

	Supraleitfähigkeit Teil 7: Charakteristische elektronische Messungen Oberflächenwiderstand von Supraleitern bei Frequenzen im Mikrowellenbereich (IEC 61788-7:2002) Deutsche Fassung EN 61788-7:2002	DIN EN 61788-7
VDE	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Vorstand beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter nebenstehenden Nummern in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekannt gegeben worden.	Klassifikation VDE 0390 Teil 7
ICS 17.220; 29.050 Superconductivity Part 7: Electronic characteristic measurements Surface resistance of superconductors at microwave frequencies (IEC 61788-7:2002); German version EN 61788-7:2002 Supraconductivité Partie 7: Mesures des caractéristiques électroniques Résistance de surface des supraconducteurs aux hyperfréquences (CEI 61788-7:2002); Version allemande EN 61788-7:2002 Die Europäische Norm EN 61788-7:2002 hat den Status einer Deutschen Norm. Beginn der Gültigkeit Die EN 61788-7 wurde am 2002-03-01 angenommen. Nationales Vorwort Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 184 „Supraleiter“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig. Norm-Inhalt war veröffentlicht als E DIN IEC 90/67/CD (VDE 0390 Teil 7):2000-06. Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 90 „Superconductivity“ erarbeitet. Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zum Jahr 2006 unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation – bestätigt, – zurückgezogen, – durch eine Folgeausgabe ersetzt oder – geändert. Fortsetzung Seite 2 und 25 Seiten EN DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

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

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

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig.

IEC hat 1997 die Benummerung der IEC-Publikationen geändert. Zu den bisher verwendeten Normnummern wird jeweils 60000 addiert. So ist zum Beispiel aus IEC 50 nun IEC 60050 geworden.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60050-815	IEV Teil 815:2001-06	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

IEV Teil 815, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch*; Kapitel 815: *Supraleitung*.

Supraleitfähigkeit
Teil 7: Charakteristische elektronische Messungen
Oberflächenwiderstand von Supraleitern bei Frequenzen im
Mikrowellenbereich
(IEC 61788-7:2002)

Superconductivity
Part 7: Electronic characteristic measurements
Surface resistance of superconductors at
microwave frequencies
(IEC 61788-7:2002)

Supraconductivité
Partie 7: Mesures des caractéristiques
électroniques
Résistance de surface des supraconducteurs
aux hyperfréquences
(CEI 61788-7:2002)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2002-03-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

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

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

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, der Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 90/111/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 61788-7, ausgearbeitet von dem IEC TC 90 "Superconductivity", wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2002-03-01 als EN 61788-7 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2002-12-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2005-03-01

Anhänge, die als "normativ" bezeichnet sind, gehören zum Norminhalt.
Anhänge, die als "informativ" bezeichnet sind, enthalten nur Informationen.
In dieser Norm ist Anhang ZA normativ und ist Anhang A informativ.
Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61788-7:2002 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Anerkennungsnotiz	2
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe.....	6
4 Anforderungen	6
5 Theorie und Gleichungen zur Berechnung.....	7
6 Geräte	9
7 Durchführung der Messungen	12
8 Wiederholgenauigkeit und absolute Genauigkeit des Messverfahrens	15
9 Prüfbericht.....	17
Anhang A (informativ) Zusätzliche Information zu den Abschnitten 1 bis 8	18
A.1 Anwendungsbereich	18
A.2 Forderungen	20
A.3 Messapparatur	20
A.4 Abmessungen der Saphir-Standardzylinder	20
A.5 Wiederholgenauigkeit und absolute Genauigkeit des Messverfahrens	21
A.6 Reproduzierbarkeit des Saphirzylinders.....	21
A.7 Literaturhinweise.....	23
Literaturangaben	24
Bild 1 – Konfiguration eines Resonators mit einem dielektrischen Zylinder, der an beiden Enden durch zwei parallele, auf dielektrischen Substraten deponierte supraleitende Filme kurzgeschlossen ist	7
Bild 2 – Berechneter Verlauf von u^2 und W als Funktion von v^2 für den TE_{01p} -Modus.	8
Bild 3 – Konfiguration der dielektrischen Standardzylinder für die $\tan \delta$ -Messung	9
Bild 4 – Schema der Messanordnung zur Messung des Temperaturkoeffizienten von R_s mit Hilfe eines Kryocoolers	10
Bild 5 – Messapparatur für R_s	11
Bild 6 – Frequenzantwort eines dielektrischen Resonators mit Saphir ($\epsilon' = 9,4$)	13
Bild 7 – Einfügungsdämpfung IA , Resonanzfrequenz f_0 und Halbwertsbreite Δf , gemessen bei T Kelvin	13
Bild 8 – Reflexionsparameter S_{11} oder S_{22}	15
Bild 9 – Definition der Begriffe in Tabelle 4.....	16
Bild A.1 – Konfigurationen von mehreren Messverfahren zur Messung des Oberflächenwiderstands	19
Bild A.2 – Drei Typen von dielektrischen Resonatoren	20
Bild A.3 – Modendiagramm zur Dimensionierung des TE_{013} -Resonators, der an beiden Enden durch parallele supraleitende Filme kurzgeschlossen ist.....	22

