

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61788-11

Première édition
First edition
2003-01

Supraconductivité –

Partie 11:

**Mesure du rapport de résistance résiduelle –
Rapport de résistance résiduelle des
supraconducteurs composites de Nb₃Sn**

Superconductivity –

Part 11:

**Residual resistance ratio measurement –
Residual resistance ratio of Nb₃Sn composite
superconductors**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61788-11:2003

Numérotation des publications

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

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

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

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

- IEC Just Published

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

- Service clients

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

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

Publication numbering

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

Consolidated editions

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

Further information on IEC publications

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

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

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

- IEC Just Published

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

- Customer Service Centre

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

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

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC

61788-11

Première édition
First edition
2003-01

Supraconductivité –

Partie 11:

**Mesure du rapport de résistance résiduelle –
Rapport de résistance résiduelle des
supraconducteurs composites de Nb₃Sn**

Superconductivity –

Part 11:

**Residual resistance ratio measurement –
Residual resistance ratio of Nb₃Sn composite
superconductors**

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

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

N

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
1 Domaine d'application.....	8
2 Références normatives	8
3 Termes et définitions	8
4 Prescriptions.....	10
5 Appareillage	10
5.1 Matériau de l'embase de mesure	10
5.2 Longueur de l'embase de mesure	10
5.3 Cryostat pour la mesure de la résistance R_2	10
6 Préparation de l'éprouvette	10
7 Acquisition des données	10
7.1 Résistance (R_1) à température ambiante	10
7.2 Résistance (R_2) immédiatement supérieure à la transition supraconductrice.....	12
7.3 Rapport de résistance résiduelle (RRR).....	14
8 Exactitude et stabilité de la méthode d'essai.....	16
8.1 Température.....	16
8.2 Mesure de la tension	16
8.3 Courant	16
9 Rapport d'essai.....	16
9.1 Eprouvette.....	16
9.2 Valeurs RRR consignées	16
9.3 Rapport des conditions d'essai	16
Annexe A (informative) Informations supplémentaires concernant la mesure du RRR	22
Figure 1 – Rapport entre la température et la tension.....	20
Figure 2 – Courbes de la tension en fonction de la température et définition de chaque tension.....	20

CONTENTS

FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
1 Scope	9
2 Normative references.....	9
3 Terms and definitions	9
4 Requirements	11
5 Apparatus	11
5.1 Material of measuring base plate	11
5.2 Length of the measuring base plate	11
5.3 Cryostat for the resistance R_2 measurement.....	11
6 Specimen preparation.....	11
7 Data acquisition	11
7.1 Resistance (R_1) at room temperature.....	11
7.2 Resistance (R_2) just above the superconducting transition.....	13
7.3 Residual resistance ratio (RRR).....	15
8 Accuracy and stability in the test method	17
8.1 Temperature	17
8.2 Voltage measurement	17
8.3 Current	17
9 Test report.....	17
9.1 Specimen	17
9.2 Report of RRR values	17
9.3 Report of test conditions	17
Annex A (informative) Additional information relating to measurement of RRR	23
Figure 1 – Relationship between temperature and voltage	21
Figure 2 – Voltage versus temperature curves and definition of each voltage	21

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SUPRACONDUCTIVITÉ –

**Partie 11: Mesure du rapport de résistance résiduelle –
Rapport de résistance résiduelle des supraconducteurs
composites de Nb₃Sn**

AVANT-PROPOS

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

La norme internationale CEI 61788-11 a été établie par le Comité d'Etudes 90: Supra-conductivité.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
90/131/FDIS	90/134/RVD

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

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2007. A cette date, la publication sera

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SUPERCONDUCTIVITY –**Part 11: Residual resistance ratio measurement –
Residual resistance ratio of Nb₃Sn composite superconductors**

FOREWORD

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

International Standard IEC 61788-11 has been prepared by IEC Technical Committee 90: Superconductivity.

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

FDIS	Report on voting
90/131/FDIS	90/134/RVD

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

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2007. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

Le cuivre ou l'aluminium sont utilisés comme stabilisateurs dans les supraconducteurs multifilamentaires de Nb_3Sn et fonctionnent comme une dérivation électrique lorsque la supraconductivité est interrompue. Ils contribuent également à la reprise de la supraconductivité en dirigeant la chaleur générée dans le supraconducteur vers le fluide de refroidissement environnant. La résistivité du cuivre utilisé dans les supraconducteurs composites dans la zone de température cryogénique est une grandeur importante qui influe sur la stabilité du supraconducteur. Le rapport de résistance résiduelle est défini comme le rapport entre la résistance du supraconducteur à température ambiante et celle immédiatement supérieure à la transition supraconductrice.

