

	DIN EN IEC 61788-24 (VDE 0390-24)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
<p>ICS 29.050</p> <p>Supraleitfähigkeit – Teil 24: Messung des kritischen Stroms – Verbleibender kritischer Strom nach Doppelbiegung bei Raumtemperatur in Ag-ummantelten Bi-2223 supraleitenden Drähten (IEC 61788-24:2018); Deutsche Fassung EN IEC 61788-24:2018</p> <p>Superconductivity – Part 24: Critical current measurement – Retained critical current after double bending at room temperature of Ag-sheathed Bi-2223 superconducting wires (IEC 61788-24:2018); German version EN IEC 61788-24:2018</p> <p>Supraconductivité – Partie 24: Mesurage du courant critique – Courant critique retenu après double flexion à température ambiante des fils supraconducteurs Bi-2223 avec gaine Ag (IEC 61788-24:2018); Version allemande EN IEC 61788-24:2018</p> <p style="text-align: right;">Gesamtumfang 33 Seiten</p> <p style="text-align: center;">DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE</p>		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2018-07-23 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2019-07-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 61788-24 (VDE 0390-24):2016-12.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 184 „Supraleiter“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom IEC/TC 90 „Superconductivity“ erarbeitet.

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

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

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten

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.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60050-815:2015	a	–
EN 61788 (alle Teile)	IEC 61788 (alle Teile)	DIN EN 61788 (VDE 0390) (alle Teile)	VDE 0390
EN 61788-3	IEC 61788-3	DIN EN 61788-3 (VDE 0390-3)	VDE 0390-3
–	ISO/IEC Guide 98-3:2008	–	–
^a „Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Deutsche Ausgabe“, Online-Zugang: http://www.dke.de/dke-iev .			

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 61788 (VDE 0390-3), *Supraleitfähigkeit*

DIN EN 61788-3 (VDE 0390-3), *Supraleitfähigkeit – Teil 3: Messen des kritischen Stromes – Kritischer Strom (Gleichstrom) von Ag- und/oder Ag-Legierung ummantelten oxidischen Bi-2212- und Bi-2223-Supraleitern*

Supraleitfähigkeit –
Teil 24: Messung des kritischen Stroms –
Verbleibender kritischer Strom nach Doppelbiegung bei Raumtemperatur in
Ag-ummantelten Bi-2223 supraleitenden Drähten
(IEC 61788-24:2018)

Superconductivity –
Part 24: Critical current measurement –
Retained critical current after double bending at
room temperature of Ag-sheathed Bi-2223
superconducting wires
(IEC 61788-24:2018)

Supraconductivité –
Partie 24: Mesurage du courant critique –
Courant critique retenu après double flexion à
température ambiante des fils supraconducteurs
Bi-2223 avec gaine Ag
(IEC 61788-24:2018)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2018-07-23 angenommen. CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC Management Centre oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

© 2018 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN IEC 61788-24:2018 D

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 90/402/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe der IEC 61788-24, erarbeitet vom IEC/TC 90 „Superconductivity“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN IEC 61788-24:2018 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2019-04-23
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2021-07-23

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

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61788-24:2018 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

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

IEC 61788-3 ANMERKUNG Harmonisiert als **EN 61788-3**.

Anhang ZA (normativ)

Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

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

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

<u>Publikation</u>	<u>Jahr</u>	<u>Titel</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Jahr</u>
IEC 60050-815	2015	International Electrotechnical Vocabulary – Part 815: Superconductivity	–	–

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort.....	2
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	3
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Prinzip	8
5 Messaufbau	8
5.1 Allgemeines	8
5.2 Biegedorn	8
5.3 Halter des Messaufbaus für den kritischen Strom	8
5.4 Messsystem für den kritischen Strom	8
6 Probenvorbereitung und -anbringung.....	9
6.1 Länge der Probe.....	9
6.2 Anbringung der Probe	9
7 Messverfahren	10
7.1 Messung des kritischen Stroms	10
7.2 Doppelbiegung	10
7.3 Verbleibender kritischer Strom nach Biegung	10
8 Berechnung der Ergebnisse	11
8.1 Kriterium des kritischen Stroms.....	11
8.2 n -Wert (optional)	11
9 Prüfbericht	11
9.1 Identifizierung der Messprobe	11
9.2 Bericht über I_c -Werte und/oder über das verbleibende I_c -Verhältnis.....	11
9.3 Bericht über Prüfbedingungen von I_c	12
Anhang A (informativ) Zusätzliche Information zu den Abschnitten 1 bis 9	13
A.1 Allgemeines	13
A.2 Messbedingungen	13
A.3 Material des Messprobenhalters	13
A.4 Vorbereitung der Probe	16
A.5 Messverfahren	16
A.5.1 Messung des kritischen Stroms	16
A.5.2 Biegen.....	18
A.6 Berechnung der Ergebnisse	19
A.6.1 Kriterium des kritischen Stroms.....	19
A.6.2 n -Wert	19

