

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61788-13

Première édition
First edition
2003-05

Supraconductivité –

Partie 13:

**Mesure des pertes en courant alternatif –
Méthodes de mesure par magnétomètre
des pertes par hystérésis dans les composites
multifilamentaires de Cu/Nb-Ti**

Superconductivity –

Part 13:

**AC loss measurements –
Magnetometer methods for hysteresis loss
in Cu/Nb-Ti multifilamentary composites**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61788-13:2003

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**

61788-13

Première édition
First edition
2003-05

Supraconductivité –

Partie 13:

**Mesure des pertes en courant alternatif –
Méthodes de mesure par magnétomètre
des pertes par hystérésis dans les composites
multifilamentaires de Cu/Nb-Ti**

Superconductivity –

Part 13:

**AC loss measurements –
Magnetometer methods for hysteresis loss
in Cu/Nb-Ti multifilamentary composites**

© 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 Varembé, 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

N

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 Spécifications générales	12
5 Méthode de mesure par VSM	16
6 Rapport d'essai	20
 Annexe A (informative) Méthode de mesure par SQUID	 24
 Bibliographie	 28

CONTENTS

FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	9
4 General specifications	13
5 The VSM method of measurement	17
6 Test report	21
Annex A (informative) The SQUID method of measurement	25
Bibliography	29

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 13: Mesure des pertes en courant alternatif – Méthodes de mesure par magnétomètre des pertes par hystérésis dans les composites multifilamentaires de Cu/Nb-Ti

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 61788-13 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
90/137/FDIS	90/141/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de la présente 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 13: AC loss measurements –
Magnetometer methods for hysteresis loss
in Cu/Nb-Ti multifilamentary composites**

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 61788-13 has been prepared by IEC technical committee 90: Superconductivity.

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

FDIS	Report on voting
90/137/FDIS	90/141/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

Le comité d'études 90 de la CEI propose des méthodes de mesure par magnétomètre et bobines de détection des pertes en courant alternatif des composites filamentaires supra-conducteurs 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 des 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 qui spécifient 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 des fréquences est de 0 Hz – 0,06 Hz pour la méthode par magnétomètre et de 0,005 Hz – 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 magnétomètre.

INTRODUCTION

IEC technical committee 90 proposes magnetometer and pickup coil methods 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 – 0,06 Hz for the magnetometer method and 0,005 Hz – 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 deals with the magnetometer method.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61788-13:2003

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 13: Mesure des pertes en courant alternatif – Méthodes de mesure par magnétomètre des pertes par hystérésis dans les composites multifilamentaires de Cu/Nb-Ti

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61788 décrit des éléments nécessaires pour mesurer les pertes par hystérésis dans les composites multifilamentaires de Cu/Nb-Ti au moyen d'un magnétomètre à courant continu ou à faible vitesse de rampe. La présente norme concerne la mesure des pertes par hystérésis dans les conducteurs composites multifilamentaires de Cu/Nb-Ti. On suppose que les mesures sont effectuées sur des fils ronds à des températures égales ou proches de 4,2 K. La magnétométrie en courant continu ou à faible vitesse de rampe sera effectuée au moyen d'un interféromètre quantique supraconducteur (magnétomètre SQUID) ou d'un magnétomètre à échantillon vibrant (VSM). Si des différences apparaissent entre les résultats de magnétomètres étalonnés, les résultats du VSM, extrapolés à une vitesse de rampe nulle, seront considérés comme définitifs.

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 60050-815:2000, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 815: Supraconductivité*

CEI 61788-5, *Supraconductivité – Partie 5: Mesure du rapport volumique matrice/supraconducteurs – Rapport volumique cuivre/supraconducteur des supraconducteurs composites de Cu/Nb-Ti*

3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 61788, les définitions données dans la CEI 60050-815 s'appliquent.

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]

NOTE Les pertes en courant alternatif par cycle sont désignées Q . Bien que l'ensemble de ces pertes se fasse nécessairement par hystérésis au sens large, il est considéré que les pertes en courant alternatif dans un supraconducteur composite peuvent être divisées en pertes par hystérésis, en pertes par courants de Foucault et en pertes par couplage, comme défini ci-dessous (voir note 1 et note 2 du VEI 815-04-54).

SUPERCONDUCTIVITY –

Part 13: AC loss measurements – Magnetometer methods for hysteresis loss in Cu/Nb-Ti multifilamentary composites

1 Scope

This part of IEC 61788 describes considerations for the measurement of hysteretic loss in Cu/Nb-Ti multifilamentary composites using DC- or low-ramp-rate magnetometry. This standard focuses on the measurement of hysteretic loss in multifilamentary Cu/Nb-Ti composite conductors. Measurements are assumed to be on round wires with temperatures at or near 4,2 K. DC or low-ramp-rate magnetometry will be performed using either a superconducting quantum interference device (SQUID magnetometer) or a vibrating-sample magnetometer (VSM). In case differences between the calibrated magnetometer results are noted, the VSM results, extrapolated to zero ramp rate, will be taken as definitive.