La présente Norme internationale décrit la méthode d'essai relative au rapport de résistance résiduelle des supraconducteurs composites de Nb_3Sn . La méthode des courbes est utilisée pour mesurer la résistance immédiatement supérieure à la transition supraconductrice. D'autres méthodes sont décrites à l'article A.2.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61788-11:2003

INTRODUCTION

Copper or aluminium is used as stabilizer material in multifilamentary Nb_3Sn superconductors and works as an electrical shunt when the superconductivity is interrupted. It also contributes to recovery of the superconductivity by conducting the heat generated in the superconductor to the surrounding coolant. The resistivity of copper used in the composite superconductor in the cryogenic temperature region is an important quantity which influences the stability of the superconductor. The residual resistance ratio is defined as a ratio of the resistance of the superconductor at room temperature to that just above the superconducting transition.

In this International Standard, the test method for the residual resistance ratio of Nb_3Sn composite superconductors is described. The curve method is employed for the measurement of the resistance just above the superconducting transition. Other methods are described in clause A.2.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61788-11:2003

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 11: Mesure du rapport de résistance résiduelle – Rapport de résistance résiduelle des supraconducteurs composites de Nb₃Sn

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61788 spécifie une méthode d'essai pour la détermination du rapport de résistance résiduelle (*RRR*) des conducteurs composites de Nb₃Sn. Cette méthode est destinée à être utilisée avec des éprouvettes de supraconducteurs présentant une structure monolithique avec une section rectangulaire ou circulaire, un rapport *RRR* inférieur à 350, une surface de section inférieure à 3 mm², et qui ont reçu un traitement thermique de réaction. Dans l'absolu, il est prévu que les éprouvettes soient aussi droites que possible; cependant, ce n'est pas toujours le cas, c'est pourquoi il faut s'assurer que la mesure est effectuée sur des éprouvettes en l'état de livraison. Toutes les mesures sont effectuées sans appliquer de champ magnétique.

La méthode décrite dans le corps de texte de la présente norme est la méthode de «référence»; des méthodes d'acquisition facultatives sont présentées à l'annexe A.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, c'est l'édition la plus récente du document normatif indiqué qui s'applique.

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

3 Termes et définitions

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

3.1

rapport de résistance résiduelle

RRR (abréviation)

rapport entre la résistance à température ambiante et la résistance immédiatement supérieure à la transition supraconductrice

Le rapport de résistance résiduelle du fil composite est obtenu au moyen de l'équation (1) ci-dessous, où la résistance (R_1) à température ambiante (20 °C) est divisée par la résistance (R_2) immédiatement supérieure à la transition supraconductrice.

$$RRR = \frac{R_1}{R_2} \quad (1)$$

La figure 1 montre de manière schématique une courbe de la tension en fonction de la température obtenue sur une éprouvette en mesurant la résistance cryogénique. Tracer une droite dans la figure 1 au niveau où la tension augmente fortement (a), puis tracer une autre droite dans la figure 1 au niveau où la tension augmente progressivement (b) avec la température. La valeur de la résistance à l'intersection de ces deux droites, A, est définie comme la résistance (R_2) immédiatement supérieure à la transition supraconductrice.

SUPERCONDUCTIVITY –

Part 11: Residual resistance ratio measurement – Residual resistance ratio of Nb₃Sn composite superconductors

1 Scope

This part of IEC 61788 covers a test method for the determination of the residual resistance ratio (*RRR*) of Nb₃Sn composite conductors. This method is intended for use with superconductor specimens that have a monolithic structure with a rectangular or round cross section, *RRR* less than 350 and cross-sectional area less than 3 mm², and have received a reaction heat-treatment. Ideally, it is intended that the specimens are as straight as possible; however, this is not always the case, thus care must be taken to measure the specimen in its as received condition. All measurements are done without an applied magnetic field.

The method described in the body of this standard is the “reference” method; optional acquisition methods are outlined in Annex A.

