DEUTSCHE NORM *Entwurf* Mai 2019

DIN EN IEC 61788-26 (VDE 0390-26)

DIN

VDE

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.

ICS 29.050

Einsprüche bis 2019-06-05

Entwurf

Supraleitfähigkeit – Teil 26: Messung des kritischen Stroms – Kritischer DC-Strom von RE-Ba-Cu-O-Kompositsupraleitern (IEC 90/407/CD:2018); Text Deutsch und Englisch

Superconductivity –
Part 26: Critical current measurement –
DC critical current of RE-Ba-Cu-O composite superconductors
(IEC 90/407/CD:2018);
Text in German and English

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-04-05 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 48 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 61788-26:2019-05

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist ... .

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 90/407/CD:2018 „Superconductivity – Part 26: Critical current measurement – DC critical current of RE-Ba-Cu-O composite superconductors“ (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 90 „Superconductivity“ 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 184 „Supraleiter“ 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.

Der deutsche Text wurde im Abschnitt 2 an den aktuellen Standardtext angepasst.

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 61788-26:2019-05

Inhalt

Seite

Einleitung 5
1 Anwendungsbereich 6
2 Normative Verweisungen 6
3 Begriffe und Definitionen 6
4 Prinzip 6
5 Apparatur 7
5.1 Allgemeines 7
5.2 Messsystem für den kritischen Strom 7
6 Probenpräparation und -montage 7
6.1 Länge 7
6.2 Montage der Probe 8
7 Messung des kritischen Stroms 8
8 Berechnung der Ergebnisse 9
8.1 Kriterien für den kritischen Strom 9
8.2 n-Wert (optional) 9
9 Messunsicherheit 9
10 Testbericht 10
10.1 Identifikation der Testprobe 10
10.2 Angabe von I_c-Werten 10
10.3 Angaben zu den Testbedingungen 10
Anhang A (informativ) Zusätzliche Information zur Messung, Messapparatur und Berechnung 11
A.1 Anwendungsbereich 11
A.2 Messbedingungen 11
A.3 Messvorrichtung 11
A.3.1 Messhaltermaterialien 11
A.3.2 Messhalterkonstruktion 12
A.4 Probenpräparation 13
A.5 Messvorgang 13
A.5.1 Messung des kritischen Stroms 13
A.5.2 Messung der Temperatur 13
A.6 Berechnung der Ergebnisse 15
A.6.1 Kriterien für den kritischen Strom 15
A.6.2 n-Wert 15
Anhang B (informativ) Bestimmung der gesamten Standardmessunsicherheit für die REBCO-I_c-Messung [10] 16
B.1 Praktische Messung des kritischen Stroms 16
B.2 Modellgleichung 17

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61788-26:2019-05

Seite

B.3 I_C-Messergebnisse 17
B.4 Gesamte Standardmessunsicherheit [11] 20
B.5 Berechnung der Messunsicherheit Typ B 21
B.5.1 Unsicherheit der L_1-Messung 21
B.5.2 Messunsicherheit der Spannungsmessung 21
B.5.3 Unsicherheit der Strommessung 21
B.5.4 Messunsicherheit der Temperatur 22
B.5.5 Messunsicherheit durch intrinsische Ungleichmäßigkeit von I_C 23
B.5.6 Vergleich der A und B Typen der kombinierten Standardmessunsicherheit 24
B.6 Einfluss der Stromrampe auf die gesamte Messunsicherheit 25
Literaturhinweise 26

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61788-26:2019-05

Einleitung

Im Jahre 1986 wurde Supraleitung weit oberhalb der Temperaturen der metallischen Supraleiter in einigen Materialien vom Perovskit-Typ entdeckt, welche Kupferoxide enthalten. 1987 wurde festgestellt, dass Y-Ba-Cu-O (YBCO) eine kritische Temperatur (T_c) von 93 K besitzt. Es dauerte aber noch ein Vierteljahrhundert, bis die RE-Ba-Cu-O- (REBCO, RE = rare earth = Seltene Erden) Supraleiter kommerziell erhältlich wurden.

