

	DIN EN 61788-7 (VDE 0390-7)	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
ICS 17.220.20; 29.050 Ersatz für DIN EN 61788-7 (VDE 0390-7):2002-11 Siehe jedoch Beginn der Gültigkeit Supraleitfähigkeit – Teil 7: Charakteristische elektronische Messungen – Oberflächenwiderstand von Supraleitern bei Frequenzen im Mikrowellenbereich (IEC 61788-7:2006); Deutsche Fassung EN 61788-7:2006 Superconductivity – Part 7: Electronic characteristic measurements – Surface resistance of superconductors at microwave frequencies (IEC 61788-7:2006); German version EN 61788-7:2006 Supraconductivité – Partie 7: Mesures des caractéristiques électroniques – Résistance de surface des supraconducteurs aux hyperfréquences (CEI 61788-7:2006); Version allemande EN 61788-7:2006 Gesamtumfang 35 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2006-11-01 angenommene EN 61788-7 gilt als DIN-Norm ab 2007-08-01.

Daneben darf **DIN EN 61788-7 (VDE 0390-7):2002-11** noch bis 2009-11-01 angewendet werden.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 61788-7 (VDE 0390-7):2005-06.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 184 „Supraleiter“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (<http://www.dke.de>) zuständig.

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

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ mit den Daten zu dieser Publikation angegebenen Datum (maintenance result date) unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

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

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 61788-7 (VDE 0390-7):2002-11** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

Die Änderungen betreffen vor allem Abschnitt 5 „Geräte“ und Abschnitt 6 „Durchführung der Messungen“. Insbesondere werden nun drei Messfrequenzen (12 GHz, 18 GHz und 22 GHz) diskutiert sowie die Maße der Saphirzylinder angepasst. Der Anhang ist ausführlicher gehalten, im Wesentlichen durch die Verlagerung des Abschnitts „Theorie und Gleichungen zur Berechnung“ dorthin, eine vertiefte Diskussion des Messaufbaus sowie der Moden, die bei der Messung auftreten können. Beispiele für technische Änderungen sind:

- a) mit Hinsicht auf stabile Messungen werden Resonatoren vom geschlossenen Typ empfohlen;
- b) zur Festlegung der Größe der Saphirzylinder ist eine uniaxial-anisotrope Charakteristik der Saphirzylinder berücksichtigt worden;
- c) die empfohlenen Messfrequenzen 18 GHz und 22 GHz wurden zu den in EN 61788-7:2002 beschriebenen 12 GHz hinzugefügt.

Frühere Ausgaben

DIN EN 61788-7 (VDE 0390-7):2002-11

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.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60050-815:2000	IEV Teil 815:2001-06	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

IEV Teil 815:2001-06, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Kapitel 815: Supraleitung – Hauptabschnitt 815-01: Eigenschaften von Supraleitern*

– Leerseite –

Deutsche Fassung

**Supraleitfähigkeit –
Teil 7: Charakteristische elektronische Messungen –
Oberflächenwiderstand von Supraleitern bei Frequenzen im
Mikrowellenbereich
(IEC 61788-7:2006)**

Superconductivity –
Part 7: Electronic characteristic measurements –
Surface resistance of superconductors at microwave
frequencies
(IEC 61788-7:2006)

Supraconductivité –
Partie 7: Mesures des caractéristiques électroniques –
Résistance de surface des supraconducteurs aux
hyperfréquences
(CEI 61788-7:2006)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2006-11-01 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, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

© 2006 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 61788-7:2006 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 90/193/FDIS, zukünftige 2. Ausgabe von IEC 61788-7, ausgearbeitet von dem IEC/TC 90 „Superconductivity“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2006-11-01 als EN 61788-7 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 61788-7:2002.

Beispiele für technische Änderungen sind:

- mit Hinsicht auf stabile Messungen werden Resonatoren vom geschlossenen Typ empfohlen;
- zur Festlegung der Größe der Saphirzylinder ist eine uniaxial-anisotrope Charakteristik der Saphirzylinder berücksichtigt worden;
- die empfohlenen Messfrequenzen 18 GHz und 22 GHz wurden zu den in EN 61788-7:2002 beschriebenen 12 GHz hinzugefügt.

