

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Superconductivity –

Part 21: Superconducting wires – Test methods for practical superconducting wires – General characteristics and guidance

Supraconductivité –

Partie 21: Fils supraconducteurs – Méthodes d'essai pour fils supraconducteurs à usage pratique – Caractéristiques générales et lignes directrices

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61788-21:2015



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2015 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 60 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 60 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Superconductivity –

Part 21: Superconducting wires – Test methods for practical superconducting wires – General characteristics and guidance

Supraconductivité –

Partie 21: Fils supraconducteurs – Méthodes d'essai pour fils supraconducteurs à usage pratique – Caractéristiques générales et lignes directrices

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220; 29.050; 77.040.10

ISBN 978-2-8322-2691-9

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.
--

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	7
4 Characteristic attributes of practical SC wires.....	7
5 Categories of properties	7
6 Properties governed by IEC standards.....	7
6.1 General.....	7
6.2 Properties referring to the operation of SC wires.....	7
6.3 Properties related to implementation and engineering	8
Annex A (informative) Characteristic attributes of practical SC wires.....	9
A.1 General.....	9
A.2 Critical temperature	9
A.3 Critical magnetic and irreversibility fields	9
A.4 Critical current and n -value	10
A.5 Stability.....	10
A.6 AC loss	10
A.7 Strain-dependent superconducting properties	10
A.8 Mechanical properties	11
A.9 Uniformity of properties.....	11
Bibliography.....	12

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61788-21:2015

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SUPERCONDUCTIVITY –**Part 21: Superconducting wires –
Test methods for practical superconducting wires –
General characteristics and guidance****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 61788-21 has been prepared by IEC technical committee 90: Superconductivity.

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

FDIS	Report on voting
90/353/FDIS	90/354/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 the parts in the 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 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61788-21:2015

INTRODUCTION

Superconducting (SC) wires are a central and often enabling technology of many important industrial products. Consensus-based standards for SC wires greatly facilitate the creation of procurement specifications, design and engineering of components, certification of quality, description of operating devices, and generalization of use in industrial technologies.

This part of IEC 61788 is ranked as a first priority for both producers and users of superconducting technology: It provides the measurement methods and test procedures for properties critical to use. Adherence to normative information assists the development of commercial markets and the distribution of products. Standardization in this regard is meant to provide common access to, and unarguable reference information about, characteristics that are most important for superconductor-based technologies.

This part of IEC 61788 includes the measurement principles and measurement techniques together with the relevant terminology and definitions. Specifications of SC wire products take into account the function of the different components of SC wires to meet operational needs, maintain operational (superconducting) conditions, and accommodate mechanical forces and strains. The various forms of SC wire products distributed by manufacturers incorporate these aspects to varying degrees, depending on the superconducting materials used and the intended operating conditions/environment. Design and engineering of devices that use SC wire products take into account the unique properties of SC wires during operation. The general features of practical SC wires are described in IEC TR 61788-20 in terms of simple general characteristics to assist in the specification and use of superconducting wire products. Testing, certification, and quality control apply the relevant standard test methods to SC wires, which are specified in this part of IEC 61788.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61788-21:2015

SUPERCONDUCTIVITY –

Part 21: Superconducting wires – Test methods for practical superconducting wires – General characteristics and guidance

1 Scope

This part of IEC 61788 specifies the test methods used for validating the mechanical, electrical, and superconducting properties of practical SC wires. A wire is considered as being practical if it can be procured in sufficiently continuous lengths under ordinary commercial transactions to build devices. Conductors made of multiple wires, such as cables, are not included in the scope of this part of IEC 61788. Extension of the discussions in this part of IEC 61788 beyond practical SC wires is not intended, even though referenced documents include aspects outside of this scope.

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 from: <http://www.electropedia.org>

IEC 61788-1, *Superconductivity – Part 1: Critical current measurement – DC critical current of Nb-Ti composite superconductors*

IEC 61788-2, *Superconductivity – Part 2: Critical current measurement – DC critical current of Nb₃Sn composite superconductors*

IEC 61788-3, *Superconductivity – Part 3: Critical current measurement – DC critical current of Ag- and/or Ag alloy-sheathed Bi-2212 and Bi-2223 oxide superconductors*

IEC 61788-4, *Superconductivity – Part 4: Residual resistance ratio measurement – Residual resistance ratio of Nb-Ti composite superconductors*