Im Jahre 2013 begann die VAMAS Gruppe TWA 16 an Methoden zur Messung des kritischen Stromes in REBCO Supraleitern zu arbeiten. 2014 wurde ein internationaler round robin test (RRT) bezüglich eines Verfahrens zur Messung des kritischen Stromes von REBCO Supraleitern unter der Leitung von TWA 16 durchgeführt. Es nahmen daran 10 Institutionen, Universitäten und Industrien aus fünf Ländern teil. Diese Vorarbeit von VAMAS zur Standardisierung eines solchen Verfahrens wurde als Grundlage für die IEC Norm für ein Prüfverfahren für den kritischen DC Strom von REBCO Kompositsupraleitern verwendet, wie es in diesem Dokument beschrieben ist.

Das in dieser internationalen Norm beschriebene Prüfverfahren wurde erarbeitet, um eine geeignete technische Grundlage für Ingenieure zu schaffen, die auf dem Gebiet der Supraleitertechnologie arbeiten.

Der kritische Strom von Kompositsupraleitern hängt von vielen Variablen ab. Diese Variablen müssen sowohl bei der Prüfung als auch bei der Anwendung dieser Materialien berücksichtigt werden. Umgebungsbedingungen für die Prüfung wie das magnetische Feld, die Temperatur und die relative Orientierung der Probe zum Magnetfeld werden durch die jeweilige Anwendung festgelegt. Die Konfiguration der Prüfung kann durch den jeweiligen Leiter innerhalb bestimmter Toleranzen vorgegeben sein. Das spezifische Kriterium für den kritischen Strom kann durch die jeweilige Anwendung vorgegeben sein. Es kann zweckmäßig sein, mehrere Proben zu messen, wenn Unregelmäßigkeiten bei der Prüfung auftreten.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61788-26:2019-05

Supraleitfähigkeit – Teil 26: Messung des kritischen Stroms – Kritischer DC-Strom von RE-Ba-Cu-O-Kompositsupraleitern

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der internationalen Normenreihe IEC 61788 beschreibt ein Prüfverfahren für die Bestimmung des kritischen DC-Stroms von kurzen und geraden RE- (Rare Earth/seltene Erden) Ba-Cu-O (REBCO) - Supraleitern, die die Form eines flachen Bandes haben. Die Probekörper, die durch dieses Prüfverfahren abgedeckt werden, sollten kürzer als 300 mm sein und einen rechteckigen Querschnitt mit einer Fläche von 0,2 mm2 bis 4,0 mm2 aufweisen. Dies entspricht solchen Bändern, die in der Breite von 1,0 mm bis 12,0 mm und in der Dicke von 0,05 mm bis 0,4 mm variieren.

Dieses Verfahren ist für die Anwendung mit Supraleitern vorgesehen, die einen kritischen Strom kleiner als 500 A und n-Werte größer als 5 unter Standardtestbedingungen aufweisen. Der Probekörper befindet sich während der Prüfung eingetaucht in ein Flüssigstickstoffbad bei fehlendem externem Magnetfeld. Abweichungen von diesem Prüfverfahren, die für Stückprüfungen erlaubt sind, und andere spezielle Einschränkungen werden in dieser Norm 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 60050-815:2000, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 815: Superconductivity*

3 Begriffe und Definitionen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-815 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC unterhalten terminologische Datenbanken zur Verwendung in der Normung an den folgenden Adressen:

- IEC Electropedia: verfügbar über http://www.electropedia.org/
- ISO Online Plattform: verfügbar über http://www.iso.org/obp/

3.1
Methode mit konstanter Stromänderungsrate
U-I-Datenaufnahmemethode bei der der Strom mit einer konstanten Rate von Null bis zu einem Strom oberhalb I_c hochgefahren wird, während kontinuierlich oder periodisch U-I-Daten aufgenommen werden

3.2
Ramp-and-Hold (stationäres) Verfahren
U-I-Datenaufnahmemethode bei der ein Strom zu einer Anzahl geeignet verteilter Messpositionen entlang der U-I-Kurve hochgefahren und bei jedem dieser Punkte konstant gehalten wird, währenddessen eine Anzahl von Spannungs- und Stromwerten aufgenommen wird

