IEC 61788-13

Edition 2.0 2012-07

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Superconductivity – Part 13: AC loss measurements – Magnetometer methods for hysteresis loss in superconducting multifilamentary composites

Supraconductivité – Partie 13: Mesure des pertes en courant alternatif – Méthodes de mesure par magnétomètre des pertes par hystérésis dans les composites multifilamentaires supraconducteurs

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

T

ICS 17.220, 29.050

ISBN 978-2-83220-292-0

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 3
INTRODUCTION 5
1 Scope 6
2 Normative references 6
3 Terms and definitions 6
4 General specifications 8
4.1 Target uncertainty 8
4.2 Uncertainty and uniformity of the applied field 8
4.3 VSM calibration 8
4.4 Temperature 9
4.5 Specimen length 9
4.6 Specimen orientation and demagnetization effects 9
4.7 Normalization volume 9
4.8 Mode of field cycling or sweeping 9
5 The VSM method of measurement 10
5.1 General 10
5.2 VSM measurement principle 10
5.3 VSM specimen preparation 10
5.4 VSM measurement conditions and calibration 12
5.4.1 Field amplitude 12
5.4.2 Direction of applied field 12
5.4.3 Rate of change of the applied field (sweep rate) 12
5.4.4 Waveform of the field change 12
5.4.5 Specimen size and shape correction 12
5.4.6 Allowance for addendum (background subtraction) 13
5.4.7 Data point density 13
6 Test report 13
6.1 General 13
6.2 Initiation of the test 13
6.3 Technical details 13
Annex A (informative) The SQUID method of measurement 15
Annex B (normative) Extension of the standard to the measurement of superconductors in general 16
Annex C (informative) Uncertainty considerations 18
Bibliography 23

Figure 1 – A typical experimental setup of VSM measurement 11
Figure 2 – Three alternative specimen configurations for the VSM measurement 11

Table C.1 – Output signals from two nominally identical extensometers 19
Table C.2 – Mean values of two output signals 19
Table C.3 – Experimental standard deviations of two output signals 19
Table C.4 – Standard uncertainties of two output signals 20
Table C.5 – Coefficient of variations of two output signals 20

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SUPERCONDUCTIVITY –

Part 13: AC loss measurements – Magnetometer methods for hysteresis loss in superconducting multifilamentary composites

FOREWORD

1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of 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, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). 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. 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 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 IEC National Committees.
3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. 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.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2003. It constitutes a technical revision.

Modifications made to the second edition are

– to extend to the measurement of superconductors in general, in various sample sizes and shapes, and at temperatures other than 4,2 K,
– to use the word "uncertainty" for all quantitative (associated with a number) statistical expressions and eliminate the quantitative use of "precision" and "accuracy" in accordance with the decision at the June 2006 IEC/TC90 meeting in Kyoto.

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

FDIS	Report on voting
90/302/FDIS	90/306/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.

A list of all parts of the IEC 61788 series, under the general title: *Superconductivity*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "http://webstore.iec.ch" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

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 – 60 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.

SUPERCONDUCTIVITY –

Part 13: AC loss measurements – Magnetometer methods for hysteresis loss in superconducting 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 international standard specifies a method of 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, See Annex A.) 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. Extension to the measurement of superconductors in general is given in Annex B.

2 Normative references

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

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <http://www.electropedia.org)

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 25
INTRODUCTION 27
1 Domaine d'application 28
2 Références normatives 28
3 Termes et définitions 28
4 Spécifications générales 31
4.1 Incertitude attendue 31
4.2 Incertitude et uniformité du champ appliqué 31
4.3 Etalonnage du magnétomètre VSM 31
4.4 Température 31
4.5 Longueur de l'éprouvette 31
4.6 Effets de sens et de désaimantation de l'éprouvette 32
4.7 Volume de normalisation 32
4.8 Mode de cyclage ou de balayage du champ 32
5 Méthode de mesure par VSM 32
5.1 Généralités 32
5.2 Principe de mesure par VSM 32
5.3 Préparation de l'éprouvette pour le VSM 33
5.4 Conditions de mesure et étalonnage du VSM 34
5.4.1 Amplitude du champ 34
5.4.2 Sens du champ appliqué 34
5.4.3 Vitesse de variation du champ appliqué (vitesse de balayage) 35
5.4.4 Forme d'onde de la variation du champ 35
5.4.5 Correction de taille de l'éprouvette 35
5.4.6 Supplément autorisé (soustraction du bruit de fond) 35
5.4.7 Densité des points de mesure 36
6 Rapport d'essai 36
6.1 Généralités 36
6.2 Début de l'essai 36
6.3 Détails techniques 36
Annexe A (informative) Méthode de mesure par SQUID 38
Annexe B (normative) Extension de la présente norme à la mesure des supraconducteurs en général 40
Annexe C (informative) Considérations relatives à l'incertitude 42
Bibliographie 47

Figure 1 – Montage expérimental type de mesure par VSM 34
Figure 2 – Trois autres configurations d'éprouvettes pour la mesure par VSM 34

Tableau C.1 – Signaux de sortie de deux extensomètres nominalement identiques 43
Tableau C.2 – Valeurs moyennes de deux signaux de sortie 43
Tableau C 3 – Écarts-types expérimentaux de deux signaux de sortie 43
Tableau C.4 – Incertitudes-types de deux signaux de sortie 44
Tableau C.5 – Coefficient de variation de deux signaux de sortie 44

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 supraconducteurs

AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). 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 de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets 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.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2003. Cette édition constitue une révision technique.

Les modifications apportées à la deuxième édition sont:

– une extension à la mesure des supraconducteurs en général, de tailles et formes d'échantillons diverses et à des températures différentes de 4,2 K,
– l'utilisation du mot «incertitude» pour toutes les expressions statistiques quantitatives (associées à un nombre) et l'élimination de l'utilisation quantitative des termes «précision» et «exactitude», conformément à la décision prise lors de la réunion du CE 90 de la CEI à Kyoto en juin 2006.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
90/302/FDIS	90/306/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.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61788, regroupées sous le titre général: *Supraconductivité*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

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 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 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 à 0,06 Hz pour la méthode par magnétomètre et de 0,005 Hz à 60 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.

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 13: Mesure des pertes en courant alternatif – Méthodes de mesure par magnétomètre des pertes par hystérésis dans les composites multifilamentaires supraconducteurs

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 internationale spécifie une méthode de 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[1)], voir Annexe A) ou d'un magnétomètre à échantillon vibrant (VSM[2)]). 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. L'extension à la mesure des supraconducteurs en général est donnée en Annexe B.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 (toutes les parties), *Vocabulaire Electrotechnique International* (disponible à <http://www.electropedia.org)

CEI 61788-5, *Superconductivity – Part 5: Matrix to superconductor volume ratio measurement – Copper to superconductor volume ratio of Cu/Nb-Ti composite superconductors* (disponible en anglais seulement)

---

1) SQUID = *superconducting quantum interference device* en anglais.

2) VSM = *vibrating-sample magnetometer* en anglais.