des optischen Ziels, keine Masse zwischen dem freien Ende und dem Klemmstück befinden (siehe C.5). Am Probekörper darf sich eine Masse an der dem optischen Sensor abgewandten Polfläche befinden, um eine Schwingung des Probekörpers aus der Ebene heraus zu verhindern.

An einer Position an der oberen Fläche des Probekörpers muss ein optisches Ziel eingehalten werden. Das optische Ziel muss sich innerhalb des Wickelkörpers und ungefähr 10 mm von der Polfläche entfernt befinden, wenn der Probekörper innerhalb des Wickelkörpers angeordnet ist (siehe Bild 2 und 4.3.5).

ANMERKUNG 5 Wenn sich das optische Ziel außerhalb des Polfläche befunden hat, können Schwingungen des Probekörpers aus der Ebene heraus die Messung beeinflussen.

Der optische Sensor muss Schnelle oder Verschiebung des optischen Ziels in Richtung der Achse des Wickelkörpers erkennen (siehe 4.3.4). Der optische Sensor muss so angeordnet sein, dass ein ausreichender Abstand vom Joch eingehalten wird, um einen vom Joch ausgehenden magnetischen Streufluss zu vermeiden. Der Abstand zwischen dem optischen Sensor und dem optischen Ziel sollte auf einen bestimmten, speziell auf den optischen Sensor bezogenen Arbeitsabstand eingestellt werden, um das Signal-Rausch-Verhältnis zu erhöhen.



AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04

Die Basislänge der Magnetostriktionsmessung muss zwischen den Seiten des optischen Ziels und dem Klemmstück befinden, die dem zugewandt sind (siehe Bild 2).

Die anderen Trägerbauteile der Prüfeinrichtung sollten unmagnetisch sein; insbesondere jene Teile, die sich in der Nähe des magnetischen Kreises befinden, müssen unmagnetisch sein. Es ist darauf zu achten, dass ein Kurzschluss um den Magnetfluss durch den magnetischen Kreis vermieden wird.

Die Längsachse des Wickelkörpers muss ungefähr rechtwinklig zur Richtung des geomagnetischen Felds sein (siehe C.4). Anderenfalls sollte der magnetische Kreis mit einer einfachen magnetischen Abschirmung versehen werden.

Alle auf dem schwingungsfreien Tisch angeordneten Gegenstände müssen am Tisch befestigt oder stabilisiert werden, um unerwartete Resonanzen und die Übertragung von Schwingungsschall auf die Prüfeinrichtung zu vermeiden.

Die Prüfeinrichtung sollte entfernt von Quellen für Schwingungsschall, magnetischen Schall und akustischen Schall angeordnet sein; insbesondere jene, die mit der Netzfrequenz synchronisiert sind, müssen isoliert sein. Die einfache magnetische Abschirmung kann den Einfluss des externen magnetischen Schalls schwächen. Um die Prüfeinrichtung sollte ein Windschutz angebracht werden, wenn der akustische Schall und/oder der Wind die Messung beeinflussen (siehe C.4).

ANMERKUNG 6 Auswirkungen der magnetischen Abschirmung und des Windschutzes können durch Messungen getestet werden, bei denen die Prüfeinrichtung mit hochdurchlässigen magnetischen bzw. unmagnetischen Tafeln verkleidet werden.

## 4.2 Probekörper

Der Probekörper muss rechteckig und eben sein. Die Länge des Probekörpers muss 500 mm ± 0,5 mm betragen. Die Breite des Probekörpers muss 100 mm ± 0,2 mm betragen.

Der Probekörper muss mittels eines Verfahrens geschnitten werden, das im Wesentlichen gratfreie Kanten produziert. Spannungen, die durch das Schneiden in den Probekörper eingebracht werden, müssen so gering wie möglich gehalten werden.

ANMERKUNG Eine Laserschneidtechnik ist nicht geeignet. Dadurch kann ein erheblicher Druck auf die Schnittkanten ausgeübt werden [7].

Beim Schneiden eines Probekörpers wird die Kante des Ausgangsbandes als Referenzrichtung verwendet. Die folgenden Toleranzen sind im Winkel zwischen Walzrichtung und Schneidrichtung zulässig:

– ± 1° für kornorientiertes Elektroblech;
– ± 5° für nicht kornorientiertes Elektroblech.

## 4.3 Prüfeinrichtung

### 4.3.1 Allgemeines

Die Prüfeinrichtung, bestehend aus den Wicklungen, dem Joch, der Auflage, dem Einfügeblech, dem Klemmstück, dem Stopper, dem optischen Sensor und den anderen Trägerbauteilen; diese sind an einem schwingungsfreien Tisch befestigt. Die Prüfeinrichtung kann auf eine starre Grundplatte montiert werden, die an einem schwingungsfreien Tisch befestigt ist. Die Komponenten der Prüfeinrichtung müssen mit möglichst geringer Fehlausrichtung montiert werden, um Messabweichungen zu verhindern (siehe 6.4).

Um Resonanzen mit den Oberschwingungstönen der Magnetostriktion zu vermeiden, muss die Prüfeinrichtung ohne Eigenfrequenzen im Bereich zwischen 50 Hz und 1 000 Hz zusammengestellt werden (siehe C.7).