4 Prinzip

Der kritische Strom eines Kompositsupraleiters muss aus einer Spannungs (U) – Strom (I)-Kennlinie bestimmt werden, die in einem Flüssigstickstoffbad unter konstantem Druck gemessen wurde. Zum Erhalt der U-I-Kennlinie wird ein Gleichstrom an die Supraleiterprobe angelegt und die entlang der Probe generierte Spannung gemessen. Der Strom wird von Null aus erhöht und die entstehende U-I-Kennlinie aufgenommen.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 61788-26:2019-05

Der kritische Strom muss als jener Strom bestimmt werden, bei dem ein bestimmter Wert der elektrischen Feldstärke (elektrisches Feldkriterium, E_c) zwischen den Spannungskontakten auftritt.

5 Apparatur

5.1 Allgemeines

Die nötige Apparatur für das Testverfahren beinhaltet das Meßsystem für den kritischen Strom.

5.2 Messsystem für den kritischen Strom

Die Apparatur zur Messung der U-I-Kennlinie muss aus einer Messprobe, einem offenen Stickstoffbad und einem U-I-Messsystem bestehen.

Die Messprobe, bestehend aus der Probe und dem Messhalter, wird in ein mit Flüssigstickstoff gefülltes offenes Bad getaucht. Das U-I-Messsystem besteht aus einer Gleichstromquelle, einem Datenrekorder und den notwendigen Vorverstärkern, Filtern oder Voltmetern, oder aus einer Kombination aus diesen. Dazu geeignete Messhaltermaterialien werden in A.3.1 empfohlen.

Eine computerunterstützte Datenakquisition wird empfohlen.

6 Probenpräparation und -montage

6.1 Länge

Die Länge (L) der zu messenden Probe soll wie folgt definiert werden:

$$L = L_1 + 2 \times L_2 + 2 \times L_3 + L_4 \geq 5 \times W \quad (1)$$

$$L_1, L_2, L_3 \geq W \quad (2)$$

wobei

L_1 den Abstand zwischen den Spannungsabgriffen bezeichnet

L_2 die Länge des Stromkontakts bezeichnet

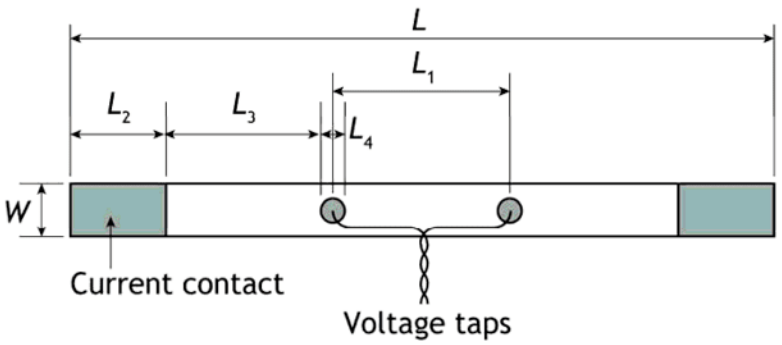
L_3 den kürzesten Abstand von einem Stromkontakt zu einem Spannungsabgriff angibt

L_4 die Breite der Spannungsanschlüsse angibt

W bedeutet die Breite der Probe die gemessen werden soll

Für eine Probe mit einer größeren Stromtragfähigkeit muss L_2 größer sein. Für den Fall einer Probe mit einer Laminierung oder einer Ummantelung aus Edelstahl oder einem anderen hochresistiven Material muss L_2 größer sein. Benötigt eine Messung eine höhere Spannungsempfindlichkeit muss L_1 größer sein. L_3 muss größer sein wenn ein Spannungssignal von der Stromeinkopplung nicht ausgeschlossen werden kann.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61788-26:2019-05



Englisch	Deutsch
Current contact	Stromkontakt
Voltage taps	Spannungsabgriffe

Bild 1 – Schematische Darstellung des Messaufbaus

6.2 Montage der Probe

Die Probe muss auf die flache Oberfläche des Probenhalters montiert werden und beide Enden müssen auf den Stromkontaktblöcken befestigt bzw. auf sie gelötet werden.

Die Spannungsabgriffe müssen im zentralen Teil mit oder ohne Lot angebracht sein.