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

IEC 61788-6, *Superconductivity – Part 6: Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of Cu/Nb-Ti composite superconductors*

IEC 61788-8, *Superconductivity – Part 8: AC loss measurements – Total AC loss measurement of round superconducting wires exposed to a transverse alternating magnetic field at liquid helium temperature by a pickup coil method*

IEC 61788-10, *Superconductivity – Part 10: Critical temperature measurement – Critical temperature of composite superconductors by a resistance method*

IEC 61788-11, *Superconductivity – Part 11: Residual resistance ratio measurement – Residual resistance ratio of Nb₃Sn composite superconductors*

IEC 61788-12, *Superconductivity – Part 12: Matrix to superconductor volume ratio measurement – Copper to non-copper volume ratio of Nb₃Sn composite superconducting wires*

IEC 61788-13, *Superconductivity – Part 13: AC loss measurements – Magnetometer methods for hysteresis loss in superconducting multifilamentary composites*

IEC 61788-18, *Superconductivity – Part 18: Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of Ag- and/or Ag alloy-sheathed Bi-2223 and Bi-2212 composite superconductors*

IEC 61788-19, *Superconductivity – Part 19: Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of reacted Nb₃Sn composite superconductors*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-815 apply.

4 Characteristic attributes of practical SC wires

The primary purpose of electrical wires is to carry electrical current. Practical SC wires have the same intended purpose as common electrical wires, with the special ability to carry hundreds or thousands of times more current than a common electrical wire of the same dimension. Standard test methods discussed in this part of IEC 61788 address the determination of current-carrying capacity, called the critical current of practical SC wires. Several by-products of the special circumstances of practical SC wires also necessitate additional standards discussed in this part of IEC 61788 with respect to mechanical and thermal properties as well as properties in magnetic fields. The details are described in Annex A.

5 Categories of properties

The properties necessary for the specification are categorized as follows:

- a) properties referring to the operation of SC wires, e.g. incurred during the initial cool-down to operating temperature, standard continuous operation, and under fault conditions;
- b) properties related to implementation and engineering, e.g. incurred during the fabrication and installation of a device.

With respect to the properties belonging to two categories, their principal test methods have been established as parts of IEC 61788 series indicated in Clause 6.

6 Properties governed by IEC standards

6.1 General

Several attributes are governed by parts of the IEC 61788 series. Test methods for these attributes shall be used to settle disputes. When a new test method is established as a part of IEC 61788 series, it will be included in Clause 6.

6.2 Properties referring to the operation of SC wires

For the purpose of consultation, current parts of the IEC 61788 series related to specific properties shall be used to settle disputes. They are categorized in groups as follows.

- a) Critical temperature:
 - Critical temperature measurement – Critical temperature of composite superconductors by a resistance method (IEC 61788-10).

b) Critical current:

- Critical current measurement – DC critical current of Nb-Ti composite superconductors (IEC 61788-1);
- Critical current measurement – DC critical current of Nb₃Sn composite superconductors (IEC 61788-2);
- Critical current measurement – DC critical current of Ag- and/or Ag alloy-sheathed Bi-2212 and Bi-2223 oxide superconductors (IEC 61788-3).

c) AC loss:

- AC loss measurements – Total AC loss measurement of round superconducting wires exposed to a transverse alternating magnetic field at liquid helium temperature by a pickup coil method (IEC 61788-8);
- Magnetometer methods for hysteresis loss in superconducting multifilamentary composites (IEC 61788-13).

6.3 Properties related to implementation and engineering

For the purpose of consultation, current parts of the IEC 61788 series related to implementation and engineering shall be used to settle disputes. They are categorized in groups as follows.

a) Matrix to superconductor volume ratio:

- Matrix to superconductor volume ratio measurement – Copper to superconductor volume ratio of Cu/Nb-Ti composite superconducting wires (IEC 61788-5);
- Matrix to superconductor volume ratio measurement – Copper to non-copper volume ratio of Nb₃Sn composite superconducting wires (IEC 61788-12).

b) Residual resistance ratio:

- Residual resistance ratio measurement – Residual resistance ratio of Nb-Ti composite superconductors (IEC 61788-4);
- Residual resistance ratio measurement – Residual resistance ratio of Nb₃Sn composite superconductors (IEC 61788-11).

c) Mechanical properties:

- Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of Cu/Nb-Ti composite superconductors (IEC 61788-6);
- Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of Ag- and/or Ag alloy-sheathed Bi-2223 and Bi-2212 composite superconductors (IEC 61788-18);
- Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of reacted Nb₃Sn composite superconductors (IEC 61788-19).

