

	Supraleitfähigkeit Teil 8: Messung der Wechselstromverluste Messung der Gesamtwechselstromverluste von Cu/Nb-Ti-Verbundsupraleiterdrähten in transversalen magnetischen Wechselfeldern mit Hilfe eines Pickupspulen-Verfahrens (IEC 61788-8:2003) Deutsche Fassung EN 61788-8:2003	DIN EN 61788-8
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 8
ICS 17.220.20; 29.050 Superconductivity – Part 8: AC loss measurements – Total a.c. loss measurement of Cu/Nb-Ti composite superconducting wires exposed to a transverse alternating magnetic field by a pickup coil method (IEC 61788-8:2003); German version EN 61788-8:2003 Supraconductivité – Partie 8: Mesure des pertes en courant alternatif – Méthodes de mesure par bobines de détection des pertes totales en courant alternatif des composites filamentaires supraconducteurs de Cu/Nb-Ti exposés à un champ magnétique alternatif transverse (CEI 61788-8:2003); Version allemande EN 61788-8:2003 Die Europäische Norm EN 61788-8:2003 hat den Status einer Deutschen Norm. Beginn der Gültigkeit Die EN 61788-8 wurde am 2003-05-01 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 61788-8 (VDE 0390 Teil 8):2001-10. Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 90 „Superconductivity“ erarbeitet. Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zum Jahr 2008 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 23 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 68 nun IEC 60068 geworden.

Tabelle NA.1

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

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweis

IEV Kapitel 816:2001-06, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Kapitel 815: Supraleitung; Hauptabschnitt 815-01: Eigenschaften von Supraleitern; Identisch mit IEC 60050-815:2000-11.*

Deutsche Fassung

Supraleitfähigkeit
Teil 8: Messung der Wechselstromverluste
Messung der Gesamtwechselstromverluste von Cu/NbTi-
Verbundsupraleiterdrähten in transversalen magnetischen Wechselfeldern mit
Hilfe eines Pickupspulen-Verfahrens
(IEC 61788-8:2003)

Superconductivity
Part 8: AC loss measurements
Total a.c. loss measurement of Cu/Nb-Ti
composite superconducting wires exposed to a
transverse alternating magnetic field by a pickup
coil method
(IEC 61788-8:2003)

Supraconductivité
Partie 8: Mesure des pertes en courant alternatif
Méthodes de mesure par bobines de détection
des pertes totales en courant alternatif des
composites filamenteux supraconducteurs de
Cu/Nb-Ti exposés à un champ magnétique
alternatif transverse
(CEI 61788-8:2003)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2003-05-01 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, der Slowakei, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn 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 90/135/FDIS mit corrigendum 90/135A/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 61788-8, ausgearbeitet von dem IEC TC 90 „Superconductivity“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2003-05-01 als EN 61788-8 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): 2004-02-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2006-05-01

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 sind die Anhänge A bis E informativ.
Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61788-8:2003 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 Messprinzip.....	8
5 Messeinrichtungen.....	8
5.1 Messapparatur.....	8
5.2 Pickupspulen	8
5.3 Kompensationsschaltung	9
6 Probenvorbereitung	9
6.1 Probenspule.....	9
6.2 Spulenkörper	9
7 Messbedingungen	10
7.1 Äußeres Magnetfeld	10
7.2 Positionierung der Probenspule	10
7.3 Temperaturmessung	10
7.4 Messungen	10
8 Berechnung der Ergebnisse	11
8.1 Amplitude des äußeren Magnetfelds.....	11
8.2 Magnetisierung	12
8.3 Magnetisierungskurve	12
8.4 Wechselstromverluste	12
8.5 Hystereseverluste	12
8.6 Kopplungsverluste und Kopplungszeitkonstante.....	12
9 Wiederholgenauigkeit und absolute Genauigkeit	13
9.1 Genauigkeit der Messanordnung	13
9.2 Genauigkeit des äußeren Magnetfelds	13
9.3 Genauigkeit der Temperaturmessung.....	13
10 Prüfbericht	13
10.1 Identifizierung des Probendrahts.....	13
10.2 Konfiguration der Probenspule	14
10.3 Messbedingungen	14
10.4 Ergebnisse.....	14
10.5 Messanordnung.....	14
Anhang A (informativ) Erläuterung der Wechselstromverlustmessung mit Hilfe des Poynting-Vektors [3].....	16

	Seite
Anhang B (informativ) Berechnung des geometriebedingten Fehlers bei dem Pickupspulen-Verfahren	17
Anhang C (informativ) Empfohlenes Verfahren zur Kalibrierung der Magnetisierungs- und der Wechselstromverluste.....	18
C.1 Grundlage der Kalibrierung.....	18
C.2 Spulenkonfiguration der Standardprobe.....	18
C.3 Messbedingungen für die Standardspule	18
C.4 Kalibrierung mit Hilfe der Magnetisierung der Standardprobe.....	18
Anhang D (informativ) Kopplungsverluste für verschiedene Kurvenformen des äußeren Felds.....	20
Anhang E (informativ) Ausdehnung auf supraleitende Dreikomponentendrähte	21
E.1 Amplitude des äußeren Magnetfelds	21
E.2 Frequenz oder Änderungsgeschwindigkeit des äußeren Magnetfelds	21
Literaturhinweise	22
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen.....	23
 Bild 1 – Standardanordnung der Probe und der Pickupspulen.....	 15
Bild 2 – Typische Schaltung für die Messung der Wechselstromverluste mit Hilfe von Pickupspulen.....	15
Bild B.1 – Beispiele berechneter Kurvenscharen des Koeffizienten G als Funktion des Radius R der Probenspule und des Abstands a zwischen der Probenspule und den beiden Pickupspulen.....	17
Bild C.1a – Magnetisierungskurven von Standardproben aus reinem Pb (SQUID-Magnetometer-Verfahren)	19
Bild C.1b – Magnetisierungskurve einer Standardprobe aus reinem Pb (Pickupspulen-Verfahren).....	19
Bild C.1 – Auswertung der kritischen Feldstärke aus den Magnetisierungskurven.....	19
Bild D.1a – Sinusförmiger Verlauf.....	20
Bild D.1b – Dreiecksförmiger Verlauf.....	20
Bild D.1 – Kurvenformen des äußeren Magnetfelds mit der Periode T	20