Die Stromkontakte und die Spannungsabgriffe müssen sich auf der Supraleiterseite befinden.

Die elektrischen Leitungen/Adern müssen so nah wie möglich bis an die Spannungsabgriffe verdrillt werden.

7 Messung des kritischen Stroms

Der kritische Strom muss unter Bedingungen gemessen werden die jegliche zusätzlichen mechanischen Dehnungen vermeiden.

Die Probe muss langsam in das Flüssigstickstoffbad eingeführt werden. Das Volumen des Flüssigstickstoffbades muss ausreichend größer als die Probe und der Messalter sein. Die Tiefe des Bades muss ausreichend größer sein als die Höhe des Messhalters. Die Probe muss von Raumtemperatur auf die Flüssigstickstofftemperatur im Zeitintervall von mindestens einigen zehn Sekunden abgekühlt werden.

Bei Anwendung der Methode der konstanten Stromrampe muss die Zeit zwischen Strom Null und I_c mehr als 10 s betragen.

Bei Anwendung der Ramp-and-Hold Methode muss die Stromänderungsgeschwindigkeit zwischen Stromendwerten kleiner sein als die Bezugsgröße den Strom von Null auf I_c in 3 s zu fahren. Die Datenaufnahme bei jedem der Endwerte muss unverzüglich beginnen falls durch die Stromrampe verursachte Spannungsänderungen vernachlässigt werden können. Der Stromdrift bei jedem gewählten Stromwert soll weniger als 1 % von I_c betragen.

Die U-I-Kennlinie muss mit ansteigendem Strom aufgenommen werden.

Die Grundlinienspannung der U-I-Kennlinie muss die gemessene Spannung bei Strom Null für die Ramp-and-Hold Methode sein oder die mittlere Spannung bei etwa 0,1 I_c für die Methode der konstanten Stromrampe.

Nach der Messung soll die Probe auf Raumtemperatur aufgewärmt werden.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61788-26:2019-05

8 Berechnung der Ergebnisse

8.1 Kriterien für den kritischen Strom

Der kritische Strom muss durch die Verwendung eines Kriteriums für ein elektrisches Feld E_c bestimmt werden.

Es sollen zwei Werte für I_c bei den Kriterien 100 µV/m und 10 µV/m bestimmt werden.

I_c muss als jener Strom bestimmt werden der mit dem Punkt auf der U-I-Kurve korrespondiert, an dem die Spannung U_c gegenüber der Grundlinienspannung gemessen wird (siehe Bild 2 und 3)

$$U_c = L_1 E_c \quad (3)$$

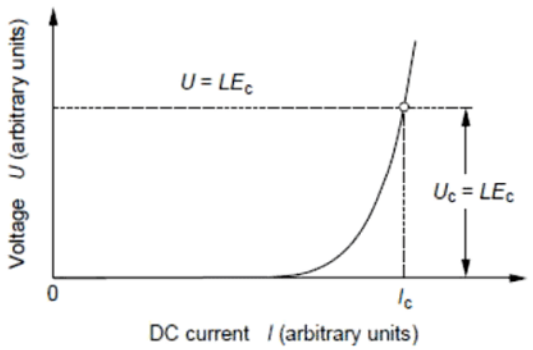
wobei

U_c das Spannungskriterium in Mikrovolt (µV) bezeichnet

L_1 den Abstand der Spannungsabgriffe in Metern (m) angibt

E_c das Kriterium des elektrischen Felds in Mikrovolt/Meter (µV/m) darstellt

Wobei U_c und I_c die zugehörigen Spannungs- und Stromwerte des Schnittpunkts der geraden Linien mit der U-I-Kurve sind, wie in Bild 2 dargestellt ist.



Englisch	Deutsch
DC current / arbitrary units	DC Strom / willkürliche Einheiten
Voltage U (arbitrary units)	Sannung U (willkürliche Einheiten)

Bild 2 – Intrinsische U-I-Kennlinie

8.2 n-Wert (optional)

Der n-Wert muss als die Steigung der Auftragung log U gegen log I in der Gegend von I_c berechnet werden.