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): 2007-08-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2009-11-01

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61788-7:2006 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Anforderungen	6
5 Geräte	7
5.1 Messsystem	7
5.2 Messapparatur für R_s	7
5.3 Dielektrische Zylinder	10
6 Durchführung der Messungen	10
6.1 Probenvorbereitung	10
6.2 Aufbau	11
6.3 Messung des Referenzpegels	11
6.4 Messung der Frequenzantwort von Resonatoren	12
6.5 Bestimmung des Oberflächenwiderstands des Supraleiters sowie ϵ' und $\tan \delta$ der Saphirstandardzylinder	14
7 Wiederholgenauigkeit und absolute Genauigkeit des Messverfahrens	15
7.1 Oberflächenwiderstand	15
7.2 Temperatur	16
7.3 Abstützung von Probe und Probenhalter	16
7.4 Schutz der Probe	16
8 Prüfbericht	17
8.1 Identifizierung der Probe	17
8.2 Bericht über die R_s -Werte	17
8.3 Bericht über die Prüfbedingungen	17
Anhang A (informativ) Zusätzliche Informationen zu den Abschnitten 1 bis 8	18
Literaturhinweise	30
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	31
Bild 1 – Schema des Messsystems zur Bestimmung des Temperaturkoeffizienten von R_s mit Hilfe eines Kryocoolers	7
Bild 2 – Typische Messapparatur für R_s	9
Bild 3 – Einfügedämpfung IA , Resonanzfrequenz f_0 und Halbwertsbreite Δf , gemessen bei T Kelvin	12
Bild 4 – Reflexionsstreuparameter S_{11} oder S_{22}	14
Bild 5 – Definition der Begriffe in Tabelle 4	16
Bild A.1 – Konfigurationen von mehreren Messverfahren zur Messung des Oberflächenwiderstands	19

Bild A.2 – Konfiguration eines Resonators mit einem dielektrischen Zylinder, der an beiden Enden durch zwei parallele, auf dielektrischen Substraten deponierte supraleitende Filme kurzgeschlossen ist.....	21
Bild A.3 – Berechneter Verlauf von u^2 und W als Funktion von v^2 für den TE_{01p} -Modus.....	22
Bild A.4 – Konfiguration der dielektrischen Standardzylinder für die R_s - und $\tan \delta$ -Messung.....	22
Bild A.5 – Drei Typen von dielektrischen Resonatoren	23
Bild A.6 – Modendiagramm zur Dimensionierung des TE_{011} -Resonators, der an beiden Enden durch parallele supraleitende Filme kurzgeschlossen ist	25
Bild A.7 – Modendiagramm zur Dimensionierung des TE_{013} -Resonators, der an beiden Enden durch parallele supraleitende Filme kurzgeschlossen ist	26
Bild A.8 – Modendiagramm des TE_{011} -Resonators vom geschlossenen Typ.....	27
Bild A.9 – Modendiagramm des TE_{013} -Resonators vom geschlossenen Typ.....	28
Tabelle 1 – Typische Maße eines Saphir-Standardzylinderpaares bei 12 GHz, 18 GHz und 22 GHz	10
Tabelle 2 – Empfohlene Maße eines supraleitenden Films für 12 GHz, 18 GHz und 22 GHz.....	11
Tabelle 3 – Spezifikationen für einen Vektornetzwerkanalysator	15
Tabelle 4 – Spezifikationen für Saphirzylinder.....	15

Einleitung

Seit der Entdeckung einiger kupferhaltiger Oxide vom Perowskit-Typ wurden und werden weltweit umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten (F & E) 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])¹.

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 verlustarmen 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 der Ungenauigkeit verbunden, die durch die Subtraktion des Verlustbeitrages des HTS-Films von dem experimentell bestimmten Gesamtverlust des Hohlraums entsteht.

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 1/1 000 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 Saphirresonator ein ausgezeichnetes Werkzeug zur Messung von R_s von HTS-Materialien [8], [9].

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

Das Messverfahren, das in dieser Norm beschrieben wird, basiert auf der vorbereitenden Arbeit von VAMAS (Versailles Project on advanced Materials and Standards) zu den Dünnschichtseigenschaften von Supraleitern.

¹ Nummern in Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

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: $8 \text{ GHz} < f < 30 \text{ GHz}$
- Fehlergrenze: $0,1 \text{ m}\Omega$ 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.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden 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) – Part 815: Superconductivity*

3 Begriffe

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

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:

$$Z_s = E_t/H_t = R_s + j X_s$$

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.