### 4.3.2 Joch

Das Joch sollte eine niedrige magnetische Remanenz und eine niedrige Reluktanz aufweisen. Das Joch muss fest mit der Prüfeinrichtung verbunden sein, ohne dass übermäßige Spannungen bestehen. Es sollte

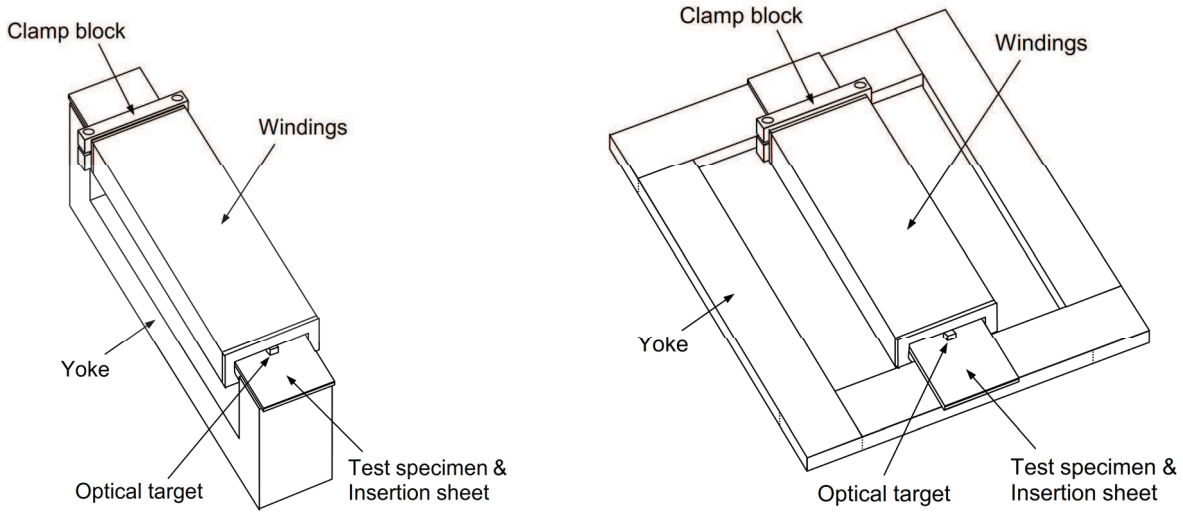


Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04

darauf geachtet werden, bei der Messung Schwingungen der Beine zu vermeiden. Es wird empfohlen, das Joch an Positionen der Füße zu befestigen, die sich in der Nähe der Polflächen befinden.

Bei dem Joch kann es sich um ein vertikales einzelnes Joch oder um ein horizontales Doppeljoch handeln (siehe Bild 3). Zur weiteren Verbesserung der Vergleichspräzision der Messung wird allerdings das vertikale Einzeljoch empfohlen. Andere Jochtypen können verwendet werden, sofern durch das Joch kein Druck auf den Probekörper ausgeübt wird und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse nachgewiesen werden kann.

ANMERKUNG 1 Durch präzise Experimente wurde bestätigt, dass der Unterschied der magnetostriktiven Kenndaten bei der Messung mit Prüfeinrichtungen, bei denen ein vertikales durch ein horizontales Joch ersetzt wurde, im Vergleich zur in diesem Dokument erforderlichen Vergleichspräzision ausreichend klein war [6].




**a) Vertikales Einzeljoch** **b) Horizontales Doppeljoch**

| Englisch | Deutsch |
|---|---|
| Clamp block | Klemmstück |
| Windings | Wicklungen |
| Yoke | Joch |
| Optical target | Optisches Ziel |
| Test specimen& Insertion sheet | Probekörper und Einfügeblech |

**Bild 3 – Schematische Darstellung der Prüfrahmen mit unterschiedlichen Jochtypen**

Das Joch besteht aus einem verklebten Stapel oder einem Schnittbandkern von hochdurchlässigen, kornorientierten Elektroblechen. Bei einem verklebten Stapel müssen die Ecken versetzte Stoßverbindungen aufweisen. Bei einem horizontalen Joch sollten die Bänder auf einer flachen Platte mit in geringer Dichte verteilten Kleberpartikeln auf einer Seite jedes Bandes zur Minimierung der durch die Verklebung verursachten Spannung laminiert werden.

Ein vertikales Doppeljoch kann angewendet werden, sofern das obere Joch nicht mit dem Auftreten des Strahles auf das optische Ziel in Konflikt gerät.

ANMERKUNG 2 Das vertikale Doppeljoch eignet sich für Verlustmessungen mittels des Magnetisierungsstromverfahrens, sofern das Einfügeblech entfernt wird und das obere Joch in Kontakt mit dem Probekörper ist. Das H-Spulen-Verfahren unter Verwendung einer in die Auflage eingebetteten H-Spule ermöglicht gleichzeitige Messungen von Magnetostriktion und Verlust unabhängig vom Jochtyp. Zum H-Spulen-Verfahren siehe IEC 60404-16 [2].

Das vertikale Joch muss über zwei Polflächen mit einer Länge von 25 mm ± 1 mm entlang der Achse des Wickelkörpers und einer Breite zwischen 105 mm und 110 mm verfügen. Die Höhe des Jochs muss zwischen 80 mm und 90 mm betragen.

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04

Das horizontale Joch muss über zwei Polflächen mit einer Länge zwischen 50 mm und 60 mm entlang der Achse des Wickelkörpers verfügen. Die Höhe des Jochs muss etwa 10 mm betragen.

Der Außenabstand der beiden Polflächen darf nicht mehr als 500 mm betragen; eine Länge zwischen 493 mm und 496 mm wird empfohlen, um Messungen bei einer anliegenden Druckspannung zu ermöglichen (siehe Anhang B).

Die beiden Polflächen müssen koplanar mit einem Toleranz von 0,1 mm sein.

ANMERKUNG 3 Niveau- und/oder Neigungsunterschiede zwischen den beiden Polflächen können Spannungen im Probekörper bewirken und Schwingungen des Probekörpers aus der Ebene heraus verursachen.

Das Joch muss vor der Verwendung sorgfältig abmagnetisiert werden.