Es muss der Bereich der Kriterien in welchem die Berechnung von n geschieht angegeben werden.

9 Messunsicherheit

Wenn nicht anders spezifiziert, müssen die Messungen in einem Flüssigstickstoffbad ausgeführt werden, dessen Temperatur im Bereich von 77,2 K bis 77,4 K sein sollte. Es muss zur Messung der Probenspannung ein Voltmeter mit 7,5 Stellen Auflösung verwendet werden welches 1 nV Auflösung im 10 mV Messbereich aufweist.

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61788-26:2019-05

In Bezugnahme auf den internationalen Round Robin Test (Siehe Anhang B) beträgt die Messunsicherheit kleiner 3 %. Die angestrebte Messunsicherheit muss kleiner 6 % betragen mit einem Sicherheitsfaktor von 2.

10 Testbericht

10.1 Identifikation der Testprobe

Die Testprobe muss folgendermaßen identifiziert sein:

a) Name des Probenherstellers

b) Klassifikation und/oder Symbol

c) Chargennummer

10.2 Angabe von I_c-Werten

Wenn erforderlich müssen die folgenden Werte angegeben werden:

a) I_c-Werte mit dem zugehörigen Kriterium

b) Probentemperatur und/oder Umgebungsdruck

c) n-Werte (optional)

10.3 Angaben zu den Testbedingungen

Wenn erforderlich müssen die folgenden Testbedingungen angegeben werden:

a) Probenlänge (L)

b) Probenbreite (W)

c) Abstand zwischen den Spannugsabgriffen (L_1)

d) Der kürzeste Abstand von einem Stromkontakt zu einem Spannungabgriff (L_3)

e) Länge der Stromkontakte (L_2)

f) Rampenrate bei Verwendung der Methode der konstanten Stromrampe

g) Rampenbereich, Rampenzeit und Haltezeit bei Anwendung der Ramp-and-Hold Methode

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61788-26:2019-05

Anhang A
(informativ)

Zusätzliche Information zur Messung, Messapparatur und Berechnung

A.1 Anwendungsbereich

Es gibt Variable, die einen signifikanten Einfluss auf den gemessenen Wert des kritischen Stroms in REBCO Supraleitern haben. Einige werden zur Beachtung durch die Anwender in diesem informativen Anhang angesprochen (siehe auch Anhang B).

Die speziellen Eigenschaften der REBCO Supraleiter können in zwei Gruppen klassifiziert werden. Die erste Gruppe ist spezifisch für REBCO Multischicht-Kompositsupraleiter, einschließlich der mechanischen Empfindlichkeit gegenüber Delamination, magnetischen Flussströmen und -kriechen, großer Anisotropie, Abschirmströmen bei Magnetfeldänderungen, Ungleichmäßigkeiten der supraleitenden Eigenschaften, usw.. Die zweite Gruppe ist eine Folge der Länge der Probe wie sie in diesem Standard verwendet wird. Die Messung des kritischen Stroms in solch einer Probe kann leicht verschiedene Spannungssignale von induktiven Spannungen, thermischem Rauschen, Stromumverteilung, usw. auffangen. Aufgrund der kurzen Distanz zwischen Stromkontakt und Spannungsabgriff können von der Stromeinkopplung verursachte Spannungen auftreten.

Supraleiter mit kritischen Strömen oberhalb 500 A können im vorgestellten Standard nur mit einer angepassten erhöhten Messunsicherheit gemessen werden.

Dieser Standard geht davon aus dass die Messungen in einem Flüssigstickstoffbad durchgeführt werden. Das Kältemittel wird nahe des Siedepunkts bei normalem Atmosphärendruck am Testort verwendet. Der Standard kann auf Messungen erweitert werden die im Kältemittel bei Temperaturen abweichend vom Siedepunkt durchgeführt werden, z. B. bei Unter- oder Überdruck. Messungen in Gas oder Vakuum werden nicht von der Zielsetzung dieses Standards abgedeckt.

A.2 Messbedingungen.

Die minimale volle Probenlänge muss das fünffache der Breite des Bandes (W) sein plus dem Abstand der Spannungsabgriffe (L_4), der sich aus der Summe der folgenden Beiträge ergibt:

– Der minimale Abstand der Spannugsabgriffe ($L_1 \geq W$).