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

IEC 61788-5, *Superconductivity – Part 5: Matrix to superconductor volume ratio measurement – Copper to superconductor volume ratio of Cu/Nb-Ti composite superconductors*

3 Terms and definitions

For the purposes of this part of IEC 61788, the definitions given in IEC 60050-815 apply, together with the following.

3.1

AC loss

P

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

[IEV 815-04-54]

NOTE The AC loss per magnetic field cycle is designated *Q*. Although all such loss is inevitably "hysteretic" in the general sense, the AC loss in a superconducting composite is assumed to be separable into "hysteresis-", "eddy-current-", and "coupling-" loss components, as defined below (see Note 1 and Note 2 of IEC 61788-5).

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

[VEI 815-04-55]

NOTE Les pertes par hystérésis ne se produisent que dans les zones supraconductrices du composite de Cu/Nb-Ti et seraient donc présentes, même en l'absence de la matrice. Les pertes par hystérésis par cycle, désignées par Q_h , sont associées à la zone de rapport aimantation/champ ($M-H$) du cycle d'hystérésis. M est parfois appelé «aimantation de courant persistant».

3.3

pertes par courants de Foucault

P_e

pertes survenant dans la matrice normale d'un supraconducteur ou dans le matériau de structure lorsque le 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]

NOTE Les pertes par courants de Foucault par cycle sont désignées par Q_e .

3.4

pertes par couplage

P_c

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

[VEI 815-04-59]

NOTE Les pertes par couplage par cycle sont désignées par Q_c .

3.5

pertes par couplage par effet de proximité

P_{pe}

pertes dues à des courants circulant le long des filaments d'un supraconducteur composite et traversant la matrice intermédiaire rendue supraconductrice par l'effet de proximité

NOTE Ce faisant, les courants par effet de proximité empruntent les mêmes trajets que les courants de couplage. Dans la mesure où l'ensemble du trajet du courant par effet de proximité est supraconducteur, P_{pe} est un effet de courant persistant qui, lorsqu'il est présent, sert à augmenter P_h . L'effet de proximité peut être attendu dans les composites de Cu/Nb-Ti lorsque l'espacement interfilamentaire est inférieur à 1 μm . Les pertes par effet de proximité par cycle sont désignées par Q_{pe} .

3.6

désaimantation

phénomène dans lequel l'aimantation de l'éprouvette réduit le champ magnétique appliqué capté par le supraconducteur

NOTE Il dépend de l'intensité de cette aimantation, de la géométrie de l'échantillon et du sens d'application du champ. Il est généralement négligeable pour les composites multifilamentaires de Cu/Nb-Ti à 4,2 K dans les grands champs magnétiques.

3.7

fluage de flux

mouvement de fluxons activé thermiquement dans lequel ceux-ci se déplacent d'un centre d'ancrage de flux à un autre

[VEI 815-03-20]

NOTE Le fluage de flux se réfère à la dépendance temporelle logarithmique de décroissance (pour une intensité de champ appliqué et une température d'échantillon fixes) de l'aimantation de courant persistant d'un supraconducteur. Un niveau important de fluage de flux contribuera à rendre les pertes par hystérésis dépendantes de la fréquence. Cet effet est négligeable pour les composites de Cu/Nb-Ti, sauf lorsque le couplage par effet de proximité est présent.

3.2

hysteresis loss

P_h

loss of the type whose value per cycle is independent of frequency arising in a superconductor under a varying magnetic field

NOTE This loss is caused by the irreversible magnetic properties of the superconducting material due to pinning of flux lines.

[IEV 815-04-55]

NOTE Hysteresis loss is that which takes place only within the superconducting regions of the Cu/Nb-Ti composite, and hence which would be present even in the absence of the matrix. The hysteresis loss per cycle, designated Q_h , is associated with the area of the magnetization vs. field (M - H) hysteresis loop; the associated M is occasionally referred to as the "persistent-current magnetization".

3.3

eddy current loss

P_e

loss arising in the normal matrix of a superconductor or the structural material when exposed to a varying magnetic field, either from an applied field or from a self field

[IEV 815-04-56]

NOTE The eddy current loss per cycle is designated Q_e .

3.4

coupling loss

P_c

loss arising in multifilamentary superconducting wires with a normal matrix due to coupling current

[IEV 815-04-59]

NOTE The coupling loss per cycle is designated Q_c .

3.5

proximity effect coupling loss

P_{pe}

loss stemming from currents that circulate along the filaments of a superconducting composite and across the intervening matrix rendered superconducting by proximity effect (PE)

NOTE By so doing, the PE currents compete for the same paths as the coupling currents. Since the PE entire current path is superconductive, P_{pe} is a persistent-current effect and when it is present serves to augment P_h . Proximity effect can be expected in Cu/NbTi composites when the interfilamentary spacing drops below about 1 μm . The PE loss per cycle is designated Q_{pe} .

3.6

demagnetization

phenomenon in which the specimen's magnetization reduces the applied magnetic field sensed by the superconductor

NOTE It depends on the strength of that magnetization as well as sample geometry and applied field orientation. It is usually negligible for multifilamentary Cu/Nb-Ti composites at 4,2 K in large magnetic fields.