Annex A (informative)

Characteristic attributes of practical SC wires

A.1 General

Procurement of practical SC wires generally requires the specification of performance for one or many properties. The manufacturer, supplier, and customer should agree on which properties are important for their application, and then determine specifications of performance for those properties. Standards described in the preceding clauses are intended for the measurement of actual performance, such as for certification or assurance to meet the specification. Annex A describes briefly the various properties that could be considered in commercial transactions.

A.2 Critical temperature

When a SC material is cooled down, it transforms from a normal to superconducting state at a critical temperature (T_c). A large supercurrent can be carried with small Joule loss, because the DC electrical resistance is almost zero in the SC state. The operation of the SC wire in real application should be carried out at temperatures lower than T_c with sufficient enough temperature margin, because the instability increases rapidly as the temperature becomes close to T_c .

In standard operation, practical SC wires are cooled below their critical temperature, and therefore a metal to conduct heat to a coolant is incorporated into the wire architecture. Standards to evaluate the purity and conductivity of this metal are described. Also, standards to evaluate the temperature and magnetic field at which the practical SC wire is in the superconducting state are described.

There are also certain types of application, such as fault current limiters, that make use of the transition of the SC wire from the superconducting state to the normal conducting state. For such applications, the SC wire will experience temperatures above T_c and the electrical and thermal stabilization of the wire is considered individually with regards to specific application requirements. Major requirements are to limit temperature rise, to achieve thermal recovery within a specific duration and to limit fault currents to a maximum level.

A.3 Critical magnetic and irreversibility fields

When an external magnetic field higher than the lower critical field is applied to a practical superconductor, a so-called mixed state appears where quantized magnetic flux is introduced into the SC material. In this mixed state, large supercurrent can flow steadily in the superconductor without the generation of voltage. The ability of the SC material to carry large supercurrents without dissipation in the mixed state makes it possible to design a SC magnet operating at high magnetic field. However when the external magnetic field exceeds the irreversibility value, the supercurrent is accompanied by a voltage. The mixed state would be destroyed once the external field is above the upper critical magnetic field.

A common use of practical SC wires is the winding of electro-magnets. Under such conditions, the SC wire is placed in a high magnetic field, which can induce properties not found for common electrical wires. Standards to evaluate the different behaviour, such as the magnetization of a practical SC wire, are described. In addition, certain field limits apply to the superconducting state.

A.4 Critical current and n -value

Theoretically the critical current is defined as the maximum direct current that can be regarded as flowing without resistance (IEC 60050-815). In practice however, the critical current is determined based on measurement sensitivities of the devices used to characterize dissipation of the SC wire, and thus, the practical definition is determined according to a criterion based on finite value of resistivity or electric field (IEC 61788-1, IEC 61788-2 and IEC 61788-3). High performance practical SC wires developed recently can transport current at least a factor of 10^2 to 10^3 times higher than common copper electrical wires of the same dimension. The critical current is largely dependent on temperature and magnetic field, and is dependent on mechanical strain. Electric voltage appears rapidly in proportion to $(I/I_c)^n$, when current I approaches and exceeds the critical current. The exponential index is called “ n -value”, which indicates the sharpness of transition to the magnetic flux flow state.

A.5 Stability

When the SC state breaks down, a local part of the superconductor carrying a large supercurrent becomes normal and generates potential instability due to Joule heat. The practical SC wire is designed to avoid the expansion of such a current instability. In the case of Nb_3Sn composite superconducting wire, for instance, the high conductivity copper surrounds the core including Nb_3Sn filaments.

Practical SC wires are designed to conduct heat to an external coolant, often through a high conductivity metal stabilizer such as copper, silver, or aluminum that surrounds the superconducting material on the inside. Characterization of the heat-carrying capacity of the stabilizer is often performed via measurement of the residual resistivity ratio, (RRR). The transformation to the superconducting state at low temperatures short-circuits the electrical path through the stabilizer, which makes such measurements more complicated than for common wires.

For SC wires used for such applications as fault current limiters, in which the SC wire transitions from the superconducting state to the normal conducting state and temperatures well-above T_c are experienced, the stability requirements become different. The thermal and electrical stabilization of the practical SC wire are designed to limit temperature rise, achieve thermal recovery within a specified duration and to limit fault currents to a maximum level. For such applications, heat capacity and electrical resistance of the stabilization components at temperatures above T_c are important parameters.