– Die Länge der Stromkontakte ($L_2 \geq W$);

– Der kürzeste Abstand zwischen Stromkontakt und Spannungsabgriff ($L_3 \geq W$);

Es wird davon ausgegangen dass die Probenmontage und der Probenabkühlungsvorgang dieses Testverfahrens zu den wichtigsten Beiträgen zur insgesamten Messunsicherheit bei der Messung des kritischen Stroms zählen.

A.3 Messvorrichtung

A.3.1 Messhaltermaterialien

Bei diesem Messverfahren wird überprüft, dass eine Probendehnung weniger als ein definiertes Minimum beträgt (weniger als 0,1 %). Eine thermische Kontraktion von 0,1 % kann in einer nicht akzeptablen I_c-Abweichung bei 0 T und in der Nähe von 77,3 K führen. Eine wesentliche Quelle der Dehnung besteht in der Fehlanpassung der thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen dem Messhalter und der Probe wenn sie auf Flüssigstickstofftemperatur abgekühlt werden. .

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61788-26:2019-05

In Bezugnahme auf die typischen Materialkontraktionen der Tabelle A.1 werden die folgenden Probenhaltermaterialien empfohlen. Für Verwendung von alternativen Haltermaterialien muss den Routinetests eine Qualifikationsuntersuchung vorausgehen.

Vorgeschlagenes Probenhaltermaterial:

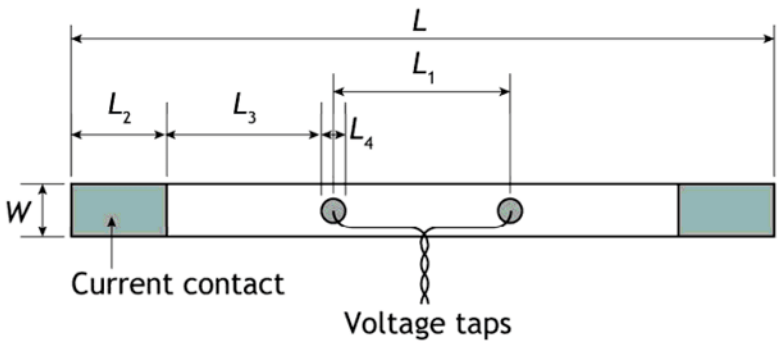
- Glasfaser-Epoxidharz-Komposit mit der Probe in der Ebene der Faserverstärkung orientiert
- Mit Keramik gefülltes Epoxidharz

Tabelle A.1 – Daten der thermischen Ausdehnung von Supraleiter- und Probenhaltermaterialien [1]

Material	$\Delta L/L_{293K\text{-}77K}$ [%]	α_{293K} [10^{-6} K^{-1}]
YBCO polykristallin [2]	0,21	11,5
YBCO a,b-Ebene gemittelt. [2]	0,14	8,5
Ni basierte Legierung (UNS N10276) [3]	0,216	10,9
Silber [4]	0,370	18,5
Kupfer [5]	0,302	16,7
G10, gedreht [6][7]	0,21	12,5
G10, normal [6][7]	0,64	41

A.3.2 Messhalterkonstruktion

In Bild A.1 ist ein Beispiel für eine Messhalterkonfiguration dargestellt. Die Stromkontakte sind typischerweise aus Kupferblöcken gefertigt, und die Stärke der Kontakte muss so gewählt sein dass kein Niveauunterschied zwischen Probenhalter und Kontaktoberfläche besteht. Die Kontaktblöcke müssen fest mit dem Probenhalter verbunden sein. Für den Kontakt wird häufig Lot benutzt, jedoch ist die Fähigkeit zu löten individuell sehr verschieden. Daher empfiehlt der Standard nicht die Verwendung von Lot um Stromkontakte herzustellen.



Englisch	Deutsch
Current contact	Stromkontakt
Voltage taps	Spannungsabgriffe

Bild A.1 – Veranschaulichung der Messkonfiguration für eine Kurzprobe eines REBCO-Leiters der Stromklasse von wenigen Hundert A

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61788-26:2019-05

A.4 Probenpräparation

Die Distanz zwischen den Spannungsabgriffen wird als Abstand der Mitten der Spannungskontakte definiert, ungeachtet ihrer Größe.