2 Normative references

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

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

3 Terms and definitions

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

3.1

residual resistance ratio

RRR (abbreviation)

the ratio of resistance at room temperature to the resistance just above the superconducting transition

The residual resistance ratio of the composite wire is obtained in equation (1) below, where the resistance (R_1) at room temperature (20 °C) is divided by the resistance (R_2) just above the superconducting transition.

$$RRR = \frac{R_1}{R_2} \quad (1)$$

Figure 1 shows schematically a voltage versus temperature curve acquired on a specimen while measuring cryogenic resistance. Draw a line in Figure 1 where the voltage sharply increases (a), and draw also a line in Figure 1 where the voltage increases gradually (b) with temperature. The value of resistance at the intersection of these two lines, A, is defined as resistance (R_2) just above the superconducting transition.

4 Prescriptions

Les mesures de la résistance à température ambiante comme à température cryogénique doivent être effectuées au moyen de la technique des quatre sondes.

La précision attendue de cette méthode implique que le coefficient de variation (COV) dans l'essai de comparaison doit être inférieur ou égal à 5 % (voir article A.3).

5 Appareillage

5.1 Matériau de l'embase de mesure

L'embase de mesure doit être en cuivre, en aluminium, en argent ou matériau équivalent dont la conductivité thermique est supérieure ou égale à 100 W/(m·K) à la température de l'hélium liquide (4,2 K). La surface du matériau doit être recouverte d'une couche de matériau isolant (bande ou couche de mylar, de polyester, polytétrafluoroéthylène, etc.) d'une épaisseur maximale de 0,1 mm.

5.2 Longueur de l'embase de mesure

L'une des dimensions de l'embase de mesure doit être d'au moins 30 mm de long.

5.3 Cryostat pour la mesure de la résistance R_2

Le cryostat doit comprendre une structure de support de l'éprouvette et un réservoir à hélium liquide pour la mesure de la résistance R_2 . La structure supportant l'éprouvette doit permettre d'immerger et de retirer l'éprouvette, qui est montée sur une embase de mesure, dans et hors du bain d'hélium liquide. La structure de support de l'éprouvette doit en outre être réalisée de façon qu'un courant puisse traverser l'éprouvette et qu'il soit possible de mesurer la tension résultante générée le long de l'éprouvette.

6 Préparation de l'éprouvette

L'éprouvette d'essai ne doit présenter aucun joint ou épissure, et doit avoir une longueur supérieure ou égale à 30 mm. La distance entre les deux prises de réglage de tension (L) doit être supérieure ou égale à 25 mm. Un thermomètre de mesure de la température cryogénique doit être fixé à proximité de l'éprouvette.

Une méthode mécanique doit être utilisée pour maintenir l'éprouvette contre la couche de matériau isolant de l'embase de mesure. L'instrumentation et l'installation de l'éprouvette sur l'embase de mesure doivent être réalisées avec soin de manière à éviter l'application de toute charge excessive sur l'éprouvette qui pourrait entraîner des contraintes indésirables en flexion ou en traction.

L'éprouvette doit être munie de contacts de courant à proximité de chacune de ses extrémités et d'une paire de contacts de tension sur sa partie centrale. L'éprouvette doit être montée sur une embase de mesure pour effectuer ces mesures. Les deux mesures de résistance R_1 et R_2 doivent être prises sur la même éprouvette et le même montage.

7 Acquisition des données

7.1 Résistance (R_1) à température ambiante

L'éprouvette fixée doit être mesurée à température ambiante (T_m (°C)), où T_m respecte la condition suivante $0 \leq T_m \leq 35$. Un courant (I_1 (A)) doit traverser l'éprouvette de sorte que la densité du courant se situe entre 0,1 A/mm² et 1 A/mm², sur la base de la surface totale de la section du fil, et la tension résultante U_1 (V), I_1 et T_m doivent être enregistrés.

4 Requirements

The resistance measurement both at room and cryogenic temperatures shall be performed with the four-probe technique.

The target precision of this method is that the coefficient of variation (COV) in the intercomparison test shall be 5 % or less (see clause A.3).

5 Apparatus

5.1 Material of measuring base plate

Material of the measuring base plate shall be copper, aluminum, silver or the like whose thermal conductivity is equal to or better than 100 W/(m·K) at liquid helium temperature (4,2 K). The surface of the material shall be covered with an insulating layer (tape or a layer made of mylar, polyester, polytetrafluoroethylene, etc.) whose thickness is 0,1 mm or less.