A.6 AC loss

When an AC magnetic field or an AC current is applied to SC wires, heat generation takes place due to hysteresis, coupling between superconducting elements, and eddy current losses from complementary metallic components. In some important applications, a large heat generation is expected and the SC wires used are specifically designed to prevent the break-down of the SC state from the heat generated. In the case of Nb-Ti composite superconducting wire, for instance, the Nb-Ti filaments are twisted and the Cu-Ni alloy element is inserted in the copper matrix.

Practical SC wires respond to changes of magnetic field in ways that are different from the response of common wires. Some behaviour produces heat, which can affect the cryogenic conditions of operation. Standards are described to evaluate the lossy effects specific to practical SC wires.

A.7 Strain-dependent superconducting properties

Due to their complicated composite structure, the properties and architecture of the component materials affect the internal stress/strain in the SC component, which significantly influences the

SC properties. In practice, application of the SC wire occurs such that the strain incurred during fabrication or under operation is below the irreversibility strain limit.

If a large external strain is applied above the reversible strain limit, it causes a large permanent degradation of the critical current due to the fracture of the SC component.

A.8 Mechanical properties

Practical SC wires are a composite of multiple materials. Their mechanical properties depend in general on the rule of mixture until fracture, according to which the weakest component breaks first. The end use of practical SC wires often introduces enormous mechanical forces, due to the special ability of SC wires to carry high current density even in high magnetic fields.

A.9 Uniformity of properties

For most cable and magnet applications, SC wires are utilized in kilometre lengths. Therefore it is necessary to ensure the uniformity of properties like critical current and n -value over the length of the wire because the overall performance is limited by the position of the wire where the properties are lowest. So the test methods need to detect local performance and to evaluate the variance of properties over the length.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61788-21:2015

Bibliography

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

IEC TR 61788-20, *Superconductivity – Part 20: Superconducting wires – Categories of practical superconducting wires – General characteristics and guidance*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61788-21:2015

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61788-21:2015

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	15
INTRODUCTION.....	17
1 Domaine d'application	18
2 Références normatives	18
3 Termes et définitions	19
4 Attributs caractéristiques des fils supraconducteurs pratiques	19
5 Catégories de propriétés	19
6 Propriétés régies par les normes IEC	20
6.1 Généralités	20
6.2 Propriétés relatives au fonctionnement des fils supraconducteurs	20
6.3 Propriétés relatives à la mise en œuvre et à l'ingénierie	20
Annexe A (informative) Attributs caractéristiques des fils supraconducteurs pratiques	22
A.1 Généralités	22
A.2 Température critique	22
A.3 Champs magnétiques critiques et champs d'irréversibilité	22
A.4 Courant critique et valeur- n	23
A.5 Stabilité	23
A.6 Pertes en courant alternatif	23
A.7 Propriétés des supraconducteurs dépendant des contraintes	24
A.8 Propriétés mécaniques	24
A.9 Uniformité des propriétés	24
Bibliographie.....	25

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61788-21:2015

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SUPRACONDUCTIVITÉ –

**Partie 21: Fils supraconducteurs –
Méthodes d'essai pour fils supraconducteurs à usage pratique –
Caractéristiques générales et lignes directrices**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC 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 l'IEC. L'IEC 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC 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 IEC 61788-21 a été établie par le comité d'études 90 de l'IEC: Supraconductivité.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
90/353/FDIS	90/354/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/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61788, publiées sous le titre général *Supraconductivité*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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 l'IEC 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61788-21:2015

INTRODUCTION

Les fils supraconducteurs constituent une technologie fondamentale et souvent habilitante pour de nombreux produits industriels importants. L'élaboration de normes consensuelles relatives aux fils supraconducteurs facilite grandement la création de spécifications d'achat, ainsi que la conception et l'ingénierie des composants, la certification de la qualité, la description des dispositifs de commande et la généralisation de l'application au niveau des technologies industrielles.

La présente partie de l'IEC 61788 est considérée comme prioritaire, à la fois pour les producteurs et pour les utilisateurs de technologie de supraconductivité, dans la mesure où elle décrit les méthodes de mesure ainsi que les procédures d'essai relatives à des propriétés d'utilisation critique. Le respect des informations normatives contribue au développement des marchés commerciaux et à la distribution des produits. En ce sens, la normalisation est destinée à donner un accès commun à des caractéristiques d'une importance cruciale dans le cadre des technologies basées sur les supraconducteurs, ainsi qu'à fournir des informations de référence incontestables les concernant.