3.7

flux creep

thermally activated flux motion in which fluxons move from one pinning centre to another

[IEV 815-03-20]

NOTE Flux creep refers to the logarithmic time dependence of decay (at fixed applied field strength and sample temperature) of a superconductor's persistent-current magnetization. A significant level of flux creep will contribute a frequency dependence to the hysteretic loss. The effect is negligible for Cu/Nb-Ti composites, except when proximity effect coupling is present.

3.8

saut de flux

mouvement d'ensemble transitoire de fluxons ancrés résultant d'une instabilité magnétique provoquée par une perturbation mécanique, thermique ou électrique

NOTE Un saut de flux se manifeste par une chute soudaine de l'aimantation du supraconducteur.

3.9

volume de filaments

volume total des filaments dans un échantillon donné

3.10

volume de composite

volume total de l'éprouvette, comprenant le supraconducteur et la matrice

3.11

amplitude de balayage

$H_{\max}$

valeur maximale du champ appliqué

3.12

boucle d'aimantation

trace d'aimantation de l'éprouvette en fonction de l'intensité du champ magnétique appliqué qui varie au cours d'un cycle complet débutant et s'achevant à $+H_{\max}$

NOTE L'aire de la boucle, Q , est la «perte d'énergie par cycle». Comme indiqué ci-dessus, par analogie avec les composants de la dissipation de puissance, il peut être considéré que Q possède les composants Q_h , Q_e , Q_c et Q_{pe} .

4 Spécifications générales

La fidélité attendue de cette méthode est donnée par le coefficient de variation (COV, rapport de l'écart-type à la moyenne). Le COV est inférieur à 5 %.

Des variables et des éléments importants ayant une influence sur l'exactitude des résultats sont spécifiés comme suit.

4.1 Exactitude et uniformité du champ appliqué

Un système de champ magnétique doit générer un champ magnétique avec une exactitude de 1 % et une dispersion de 0,5 %. Le champ appliqué doit être uniforme à 0,1 % près sur le volume de l'éprouvette

4.2 Etalonnage du magnétomètre VSM

L'étalonnage du VSM a pour but de s'assurer que le moment de l'échantillon est mesuré avec une exactitude de 2 %. L'étalonnage doit être effectué avec tous les cryostats et toute autre pièce métallique montée (telle qu'elle le serait pendant les mesures réelles). L'une des techniques d'étalonnage suivantes doit être utilisée.

a) Méthode d'aimantation à saturation

Le magnétomètre doit être étalonné au moyen d'une petite sphère de Ni dont l'étalonnage est relié au matériau de référence normalisé 772a du N.I.S.T. (National Institute of Standards and Technology, U.S.A). Il s'agit d'une sphère de Ni de 2,383 mm de diamètre préparée à partir d'un fil de Ni de grande pureté. La valeur certifiée de son moment magnétique, m , est de $(3,47 \pm 0,01)$ mA m² à 298 K, dans un champ, H , de 398 kA/m ($\mu_0 H = 0,5$ T). Lors de l'étalonnage par rapport à cette sphère, les corrections de champ et de température sont effectuées selon

3.8**flux jump**

cooperative and transitional movements of pinned fluxons as a result of a magnetic instability initiated by mechanical, thermal, or electrical disturbances

NOTE A flux jump manifests itself as a sudden drop in magnetization of the superconductor.

3.9**filamentary volume**

total volume of the filaments within a given sample

3.10**composite volume**

total specimen volume including both superconductor and matrix

3.11**sweep amplitude**

$H_{\max}$

maximum value of the applied field

3.12**magnetization loop**

trace of specimen magnetization as function of applied magnetic field strength as the field is varied around a complete cycle starting and ending at $+H_{\max}$

NOTE The area of the loop, Q , is the "energy loss per cycle". As indicated above, by analogy with the components of power dissipation, Q can be regarded as having the components Q_h , Q_e , Q_c , and Q_{pe} .

4 General specifications

The target precision of this method is given by coefficient of variation (COV; standard deviation divided by the average). The COV is less than 5 %.

Important variables and elements affecting the accuracy of the results are specified as follows.

4.1 Accuracy and uniformity of the applied field

An applied magnetic field system shall provide the magnetic field with an accuracy of 1 % and a precision of 0,5 %. The applied field shall have a uniformity of 0,1 % over the volume of the specimen.

4.2 VSM calibration

The goal of VSM calibration is to ensure that the specimen's moment is measured to an accuracy of 2 %. Calibration shall be performed with all cryostats and any other metal parts in place (as they would be in an actual measurement). One of the following calibration techniques shall be used.

a) Saturation magnetization method

The magnetometer shall be calibrated using a small Ni sphere whose calibration is traceable to the National Institute of Standards and Technology (N.I.S.T., U.S.A.)'s standard reference material 772a. This is a Ni sphere 2,383 mm in diameter prepared from high purity Ni wire. The certified value of its magnetic moment, m , is $(3,47 \pm 0,01)$ mA m² at 298 K, in a field, H , of 398 kA/m ($\mu_0 H = 0,5$ T). In calibration against this sphere, field and temperature corrections are made according to

$$m = 3,47 [1 + 0,0026 \ln(H/398)][1 - 0,00047(T-298)] \quad (\text{mA m}^2)$$

avec H en kA/m (1 kA/m = 12,56 Oe) et T en K. Pour simplifier, un champ d'étalonnage d'environ 400 kA/m est recommandé.