5.2 Length of the measuring base plate

The measuring base plate shall be at least 30 mm long in one dimension.

5.3 Cryostat for the resistance R_2 measurement

The cryostat shall include a specimen support structure and a liquid helium reservoir for the resistance R_2 measurement. The specimen support structure shall allow the specimen, which is mounted on a measurement base plate, to be lowered and raised into and out of a liquid helium bath. In addition, the specimen support structure shall be made so that a current can flow through the specimen and the resulting voltage generated along the specimen can be measured.

6 Specimen preparation

The test specimen shall have no joints or splices, and shall be 30 mm or longer. The distance between two voltage taps (L) shall be 25 mm or longer. A thermometer for measuring cryogenic temperature shall be attached near the specimen.

Some mechanical method shall be used to hold the specimen against the insulated layer of the measurement base plate. Special care shall be taken during instrumentation and installation of the specimen on the measurement base plate so that no excessive force, which may cause undesired bending strain or tensile strain, is applied to the specimen.

The specimen shall be instrumented with current contacts near each end of the specimen and a pair of voltage contacts over a central portion of the specimen. The specimen shall be mounted on a measurement base plate for these measurements. Both resistance measurements R_1 and R_2 shall be made on the same specimen and the same mounting.

7 Data acquisition

7.1 Resistance (R_1) at room temperature

The mounted specimen shall be measured at room temperature (T_m (°C)), where T_m satisfies the following condition $0 \leq T_m \leq 35$. A specimen current (I_1 (A)) shall be applied so that the current density is in the range of 0,1 A/mm² to 1 A/mm² based on the total wire cross-sectional area, and the resulting voltage (U_1 (V)), I_1 and T_m shall be recorded.

L'équation (2) ci-dessous doit être utilisée pour calculer la résistance (R_m) à température ambiante. La résistance (R_1) à 20 °C (293 K) doit être calculée au moyen de l'équation (3) pour un fil avec stabilisateur en cuivre. La valeur fixée de R_1 doit être égale à R_m , sans aucune correction de température, pour les fils qui ne contiennent pas de composant en cuivre pur.

$$R_m = \frac{U_1}{I_1} \quad (2)$$

$$R_1 = \frac{R_m}{[1 + 0,00393 \cdot (T_m - 20)]} \quad (3)$$

7.2 Résistance (R_2) immédiatement supérieure à la transition supraconductrice

7.2.1 L'éprouvette, toujours montée comme pour la mesure à température ambiante, doit être placée dans le cryostat pour la mesure électrique spécifiée en 5.3. D'autres cryostats conformes et qui utilisent un élément chauffant pour faire varier la température de l'éprouvette sont décrits à l'article A.1.

7.2.2 L'éprouvette doit être lentement immergée dans le bain d'hélium liquide et refroidie à la température de l'hélium liquide pendant au moins 5 min.

7.2.3 Pendant les phases d'obtention des mesures de R_2 à basse température, un courant (I_2) doit traverser l'éprouvette de sorte que la densité du courant soit comprise entre 0,1 A/mm² et 10 A/mm², sur la base de la surface totale de la section du fil. La tension résultante ($U(V)$), $I_2(A)$ et la température de l'éprouvette ($T(K)$) doivent être enregistrés. Pour conserver un rapport signal/bruit suffisamment élevé, la mesure doit être effectuée en respectant la condition selon laquelle la tension résultante supérieure à la transition supraconductrice dépasse 10 µV. Les données à obtenir et leur analyse sont illustrées à la figure 2.

7.2.4 Lorsque l'éprouvette est à l'état supraconducteur et que le courant d'essai (I_2) est appliqué, deux tensions doivent être mesurées presque simultanément: U_{0+} (la tension initiale enregistrée avec une polarité de courant positive) et U_{0rev} (la tension enregistrée pendant un court changement de polarité du courant appliqué). Une mesure valide de R_2 exige l'absence de tensions de perturbation excessives et implique que l'éprouvette soit initialement à l'état supraconducteur. La condition suivante doit alors être remplie pour effectuer une mesure valide.

$$\frac{|U_{0+} - U_{0rev}|}{\bar{U}_2} < 1 \% \quad (4)$$

où $\bar{U}_2$ est la tension moyenne pour l'éprouvette à l'état normal à température cryogénique, définie en 7.2.10.