Der Richtwert für die Genauigkeit dieses Verfahrens ist ein Variationskoeffizient (Standardabweichung dividiert durch den Mittelwert der Messwerte des Oberflächenwiderstands), der kleiner ist als 20 % für den Temperaturbereich bei den Messungen von 30 K bis 80 K .

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 ver-

schüttetem 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 Geräte

5.1 Messsystem

Bild 1 zeigt schematisch die für die Messungen im Mikrowellenbereich benötigte Messanordnung. Die Anordnung besteht aus einem Netzwerkanalysator zur Messung des Transmissionsfaktors, einer Messapparatur sowie einem Thermometer zur Überwachung der Temperatur.

Die Hochfrequenzeingangsleistung, von einem geeigneten Mikrowellengenerator mit abstimmbarer Frequenz erzeugt, wird dem dielektrischen Resonator zugeführt, der in der Messapparatur montiert ist. Der Verlauf der Messdaten wird auf dem Display des Netzwerkanalysators dargestellt.

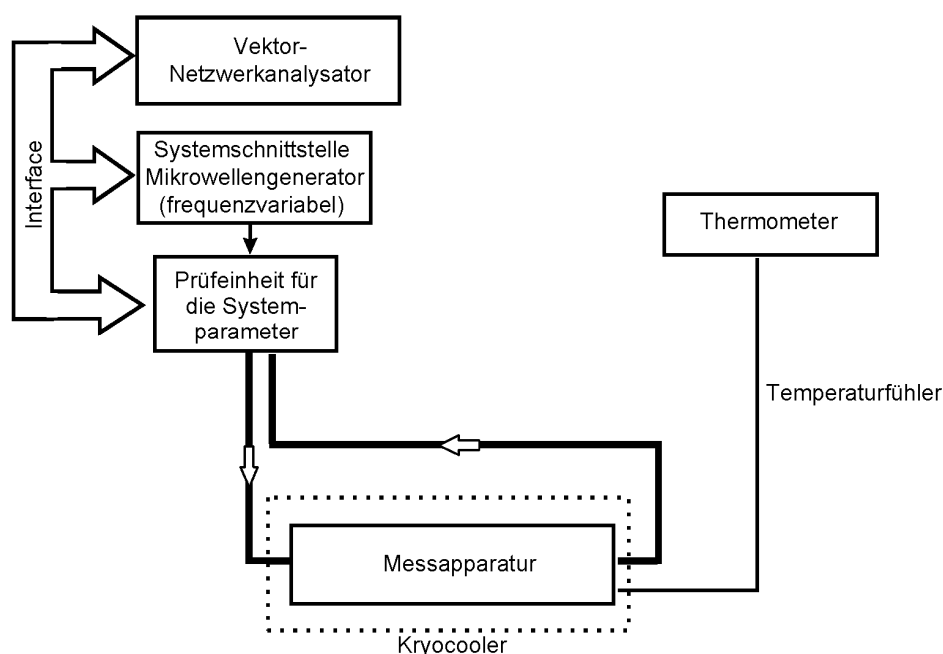


Bild 1 – Schema des Messsystems zur Bestimmung des Temperaturkoeffizienten von R_s mit Hilfe eines Kryocoolers

Die Messapparatur ist in einen temperaturgeregelten Kryocooler eingebaut.

Für die Messung von R_s an supraleitenden Filmen wird ein Vektornetzwerkanalysator empfohlen. Bedingt durch seinen weiten Dynamikbereich hat ein Vektornetzwerkanalysator im Vergleich zu einem skalaren Netzwerkanalysator einen Vorteil hinsichtlich der Messgenauigkeit.

5.2 Messapparatur für R_s

Bild 2 zeigt schematisch eine typische Messapparatur (Resonator vom geschlossenen Typ) zur Messung von R_s von supraleitenden Filmen, die auf einem Substrat mit ebener Oberfläche deponiert sind. Der obere supraleitende Film wird durch eine Feder, die aus Phosphorbronze besteht, nach unten gedrückt. Zur Verbesserung der Messgenauigkeit wird die Anwendung einer Blattfeder empfohlen. Dieser Federtyp reduziert die Reibung zwischen der Feder und dem anderen Teil der Apparatur und erlaubt eine unbehinderte