NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
61788-1

Deuxième édition
Second edition
2006-11

Supraconductivité –

Partie 1:
Mesure du courant critique – Courant critique continu de supraconducteurs en composite Nb-Ti

Superconductivity –

Part 1:
Critical current measurement – DC critical current of Nb-Ti composite superconductors

© IEC 2006 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 U

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 4
INTRODUCTION 8

1 Domaine d'application 10
2 Références normatives 10
3 Termes et définitions 10
4 Principe 14
5 Exigences 14
6 Appareillage 16
6.1 Matériau du mandrin de mesurage 16
6.2 Construction du mandrin 16
7 Préparation du spécimen 18
7.1 Fixation du spécimen 18
7.2 Montage du spécimen 18
8 Procédure de mesure 20
9 Incertitude de la méthode d'essai 22
9.1 Courant critique 22
9.2 Température 22
9.3 Champ magnétique 22
9.4 Structure de support du spécimen et du mandrin 24
9.5 Protection du spécimen 24
10 Calcul des résultats 24
10.1 Critères de courant critique 24
10.2 Valeur *n* (calcul facultatif, se reporter à A.7.2) 26
11 Compte rendu d'essai 28
11.1 Identification du spécimen d'essai 28
11.2 Compte rendu des valeurs I_C 28
11.3 Compte rendu des conditions d'essai 28

Annexe A (informative) Informations supplémentaires relatives à la norme 30
Annexe B (informative) Effet de champ induit 46
Annexe C (normative) Méthode d'essai pour les supraconducteurs composites Cu/Cu-Ni/Nb-Ti 50
Annexe D (informative) Guide pour l'estimation de la force de traction d'enroulement 52

Bibliographie 56

Figure 1 – Caractéristique *U-I* intrinsèque 26
Figure 2 – Caractéristique *U-I* avec une composante de transfert de courant 26
Figure A.1 – Instrumentation du spécimen avec une paire de prises de tension nulle 44

Tableau D.1 – Valeurs typiques de *E* à température ambiante pour divers matériaux 54

CONTENTS

FOREWORD 5
INTRODUCTION 9

1 Scope 11
2 Normative references 11
3 Terms and definitions 11
4 Principle 15
5 Requirements 15
6 Apparatus 17
6.1 Measurement mandrel material 17
6.2 Mandrel construction 17
7 Specimen preparation 19
7.1 Specimen bonding 19
7.2 Specimen mounting 19
8 Measurement procedure 21
9 Uncertainty of the test method 23
9.1 Critical current 23
9.2 Temperature 23
9.3 Magnetic field 23
9.4 Specimen and mandrel support structure 25
9.5 Specimen protection 25
10 Calculation of results 25
10.1 Critical current criteria 25
10.2 *n*-value (optional calculation, refer to A.7.2) 27
11 Test report 29
11.1 Identification of test specimen 29
11.2 Report of I_c values 29
11.3 Report of test conditions 29

Annex A (informative) Additional information relating to the standard 31
Annex B (informative) Self-field effect 47
Annex C (normative) Test method for Cu/Cu-Ni/Nb-Ti composite superconductors 51
Annex D (informative) Guidance for estimating winding tensile force 53

Bibliography 57

Figure 1 – Intrinsic *U-I* characteristic 27
Figure 2 – *U-I* characteristic with a current transfer component 27
Figure A.1 – Instrumentation of specimen with a null voltage tap pair 45

Table D.1 – Typical values of *E* at room temperature for various materials 55

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 1: Mesure du courant critique – Courant critique continu de supraconducteurs en composite Nb-Ti

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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
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 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 61788-1 a été établie par le comité d'études 90 de la CEI: Supraconductivité.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition publiée en 1998. Cette édition constitue une révision technique.