La présente partie de l'IEC 61788 inclut les principes et les techniques de mesure ainsi que la terminologie et les définitions afférentes. Les spécifications des produits à fils supraconducteurs prennent en compte la fonction des différents composants des fils supraconducteurs afin de répondre aux besoins opérationnels, de maintenir des conditions opérationnelles (de supraconductivité) et de résister aux forces et contraintes mécaniques. Les diverses formes des produits à fils supraconducteurs distribués par les fabricants intègrent ces aspects à des degrés variables, en fonction des matériaux supraconducteurs utilisés ainsi que des conditions de fonctionnement/de l'environnement. La conception et l'ingénierie des appareils utilisant des produits à fils supraconducteurs tiennent compte des propriétés uniques des fils supraconducteurs au cours du fonctionnement. Les caractéristiques générales des fils supraconducteurs pratiques sont décrites dans le rapport technique IEC TR 61788-20 en termes de caractéristiques générales simples en vue de contribuer à la spécification et à l'utilisation des produits à fils supraconducteurs. Dans le cadre des essais, de la certification et du contrôle qualité, les méthodes d'essai normalisées appropriées, spécifiées dans la présente partie de l'IEC 61788, s'appliquent aux fils supraconducteurs.

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 21: Fils supraconducteurs – Méthodes d'essai pour fils supraconducteurs à usage pratique – Caractéristiques générales et lignes directrices

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61788 spécifie les méthodes d'essai utilisées pour valider les propriétés mécaniques, électriques et supraconductrices des fils supraconducteurs pratiques. Un fil est considéré comme pratique s'il peut être fourni en longueurs suffisantes pour la construction d'un appareil constituant une pièce suffisamment continue dans le cadre de transactions commerciales ordinaires. Les conducteurs comportant des fils multiples, tels que les câbles, ne sont pas compris dans le domaine d'application de la présente partie de l'IEC 61788. L'extension des discussions tenues dans le cadre de la présente partie de l'IEC 61788 au-delà du domaine des fils supraconducteurs pratiques n'est pas envisagée, même si les documents cités en référence incluent des aspects non couverts ici.

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).

IEC 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Electrotechnique International*. Disponible sous: <http://www.electropedia.org>

IEC 61788-1, *Supraconductivité – Partie 1: Mesure du courant critique – Courant critique continu de supraconducteurs en composite Nb-Ti*

IEC 61788-2, *Supraconductivité – Partie 2: Mesure du courant critique – Courant critique continu des supraconducteurs composites Nb₃Sn*

IEC 61788-3, *Superconductivity – Part 3: Critical current measurement – DC critical current of Ag- and/or Ag alloy-sheathed Bi-2212 and Bi-2223 oxide superconductors* (disponible en anglais seulement)

IEC 61788-4, *Supraconductivité – Partie 4: Mesure du rapport de résistance résiduelle – Rapport de résistance résiduelle des supraconducteurs composites de Nb-Ti*

IEC 61788-5, *Supraconductivité – Partie 5: Mesure du rapport volumique matrice/supraconducteur – Rapport volumique cuivre/supraconducteur des fils en composite supraconducteur Cu/Nb-Ti*

IEC 61788-6, *Supraconductivité – Partie 6: Mesure des propriétés mécaniques – Essai de traction à température ambiante des supraconducteurs composites de Cu/Nb-Ti*

IEC 61788-8, *Supraconductivité – Partie 8: Mesures des pertes en courant alternatif – Mesure de la perte totale en courant alternatif des fils supraconducteurs ronds exposés à un champ magnétique alternatif transverse par une méthode par bobines de détection*

IEC 61788-10, *Supraconductivité – Partie 10: Mesure de la température critique – Température critique des composites supraconducteurs par une méthode par résistance*

IEC 61788-11, *Supraconductivité – Partie 11: Mesure du rapport de résistance résiduelle – Rapport de résistance résiduelle des supraconducteurs composites de Nb₃Sn*

IEC 61788-12, *Supraconductivité – Partie 12: Mesure du rapport volumique matrice/supraconducteur – Rapport volumique cuivre/non-cuivre des fils en composite supraconducteur Nb₃Sn*