A.7	Relative Standardmessunsicherheit.....	20
Anhang B (informativ) Auswertung der kombinierten Standardmessunsicherheit für den verbleibenden I_c nach Doppelbiegung		22
B.1	Anwendung der Messung des kritischen Stroms.....	22
B.2	Modellgleichung	23
B.3	Verfahren zur Messung des verbleibenden I_c	23
B.4	Kombinierte Standardmessunsicherheit	24
B.5	Auswertung der Standardmessunsicherheit (SU) der einzelnen Messgrößen	24
B.5.1	Länge der Spannungskontakte (L).....	24
B.5.2	Spannung (U).....	25
B.5.3	Strom (I)	25
B.6	Auswertung der kombinierten Standardmessunsicherheit	26
Literaturhinweise		29

Bilder

Bild 1 – Probenhalter	9
Bild 2 – Intrinsischer U - I -Verlauf	12
Bild 3 – U - I -Verlauf mit einer Stromübertragungskomponente	12
Bild A.1 – Messaufbau für eine Leiterklasse mit wenigen hundert Ampere	15
Bild A.2 – Klemmen	15
Bild A.3 – Zusätzliche mechanische Beanspruchung durch Spannungskontaktdrähte und Verlöten	16
Bild A.4 – Siedetemperatur von flüssigem Stickstoff in Abhängigkeit vom Umgebungsdruck.....	17
Bild A.5 – Kritischer Strom in Abhängigkeit der Temperatur für einen typischen Bi-2223 Draht.....	18
Bild A.6 – Biegevorgang	19
Bild B.1 – U - I -Diagramm	22
Bild B.2 – Biegedurchmesserabhängigkeit des verbleibenden I_c und $\langle X_{COV} \rangle$, wobei die berechnete Kurve von I_c/I_{c0} durch Gleichung (B.24) gegeben ist	28

Tabellen

Tabelle A.1 – Thermische Ausdehnungsdaten von Bi-Oxidsupraleitern und ausgewählten Materialien	14
Tabelle A.2 – Mittelwert des Maßes des verbleibenden kritischen Stroms (I_c/I_{c0}), der relativen Standardabweichung und des Variationskoeffizienten	21
Tabelle B.1 – Ausgangspunkt für die Auswertung der Standardmessunsicherheit	22
Tabelle B.2 – Partialsumme (Gleichung (B.17) der Standardmessunsicherheit im Verhältnis zur Strommessung).....	26
Tabelle B.3 – Wertetabelle der Standardmessunsicherheit für jede Komponente	27
Tabelle B.4 – Kombinierte Standardmessunsicherheit	27

Einleitung

Im Jahr 1988 wurde eine neue Klasse von Kupferoxidsupraleitern, Bi-Sr-Ca-Cu-O, mit einer hohen kritischen Temperatur (T_c) entdeckt. Nach mittlerweile nahezu drei Jahrzehnten wird $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (Bi-2223) als kommerzieller Hochtemperatursupraleiterdraht eingesetzt.

Ein supraleitender Draht unterliegt häufig Biegungsverformungen während der Produktion und im Einsatz, z. B. bei der Drahtverarbeitung, dem Magnetbau, in der Kabelherstellung usw. Der Draht wird sowohl nach oben als auch nach unten gebogen, wenn er durch mehrere Drahtrollen geführt wird. Diese Herstellungsprozesse werden bei Raumtemperatur durchgeführt. Es ist wahrscheinlich, dass der kritische Strom des Drahtes durch eine solche Verbiegung beeinflusst wird, was im Falle von starken Verformungen möglicherweise eine irreversible Abnahme des kritischen Stromes zur Folge hat. Der einfachste Weg, um den Einfluss eines Biegevorgangs auf den kritischen Strom zu untersuchen ist, eine Vergleichsmessung mit einem geraden Draht, vor und nach einer Biegung bis zu einem vorgegebenen Biegeradius, vorzunehmen.