Bild A.4 – Modendiagramm zur Dimensionierung des TE_{011} -Resonators, der an beiden Enden durch parallele supraleitende Filme kurzgeschlossen ist.	22
Bild A.5 – Zusammenhang zwischen d und f_0 des TE_{011} -Resonators für ϵ' des Saphirzylinders.	23
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen.....	25

Einleitung

Seit der Entdeckung einiger kupferhaltiger Oxide vom Perowskit-Typ wurden und werden weltweit umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten über Hochtemperatursupraleiter durchgeführt, und ihre Anwendungen für Hochfeldmagnete, zur Übertragung hoher Leistungen mit niedrigen Verlusten, Komponenten der Elektronik und viele andere technische Aufgaben machen Fortschritte.

Auf den Gebieten der Elektronik, besonders in der Telekommunikation, befinden sich passive Bauelemente, z. B. Filter mit oxidischen Supraleitern, in der Entwicklung und in der praktischen Erprobung ([1] und [2]).

Supraleitende Materialien für Mikrowellenresonatoren, -filter, -antennen und Verzögerungsleitungen haben den Vorteil der sehr niedrigen Verluste. Dieser Parameter ist von primärer Bedeutung für die Entwicklung neuer Materialien seitens der Hersteller und für die Konstruktion von Mikrowellenkomponenten seitens der Anwender. Die für die Konstruktion von Mikrowellenkomponenten erforderlichen Kenngrößen des supraleitenden Materials sind der Oberflächenwiderstand R_s und die Temperaturabhängigkeit des Oberflächenwiderstands.

Neue Fortschritte bei dünnen Hochtemperatursupraleiter-Filmen (HTS-Filmen) mit R_s -Werten, die mehrere Größenordnungen kleiner sind als bei normalleitenden Metallen, haben den Bedarf für ein zuverlässiges Charakterisierungsverfahren zur Messung dieser Eigenschaft verstärkt ([3] und [4]). Üblicherweise wurde der R_s -Wert von Nb oder irgendeinem anderen Tieftemperatursupraleiter so gemessen, dass zuerst ein kompletter dreidimensionaler Hohlraumresonator hergestellt und dann dessen Güte Q gemessen wurde. Der Wert von R_s konnte berechnet werden durch Lösung der Gleichungen für das elektromagnetische Feld in dem Hohlraumresonator. Eine andere Technik bestand darin, dass eine kleine Probe in einen größeren Hohlraum gesetzt wurde. Diese Messtechnik gibt es in vielerlei Arten, sie ist aber gewöhnlich mit einer Eichung verbunden oder führt zu Ungenauigkeiten durch das Subtrahieren von zwei großen Zahlen.