IEC 61788-13, *Supraconductivité – Partie 13: Mesure des pertes en courant alternatif – Méthodes de mesure par magnétomètre des pertes par hystérésis dans les composites multifilamentaires supraconducteurs*

IEC 61788-18, *Supraconductivité – Partie 18: Mesure des propriétés mécaniques – Essai de traction à température ambiante des supraconducteurs composites Bi-2223 et Bi-2212 avec gaine Ag et/ou en alliage d'Ag*

IEC 61788-19, *Supraconductivité – Partie 19: Mesure des propriétés mécaniques – Essai de traction à température ambiante des supraconducteurs composites de Nb₃Sn mis en réaction*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60050-815 s'appliquent.

4 Attributs caractéristiques des fils supraconducteurs pratiques

La vocation première des fils électriques est le transport du courant électrique. Les fils supraconducteurs pratiques ont la même destination d'emploi que les fils électriques ordinaires, avec la capacité particulière de transporter des centaines ou des milliers de fois plus de courant qu'un fil électrique ordinaire de la même dimension. Les méthodes d'essai normalisées décrites dans la présente partie de l'IEC 61788 sont utilisées pour déterminer le courant permanent admissible, appelé courant critique des fils supraconducteurs pratiques. Plusieurs sous-produits des fils supraconducteurs pratiques utilisés dans des cas spécifiques nécessitent également l'utilisation de normes supplémentaires évoquées dans la présente partie de l'IEC 61788, relatives aux propriétés mécaniques et thermiques ainsi qu'aux propriétés dans les champs magnétiques. Les détails font l'objet d'une description dans l'Annexe A.

5 Catégories de propriétés

Les propriétés nécessaires pour la spécification sont réparties selon les catégories suivantes:

- a) propriétés relatives au fonctionnement des fils supraconducteurs, par exemple associées au refroidissement initial à la température de fonctionnement, à un fonctionnement continu normalisé et en conditions de défaut;
- b) propriétés relatives à la mise en œuvre et à l'ingénierie, par exemple associées à la fabrication et à l'installation d'un appareil.

Concernant les propriétés appartenant aux deux catégories, leurs principales méthodes d'essai ont été établies en tant que des parties de la série IEC 61788 indiquées dans l'Article 6.

6 Propriétés régies par les normes IEC

6.1 Généralités

Plusieurs attributs sont régis par des parties de la série IEC 61788. Les méthodes d'essai relatives à ces attributs doivent être utilisées pour régler les litiges. Lorsqu'une nouvelle méthode d'essai est établie en tant qu'une partie de la série IEC 61788, elle sera incluse dans l'Article 6.

6.2 Propriétés relatives au fonctionnement des fils supraconducteurs

A des fins de consultation, les parties existantes de la série IEC 61788 liées aux propriétés spécifiques doivent être utilisées pour régler les litiges. Elles sont classées par groupe comme suit.

a) Température critique:

- Mesure de la température critique – Température critique des composites supraconducteurs par une méthode par résistance (IEC 61788-10).

b) Courant critique:

- Mesure du courant critique – Courant critique continu de supraconducteurs en composite Nb-Ti (IEC 61788-1);
- Mesure du courant critique – Courant critique continu de supraconducteurs en composite Nb₃Sn (IEC 61788-2);
- Mesure du courant critique – Courant critique continu des oxydes supraconducteurs Bi-2212 et Bi-2223 avec gaine en argent et/ou en alliage d'argent (IEC 61788-3).

c) Pertes en courant alternatif:

- Mesures des pertes en courant alternatif – Mesure de la perte totale en courant alternatif des fils supraconducteurs ronds exposés à un champ magnétique alternatif transverse à la température de l'hélium liquide par une méthode par bobines de détection (IEC 61788-8);
- Méthodes de mesure par magnétomètre des pertes par hystérésis dans les composites multifilamentaires supraconducteurs (IEC 61788-13).