ANMERKUNG 4 Eine Restmagnetisierung des Jochs kann Messabweichungen verursachen (siehe 6.4). Zur Entmagnetisierung des Jochs kann eine auf das Joch gewickelte Magnetisierungswicklung verwendet werden. Bei Verwendung eines vertikalen Einzeljochs sollte ein Flussschließer, z. B. das obere Joch, bei der Entmagnetisierung auf den beiden Polflächen angebracht werden.

### 4.3.3 Wicklungen

Die Primär- und die Sekundärwicklungen müssen auf einen nichtleitenden, unmagnetischen, rechteckigen Wicklungskörper gewickelt werden. Die Maße des Wicklungskörpers müssen wie folgt sein:

– Länge: so lang wie innerhalb des Joches möglich, sofern eine Symmetrie zur vertikalen Achse des Jochs besteht;
– innere Breite: 105 mm ± 1 mm;
– innere Höhe: mindestens 4 mm über dem Einfügeblech, das sich im Wickelkörper befindet;
– äußere Höhe: ≤ 15 mm.

ANMERKUNG 1 Diese Länge ist von der Position des Klemmstücks abhängig. Wenn sich das Klemmstück im Joch befindet und 10 mm lang ist, kann die Länge der Innenabstand des Jochs minus 20 mm sein. Wenn sich das Klemmstück auf der Polfläche befindet, kann die Länge der Innenabstand der Polflächen sein. Die innere Höhe ist ausreichend zum Einsetzen des Probekörpers mit dem darauf befindlichen optischen Ziel in den Wickelkörper, siehe Bild 2.

Der Wickelkörper muss fest an der Prüfeinrichtung angebracht werden, um Schwingungen bei der Messung zu vermeiden.

Die Primärwicklung muss so lange wie möglich gleichmäßig auf dem Wickelkörper angebracht werden. Die Flansche des Wickelkörpers sollten gerade so dünn sein, dass sie den Wickelkörper halten können. Es sollte darauf geachtet werden, dass es zu keinen Verformungen des Wickelkörpers durch Ausübung übermäßigen Druckes beim Wickeln eines Kupferdrahtes kommt.

ANMERKUNG 2 Die Primärwicklung kann aus einer einzelnen durchgehenden und gleichförmigen Spule aus Kupferdraht mit einem Durchmesser von 1 mm hergestellt werden, die Draht für Draht gewickelt ist. Die Flansche können dünner sein, wenn eine freistehende Spule verwendet wird.

Die Primärwicklung sollte verfestigt werden, z. B. durch Lackierung, und/oder von unten abgestützt werden, um zeitbedingte Verformungen der Wicklungen und des Wickelkörpers zu vermeiden.

Die Sekundärwicklung muss am mittleren Teil des Wickelkörpers in halber Länge der Primärwicklung hergestellt werden.

ANMERKUNG 3 Die Sekundärwicklung kann aus einer einzelnen durchgehenden und gleichförmigen Spule aus Kupferdraht mit einem Durchmesser von 0,3 mm hergestellt werden. Die magnetische Polarisation im Probekörper ist über die mittlere halbe Länge der Primärwicklung fast homogen und in der Mitte am stärksten.

Die Anzahl der Wicklungen bei der Sekundärwicklung hängt von den Kenndaten der Messgeräte ab.



Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04

### 4.3.4 Optischer Sensor

Der optische Sensor muss ein kalibrierter Laser-Doppler-Vibrometer sein. Ein optischer Sensor anderen Typs kann verwendet werden, sofern die Kompatibilität der Ergebnisse nachgewiesen werden kann.

Der optische Sensor muss eine Auflösung von 0,01 μm oder besser hinsichtlich einer sinusförmigen Verschiebung des optischen Ziels bei einer Frequenz von 100 Hz aufweisen.

ANMERKUNG 1 Die Auflösung von 0,01 μm bei der Verschiebung des optischen Ziels entspricht einer Auflösung der magnetostriktiven Dehnung von 0,025 μm/m bei einer Länge von 400 mm.

Zur Analyse der Oberschwingungen der Magnetostriktion muss der Frequenzbereich des optischen Sensors breiter als ein Bereich von 50 Hz bis 2 000 Hz sein.

Die Reaktion des optischen Sensors muss ausreichend schnell sein. Filterfunktionen, die der optische Sensor bietet, können verwendet werden, sofern die Vergleichbarkeit der Ergebnisse nachgewiesen werden kann.

ANMERKUNG 2 Die Filterfunktionen können die Reaktion des optischen Sensors verzögern.

Der optische Sensor muss überprüft werden um sicherzustellen, dass Messungen einer symmetrischen Verschiebung zu symmetrischen Signalen ohne Versatz führen.

ANMERKUNG 3 Zu Aspekten der Kalibrierung siehe C.8.

Die Strahlposition des optischen Sensors sollte vor der Messung einstellbar sein, so dass die Signalintensität des optischen Sensors ausreichend hoch ist. Die Strahlposition muss während der Messung fest eingestellt sein.

ANMERKUNG 4 Es gibt zwei Typen von Laser-Doppler-Vibrometern. Ein Typ misst die Schnelle des optischen Ziels mittels eines einzelnen Strahls mit einem Referenzpunkt innerhalb des Sensors, und der andere Typ misst die Differenzschnelle zwischen dem optischen Ziel und einem Referenzpunkt an der Auflage mittels eines Doppelstrahls. Der letztere Typ hat den Vorteil, dass eine relative Bewegung zwischen dem optischen Sensor und der Auflage aufgehoben wird.

### 4.3.5 Optisches Ziel

Das optische Ziel muss ein Block aus nichtleitenden und unmagnetischen Werkstoffen sein.

ANMERKUNG 1 Leitende Werkstoffe können durch elektromagnetische Kraft schwingen, die mit dem angelegten magnetischen Wechselfeld synchronisiert ist. Diese Schwingung kann nicht aus der Schwingung aufgrund der Magnetostriktion getilgt werden.