Les modifications techniques majeures apportées à cette seconde édition comprennent:

– l'addition d'une Annexe C normative et d'une Annexe D informative;
– les termes «exactitude» et «précision» ont été remplacés par le terme «incertitude»;
– l'uniformité du champ magnétique, qui était spécifiée à ±2 %, a été réduite pour être inférieure à la valeur la plus grande de 0,5 % ou 0,02 T.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SUPERCONDUCTIVITY –

Part 1: Critical current measurement – DC critical current of Nb-Ti composite superconductors

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
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 61788-1 has been prepared by IEC technical committee 90: Superconductivity.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1998. It constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

– the addition of normative Annex C and informative Annex D;
– accuracy and precision statements were converted to uncertainty statements;
– the magnetic field uniformity statement was tightened from ±2 % to be less than the larger of 0,5% or 0,02 T.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
90/196/FDIS	90/201/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.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61788, présentées sous le titre général S*upraconductivité,* 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 prochaine date de maintenance indiquée sur le site de la CEI "http://www.iec.ch" dans les données relatives à cette publication. A cette date, la publication sera

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

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

FDIS	Report on voting
90/196/FDIS	90/201/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.

A list of all parts of IEC 61788 series, published 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 maintenance result 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

Les courants critiques de supraconducteurs en composite permettent d'établir les limites de conception des applications des fils supraconducteurs. Les conditions de fonctionnement des supraconducteurs dans ces applications déterminent en grande partie leur comportement, et il est permis d'utiliser les essais effectués selon la méthode présentée dans la présente partie de la CEI 61788 pour obtenir une partie des informations permettant de déterminer si un supraconducteur spécifique est adapté ou non.

Il est également permis d'utiliser les résultats obtenus grâce à la présente méthode pour détecter, dans les propriétés supraconductrices d'un supraconducteur en composite, des modifications résultant de variables de traitement, de la manipulation, du vieillissement, d'autres applications ou conditions ambiantes. La présente méthode est utile dans le contrôle de la qualité, les essais de réception et de recherche, lorsque les précautions précisées dans la présente norme sont observées.

Les courants critiques de supraconducteurs en composite dépendent de nombreuses variables. Il est nécessaire de considérer ces variables lors des essais et de l'application de ces matériaux. Les conditions d'essai telles que le champ magnétique, la température et l'orientation relative du spécimen, le courant et le champ magnétique sont déterminées en fonction de l'application considérée. Il est permis de déterminer la configuration d'essai en fonction du conducteur considéré, avec certaines tolérances. Il est permis de déterminer le critère spécifique de courant critique en fonction de l'application considérée. En cas d'irrégularités lors des essais, il est permis de mesurer un certain nombre de spécimens d'essai.

INTRODUCTION

The critical currents of composite superconductors are used to establish design limits for applications of superconducting wires. The operating conditions of superconductors in these applications determine much of their behaviour, and tests made with the method given in this part of IEC 61788 may be used to provide part of the information needed to determine the suitability of a specific superconductor.

Results obtained from this method may also be used for detecting changes in the superconducting properties of a composite superconductor due to processing variables, handling, ageing or other applications or environmental conditions. This method is useful for quality control, acceptance or research testing, if the precautions given in this standard are observed.

The critical current of composite superconductors depends on many variables. These variables need to be considered in both the testing and the application of these materials. Test conditions such as magnetic field, temperature and relative orientation of the specimen, current and magnetic field are determined by the particular application. The test configuration may be determined by the particular conductor through certain tolerances. The specific critical current criterion may be determined by the particular application. It may be appropriate to measure a number of test specimens if there are irregularities in testing.

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 1: Mesure du courant critique – Courant critique continu de supraconducteurs en composite Nb-Ti

1 Domaine d'application

Cette partie de la CEI 61788 couvre une méthode d'essai pour la détermination du courant critique continu des supraconducteurs en composite Cu/Nb-Ti qui ont un rapport cuivre/supraconducteur supérieur à 1 ou des fils Cu/Cu-Ni/Nb-Ti qui ont un rapport cuivre/ supraconducteur supérieur à 0,9 et un alliage cuivre (Cu-Ni)/supraconducteur supérieur à 0,2, où le diamètre des filaments supraconducteurs Nb-Ti est supérieur à 1 μm. Les modifications pour les Cu/Cu-Ni/Nb-Ti sont décrites dans l' Annexe C. Les Cu-Ni pourront faire référence aux parties principales de cette norme avec les exceptions listées dans l'Annexe C qui remplacent (et dans certains cas contredisent) certaines étapes du texte principal.