b) Méthode de susceptibilité magnétique

L'étalonnage peut également être effectué en utilisant la susceptibilité diamagnétique de Meissner, χ_{Mei} , d'un supraconducteur, située en dessous de son champ critique inférieur, $\chi_{\text{Mei}} = (M/H)_{\text{Mei}} = -1$, pour lequel un échantillon de Nb pur recuit peut être utilisé. Cette mesure ne peut évidemment être faite qu'à faibles champs et doit s'accompagner d'un ensemble de mesures exactes en champ appliqué. Une correction de désaimantation en fonction de la forme de l'échantillon doit être effectuée [1]¹⁾. L'étalonnage peut également être réalisé selon la susceptibilité paramagnétique du palladium (Pd), bien que cette méthode exige également une connaissance précise du champ magnétique appliqué, la correction de désaimantation n'est pas nécessaire.

4.3 Température

Les mesures doivent être prises à une température proche de 4,2 K, point d'ébullition normal de l'hélium liquide. Si les mesures sont effectuées à une autre température, les résultats doivent être corrigés à 4,2 K. La température doit être connue avec une exactitude de $\pm 0,1$ K, et sa valeur doit être consignée.

4.4 Longueur de l'éprouvette

Plusieurs composants d'aimantation sont fonction de la longueur de l'éprouvette, L . La dépendance à la longueur doit être éliminée ou prévue de manière appropriée.

- a) Dans les échantillons relativement courts, l'anisotropie de la densité du courant critique dans les sens longitudinal et transversal entraînera un «effet d'extrémité» mesurable et donc une dépendance à la longueur en Q_h . Pour empêcher cette possibilité, les éprouvettes préparées doivent présenter des composants (filaments) supraconducteurs ayant un rapport longueur/diamètre supérieur à 20.
- b) La présence d'un effet de proximité dans les composites de Cu/Nb-Ti multifilamentaires n'est probable que si l'espacement entre les filaments, d_s , est inférieur à environ 1 μm . Dans ce cas, l'influence de l'effet de proximité sur l'aimantation dépendra de la longueur de l'échantillon, L , et du pas de torsade, L_p . Ces longueurs devront alors être prises en compte de la manière suivante dans le compte rendu des résultats:
 - pour $d_s < 1 \mu\text{m}$ environ et des filaments non torsadés, Q_h doit être mesuré en fonction de L et les résultats doivent être extrapolés à L nulle;
 - pour $d_s < 1 \mu\text{m}$ environ et des filaments torsadés, Q_h doit être mesuré à $L > 5 L_p$.

4.5 Effets de sens et de désaimantation de l'éprouvette

Les mesures des pertes doivent être effectuées sur des éprouvettes de brins dans un champ magnétique transverse. Pour les filaments fins et entièrement pénétrés d'un brin multifilamentaire de Cu/Nb-Ti, la désaimantation est négligeable. De même, elle est négligeable pour les faisceaux de brins à section ronde, plate ou carrée. Toutefois, dans un souci d'exhaustivité, la configuration des éprouvettes doit être consignée dans le rapport des résultats.

¹⁾ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

$$m = 3,47 [1 + 0,0026 \ln(H/398)][1 - 0,00047(T-298)] \quad (\text{mA m}^2)$$

with H in kA/m (1 kA/m = 12,56 Oe) and T in K. For convenience, a calibration field of about 400 kA/m is recommended.

b) Magnetic susceptibility method

Alternatively, calibration may be performed in terms of the Meissner diamagnetic susceptibility, χ_{Mei} , of a superconductor below its lower critical field, $\chi_{\text{Mei}} = (M/H)_{\text{Mei}} = -1$, for which purpose a sample of pure annealed Nb may be used. Obviously, this measurement can be made only at low fields, and shall be accompanied by a set of accurate applied-field measurements. A sample-shape-dependent demagnetization correction shall be applied [1]¹⁾. Calibration may also be made against the paramagnetic susceptibility of palladium (Pd); although this method also requires an accurate knowledge of the applied magnetic field, demagnetization correction is not needed.

4.3 Temperature

Measurements shall be made at a temperature close to 4,2 K, the normal boiling point of liquid helium. If measurements are made at some other temperature, the results shall be corrected to 4,2 K. The temperature shall be known to a precision of $\pm 0,1$ K, and its value reported.

4.4 Specimen length

Several magnetization components are functions of specimen length, L . Length dependence needs to be eliminated or appropriately allowed for.

- a) In relatively short samples, critical current density anisotropy in the longitudinal and transverse directions will lead to a measurable "end effect" and hence to a length dependence in Q_h . To avert this possibility, specimens shall be prepared whose superconducting components (filaments) have a length/diameter ratio of more than 20.
- b) Proximity effect can be expected to be present in Cu/Nb-Ti multifilamentary composites only if the filament spacing, d_s , is less than about 1 μm . Under this condition, the resulting PE contribution to magnetization will depend on sample length, L , and twist pitch, L_p . Under this condition, these lengths will need to be taken into account in the following way when reporting the results:
 - for $d_s < \text{about } 1 \mu\text{m}$ and the filaments are untwisted, Q_h shall be measured as function of L and the results extrapolated to zero L ;
 - for $d_s < \text{about } 1 \mu\text{m}$ and the filaments are twisted, Q_h shall be measured at $L > 5 L_p$.