Das optische Ziel muss sich in geringer Höhe befinden, so dass der Probekörper mit dem darauf befindlichen optischen Ziel in den Wickelkörper eingesetzt werden kann. Das optische Ziel muss eine ausreichend geringe Masse aufweisen, um eine Trägheitsverzögerung seiner Bewegung gegen den Probekörper zu vermeiden.

BEISPIEL Das optische Ziel kann ein Block aus Phenolharz mit den Abmessungen 3 mm (H) × 5 mm (B) × 4 mm (T) sein. Seine Masse beträgt weniger als 0,1 g.

Eine Seite des optischen Ziels, die dem optischen Sensor zugewandt ist, muss den Strahl so hell wie möglich reflektieren. An dieser Seite kann eine Reflexfolie verwendet werden.

Das optische Ziel muss mittels eines Klebebands am Probekörper befestigt sein (siehe 5.2).

ANMERKUNG 2 Das optische Ziel mit dem Klebeband kann bei Lagerung an einer nichthaftenden Fläche mehrfach verwendet werden.

### 4.3.6 Klemmstück

Das Klemmstück muss sich über dem Probekörper und innerhalb des Jochs oder an der weiter vom optischen Sensor entfernten Polfläche befinden. Das Klemmstück muss aus einem starrem Werkstoff gefertigt sein. Der Teil des Klemmstücks, der Kontakt zum Probekörper hat, muss aus einem nichtleitenden und

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04

unmagnetischen Werkstoff mit einem hohen Reibungskoeffizienten und einer Dicke von mindestens 10 mm gefertigt sein. Andere Teile des Klemmstücks müssen aus unmagnetischen Werkstoffen bestehen.

Das Klemmstück muss ohne Luftspalt Kontakt mit dem Probekörper haben. Das Klemmstück muss den Probekörper und das Einfügeblech während der Messung vertikal gleichmäßig gegen die Auflage oder die Polfläche drücken (siehe Bild 2). Die auf das Klemmstück ausgeübte Kraft muss zwischen 10 N und 20 N liegen.

Die Breite der Kontaktfläche muss 95 mm ± 1 mm betragen, um Kontakte mit Kantengraten des Probekörpers zu vermeiden. Beim Klemmen innerhalb des Jochs muss die Länge der Kontaktfläche entlang der Achse des Wickelkörpers 10 mm ± 1 mm betragen. Beim Klemmen an der Polfläche muss die Länge der Länge der Polfläche entsprechen.

Das Klemmstück muss während der Messung fest an der Prüfeinrichtung angebracht sein, um den Probekörper an der Prüfeinrichtung zu fixieren und um ein Schwingen mit dem Probekörper zu vermeiden.

ANMERKUNG Der Probekörper wird durch die Reibungskräfte am Klemmstück und Einfügeblech fixiert; diese sind proportional zur auf das Klemmstück ausgeübten Kraft.

### 4.3.7 Einfügeblech

Beim Einfügeblech muss es sich um ein flaches und starres Blech aus einem nichtleitenden und unmagnetischen Werkstoff mit einem nichtleitenden und unmagnetischen Film an der oberen Fläche handeln. Die Oberfläche des Films muss einen geringen Reibungskoeffizienten aufweisen. Der Film muss 95 mm ± 1 mm breit und ebenso lang wie das Einfügeblech sein. Der Film muss an der Mitte des Einfügeblechs befestigt sein, um Kontakte mit Kantengraten des Probekörpers zu vermeiden.

Beim Film muss es sich um einen dünn mit Fluorharz imprägnierten Glasgewebe-Klebefilm handeln (siehe C.5). Filme anderen Typs können verwendet werden, sofern die Vergleichbarkeit der Ergebnisse nachgewiesen werden kann.

ANMERKUNG 1 Fluorharze haben gegenüber Stahl einen geringen Reibungskoeffizienten von ungefähr 0,1. Ein dünner Fluorharz-Film ist zu weich, aber der dünn mit Fluorharz imprägnierte Glasgewebe-Klebefilm ist fest genug, um gleichmäßig am Band zu haften.

Das Einfügeblech sollte so breit sein, dass es problemlos im Wickelkörper ersetzt werden kann. Das Einfügeblech muss kürzer als der Probekörper sein, aber fast genauso lang wie der Außenabstand der beiden Polflächen.

Die Dicke des Einfügeblechs muss ungefähr 1 mm betragen. Ein dünneres Blech kann verwendet werden, sofern dieses starr genug ist, um seine Ebenheit auf einer unebenen Fläche zu erhalten, wenn der Probekörper darauf angebracht wird.

BEISPIEL Ein Glasepoxidharz-Blech mit einer Dicke von 0,8 mm mit einem mit Fluorharz imprägnierten Glasgewebe-Klebefilm mit einer Dicke von 0,13 mm, der am Band befestigt ist, kann als Einfügeblech verwendet werden.

ANMERKUNG 2 Ein dickeres Einfügeblech erhöht den Magnetisierungsstrom und den vom Joch ausgehenden magnetischen Streufluss.

ANMERKUNG 3 Das Einfügeblech sorgt außerdem für die gleichmäßige Verteilung der Flussdichte an den Polflächen.

Um eine glatte Oberflächenbeschaffenheit zu erhalten, muss der Film ersetzt werden, bevor seine Oberfläche zeitbedingt verschlissen ist.

### 4.3.8 Stopper

Der Stopper muss aus unmagnetischen Werkstoffen gefertigt sein. Der Stopper muss an der Prüfeinrichtung befestigt sein, so dass die Seite senkrecht zur Achse des Wickelkörpers steht (siehe Bild 2). Allerdings muss der Stopper um einen vertikalen Drehpunkt gedreht werden können, um in voller Breite im Kontakt mit der Endkante des Probekörpers zu sein, auch wenn die Endkante nicht genau senkrecht zur Längsrichtung des Probekörpers geschnitten ist.



Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04

Der Stopper darf nach unten einfahrbar sein, um das Einsetzen und Zurückziehen des Probekörpers zu vereinfachen.

ANMERKUNG Beim Stopper kann es sich um eine Platte auf einem Kolben eines einfachwirkenden Zylinders handeln, der vertikal an der Prüfeinrichtung angebracht ist.

### 4.4 Luftflusskorrektur

Die Wirkung des Luftflusses auf die Sekundärspannung muss kompensiert werden.

Dies kann beispielsweise durch das numerische Luftflusskorrekturverfahren erreicht werden (siehe Anhang D). Wird ein Gegeninduktor verwendet, muss der vom Gegeninduktor ausgehende magnetische Streufluss von der Prüfeinrichtung isoliert werden.

### 4.5 Leistungsquelle

Die Leistungsquelle sollte aus einem rechnergesteuerten Schwingungsgenerator für beliebige Wellenformen und einem Leistungsverstärker bestehen, oder aus einem Gerät, das diese beiden Funktionen vereint.

Der Schwingungsgenerator für beliebige Wellenformen muss ein Signal synthetisieren, dessen Wellenform, Amplitude und Frequenzdaten von außen programmiert werden. Zwischen dem Schwingungsgenerator für beliebige Wellenformen und dem Leistungsverstärker sollte ein Tiefpassfilter eingefügt werden, um eine Überlappungsverzerrung der Abtastung beim Messgerät zu vermeiden.

Die Wellenform der induzierten Sekundärspannung muss während der Messung sinusförmig gehalten werden. Dies kann anhand verschiedener Mittel erreicht werden, z. B. mittels digitaler Verfahren, wie es in Anhang E beschreiben wird.

Der Formfaktor der induzierten Sekundärspannung muss auf 1,1107 mit einer relativen Toleranz von ± 0,2 % oder besser gehalten werden. Zusätzlich sollte die Gesamt-Oberschwingungsverzerrung der induzierten Sekundärspannung überprüft werden um sicherzustellen, dass nur die Grundschwingung vorliegt (siehe C.3). Die Gesamt-Oberschwingungsverzerrung bis 1 000 Hz sollte weniger als 1 % betragen.

ANMERKUNG 1 Bei der 50-Hz-Magnetisierung kann die Gesamt-Oberschwingungsverzerrung als das Verhältnis des Effektivwerts einer Reihe höherer Oberschwingungsfrequenzen, d. h. 200 Hz, 300 Hz, … 1 000 Hz, zur Amplitude der ersten Oberschwingungsfrequenz, d. h. 100 Hz, berechnet werden.

ANMERKUNG 2 Eine höhere Oberschwingungsverzerrung der induzierten Sekundärspannung bringt eine noch höhere Oberschwingungsverzerrung der magnetischen Feldstärke mit sich, die zu einer unregelmäßigen Verzerrung der Schmetterlingsschleife führt. In diesem Fall können die Ergebnisse der Messung falsch sein.

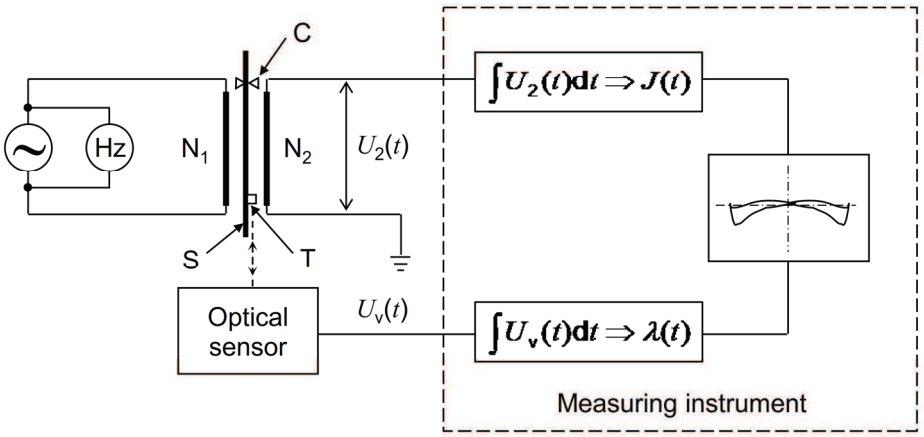
Der Leistungsverstärker muss eine niedrige innere Impedanz aufweisen, bei ausreichend niedrigem Spannungsrauschen, und in Spannung und Frequenz sehr stabil sein. Während der Messung müssen Spannung und Frequenz innerhalb von ± 0,2 % oder besser konstant gehalten werden.

Der Leistungsverstärker sollte vom bipolaren Typ mit großer Bandbreite in Frequenz und Spannung sein. Zwischen dem Leistungsverstärker und der Primärwicklung kann ein Trenntransformator eingefügt werden, um elektrische Impedanzen anzugleichen, den Versatz der Magnetisierungsspannung zu entfernen und das Spannungsrauschen an der Primärwicklung zu unterdrücken.