La présente méthode est destinée à être utilisée avec des supraconducteurs caractérisés par des courants critiques inférieurs à 1 000 A et des valeurs *n* supérieures à 12, dans des conditions d'essai normalisées et avec des champs magnétiques inférieurs ou égaux à 0,7 fois la valeur du champ magnétique critique le plus élevé. Le spécimen d'essai est immergé dans un bain d'hélium liquide à une température mesurée pendant l'essai. Le conducteur d'essai en composite Cu/Nb-Ti a une structure monolithique, avec une superficie de section ronde ou rectangulaire inférieure à 2 mm^2. Le spécimen utilisé dans la présente méthode d'essai a la forme d'une bobine inductive. La présente norme présente les écarts par rapport à la méthode d'essai qui sont autorisés dans les essais de série, ainsi que d'autres restrictions spécifiques.

Les conducteurs d'essai dont les courants critiques sont supérieurs à 1 000 A ou dont les superficies de section sont supérieures à 2 mm^2 pourraient faire l'objet d'une mesure par la présente méthode, en prévoyant une augmentation de l'incertitude et avec un effet de champ induit plus important (voir Annexe B). Il est permis d'utiliser d'autres géométries de spécimen d'essai, plus spécialisées et mieux adaptées aux essais sur les conducteurs plus grands, qui ne sont pas incluses dans la présente norme, par souci de simplicité et pour réduire l'incertitude.

La méthode d'essai décrite dans la présente norme est supposée adaptable à d'autres fils supraconducteurs en composite, après des modifications appropriées.

2 Références normatives

Les documents référencés ci-après sont indispensables pour l'application de ce document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, c'est l'édition la plus récente du document référencé (y compris tous ses amendements) qui s'applique.

CEI 60050-815, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 815: Supra-conductivité*

SUPERCONDUCTIVITY –

Part 1: Critical current measurement – DC critical current of Nb-Ti composite superconductors

1 Scope

This part of IEC 61788 covers a test method for the determination of the d.c. critical current of either Cu/Nb-Ti composite superconductors that have a copper/superconductor ratio larger than 1 or Cu/Cu-Ni/Nb-Ti wires that have a copper/superconductor ratio larger than 0,9 and a copper alloy (Cu-Ni)/superconductor ratio larger than 0,2, where the diameter of Nb-Ti superconducting filaments is larger than 1 μm. The changes for the Cu/Cu-Ni/Nb-Ti are described in Annex C. The Cu-Ni uses all of the main part of the standard with the exceptions listed in Annex C that replace (and in some cases are counter to) some of the steps in the main text.

This method is intended for use with superconductors that have critical currents less than 1 000 A and *n*-values larger than 12, under standard test conditions and at magnetic fields less than or equal to 0,7 of the upper critical magnetic field. The test specimen is immersed in a liquid helium bath at a known temperature during testing. The test conductor has a monolithic structure with a round or rectangular cross-sectional area that is less than 2 mm^2. The specimen geometry used in this test method is an inductively coiled specimen. Deviations from this test method that are allowed for routine tests and other specific restrictions are given in this standard.

Test conductors with critical currents above 1 000 A or cross-sectional areas greater than 2 mm^2 could be measured with the present method with an anticipated increase in uncertainty and a more significant self-field effect (see Annex B). Other, more specialized, specimen test geometries may be more appropriate for larger conductor testing which have been omitted from this present standard for simplicity and to retain a lower uncertainty.

The test method given in this standard is expected to apply to other superconducting composite wires after some appropriate modifications.

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*