7.2.5 L'éprouvette doit être progressivement chauffée de sorte qu'elle passe entièrement à l'état normal. Lorsque le cryostat pour la mesure de la résistance spécifié en 5.3 est utilisé, cela peut être effectué en soulevant simplement l'éprouvette jusqu'à une position appropriée au-dessus du niveau de l'hélium liquide.

7.2.6 La courbe de la tension en fonction de la température de l'éprouvette doit être obtenue en maintenant la vitesse de montée en température entre 0,1 K/min et 10 K/min.

7.2.7 La courbe de la tension en fonction de la température doit être enregistrée en continu pendant la transition et jusqu'à l'état normal, jusqu'à une température inférieure à 25 K. Le courant de l'éprouvette doit ensuite être ramené à zéro et la tension correspondante, U_{20+} , doit être enregistrée à une température inférieure à 25 K.

Equation (2) below shall be used to calculate the resistance (R_m) at room temperature. The resistance (R_1) at 20 °C (293 K) shall be calculated using equation (3) for a wire with Cu stabilizer. The value of R_1 shall be set equal to R_m , without any temperature correction, for wires that do not contain a pure Cu component.

$$R_m = \frac{U_1}{I_1} \quad (2)$$

$$R_1 = \frac{R_m}{[1 + 0,00393 \cdot (T_m - 20)]} \quad (3)$$

7.2 Resistance (R_2) just above the superconducting transition

7.2.1 The specimen, which is still mounted as it was for the room temperature measurement, shall be placed in the cryostat for electrical measurement specified under 5.3. Alternate cryostats that employ a heating element to sweep the specimen temperature are described in clause A.1.

7.2.2 The specimen shall be slowly lowered into the liquid helium bath and cooled to liquid helium temperature over a time period of at least 5 min.

7.2.3 During the acquisition phases of the low-temperature R_2 measurements, a specimen current (I_2) shall be applied so that the current density is in the range of 0,1 A/mm² to 10 A/mm² based on the total wire cross-sectional area. The resulting voltage ($U(V)$), $I_2(A)$ and specimen temperature ($T(K)$) shall be recorded. In order to keep the ratio of signal to noise high enough, the measurement shall be carried out under the condition that the resulting voltage above the superconducting transition exceeds 10 µV. An illustration of the data to be acquired and its analysis is shown in figure 2.

7.2.4 When the specimen is in the superconducting state and the test current (I_2) is applied, two voltages shall be measured nearly simultaneously: U_{0+} (the initial voltage recorded with a positive current polarity) and U_{0rev} (the voltage recorded during a brief change in applied current polarity). A valid R_2 measurement requires that excessive interfering voltages are not present and that the specimen is initially in the superconducting state. Thus, the following condition shall be met for a valid measurement:

$$\frac{|U_{0+} - U_{0rev}|}{\bar{U}_2} < 1 \% \quad (4)$$

where $\bar{U}_2$ is the average voltage for the specimen in the normal state at cryogenic temperature, which is defined in 7.2.10.

7.2.5 The specimen shall be gradually warmed so that it changes to the normal state completely. When the cryostat for the resistance measurement specified under 5.3 is used, this can be achieved simply by raising the specimen to an appropriate position above the liquid helium level.

7.2.6 The specimen voltage versus temperature curve shall be acquired with the rate of temperature increase maintained between 0,1 K/min and 10 K/min.

7.2.7 The voltage versus temperature curve shall continue to be recorded during the transition and into the normal state, up to a temperature somewhat less than 25 K. Then, the specimen current shall be decreased to zero and the corresponding voltage, U_{20+} , shall be recorded at a temperature below 25 K.

7.2.8 L'éprouvette doit ensuite être lentement immergée dans le bain d'hélium liquide et refroidie à la température, à ± 1 K près, à laquelle le signal de tension initial, U_{0+} , a été enregistré. Un courant de l'éprouvette, I_2 , ayant la même intensité mais une polarité négative (polarité inverse par rapport à celle utilisée pour la courbe initiale) doit être appliqué et la tension U_{0-} doit être enregistrée à cette température. Les étapes 7.2.5 à 7.2.7 du mode opératoire doivent être répétées pour enregistrer la courbe du rapport entre la tension et la température avec ce courant négatif. L'enregistrement de U_{20-} doit en outre être effectué à la température, à ± 1 K près, à laquelle U_{20+} a été enregistré.