4.5 Specimen orientation and demagnetization effects

Loss measurements shall be made on strand specimens in a transverse magnetic field. For the fully penetrated fine filaments of a multifilamentary Cu/Nb-Ti strand, demagnetization is negligible. By the same token, it is negligible for round-, flat-, or square-cross-sectioned bundles of such strands. However, for the sake of completeness in reporting the results, the specimen configuration shall be reported.

¹⁾ Figures in square brackets refer to the bibliography.

4.6 Volume de normalisation

Il peut être souhaitable de consigner les pertes par hystérésis en termes de volume de supraconducteur. Pour cela, il est nécessaire d'appliquer un mode opératoire normalisé pour déterminer le rapport matrice (Cu)/volume du supraconducteur (voir CEI 61788-5). Pour les besoins de la présente norme, ces étapes ont été supprimées et les pertes en courant alternatif doivent être consignées selon le volume total de composite. Il est recommandé de mesurer le volume avec une exactitude de 1 %.

4.7 Mode de cyclage ou de balayage du champ

Le champ appliqué peut être modifié *point par point* au cours d'un cycle débutant et s'achevant à H_{max} . Les interféromètres SQUID sont limités à ce mode de variation de champ; le fonctionnement point par point des magnétomètres VSM est facultatif. Le VSM peut également être actionné de manière semi-continue, la boucle $M-H$ étant construite à partir de quelque 200 paires de mesures (M, H).

5 Méthode de mesure par VSM

Pour une description complète de l'application de la méthode par magnétomètre à échantillon vibrant (VSM), il est recommandé de consulter l'article de Collings et al. [2].

5.1 Principe de mesure par VSM

Le principe de base du VSM de Foner [3] est le suivant. L'éprouvette à mesurer est placée dans un champ magnétique uniforme qui l'aimante. L'éprouvette est mécaniquement soumise à des oscillations à proximité d'un système de bobines de détection. Le moment magnétique oscillant entraîne une oscillation du champ magnétique qui relie les bobines de détection, provoquant ainsi une tension alternative qui est ensuite détectée et convertie en valeur du moment magnétique par un système de circuits électroniques. Le magnétomètre est considéré davantage comme un dispositif de «substitution» que comme un dispositif «absolu» et son signal de sortie doit être étalonné à partir d'un étalon. Il existe des magnétomètres VSM personnalisés (fabriqués artisanalement) mais un nombre croissant de versions commerciales de cet instrument est utilisé. En général, ils présentent tous les caractéristiques suivantes. L'éprouvette à mesurer est généralement montée sur un axe vertical qui vibre longitudinalement (verticalement) avec une amplitude de position d'environ 1 mm et à une fréquence suffisamment lente.

Le champ magnétique peut être fourni par un électroaimant à noyau de fer monté à l'horizontale ou par un solénoïde supraconducteur monté à la verticale – positions conventionnelles dans chaque cas – qui imprime un sens de vibration de l'échantillon, respectivement perpendiculaire ou parallèle au sens du champ. Les bobines de détection sont convenablement situées et connectées par paires de manière à éliminer toute oscillation créée par un champ extérieur (bruit magnétique) et à ne détecter que les oscillations de champ générées par l'éprouvette.

Les pertes sont déterminées à partir de la zone intégrée numériquement de la boucle complète de $M-H$.

L'éprouvette est placée sur le «point idéal», petite zone située dans l'espace des bobines de détection dans laquelle le signal détecté ne change que faiblement selon le positionnement vertical ou horizontal de l'éprouvette. Pour les deux types de magnétomètre VSM, à électroaimant et à solénoïde supraconducteur, le signal est optimal lorsque l'éprouvette est déplacée verticalement (dans «l'axe z ») à travers le point idéal. Pour le déplacement de l'éprouvette dans le plan horizontal, le point idéal se situe sur un «point-selle» dans le VSM à électroaimant (une valeur minimale dans le sens du champ et une valeur maximale perpendiculaire au champ) et dans une «cuvette» dans le VSM à solénoïde supraconducteur (c'est-à-dire que, pour le déplacement de l'éprouvette le long d'un rayon, le signal est minimal au niveau de l'axe du solénoïde).

4.6 Normalization volume

It may be desirable to report hysteretic loss in terms of the superconductor volume. To pursue this route, it is necessary to invoke a standard procedure for determining the matrix (Cu)/superconductor volume ratio (see IEC 61788-5). For the purposes of this standard, these steps are eliminated, and AC loss is to be reported in terms of total composite volume. Volume should be measured to an accuracy of 1 %.