### 4.6 Messgeräte

Die grundlegende Schaltung des Messsystems ist in Bild 4 dargestellt.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04




| Englisch | Deutsch |
|---|---|
| Optical sensor | Optischer Sensor |
| Measuring instrument | Messgerät |

**Legende**

| | |
|---|---|
| ~ | Leistungsquelle |
| Hz | Frequenzmessgerät |
| $N_1$ | Primärwicklung |
| $N_2$ | Sekundärwicklung |
| S | Probekörper |
| T | optisches Ziel |
| C | Klemmstück |
| $U_2(t)$ | in die Sekundärwicklung induzierte Spannung |
| $U_v(t)$ | Ausgangsspannung des optischen Sensors |
| $\int U_2(t)dt \Rightarrow J(t)$ | J-Integrator-Funktion des Computerprogramms |
| $\int U_v(t)dt \Rightarrow \lambda(t)$ | λ-Integrator-Funktion des Computerprogramms |

**Bild 4 – Grundlegende Schaltung des Messsystems**

ANMERKUNG 1 Die numerische Luftflusskorrektur, $J = B - \mu_0 \times H$, ist nicht in Bild 4 dargestellt, aber in das Programm mit eingeschlossen, siehe 4.4 und Anhang D.

Das Frequenzmessgerät darf entfallen, sofern sichergestellt ist, dass die Leistungsquelle ein Gerät mit Quarzuhr ist. Geräte zur Messung der magnetischen Feldstärke, die auf den Probekörper angewendet werden, dürfen dem Kreis hinzugefügt werden, z. B. ein Strommessgerät, das in Serie mit der Primärwicklung oder einer in die Auflage eingebetteten H-Spule geschaltet ist.

Das Messgerät besteht meist aus einem kalibrierten Digitalisiergerät und einem digitalen Signalrechner (üblicherweise ein PC) oder einem Gerät, in das diese beiden Funktionen integriert sind.

ANMERKUNG 2 Zu Aspekten der Kalibrierung siehe C.8.

Das Digitalisiergerät verfügt über mehrere unabhängige Signalkanäle der für die Spannungseingänge. Es sollten mindestens drei Kanäle für die Signale $U_2(t)$, $U_v(t)$ und die magnetische Feldstärke existieren.

Die Signalkanäle müssen ausreichend hohe Eingangsimpedanzen aufweisen (üblicherweise > 1 MΩ, parallel mit ungefähr 100 pF). Eingangssignale sollten vor der Digitalisierung verstärkt werden, um eine Auflösung von mindestens 12 Bit für die gegebene Amplitude der Eingangsspannung und damit eine Verringerung des



AVA Documents Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04

Digitalisierungsfehlers sicherzustellen. Der Analog-Digital-Umsetzer sollte eine Auflösung von 16 Bit oder mehr bei Vollaussteuerung aufweisen. Die Phasendifferenz zwischen den Signalkanälen sollte mittels digitaler Verfahren kompensiert werden.

Die Signalkanäle müssen synchron und von einer Abtastuhr gesteuert arbeiten, die wiederum mit der Ausleseuhr des Schwingungsgenerators für beliebige Wellenformen synchronisiert ist. Ein unsynchronisiertes Digitalisiergerät darf verwendet werden, sofern die Vergleichbarkeit der Ergebnisse nachgewiesen werden kann.

Die Abtastfrequenz des Digitalisiergeräts sollte ein Vielfaches der Magnetisierungsfrequenz (Nyquist-Bedingung) betragen und ausreichend groß sein, um den Digitalisierungsfehler zu verringern. Die Anzahl der Stichproben je Periode der Magnetisierung sollte der Zweierpotenzierung entsprechen. Es empfiehlt sich, eine digitale Datenverarbeitung wie z. B. durch Fast-Fourier-Transformation (FFT) durchzuführen. Um Phasendifferenzen zwischen den Signalkanälen zu korrigieren, sollte die Abtastfrequenz bei mindestens 4 096 Stichproben je Periode liegen.

ANMERKUNG 3 Für die Aufzeichnung der Wellensignale ist ein reduzierter Datensatz von 1 024 Stichproben je Periode ausreichend. Wenn die Abtastfrequenz ein exaktes Vielfaches der Magnetisierungsfrequenz (Nyquist-Bedingung) ist, kann die Abtastfrequenz sogar erheblich geringer sein (z. B. 128 Stichproben je Periode, siehe IEC 60404-2, Anhang A [1]).

Der digitale Signalrechner berechnet magnetische und magnetostriktive Kenndaten mit Hilfe des Auswertungsprogramms mit Integrationsfunktionen, FFT und der Rekonstruktion von Signalen nach Filterung mittels numerischer Verfahren.

Das Messgerät sollte das digitale Rückführungssignal erzeugen, das in den Schwingungsgenerator für beliebige Wellenformen zur Regelung der sinusförmigen Wellenform der induzierten Sekundärspannung im digitalen Regelverfahren eingeführt wird (siehe Anhang E).

# 5 Messprozedur

## 5.1 Messprinzip

Der Messplatz und die Wicklungen müssen wie in Bild 4 dargestellt miteinander verbunden werden.

Die folgenden Signale müssen gleichzeitig digitalisiert und mit einer Genauigkeit von ± 0,1 % oder besser aufgezeichnet werden:

– die in die Sekundärwicklung induzierte Spannung $U_2(t)$;

– die Ausgangsspannung des optischen Sensors $U_V(t)$.

Das synchrone Mitteln der Signale sollte über eine große Anzahl von Perioden durchgeführt werden, z. B. 64 oder 128, um unsynchronisiertes Rauschen aus den Signalen zu entfernen.

Die Datensätze der Signale $U_2(t)$ und $U_V(t)$, gemittelt über eine Periode der Magnetisierung, stellen die vollständige Information für eine Messung dar.

Die magnetische Polarisation $J(t)$ muss im digitalen Verfahren aus $U_2(t)$ berechnet werden (siehe 6.1). Die magnetostriktive Dehnung $\lambda(t)$ muss im digitalen Verfahren aus $U_V(t)$ berechnet werden (siehe 6.2). Der Scheitel-Scheitel-Wert $\lambda_{p–p}$ und der Null-Scheitel-Wert $\lambda_{0–p}$ müssen anhand der magnetostriktiven Dehnung $\lambda(t)$ bestimmt werden (siehe 6.3).