A.5 Messvorgang

A.5.1 Messung des kritischen Stroms

Zur Reduktion von Thermospannungen an den Spannungsabgriffen der Probe werden Kupferspannungszuführungsleitungen verwendet die vom Flüssigstickstoffbad zu Raumtemperatur durchgehend sind. Für alle Raumtemperaturkontakte und -verbindungen soll eine isothermische Situation gegeben sein. Es soll festgehalten werden, dass die im Kältemittel befindlichen Kontakte und Verbindungen isotherm sind.

Die Abkühlgeschwindigkeit der Probe kann den gemessenen kritischen Strom beeinflussen. Die Festigkeit der Verbindung zwischen Probe und Halter ändert sich während des Abkühlvorgangs wenn eine unterschiedliche thermische Kontraktion zwischen Probe und Halter auftritt.

Sauerstoffverunreinigungen können die Temperatur von Flüssigstickstoff in einem offenen Bad ändern. Flüssigstickstoff über mehrere Tage in einem offenen Bad kann genügend Sauerstoffverunreinigung aufnehmen um den Siedepunkt zu verschieben.

Der Atmosphärendruck kann den Siedepunkt von Flüssigstickstoff in einem offenen Bad verändern. Bild A.2 zeigt die Beziehung zwischen Siedetemperatur und Druck.

Die Temperaturabhängigkeit des kritischen Stroms für verschiedene Arten supraleitender REBCO-Bänder ist in Bild A.3 dargestellt.

Wenn der Rauschpegel des Messsystems im Vergleich zu dem vorgegebenen Spannungswert, d. h. U_c, signifikant groß wird, ist es wünschenswert die Rampenzeit von Strom Null auf I_c auf mehr als 30 s zu erhöhen. In diesem Falle muss man sorgfältig die Wärmekapazität und/oder die Kühlfläche der Stromkontakte ausreichend vergrößern um den Einfluss der Wärmeentwicklung durch die erforderliche längere Messzeit zu unterdrücken. Es soll angemerkt werden dass die Ramp-and-Hold Methode erlaubt Daten zu mitteln, die dann in geeigneter Weise entlang der U-I-Kennlinie verteilt werden.

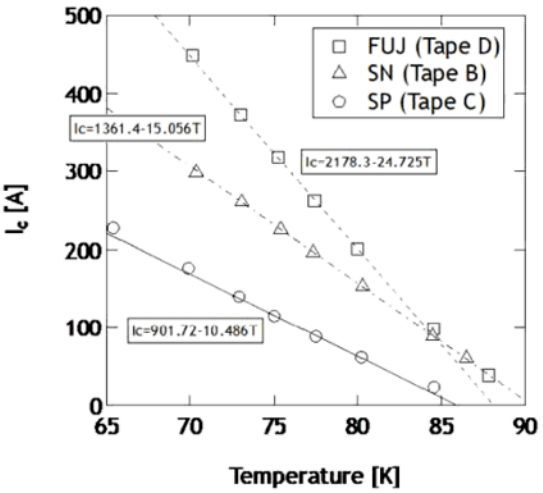
Ein Ansteigen des Probenstroms kann eine negative oder positive Spannung an den Spannungsabgriffen über der Zeit induzieren. Ein solcher Beitrag einer überlagerten Spannung während der Stromrampe kann durch seine proportionale Abhängigkeit von der Rampengeschwindigkeit identifiziert werden. Ist diese Spannung signifikant im Vergleich zu U_c muss die Rampengeschwindigkeit verringert (die Rampenzeit zwischen Strom Null und I_c vergrößert) werden, die Fläche der Schleife, gebildet durch die Spannungsabgriffe und der dazwischen befindlichen Probe, verringert werden, oder die Ramp-and-Hold Methode verwendet werden.