6.3 Propriétés relatives à la mise en œuvre et à l'ingénierie

A des fins de consultation, les parties existantes de la série IEC 61788 liées à la mise en œuvre et à l'ingénierie doivent être utilisées pour régler les litiges. Elles sont classées par groupe comme suit.

a) Rapport volumique matrice/supraconducteur:

- Mesure du rapport volumique matrice/supraconducteur – Rapport volumique cuivre/supraconducteur des composites supraconducteurs de Cu/Nb-Ti (IEC 61788-5);
- Mesure du rapport volumique matrice/supraconducteur – Rapport volumique cuivre/non cuivre des fils en composite supraconducteur Nb₃Sn (IEC 61788-12).

b) Rapport de résistance résiduelle:

- Mesure du rapport de résistance résiduelle – Rapport de résistance résiduelle des supraconducteurs composites de Nb-Ti (IEC 61788-4);
- Mesure du rapport de résistance résiduelle – Rapport de résistance résiduelle des supraconducteurs composites de Nb₃Sn (IEC 61788-11).

c) Propriétés mécaniques:

- Mesure des propriétés mécaniques – Essai de traction à température ambiante des supraconducteurs composites de Cu/Nb-Ti (IEC 61788-6);
- Mesure des propriétés mécaniques – Essai de traction à température ambiante des supraconducteurs Bi-2212 et Bi-2223 avec gaine en argent et/ou en alliage d'argent (IEC 61788-18);

- Mesure des propriétés mécaniques – Essai de traction à température ambiante des supraconducteurs composites de Nb₃Sn mis en réaction (IEC 61788-19).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61788-21:2015

Annexe A (informative)

Attributs caractéristiques des fils supraconducteurs pratiques

A.1 Généralités

L'approvisionnement en fils supraconducteurs pratiques exige généralement la spécification de performances concernant une ou plusieurs propriétés. Il convient que le fabricant, le fournisseur et le client s'entendent pour définir les propriétés importantes pour leur application, puis qu'ils déterminent les spécifications de performances pour ces propriétés. Les normes décrites dans les articles précédents sont destinées à la mesure des performances réelles, telles que celles utilisées pour la certification ou l'assurance de conformité à la spécification. L'Annexe A décrit brièvement les diverses propriétés susceptibles d'être prises en considération lors de transactions commerciales.

A.2 Température critique

Lorsqu'un matériau supraconducteur est refroidi, il passe d'un état normal à un état supraconducteur à une température critique (T_c). Un supercourant élevé peut être transporté avec de faibles pertes par effet Joule, car la résistance électrique en courant continu est presque nulle dans l'état supraconducteur. Il convient de faire fonctionner le fil supraconducteur en application réelle à des températures inférieures à T_c avec une marge de température suffisante car l'instabilité croît rapidement à mesure que la température se rapproche de T_c .

En fonctionnement normalisé, les fils supraconducteurs pratiques sont refroidis en dessous de leur température critique et l'on intègre donc dans l'architecture du fil un métal pour transférer la chaleur à un agent de refroidissement. Des normes permettant d'évaluer la pureté et la conductivité de ce métal sont décrites. De même, on décrit des normes permettant d'évaluer les valeurs de température et de champ magnétique pour lesquelles le fil supraconducteur pratique se trouve à l'état supraconducteur.

Il existe également certains types d'applications, tels que les limiteurs de courant de défaut, qui utilisent la transition du fil supraconducteur lors de son passage de l'état supraconducteur à l'état de conduction normale. Pour ces applications, le fil supraconducteur sera soumis à des températures supérieures à T_c et la stabilisation électrique et thermique du fil est considérée individuellement en tenant compte des exigences d'application spécifiques. Les principales exigences concernent la limitation de l'échauffement, l'obtention de la récupération thermique dans un laps de temps spécifié et la limitation des courants de défaut à un niveau maximal.

A.3 Champs magnétiques critiques et champs d'irréversibilité

Lorsque l'on applique à un supraconducteur pratique un champ magnétique externe supérieur au champ critique inférieur, un état dit mixte apparaît là où le flux magnétique quantifié est introduit dans le matériau supraconducteur. Dans cet état mixte, un supercourant élevé peut circuler de façon continue dans le supraconducteur sans génération de tension. La capacité du matériau supraconducteur à transporter des supercourants élevés sans dissipation à l'état mixte permet de concevoir un aimant supraconducteur fonctionnant dans un champ magnétique élevé. Cependant, lorsque le champ magnétique externe dépasse la valeur d'irréversibilité, le supercourant est accompagné d'une tension. L'état mixte serait détruit une fois que le champ externe dépasserait le champ magnétique critique supérieur.

La bobine d'électro-aimants est une application courante des fils supraconducteurs pratiques. Dans ces conditions, le fil supraconducteur est placé dans un champ magnétique élevé, qui peut induire des propriétés que l'on ne retrouve pas pour les fils électriques ordinaires. Des normes