4.7 Mode of field cycling or sweeping

The applied field may be changed *point-by-point* over the field cycle starting and ending at $H_{\max}$. SQUID magnetometry is restricted to this mode of field change, and it is optional for the VSM to be operated in point-by-point mode. The VSM may also be operated semicontinuously, the M - H loop being constructed from 200 or so (M, H) data-pairs.

5 The VSM method of measurement

For a full description of the application of the vibrating sample magnetometer (VSM) technique, the paper by Collings et al. [2] is recommended.

5.1 VSM measurement principle

The basic principle of the Foner [3] VSM is as follows. The specimen to be measured is located in a uniform magnetic field, which causes it to become magnetized. The specimen is mechanically oscillated near a set of pickup coils. The oscillating magnetic moment causes an oscillation in the magnetic field linking the pickup coils, thereby inducing an AC voltage which is then detected and converted into a magnetic moment value by electronic circuitry. The magnetometer is a "substitution" rather than "absolute" device and its output signal requires calibration against a reference. Custom-made (hand-made) VSMs do exist, but increasingly, commercial versions of this machine are used. In general, they share the following characteristics. The specimen to be measured is typically mounted on a vertical rod which vibrates longitudinally (vertically) with a position amplitude of about 1 mm and at a suitably low frequency.

The magnetic field may be supplied by either a horizontally mounted iron-core electromagnet (EM) or a vertically mounted superconducting solenoid (SCS) – the conventional attitudes in each case – causing the vibration direction of the sample to be perpendicular or parallel, respectively, to the field direction. The pickup coils are appropriately located and connected in pairs such that any external field oscillations (magnetic noise) are cancelled and only the specimen-generated field oscillations are detected.

The loss is determined from the numerically integrated area of the full M - H loop.

The specimen is positioned at the "sweet spot", a small region of the pickup coil space within which the detected signal changes only slightly with variation of vertical or horizontal positioning of the specimen. In both the EM-VSM and the SCS-VSM, the signal maximizes as the specimen is moved vertically (in the "z-direction") through the sweet spot. For specimen motion in the horizontal plane, the sweet spot lies at a "saddle-point" in the EM-VSM (a minimum in the field direction, and a maximum perpendicular to it) and within a "basin" in the SCS-VSM (i.e., for specimen motion along any radius, the signal is minimum at the axis of the solenoid).

5.2 Préparation de l'éprouvette pour le VSM

La taille du point idéal dans un VSM type limite le volume de l'éprouvette à moins de 30 mm³ environ. Pour la mesure par VSM des composites multifilamentaires de Cu/Nb-Ti, il est permis d'utiliser l'une des trois configurations alternatives d'éprouvette suivantes.

- a) Eprouvette courte et droite: Elle se compose d'une ou plusieurs sections droites de brin (la taille du faisceau dépend de l'intensité du signal nécessaire) d'une longueur inférieure ou égale à environ 1 cm. Les extrémités des sections de brin doivent être finement aplanies, voir par exemple [2].
- b) Bobine multitour: S'il faut mesurer des fils longs et fins, ils peuvent être enroulés dans une bobine multitour, voir par exemple [4]. Pour les mesures par VSM à électroaimant, la bobine peut être ovale et montée avec son axe le plus long à la verticale (parallèle à l'axe de vibration). Le plan de la bobine sera perpendiculaire au sens du champ. Pour les mesures par VSM à solénoïde supraconducteur, il convient que la bobine multitour soit ronde et montée avec son axe perpendiculaire à l'axe de vibration.

Pour réduire au minimum la possibilité de croisement des brins, les brins du faisceau court et droit et la bobine multitour doivent être isolés par vernissage ou enrobage, ou encore séparés électriquement.

- c) Bobine hélicoïdale: A mi-chemin entre l'échantillon court et droit et la bobine multitour, on trouve la bobine hélicoïdale. Comme recommandé par Goldfarb et al. [5], elle présente des brins d'une seule longueur enroulés autour des rainures du filet de la vis. L'axe de l'hélice est parallèle au sens du champ qui peut alors être considéré comme transverse par rapport à l'axe de l'éprouvette si son angle de pas est inférieur à 8°. A l'aide de la technique hélicoïdale, une section relativement longue et peu épaisse de brin peut être utilisée pour les mesures.

5.3 Conditions de mesure et étalonnage du VSM

5.3.1 Amplitude du champ

L'amplitude du champ de mesure, à déterminer selon l'application, doit être spécifiée (voir Article 6).

5.3.2 Sens du champ appliqué

Le champ doit être appliqué transversalement à l'axe des brins. Le champ appliqué sera ainsi perpendiculaire à l'axe de l'éprouvette courte et droite, perpendiculaire au plan de la bobine multitour ou parallèle à l'axe de la bobine hélicoïdale.

5.3.3 Vitesse de variation du champ appliqué (vitesse de balayage)

5.3.3.1 Effet de couplage

Il convient que la vitesse de balayage du champ appliqué soit suffisamment lente pour rendre négligeable l'influence du couplage, P_c , sur les pertes en courant alternatif. Toutefois, à très faible vitesse de balayage, y compris pour les mesures point par point, l'effet d'un couplage important réapparaît sous forme de pertes par courants de Foucault (fluage exponentiel) dont l'effet devra alors être pris en compte. Si un couplage détectable est présent dans les mesures effectuées à des vitesses de balayage de VSM types, Q_h doit être déterminé par extrapolation à dH/dt nul, en ayant au préalable déterminé que la valeur de Q mesurée est linéaire en dH/dt .