7.2.9 Chacune des courbes de rapport entre la tension et la température doit être analysée en traçant une droite (a) sur la courbe des données au niveau où la tension augmente fortement avec la température (voir figure 2) et en traçant une seconde droite (b) sur la courbe des données au-dessus de la transition, au niveau où la tension augmente progressivement et presque linéairement par rapport à l'augmentation de température. U_{2+}^* et U_{2-}^* doivent être déterminés à l'intersection de ces deux droites, respectivement pour les courbes de polarité positive et négative.

7.2.10 Les tensions corrigées, U_{2+} et U_{2-} , doivent être calculées au moyen des équations suivantes, $U_{2+} = U_{2+}^* - U_{0+}$ et $U_{2-} = U_{2-}^* - U_{0-}$. La tension moyenne, $\bar{U}_2$, doit être définie comme suit:

$$\bar{U}_2 = \frac{|U_{2+} - U_{2-}|}{2} \quad (5)$$

7.2.11 Une mesure valide de R_2 implique que le changement de tension thermoélectrique soit effectué dans des limites acceptables pendant les mesures de U_{2+} et U_{2-} . La condition suivante

$$\frac{|\Delta_+ - \Delta_-|}{U_2} < 3 \% \quad (6)$$

doit alors être remplie pour une mesure valide, où Δ_+ et Δ_- sont définis comme

$$\Delta_+ = U_{20+} - U_{0+} \text{ et } \Delta_- = U_{20-} - U_{0-}$$

Si la mesure de R_2 ne respecte pas les prescriptions de validité de 7.2.4 et 7.2.11, des mesures pour l'amélioration du matériel ou du mode opératoire expérimental doivent être prises pour respecter ces prescriptions avant de consigner les résultats.

7.2.12 L'équation (7) doit être utilisée pour calculer la résistance mesurée (R_2) immédiatement au-dessus de la transition supraconductrice.

$$R_2 = \frac{\bar{U}_2}{I_2} \quad (7)$$

7.3 Rapport de résistance résiduelle (RRR)

Le RRR doit être calculé au moyen de l'équation (1).

7.2.8 The specimen shall then be slowly lowered into the liquid helium bath and cooled to the same temperature, within ± 1 K, where the initial voltage signal U_{0+} was recorded. A specimen current, I_2 , with the same magnitude but negative polarity (polarity opposite that used for the initial curve) shall be applied and the voltage U_{0-} shall be recorded at this temperature. The procedural steps 7.2.5 to 7.2.7 shall be repeated to record the voltage versus temperature curve with this negative current. In addition, the recording of U_{20-} shall be made at the same temperature, within ± 1 K, where U_{20+} was recorded.

7.2.9 Each of the two voltage versus temperature curves shall be analyzed by drawing a line (a) through the data where the voltage sharply increases with temperature (see Figure 2) and drawing a second line (b) through the data above the transition where the voltage is raised gradually and almost linearly with temperature increase. U_{2+}^* and U_{2-}^* shall be determined at the intersection of these two lines for the positive and negative polarity curves respectively.

7.2.10 The corrected voltages, U_{2+} and U_{2-} , shall be calculated using the following equations, $U_{2+} = U_{2+}^* - U_{0+}$ and $U_{2-} = U_{2-}^* - U_{0-}$. The average voltage, $\bar{U}_2$, shall be defined as

$$\bar{U}_2 = \frac{|U_{2+} - U_{2-}|}{2} \quad (5)$$

7.2.11 A valid R_2 measurement requires that the shift of thermoelectric voltage be within acceptable limits during the measurements of the U_{2+} and U_{2-} . Thus, the following condition

$$\frac{|\Delta_+ - \Delta_-|}{\bar{U}_2} < 3\% \quad (6)$$

shall be met for a valid measurement, where Δ_+ and Δ_- are defined as

$$\Delta_+ = U_{20+} - U_{0+} \text{ and } \Delta_- = U_{20-} - U_{0-}$$

If the R_2 measurement does not meet the validity requirements in 7.2.4 and 7.2.11, then improvement steps either in hardware or experimental operation shall be taken to meet these requirements before results are reported.

