

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61788-8

Première édition
First edition
2003-04

Supraconductivité –

Partie 8:

**Mesure des pertes en courant alternatif –
Méthode de mesure par bobines de détection
des pertes totales en courant alternatif des fils
composites supraconducteurs de Cu/Nb-Ti
exposés à un champ magnétique alternatif
transverse**

Superconductivity –

Part 8:

**AC loss measurements –
Total AC loss measurement of Cu/Nb-Ti composite
superconducting wires exposed to a transverse
alternating magnetic field by a pickup coil method**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61788-8:2003

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** (www.iec.ch)
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site** (www.iec.ch)
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61788-8

Première édition
First edition
2003-04

Supraconductivité –

Partie 8:

**Mesure des pertes en courant alternatif –
Méthode de mesure par bobines de détection
des pertes totales en courant alternatif des fils
composites supraconducteurs de Cu/Nb-Ti
exposés à un champ magnétique alternatif
transverse**

Superconductivity –

Part 8:

**AC loss measurements –
Total AC loss measurement of Cu/Nb-Ti composite
superconducting wires exposed to a transverse
alternating magnetic field by a pickup coil method**

© IEC 2003 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

S

*Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives	8
3 Termes et définitions	8
4 Principe	12
5 Appareillage	14
6 Préparation de l'échantillon	16
7 Conditions d'essai	16
8 Calcul des résultats	20
9 Fidélité et exactitude	24
10 Rapport d'essai	24
Annexe A (informative) Explication de la mesure des pertes en courant alternatif avec le vecteur de Poynting	30
Annexe B (informative) Estimation de l'erreur géométrique dans la méthode par bobines de détection	32
Annexe C (informative) Méthode d'étalonnage recommandée pour l'aimantation et les pertes en courant alternatif	34
Annexe D (informative) Pertes par couplage pour différents types de champ magnétique appliqué	38
Annexe E (informative) Extension aux fils supraconducteurs à trois composants	40
Bibliographie	42
Figure 1 – Disposition normalisée de l'échantillon et des bobines de détection	28
Figure 2 – Circuit électrique type pour la mesure des pertes en courant alternatif par bobines de détection	28
Figure B.1 – Exemples de courbe de niveau pour le coefficient G avec un rayon d'enroulement R de l'échantillon et une différence a entre les rayons de l'échantillon et de chaque bobine de détection	32
Figure C.1 – Evaluation du champ critique à partir des courbes d'aimantation	36
Figure D.1 – Formes d'onde de champ magnétique appliqué dans une période T	38

CONTENTS

FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
1 Scope	9
2 Normative references.....	9
3 Terms and definitions	9
4 Principle	13
5 Apparatus	15
6 Specimen preparation.....	17
7 Testing conditions.....	17
8 Calculation of results	21
9 Precision and accuracy.....	25
10 Test report.....	25
Annex A (informative) Explanation of AC loss measurement with Poynting's vector	31
Annex B (informative) Estimation of geometrical error in the pickup coil method	33
Annex C (informative) Recommended method for calibration of magnetization and AC loss	35
Annex D (informative) Coupling loss for various types of applied magnetic field	39
Annex E (informative) Extension to three-component superconducting wires.....	41
Bibliography.....	43
Figure 1 – Standard arrangement of the specimen and pickup coils	29
Figure 2 – A typical electrical circuit for AC loss measurement by pickup coils	29
Figure B.1 – Examples of calculated contour line map of the coefficient G for a radius R of the coiled specimen and a difference a between radii of the specimen and each pickup coil	33
Figure C.1 – Evaluation of critical field from magnetization curves	37
Figure D.1 – Waveforms of applied magnetic field with a period T	39

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 8: Mesure des pertes en courant alternatif – Méthode de mesure par bobines de détection des pertes totales en courant alternatif des fils composites supraconducteurs de Cu/Nb-Ti exposés à un champ magnétique alternatif transverse

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes Internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61788-8 a été établie par le comité d'études 90 de la CEI: Supraconductivité.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
90/135A/FDIS	90/140/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les directives ISO/CEI, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2008. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SUPERCONDUCTIVITY –