Die besten HTS-Proben sind Filme, die epitaktisch auf ebenen kristallinen Substraten gewachsen sind, und bisher sind keine Filme von hoher Qualität auf gekrümmten Oberflächen gezüchtet worden. Was benötigt wird, ist eine Technik, die mit diesen kleinen ebenen Proben arbeiten kann; die keine Probenvorbereitung erfordert; die den Film weder verletzt noch verändert; die in hohem Maße wiederholbar ist; die eine große Empfindlichkeit besitzt (bis hinab zu 1/1000 des R_s -Werts von Cu); die einen großen Bereich umfasst (bis zu R_s von Cu); die eine hohe interne Leistung bei einer nur bescheidenen Eingangsleistung erreichen lässt; und die einen weiten Temperaturbereich abdeckt (4,2 K bis 150 K).

Unter mehreren Verfahren ([5], [6] und [7]) wird das Verfahren mit einem dielektrischen Resonator zur Bestimmung des Oberflächenwiderstands bei Mikrowellenfrequenzen ausgewählt, da es zurzeit als das gängigste und praktikabelste angesehen wird. Insbesondere ist der Saphir-Resonator ein ausgezeichnetes Werkzeug zur Messung von R_s von HTS-Materialien [8].

Das Messverfahren, das in dieser Norm beschrieben wird, kann auch für andere plattenförmige (massive) Supraleiter, einschließlich Tieftemperatursupraleiter, angewandt werden.

Mit dieser Norm wird beabsichtigt, jenen Ingenieuren, die auf dem Gebiet der Elektronik und der Supraleitertechnik arbeiten, vorläufig eine geeignete und annehmbare Arbeitsgrundlage zu geben.

1 Anwendungsbereich

Gegenstand dieser Norm ist die Beschreibung eines Messverfahrens für den Oberflächenwiderstand R_s eines Supraleiters bei Mikrowellenfrequenzen mit Hilfe des Zwei-Resonatoren-Verfahrens. Messgröße ist R_s und seine Temperaturabhängigkeit bei der Resonanzfrequenz. Die Messapparatur wird während der Messung durch übliche Hilfsmittel auf die spezifizierte Temperatur abgekühlt.

Bei diesem Verfahren gelten die folgenden Messbereiche für die Oberflächenwiderstände:

Frequenz:	$8 \text{ GHz} < f < 50 \text{ GHz}$
Fehlergrenze:	0,1 mΩ bei 10 GHz,

Die Oberflächenwiderstandswerte sollten bei der Messfrequenz angegeben und auf 10 GHz bezogen werden, wobei zum Vergleich die Abhängigkeit entsprechend f^2 angenommen wird ($f < 30 \text{ GHz}$: diese Grenze ist durch die geforderte Genauigkeit bestimmt).

2 Normative Verweisungen

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

IEC 60050-815, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 815: Superconductivity*.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die in IEC 60050-815 angegebenen Definitionen.

Im Allgemeinen ist die Oberflächenimpedanz für Leiter, einschließlich Supraleiter, definiert als das Verhältnis der Tangentialkomponente der elektrischen Feldstärke E_t zur Tangentialkomponente der magnetischen Feldstärke H_t an der Leiteroberfläche:

$$Z_s = E_t / H_t = R_s + jX_s$$

wobei R_s der Oberflächenwiderstand ist und X_s die Oberflächenreaktanz.

4 Anforderungen

Der Oberflächenwiderstand R_s eines supraleitenden Films muss gemessen werden, indem einem dielektrischen Resonator mit der Probe (supraleitende Filme) ein Mikrowellensignal zugeführt wird und dann die Einfügungsdämpfung des Resonators bei jeder Frequenz gemessen wird. Die Frequenz muss, mit der Resonanzfrequenz in der Mitte, durchgestimmt werden, und die Kurven für die Einfügungsdämpfung als Funktion der Frequenz müssen aufgenommen werden, um den Q -Wert zu erhalten, der ein Maß für die Verluste ist.

Die Proben und der dielektrische Zylinder müssen an dem Halter der Messanordnung mit einer Tieftemperaturfeder befestigt werden.