5.3.3.2 Effet de proximité

Pour les composites à filaments fins, l'opérateur doit tenir compte de l'influence possible d'un effet de proximité dans les mesures des pertes. L'effet de proximité est associé à un fluage logarithmique. L'effet de proximité se distingue donc du couplage par courants de Foucault par la forme de sa dépendance à dH/dt .

5.2 VSM specimen preparation

The size of the sweet spot in the typical VSM restricts specimen volume to less than about 30 mm³. For the VSM measurement of Cu/Nb-Ti multifilamentary composite wires, it is permissible to use one of three alternative specimen configurations.

- a) Short straight specimen: This consists of one or more straight pieces of strand (the size of the bundle depending on the signal strength required) up to about 1 cm in length. The ends of the strand pieces are to be finely ground flat (see for example [2]).
- b) Multiturn coil: If long lengths of fine wire are to be measured, they may be wound for measurement into a multiturn coil (see for example [4]). For EM-VSM measurement, the coil may be oval in shape and mounted with its long axis vertically (parallel to the vibration axis). The plane of the coil will be normal to the field direction. For SCS-VSM measurement, the multiturn coil should be round and mounted with its plane perpendicular to the vibration axis.

To minimize the possibility of interstrand coupling, the strands of the short straight bundle and the multiturn coil are to be insulated by varnish, or by potting, or otherwise be electrically separated.

- c) Helical coil: Lying between the short straight sample and the multiturn coil is the helical coil. As recommended by Goldfarb et al. [5], this consists of a single length of strand wound along the grooves of a screw thread. The axis of the helix is parallel to the field direction which can then be regarded as transverse to the specimen axis if the pitch angle is less than 8°. Using the helical technique, a relatively long piece of moderately thick strand can be accommodated for measurement.

5.3 VSM measurement conditions and calibration

5.3.1 Field amplitude

The measuring field amplitude, to be determined by the application, shall be specified (see Clause 6).

5.3.2 Direction of applied field

The field shall be applied transversely to the strand axis. Thus, the applied field will be normal to the axis of the short straight specimen, normal to the plane of the multiturn coil, or parallel to the axis of the helical coil.

5.3.3 Rate of change of the applied field (sweep rate)

5.3.3.1 Effect of coupling

The sweep rate of the applied field should be sufficiently low as to render negligible any coupling contribution, P_c , to the AC loss. But in very low sweep rate, including point-by-point measurement, the effect of strong coupling will re-appear in the form of eddy current decay (exponential creep) the effect of which will then need to be taken into account. If detectable coupling is encountered in measurements made at typical VSM sweep rates, Q_h shall be determined by extrapolation to zero dH/dt , it having been previously determined that the Q measured is linear in dH/dt .

5.3.3.2 Proximity effect

In fine filament composites, the measurer shall be alert to the possibility of a proximity effect (PE) contribution to the loss. Associated with PE is a logarithmic creep. Accordingly, PE is distinguishable from eddy current coupling by the form of its dH/dt dependence.

5.3.4 Forme d'onde de la variation du champ

La vitesse de balayage du champ doit être linéaire entre les extrémités $\pm H_{\max}$, voir 3.11 et 4.7 ci-dessus.

5.3.5 Correction de taille de l'éprouvette

L'étalonnage doit être effectué comme indiqué ci-dessus en 4.2. De plus, les dimensions et la forme de l'éprouvette doivent être étudiées avec soin en fonction de celles de l'échantillon d'étalonnage.

L'éprouvette doit être centrée sur le point idéal.

Pour les éprouvettes plus petites que l'échantillon d'étalonnage, il ne sera pas nécessaire d'appliquer une correction de dimension.

Pour les éprouvettes plus grandes que l'échantillon d'étalonnage, une ou deux corrections de dimension sont autorisées:

- a) une réplique exacte de l'éprouvette sera fabriquée en Ni et utilisée comme étalon secondaire;
- b) le point idéal sera cartographié et une correction de dimension sera effectuée sur la base de la réponse mesurée.

5.3.6 Supplément autorisé (soustraction du bruit de fond)

L'opérateur doit envisager la possibilité que le support de l'éprouvette et les pièces associées (par exemple le capteur de température) influent de manière sensible sur les mesures des pertes. Dans ce cas, une correction doit être appliquée.

5.3.7 Densité des points de mesure

Pour les mesures par VSM contrôlées par ordinateur, il est possible de sélectionner, à partir d'une large gamme, le nombre de paires de mesures constituant la boucle $M-H$. Si la structure est fine (par exemple structures illustrant les diverses caractéristiques de l'aimantation par effet de proximité), une densité de points de mesure élevée est nécessaire. Si des mesures point à point sont effectuées, la boucle $M-H$ doit se composer au minimum de 100 paires de mesures.

6 Rapport d'essai

Le compte rendu des résultats des essais sur les pertes en courant alternatif comprendra au minimum les spécifications suivantes. Toute information manquante sera justifiée.