**Part 8: AC loss measurements –
Total AC loss measurement of Cu/Nb-Ti composite
superconducting wires exposed to a transverse alternating
magnetic field by a pickup coil method**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61788-8 has been prepared by IEC technical committee 90: Superconductivity.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
90/135A/FDIS	90/140/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2008. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

INTRODUCTION

Il est proposé des méthodes de mesure par magnétomètre et bobines de détection concernant les pertes en courant alternatif des composites filamentaires supraconducteurs de Cu/Nb-Ti dans les champs magnétiques transverses variables dans le temps. Celles-ci représentent les premières étapes de normalisation des méthodes de mesure des différentes causes de pertes en courant alternatif dans les champs transverses, configuration la plus fréquemment observée.

Il a été décidé de diviser la proposition initiale susmentionnée en deux documents couvrant deux méthodes normalisées. L'une d'elles décrit la méthode de mesure par magnétomètre des pertes par hystérésis et des pertes totales en courant alternatif à basse fréquence (ou vitesse de balayage) dans un champ magnétique à variation lente. La seconde décrit la méthode de mesure par bobines de détection des pertes totales en courant alternatif dans les champs magnétiques à plus haute fréquence (ou vitesse de balayage). La gamme de fréquences est de 0 Hz à 0,06 Hz pour la méthode par magnétomètre et de 0,005 Hz à 1 Hz pour la méthode par bobines de détection. Le chevauchement entre 0,005 Hz et 0,06 Hz correspond à une gamme de fréquences complémentaire pour les deux méthodes.

La présente norme décrit la méthode par bobines de détection. La méthode d'essai pour la normalisation de la mesure des pertes en courant alternatif décrite dans la présente norme s'appuie en partie sur les travaux de pré-normalisation du VAMAS (Versailles Project on Advanced Materials and Standards) sur les pertes en courant alternatif des supraconducteurs composites de NbTi [1]¹.

iTech Standards

(<https://standards.iteh.ai>)

Document Preview

IEC 61788-8:2003

<https://standards.iteh.ai/standards/iec/2006/456-3f15-4691-8781-883772b06364/iec-61788-8-2003>

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

INTRODUCTION

Magnetometer and pickup coil methods are proposed for measuring the AC losses of Cu/Nb-Ti composite superconducting wires in transverse time-varying magnetic fields. These represent initial steps in standardization of methods for measuring the various contributions to AC loss in transverse fields, the most frequently encountered configuration.

It was decided to split the initial proposal mentioned above, into two documents covering two standard methods. One of them describes the magnetometer method for hysteresis loss and low frequency (or sweep rate) total AC loss measurement in a slowly varying magnetic field, and the other describes the pickup coil method for total AC loss measurement in higher frequency (or sweep rate) magnetic fields. The frequency range is 0 Hz to 0,06 Hz for the magnetometer method and 0,005 Hz to 1 Hz for the pickup coil method. The overlap between 0,005 Hz and 0,06 Hz is a complementary frequency range for the two methods.

This standard covers the pickup coil method. The test method for standardization of AC loss covered in this standard is partly based on the Versailles Project on Advanced Materials and Standards (VAMAS) pre-standardization work on the AC loss of NbTi composite superconductors [1]¹.

¹ Figures in square brackets refer to the Bibliography.

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 8: Mesure des pertes en courant alternatif – Méthode de mesure par bobines de détection des pertes totales en courant alternatif des fils composites supraconducteurs de Cu/Nb-Ti exposés à un champ magnétique alternatif transverse

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61788 spécifie la méthode de mesure par bobines de détection des pertes totales en courant alternatif des fils supraconducteurs de Cu/Nb-Ti exposés à un champ magnétique alternatif transverse. Les pertes peuvent être à la fois des pertes par hystérésis et des pertes par couplage. La méthode normalisée permettant de mesurer uniquement les pertes par hystérésis en courant continu ou en champ magnétique à faible vitesse de balayage est spécifiée dans la CEI 61788-13 [2].