Der Richtwert für die Genauigkeit dieses Verfahrens ist ein Variationskoeffizient (Standardabweichung dividiert durch den Mittelwert der Messwerte des Oberflächenwiderstands), der kleiner ist als 10 % für den Temperaturbereich bei den Messungen von 30 K bis 80 K [9].

Es liegt in der Verantwortung des Benutzers dieser Norm, einschlägige Sicherheits- und Gesundheitspraktiken zu berücksichtigen und festzusetzen und vor der Benutzung die Einhaltung vorgeschriebener Grenzen zu bestimmen.

Bei dieser Art von Messungen gibt es Gefahrenquellen. Die Anwendung kryogener Flüssigkeiten ist zur Kühlung der Supraleiter notwendig, um den Übergang in den supraleitenden Zustand zu ermöglichen. Ein direkter Kontakt der Haut mit kalten Komponenten der Apparatur kann ebenso wie der Kontakt mit verschüttetem Kühlmittel sofortige Erfrierungen verursachen. Die Benutzung eines Hochfrequenzgenerators ist ebenfalls unumgänglich zur Messung der Materialeigenschaften bei Hochfrequenz. Wenn dessen Leistung zu hoch ist, kann eine direkte Berührung mit menschlichen Körperteilen unmittelbar zu Verbrennungen führen.

5 Theorie und Gleichungen zur Berechnung

Bild 1 zeigt die Konfiguration des TE_{0mp} -Modus-Resonators, die angewandt wird, um die Luftspalteffekte zu eliminieren. Ein dielektrischer Zylinder ist an beiden Endflächen kurzgeschlossen durch zwei parallele supraleitende Filme, die auf dielektrischen Substraten deponiert sind, so dass die Anordnung einen Resonator darstellt. Es ist erforderlich, dass diese supraleitenden Filme den gleichen Wert von R_s haben. Der Wert von R_s wird aus der gemessenen Resonanzfrequenz f_0 und aus der Leerlaufgüte Q_u für den TE_{0mp} -Resonanzmodus berechnet. Wenn die zwei supraleitenden Filme unterschiedliche Werte von R_s haben, entspricht der gemessenen R_s -Wert dem Mittelwert für diese beiden Filme.

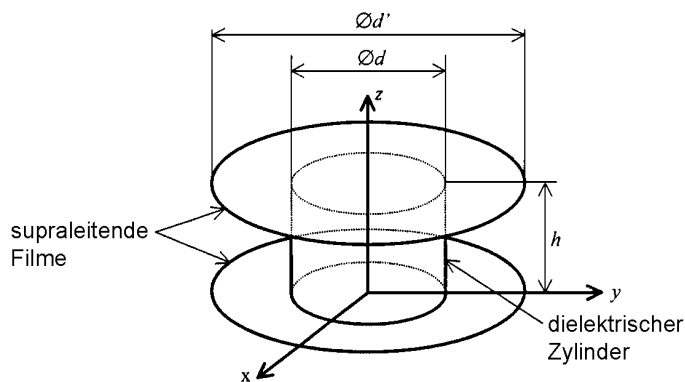


Bild 1 – Konfiguration eines Resonators mit einem dielektrischen Zylinder, der an beiden Enden durch zwei parallele, auf dielektrischen Substraten deponierte supraleitende Filme kurzgeschlossen ist

Der Wert von R_s ist gegeben durch

$$R_s = \frac{1}{B} \left(\frac{A}{Q_u} - \tan \delta \right) \quad (1)$$

Dabei ist:

$$A = 1 + \frac{W}{\epsilon'} \quad (2)$$

$$B = p^2 \left(\frac{\lambda_0}{2h} \right)^3 \frac{1 + W}{30\pi^2 \epsilon'}, \quad p = 1, 2, \dots, \quad (3)$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} \quad (4)$$

$$W = \frac{J_1^2(u)}{K_1^2(v)} \frac{K_0(v) K_2(v) - K_1^2(v)}{J_1^2(u) - J_0(u) J_2(u)} \quad (5)$$