## 5.2 Vorbereitung der Messung

Die Länge des Probekörpers $l$ muss mit einer Genauigkeit von ± 0,1 % oder besser gemessen werden. Die Masse des Probekörpers $m$ muss mit einer Genauigkeit von ± 0,1 % oder besser gemessen werden.

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04

Wenn Besonderheiten am Probekörper, z. B. Kratzer oder Verformungen durch die Handhabung, festgestellt werden, müssen diese im Prüfbericht verzeichnet werden.

Die Querschnittsfläche des Probekörpers $A$ muss anhand von Gleichung (1) berechnet werden.

$$A = \frac{m}{l\rho_{\mathrm{m}}} \tag{1}$$

Dabei ist

$A$ die Querschnittsfläche des Probekörpers, in $m^2$;

$m$ die Masse der Probe, in kg;

$l$ die Länge des Probekörpers, in m;

$\rho_{\mathrm{m}}$ die Dichte des Probekörperwerkstoffs, in $kg/m^3$

Die Oberflächen des Probekörpers und das Einfügeblech müssen frei von Fremdkörpern wie z. B. Flüssigkeiten, Stäuben und Klebstofffragmenten sein, durch die sich die auf den Probekörper einwirkende Reibungskraft verändern kann.

Das optische Ziel muss mittels eines Klebebands an der Längsachse des Probekörpers befestigt sein. Der Abstand zwischen der dem optischen Sensor zugewandten Seite des optischen Ziels und der gegenüberliegenden Endkante des Probekörpers muss gleich der Summe der Basislänge der Messung und des Abstands zwischen den Seiten des Klemmstücks und dem Stopper, die dem optischen Sensor zugewandt sind (siehe Bild 2), sein.

ANMERKUNG 1 Das Anbringen des optischen Ziels am Probekörper wird durch die Verwendung eines Probentischs erleichtert, der über eine Skala oder eine Vorlage zur Anzeige der Position des optischen Ziels gegenüber der Endkante des Probekörpers verfügt.

Der Probekörper mit dem darauf befindlichen optischen Ziel muss auf dem Einfügeblech in den Wickelkörper eingesetzt werden (siehe 4.1). Beim Einsetzen sollte der Probekörper auf einem dünnen Harzblech platziert werden, um einen Verschleiß an der Oberfläche des Einfügeblechs zu vermeiden. Das dünne Harzband muss nach den Einsetzen herausgezogen werden.

Die Position des Probekörpers im Wickelkörper muss so angepasst werden, dass die Längsachse des Probekörpers jene des Wickelkörpers mit einer Toleranz von ± 0,1 mm überlappt und die Endkante des Probekörpers ohne Luftspalt Kontakt zum Stopper hat (siehe Bild 2).

ANMERKUNG 2 Die Positionierung des Probekörpers wird durch die Verwendung eines Seitenpositionierungswerkzeug erleichtert, das beide Seitenkanten des Probekörpers symmetrisch zur Achse des Wickelkörpers stützt, sowie einen Andrücker, der den Probekörper sanft gegen den Stopper schieben kann (siehe B.3). Diese Werkzeuge werden nach der Messung herausgezogen.

Der Probekörper und das Einfügeblech müssen mit Hilfe des Klemmstücks an der Prüfeinrichtung befestigt werden.

Vor der Messung muss der Probekörper durch langsames Abschwächen eines magnetischen Wechselfelds, beginnend mit einem Wert deutlich über dem zu messenden Wert und dem Knie der Magnetisierungskurve, sorgfältig abmagnetisiert werden.

### 5.3 Einstellen der Leistungsquelle

In der Praxis müssen einzelne Scheitelwerte oder Gruppen von Scheitelwerten der magnetischen Polarisation $\hat{J}$ bei einer bestimmten Frequenz vorgewählt werden.

Das Ausgangssignal der Leistungsquelle muss langsam hochgefahren werden, bis $\hat{J}$ den gewünschten Wert erreicht hat. Das Ausgangssignal der Leistungsquelle sollte während der Messung nicht absichtlich abfallen.



Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04

Die Wellenform der induzierten Sekundärspannung $U_2(t)$ muss während der Messung sinusförmig gehalten werden.

Die Wellenform $U_2(t)$ sollte mittels Durchführung einer FFT bei $U_2(t)$ überprüft werden um sicherzustellen, dass nur die Grundschwingung in $U_2(t)$ vorliegt.

Wenn der Probekörper bei der Messung summt, muss dies im Prüfbericht als Besonderheit vermerkt werden.

ANMERKUNG Das Summen wird durch Schwingungen des Probekörpers aus der Ebene heraus verursacht. In diesem Fall können die Ergebnisse falsch sein (siehe C.6).

# 6 Bestimmung der Kenndaten

## 6.1 Bestimmung der magnetischen Polarisation $J(t)$

Die magnetische Polarisation $J(t)$ muss anhand von Gleichung (2) berechnet werden.

$$J(t) = \frac{1}{N_2 A}\left\{\int_0^t U_2(\tau)\,\mathrm{d}\tau - \frac{1}{T}\int_0^T\left(\int_0^t U_2(\tau)\,\mathrm{d}\tau\right)\mathrm{d}t\right\} \tag{2}$$

Dabei ist

$J(t)$ die Zeitfunktion der magnetischen Polarisation, in T;

$N_2$ die Windungszahl der Sekundärwicklung;

$A$ die Querschnittsfläche des Probekörpers, in $m^2$;

$U_2(\tau)$ die Zeitfunktion der induzierten Sekundärspannung, in V;

$T$ die Länge der Magnetisierungsperiode, in s;

$\tau$ eine zeitbezogene Hilfsvariable.