L'échantillon doit être un composite multifilamentaire rond ou rectangulaire dont la principale utilisation attendue concerne les applications avec bobines pulsées à des fréquences ou vitesses de balayage relativement élevées, jusqu'à 1 Hz ou 4 T/s, un diamètre ou une taille moyenne comprise entre 0,2 mm et 1,0 mm, un diamètre de filament entre 1 µm et environ 50 µm, et une constante de temps de couplage inférieure à 40 ms environ.

La présente méthode peut également s'étendre aux mesures de pertes en courant alternatif dans des gammes de fréquences et vitesses de balayage plus élevées, plus de 10 Hz ou 40 T/s, pour des fils supraconducteurs à trois composants (VEI 815-04-33) avec une constante de temps de couplage plus courte jusqu'à environ 0,1 ms (voir Annexe E).

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60050-815, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 815: Supraconductivité*

3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 61788, les définitions de la CEI 60050-815 s'appliquent ainsi que les définitions suivantes.

3.1

pertes en courant alternatif

P

dans un supraconducteur composite, puissance dissipée par suite de l'application d'un champ magnétique ou d'un courant électrique variable avec le temps

[VEI 815-04-54]

SUPERCONDUCTIVITY –

Part 8: AC loss measurements – Total AC loss measurement of Cu/Nb-Ti composite superconducting wires exposed to a transverse alternating magnetic field by a pickup coil method

1 Scope

This part of IEC 61788-8 specifies the measurement method of total AC losses by the pickup coil method in Cu/Nb-Ti composite superconducting wires exposed to a transverse alternating magnetic field. The losses may contain both hysteresis and coupling losses. The standard method to measure only the hysteresis loss in DC or low-sweep-rate magnetic field is specified in IEC 61788-13 [2].

The specimen shall be a multifilamentary round or rectangular wire, expected to be mainly used for pulsed coil applications with relatively higher frequencies or sweep rates up to 1 Hz or 4 T/s, with diameter or average size from 0,2 mm to 1,0 mm, filament diameter from 1 μ m to around 50 μ m, and a coupling time constant less than about 40 ms.

The present method can be also extended to the AC loss measurement in a higher range of frequency and sweep rate up to more than 10 Hz or 40 T/s for three-component superconducting wires (IEV 815-04-33) with a shorter coupling time constant down to about 0,1 ms (see Annex E).

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

3 Terms and definitions

For the purposes of this part of IEC 61788, the definitions of IEC 60050-815 and the following apply.

3.1

AC loss

P

power dissipated in a composite superconductor due to application of time-varying magnetic field or current

[IEV 815-04-54]

3.2

pertes par hystérésis

P_h

pertes indépendantes de la fréquence, se produisant dans un supraconducteur sous l'effet des variations d'un champ magnétique

NOTE Les pertes par hystérésis sont dues aux propriétés magnétiques irréversibles de la substance supraconductrice liées à l'ancrage des lignes de flux.

[VEI 815-04-55]

3.3

pertes par courants de Foucault

P_e

pertes survenant dans la matrice normale d'un composite supraconducteur ou dans le matériau de structure lorsque le composite supraconducteur est exposé à un champ magnétique variable, qu'il s'agisse d'un champ extérieur ou d'un champ propre

[VEI 815-04-56, modifié]

3.4

pertes par (courant de) couplage

P_c

pertes dues au courant de couplage, survenant dans des fils supraconducteurs multifilamentaires ayant une matrice normale

[VEI 815-04-59]

3.5

constante de temps de couplage

τ

constante de temps caractéristique d'un courant de couplage perpendiculaire aux filaments dans un brin destiné aux basses fréquences

[VEI 815-04-60]

3.6

courants de protection

courants induits par une variation du champ magnétique externe appliqué à un supraconducteur et qui inclut des courants de couplage et des courants de Foucault pour les supraconducteurs composites

3.7

champ magnétique critique

H_c

champ magnétique correspondant à l'énergie de condensation supraconductrice à champ magnétique nul

[VEI 815-01-21]

3.8

aimantation d'un supraconducteur

moment magnétique divisé par le volume du supraconducteur

NOTE Le moment magnétique macroscopique est aussi égal au produit du courant de protection et de la surface délimitée par sa ligne de courant fermée dans un supraconducteur composite en plus du moment magnétique induit par tout flux magnétique piégé.