6.1 Début de l'essai

- Nom du laboratoire effectuant l'essai
- Noms des groupes ou des personnes demandant l'essai
- Autres détails concernant le parrainage de l'essai

5.3.4 Waveform of the field change

The field sweep rate shall be linear between the end-points $\pm H_{\max}$, see 3.11 and 4.7 above.

5.3.5 Specimen size and shape correction

Calibration shall be performed as directed above under 4.2. Furthermore, consideration shall be given to the size and shape of the specimen with respect to those of the calibration sample.

The specimen shall be centred on the sweet spot.

For specimens smaller than the calibration sample, no size correction need be applied.

For specimens larger than the calibration sample, one of two size corrections are allowed:

- a) a replica of the specimen will be fabricated from Ni and used as a secondary standard;
- b) the sweet spot will be mapped out and a size and shape correction will be generated based on the measured response.

5.3.6 Allowance for addendum (background subtraction)

The measurer shall be alert to the possibility that the specimen holder and associated parts (for example temperature sensor) may make a significant contribution to the loss. Whenever this turns out to be the case, a correction shall be applied.

5.3.7 Data point density

In modern computer-controlled VSM measurements, it is possible to select, from a broad range, the number of data-pairs that make up the M - H loop. If fine structure is present (for example those describing the various features of PE magnetization), a high point density is necessary. If point-by-point measurements are made, the M - H loop shall consist of no less than 100 data pairs.

6 Test report

The report of the results of the AC loss testing will include at least the following specifications. The reason for any missing information will be explained.

6.1 Initiation of the test

- Name of the laboratory performing the test
- Names of groups or persons requesting the test
- Other details concerning sponsorship of the test

6.2 Détails techniques

- a) Brins de supraconducteur composite – détails disponibles
- Fabricant et code d'identification des brins
 - Matériaux des brins
 - Conception des brins, par exemple nombre de superpositions
 - Rapport volumique Cu/supraconducteur dans le faisceau filamentaire et au total
 - Rapport de résistance résiduelle, RRR , de la matrice
 - Pas de torsade
 - Nombre de filaments
 - Diamètre des filaments
- b) Eprouvette – brin tel que préparé pour les mesures
- Forme de l'éprouvette (faisceau ou bobine)
 - Dimensions du faisceau, nombre de fils dans le faisceau
 - Longueur du faisceau
 - Dimensions de la bobine
 - Longueur totale des brins dans l'échantillon
 - Montage de l'échantillon – sens selon le champ appliqué
- c) Installations d'essai – appareillage et conditions
- Mode opératoire d'étalonnage du magnétomètre et détails associés
 - Exactitude de la détermination du champ et du mode opératoire d'étalonnage
 - Exactitude de la détermination de la température et du mode opératoire utilisé
 - Spécifier si la variation du champ appliqué est de type point par point ou continue et, dans le dernier cas, les vitesses de rampe utilisées pour le champ
 - Nombre de points de mesure relevés pour construire les quatre segments de la boucle $M-H$
- d) Résultats – rapport final et analyse
- Pertes par hystérésis mesurées, Q_h , par volume unitaire de brin, corrigé à 4,2 K si nécessaire
 - Amplitude de balayage du champ
 - Température de mesure
 - Ensemble des boucles $M-H$ types
 - Indiquer si un effet de proximité est constaté
 - Indiquer si un saut de flux est constaté
 - Analyser la dépendance des pertes par rapport à dH/dt et indiquer si une extrapolation à dH/dt nul a été nécessaire pour déterminer le Q_h statique
 - Indiquer si des corrections pour effet de fluage sur les pertes à faible vitesse de rampe ont été nécessaires

6.2 Technical details

- a) The superconducting composite strand – details when available
 - Manufacturer and strand identification code
 - Strand materials
 - Strand design, for example number of re-stacks
 - Cu/superconductor volume ratio within filamentary bundle and overall
 - Matrix residual resistance ratio, RRR
 - Twist pitch
 - Filament count
 - Filament diameter
- b) The specimen – the strand as prepared for measurement
 - Form of the specimen (bundle or coil)
 - Dimensions of bundle, number of wires in bundle
 - Length of the bundle
 - Dimensions of coil
 - Total length of strand in sample
 - Sample mounting – orientation with respect to the applied field
- c) Test facilities – apparatus and conditions
 - Magnetometer calibration procedure and related details
 - Accuracy of field determination and calibration procedure
 - Accuracy of temperature determination and procedure used
 - Specify whether point-by-point or continuous applied field change and, in the latter case, the field ramp rates used
 - Number of data points taken in constructing the four segments of the M - H loop
- d) Results – final report and analysis
 - The measured hysteretic loss, Q_h , per unit volume of strand corrected to 4,2 K if necessary
 - Field sweep amplitude
 - Temperature of measurement
 - A set of typical M - H loops
 - State whether proximity effect is noted
 - State whether flux jumping is noted
 - Discuss the dH/dt dependence of loss and if extrapolation to zero dH/dt was needed to determine the static Q_h
 - Discuss if creep-effect corrections to the low ramp-rate loss were needed