Der zweite Term in den Klammern der Gleichung (2) gibt den zeitlichen Mittelwert über die Länge einer Periode an, der die Wirkung der Integrationskonstante ausgleicht.

## 6.2 Bestimmung der magnetostriktiven Dehnung $\lambda(t)$

Die magnetostriktive Dehnung, $\lambda(t)$, muss anhand von Gleichung (3) berechnet werden.

$$\lambda(t) = \frac{1}{k_\mathrm{v}\, l_0}\int_0^t U_\mathrm{v}(\tau)\,\mathrm{d}\tau - \lambda_0 \tag{3}$$

Dabei ist

$\lambda(t)$ die Zeitfunktion der magnetostriktiven Dehnung, in µm/m;

$U_\mathrm{v}(\tau)$ die Zeitfunktion der Ausgangsspannung des optischen Sensors, in V;

$k_\mathrm{v}$ die Empfindlichkeit des optischen Sensors, in Vs/m;

$l_0$ die Basislänge der Magnetostriktionsmessung, in m (siehe Bild 2);

$\lambda_0$ ein Kompensationswert, so dass die magnetostriktive Dehnung $\lambda(t)$ bei Nullpolarisation gleich Null ist, in µm/m;

$\tau$ eine zeitbezogene Hilfsvariable.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04

Wenn $U_v(t)$ proportional zur Verschiebung des optischen Ziels ist, muss der Integralteil $\int_0^t U_v(\tau)dr$ von Gleichung (3) durch $U_v(t)$ ersetzt werden, und die Einheit von $k_v$ wird zu V/m.

### 6.3 Bestimmung der Schmetterlingsschleife

Die Schmetterlingsschleife ist durch Zeichnen einer geschlossenen, zweidimensionalen Kurve mit $\lambda(t)$ als vertikale Achse und $J(t)$ als horizontale Achse für eine Periode der Magnetisierung zu bestimmen.

Vor dem Zeichnen sollte Rauschen in $\lambda(t)$ und $J(t)$ mittels numerischer Verfahren geglättet werden, z. B. auf der Grundlage eines gewichteten zeitbezogen gleitenden Mittelwerts oder einer Bandpassfilterung im digitalen Verfahren.

### 6.4 Bestimmung des Scheitel-Scheitel-Werts $\lambda_{p\text{-}p}$ und des Null-Scheitel-Werts $\lambda_{0\text{-}p}$

Vor der Bestimmung der magnetostriktiven Kenndaten muss die Symmetrie der Schmetterlingsschleife geprüft werden. Wenn die Schmetterlingsschleife bedeutend asymmetrisch ist, muss dies im Prüfbericht als Besonderheit vermerkt werden.

ANMERKUNG 1 Asymmetrische Schmetterlingsschleifen können eine Vielzahl von Ursachen haben, z. B. Fehlausrichtungen der Prüfeinrichtung, Restmagnetisierung des Probekörpers, Restmagnetisierung des Jochs (siehe C.4), Unebenheit des Probekörpers, Bewegung des optischen Ziels während der Messungen durch Verwendung dafür ungeeigneter Werkstoffe und Probleme mit dem elektrischen Stromkreis des optischen Sensors.

Die magnetostriktive Dehnung $\lambda(t)$ muss nach der Entfernung ungerader Oberschwingungen mittels numerischer Verfahren wiederhergestellt werden, sofern kein offensichtlicher Grund für eine asymmetrische Schmetterlingsschleife besteht und die Schmetterlingsschleife fast symmetrisch ist, d. h. die Differenz zwischen zwei Scheitelwerten der magnetostriktiven Dehnung $\lambda(t)$, die in der Halbperiode auftreten, im Bereich eines geringen Prozentwertes liegt. Dieses Verfahren dient dazu, die Schmetterlingsschleife symmetrisch zu machen.

ANMERKUNG 2 Ungerade Oberschwingungen von $\lambda(t)$ stehen nicht im Zusammenhang mit den Phänomenen der Magnetostriktion.

ANMERKUNG 3 Ein einfaches numerisches Verfahren zur Entfernung ungerader Oberschwingungen wird folgendermaßen durchgeführt: Bei 4 096 Stichprobenpunkten je Periode $\lambda(i)$ und $\lambda(i + 2\,048)$ durch $\{\lambda(i) + \lambda(i + 2048)\} / 2$ für $i$ =0 bis 2047 ersetzen.

Der Scheitel-Scheitel-Wert $\lambda_{p\text{-}p}$ muss die Gesamtamplitude von $\lambda(t)$ sein (siehe Bild 1). Der Null-Scheitel-Wert $\lambda_{0\text{-}p}$ muss der Wert von $\lambda(t)$ beim Scheitelwert der magnetischen Polarisation $\hat{J}$ sein (siehe Bild 1).

ANMERKUNG 4 Ergänzende Kenndaten, der A-gewichtete Schnellepegel $L_{vA}$ und der A-gewichtete Beschleunigungspegel $L_{aA}$, werden in Anhang A beschrieben.

## 7 Vergleichspräzision des Scheitel-Scheitel-Werts $\lambda_{p–p}$

Die Wiederholpräzision dieses Verfahrens mit Anwendung der oben definierten Prüfeinrichtung ist durch eine relative Standardabweichung von 5 %, aber eine Standardabweichung von weniger als 0,02 μm/m gekennzeichnet.

ANMERKUNG 1 Der Null-Scheitel-Wert $\lambda_{0\text{-}p}$ kann einen positiven oder negativen Wert annehmen. Deshalb kann seine Wiederholpräzision nicht durch einen Prozentsatz der relativen Standardabweichung gekennzeichnet werden.

ANMERKUNG 2 Anhang C enthält Anforderungen für die Prüfeinrichtung zur Verbesserung der Wiederholpräzision.



Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04