Nachdem ein Draht zu einer Spule oder einem Kabel verarbeitet wurde, wird die Messung seines kritischen Stroms häufig durchgeführt, während er verbogen ist oder komplexeren Verformungen unterliegt. In diesen Fällen beinhaltet die Änderung des kritischen Stroms sowohl reversible als auch irreversible Einflüsse, abhängig von der Stärke der Verformungen. Die irreversiblen Abnahmen werden im Allgemeinen durch Brüche in der supraleitenden Komponente verursacht. Um nur die irreversiblen Einflüsse zu untersuchen, ist es notwendig, den verbleibenden kritischen Strom zu messen, nachdem der Draht aus seinem verformten Zustand wieder begradigt wurde.

Für kommerziellen Supraleiterdraht wird üblicherweise der kritische Biegeradius spezifiziert. Unterhalb dieses Radius nimmt die Leistungsfähigkeit des Drahtes signifikant ab. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Methoden für die Messung des nach einer Doppelbiegung verbleibenden kritischen Stroms normativ einheitlich festzulegen. Die vorliegende Norm kann auch auf andere, ähnliche Biegeprüfverfahren wie Einzelbiegung, zyklisches Verbiegen usw. angewendet werden.

Die vorliegende Norm beinhaltet zwei fundamentale Technologien zur Messung des kritischen Stroms und zu dem Vorgang der Doppelbiegung.

1 Anwendungsbereich

Der hier vorliegende Teil 24 der internationalen Normenreihe IEC 61788 beschreibt ein Prüfverfahren zur Bestimmung des verbleibenden kritischen Stroms nach einer Doppelbiegung bei Raumtemperatur. Die Verfahren sind zur Anwendung mit kurzen und geraden Ag- oder mit Ag-Legierung ummantelten Bi-2223 supraleitenden Drähten ausgelegt, die die Form eines flachen oder rechteckigen Bandes mit einzel- oder mehradrigen oxidischen Filamenten besitzen. Die Drähte können mit Bändern aus Kupferlegierung, rostfreiem Stahl oder Nickellegierung laminiert sein.

Das Prüfverfahren ist vorgesehen für die Anwendung mit Supraleitern, die einen kritischen Strom von unter 300 A und einen n -Wert von über 5 besitzen. Das Verfahren zur Bestimmung des verbleibenden kritischen Stroms wird ohne ein angelegtes Magnetfeld durchgeführt, während der Prüfkörper in einem offenen Flüssigstickstoffbad eingetaucht ist.

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 60050-815:2015, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 815: Superconductivity* (available at <http://www.electropedia.org/>)

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-815 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>

3.1

Doppelbiegung

eine Biegung in die eine Richtung bis zu einem bestimmten Durchmesser, gefolgt von einer anschließenden Biegung in die entgegengesetzte Richtung mit dem gleichen Durchmesser

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Biegedurchmesser ist als der Durchmesser des Biegekörpers definiert.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Definition des Biegedurchmessers ist in der Praxis durch die Summe aus dem Durchmesser des Biegekörpers und der Dicke des Supraleiters gegeben. Im Verarbeitungsprozess sollte jedoch ebenso der kleinste Durchmesser der Rollen, durch die der Draht in der Produktionslinie geführt wird, berücksichtigt werden.

3.2

Verfahren mit konstanter Stromerhöhungsrate

Messverfahren zur Aufnahme von Spannungs-Strom-Daten (U - I -Daten), wobei ein Strom mit einer konstanten Rate von Null bis zu einem Strom oberhalb des kritischen Stroms (I_c) erhöht wird, während kontinuierlich oder regelmäßig in gleichen Abständen U - I -Daten aufgenommen werden

3.3

Hochfahr-und-Halte-Methode

Messverfahren zur Aufnahme von U - I -Daten, wobei ein Strom zu einer Reihe von angemessen verteilten Punkten entlang einer U - I -Kurve gefahren und dort gehalten wird, während eine Anzahl von Spannungs- und Strommessungen durchgeführt wird