Einleitung

Zur Messung der Wechselstromverluste von Cu/NbTi-Verbundsupraleitern in transversalen zeitveränderlichen Magnetfeldern werden Magnetometer-Verfahren und Pickupspulen-Verfahren vorgeschlagen. Dies sind die ersten Schritte in der Normung von Verfahren zur Messung der unterschiedlichen Beiträge zu den Wechselstromverlusten in transversalen Magnetfeldern in der am häufigsten anzutreffenden Konfiguration.

Es wurde entschieden, den ursprünglichen, oben erwähnten Vorschlag in zwei Dokumente mit je einem Standardmessverfahren aufzuspalten. Das eine beschreibt das Magnetometer-Messverfahren für die Hystereseverluste und die Gesamtwechselstromverluste bei niedriger Frequenz oder kleiner Feldänderungsgeschwindigkeit in einem zeitlich langsam veränderlichen Magnetfeld. Das andere beschreibt das Pickupspulen-Messverfahren zur Messung der Gesamtwechselstromverluste in Magnetfeldern bei höherer Frequenz oder größerer Feldänderungsgeschwindigkeit. Der Frequenzbereich beträgt 0 Hz bis 0,06 Hz für das Magnetometerverfahren und 0,005 Hz bis 1 Hz für das Pickupspulen-Verfahren. Im Frequenzbereich zwischen 0,005 Hz und 0,06 Hz überlappen sich die beiden Messverfahren komplementär.

Die vorliegende Norm behandelt das Pickupspulen-Messverfahren. Die Normung des Verfahrens zur Messung der Wechselstromverluste, das in dieser Norm behandelt wird, basiert zum Teil auf den der Normung vorangegangenen Arbeiten des VAMAS (Versailles Project on Advanced Materials and Standards) über Wechselstromverluste in NbTi-Verbundsupraleitern^[1].

^[1] Hochgestellte Zahlen beziehen sich auf die Literaturhinweise

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 61788-8 spezifiziert das Pickupspulen-Messverfahren zur Messung der Gesamtwechselstromverluste in Cu/NbTi-Verbundsupraleiterdrähten, die einem transversalen magnetischen Wechselfeld ausgesetzt sind. Die Verluste können sowohl Hystereseverluste als auch Kopplungsverluste enthalten. Das genormte Verfahren, mit dem allein die Hystereseverluste in magnetischen Gleichfeldern oder in Feldern mit niedriger Feldänderungsgeschwindigkeit zu messen sind, wird in IEC 61788-13 [2] spezifiziert.

Die Probe muss ein runder oder rechteckiger Multifilamentdraht sein, der hauptsächlich für den Einsatz in gepulsten Magnetwicklungen bei vergleichsweise hohen Frequenzen oder Feldänderungsgeschwindigkeiten bis 1 Hz oder 4 T/s vorgesehen ist, wobei der Drahtdurchmesser oder die mittlere Dicke 0,2 mm bis 1 mm, der Filamentdurchmesser 1 µm bis etwa 50 µm und die Kopplungszeitkonstante weniger als etwa 40 ms beträgt.

Das vorliegende Verfahren kann auch auf die Messung der Wechselstromverluste im Bereich höherer Frequenzen und Feldänderungsgeschwindigkeiten (bis über 10 Hz oder 40 T/s) für supraleitende Dreikomponentendrähte (IEV 815-04-33) mit kurzer Kopplungszeitkonstante bis etwa 0,1 ms ausgeweitet werden (siehe [Anhang E](#)).

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

IEC 60050-815:2000, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 815: Superconductivity*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Teils von IEC 61788 gelten die in IEC 60050-815 angegebenen sowie die folgenden Definitionen.

3.1

Wechselstromverluste P

Leistungsverluste in einem Multifilament-Supraleiter, wenn er sich in einem zeitlich veränderlichen magnetischen Feld befindet oder Wechselstrom führt

[IEV 815-04-54]

3.2

Hystereseverluste P_h

frequenzunabhängiger, volumenbezogener Energieverlust, der in einem Supraleiter bei veränderlichen magnetischen Feldern während einer Periode entsteht

ANMERKUNG Diese Verluste werden durch irreversible magnetische Eigenschaften aufgrund des Pinnings von Flusslinien verursacht [IEV 815-04-55].

3.3

Wirbelstromverluste P_e

volumenbezogener Energieverlust, der in der normalleitenden Matrix eines Supraleiters oder im Strukturmaterial auftritt, wenn der Supraleiter sich in einem magnetischen Wechselfeld, entweder einem äußeren magnetischen Feld oder einem Eigenmagnetfeld, befindet

[IEV 815-04-56]