Die Grundlinie der Spannung kann Spannungsbeiträge thermoelektrischer Natur, vom Offset und von Erdschleifen enthalten. Es ist davon auszugehen, dass diese Spannungsbeiträge für die Zeit der Aufzeichnung jeder U-I-Kennlinie relativ konstant bleiben. Kleine Änderungen durch thermoelektrische und Offset-Spannungen können abgezogen werden durch Messung der Untergrundspannung vor und nach der Messung der U-I-Kurve, unter der Annahme eines linearen Verlaufs mit der Zeit. Wird die Änderung der Untergrundspannung signifikant im Vergleich zu U_c müssen Korrekturmaßnahmen am experimentellen Aufbau erfolgen.

A.5.2 Messung der Temperatur

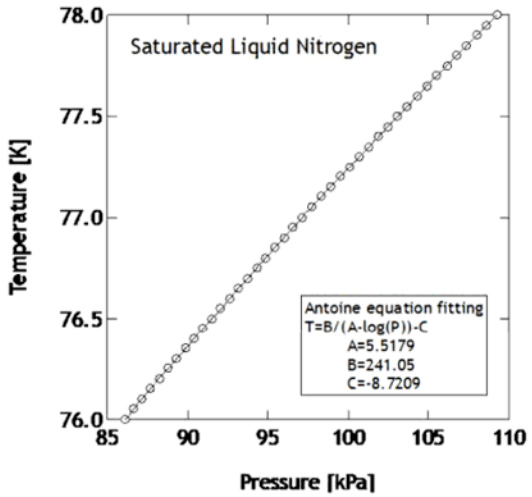
Der kritische Strom von REBCO hängt von der Temperatur ab (Bild A.2) [8]. Die Flüssigstickstofftemperatur hängt vom Umgebungsdruck ab (Bild A.3) [9]. Um den Beitrag zur Messunsicherheit durch die Temperatur zu reduzieren muss die Probentemperatur (Temperatur auf der Probenoberfläche) mit geeigneten Thermometern gemessen werden wie in Ref. [1] dargestellt. Umgebungsdruck wäre der Atmosphärendruck (950 hPa ≤ P ≤ 1 050 hPa, korrespondierend mit einer Temperatur 76,8 K ≤T ≤ 77,7 K).

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61788-26:2019-05



Englisch	Deutsch
FUJ (Tape D)	FUJ (Band D)
SN (Tape B)	SN (Band B)
SP (Tape C)	SP (Band C)
Temperature [K]	Temperatur [K]

Bild A.2 – Temperaturabhängigkeit von I_c für kommerzielle REBCO-Supraleiter (Daten aus Ref. [8])



Englisch	Deutsch
Saturared Liquid Nitrogen	gesättigter Flüssigstickstoff
Temperature [K]	Temperatur [K]
Pressure [kPa]	Druck [kPa]
Antoine equation fitting	Anpassung Antoine Gleichung

Bild A.3 – Druckabhängigkeit der Siedetemperatur des Flüssigstickstoffs

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61788-26:2019-05

A.6 Berechnung der Ergebnisse

A.6.1 Kriterien für den kritischen Strom

Ein größerer Abstand zwischen einem Stromkontakt und einem Spannungsabgriff kann notwendig sein wenn ein gegenüber dem Kriterium signifikanter Spannungsbeitrag durch die Stromeinkopplung vorhanden ist.

A.6.2 *n*-Wert

Die charakteristische U-I-Kurve eines supraleitenden Bandes nahe I_c kann in der Regel durch das empirische Potenzgesetz näherungsweise beschrieben werden:

$$U = U_0 \left(\frac{I}{I_0} \right)^n \tag{A.1}$$

wobei

U die Probenspannung in Mikrovolt (µV) bedeutet

U_0 ist eine Referenzspannung in Mikrovolt (µV)

I bezeichnet den Probenstrom in Ampere (A)

I_0 ist ein Referenzstrom in Ampere (A).

Der n-Wert (dimensionslos) spiegelt die allgemeine Form der Kurve nahe I_c wieder.

Eine Auftragung log U gegen log I ist nicht immer linear, sogar im Strombereich nahe des Kriteriums für den kritischen Strom (E_c) von 10 µV/m und 100 µV/m. Folglich muss der Bereich des Kriteriums der zur Bestimmung von n dient angegeben werden.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 61788-26:2019-05