7.2.12 Equation (7) shall be used to calculate the measured resistance (R_2) just above the superconducting transition.

$$R_2 = \frac{\bar{U}_2}{I_2} \quad (7)$$

7.3 Residual resistance ratio (RRR)

The RRR shall be calculated using equation (1).

8 Exactitude et stabilité de la méthode d'essai

8.1 Température

La température ambiante doit être déterminée avec une exactitude de $\pm 1^\circ\text{C}$, tout en maintenant l'éprouvette, montée sur l'embase de mesure, à température ambiante.

8.2 Mesure de la tension

Pour la mesure de la résistance, le signal de tension doit être mesuré avec une exactitude de 0,5 %.

8.3 Courant

Le courant d'essai de l'éprouvette doit être déduit de la caractéristique tension-courant d'une résistance étalon au moyen de la technique à quatre bornes.

Une résistance étalon à quatre bornes, d'une exactitude au moins égale à 0,5 %, doit être utilisée pour déterminer le courant de l'éprouvette.

La fluctuation du courant d'essai continu de l'éprouvette, fourni par une alimentation en courant continu, doit être inférieure à 0,5 % pendant chaque mesure de résistance.

9 Rapport d'essai

Le rapport d'essai des résultats des mesures doit comprendre les valeurs du rapport *RRR* explicitement énumérées en 9.2 et les éléments suivants, s'ils sont connus.

9.1 Eprouvette

- a) Fabricant
- b) Classification et/ou symbole
- c) Forme et surface de la section
- d) Dimensions de la surface de section
- e) Nombre de filaments
- f) Diamètre des filaments
- g) Rapport cuivre / non cuivre

9.2 Valeurs *RRR* consignées

Les valeurs de *RRR* obtenues pour l'éprouvette d'essai doivent être consignées.

9.3 Rapport des conditions d'essai

9.3.1 Compte rendu des courants, tensions et autres conditions

- a) Longueur totale de l'éprouvette
- b) Distance entre les prises de réglage de tension (*L*)
- c) Longueur des contacts de courant
- d) Courants de transport (*I*₁ et *I*₂)
- e) Densités de courant (*I*₁ et *I*₂ divisé par la surface totale de la section du fil)

8 Accuracy and stability in the test method

8.1 Temperature

The room temperature shall be determined to an accuracy of $\pm 1^\circ\text{C}$, while holding the specimen, which is mounted on the measuring base plate, at room temperature.

8.2 Voltage measurement

For the resistance measurement, the voltage signal shall be measured to an accuracy of 0,5 %.

8.3 Current

The specimen test current shall be determined from a voltage-current characteristic of a standard resistor by the four-terminal technique.

A four-terminal standard resistor, with an accuracy of at least 0,5 %, shall be used to determine the specimen current.

The fluctuation of d.c. specimen test current, provided by a d.c. power supply, shall be less than 0,5 % during every resistance measurement.

9 Test report

The test report for the result of the measurements shall include *RRR* explicitly listed in 9.2 and also the following items, if known.

9.1 Specimen

- a) Manufacturer
- b) Classification and/or symbol
- c) Shape and area of the cross-section
- d) Dimensions of the cross-sectional area
- e) Number of filaments
- f) Diameter of the filaments
- g) Cu to non-copper ratio.

9.2 Report of *RRR* values

The obtained values of *RRR* of the test specimen shall be reported.

9.3 Report of test conditions

9.3.1 Report of currents, voltages and other conditions

- a) Total length of the specimen
- b) Distance between voltage measurement taps (*L*)
- c) Length of current contacts
- d) Transport currents (*I*₁ and *I*₂)
- e) Current densities (*I*₁ and *I*₂ divided by the total wire cross-sectional area)

- f) Tensions (U_1 , U_{0+} , U_{0rev} , U_{2+}^* , U_{20+} , U_{0-} , U_{2-}^* , U_{20-} et $\bar{U}_2$)
- g) Résistances (R_m , R_1 et R_2)
- h) Matériau, forme et dimensions de l'embase
- i) Méthode d'installation de l'éprouvette sur l'embase
- j) Matériau isolant de l'embase

9.3.2 Compte rendu des conditions pour la mesure de R_1

- a) Réglage de la température et méthode de fixation de l'éprouvette
- b) T_m : Température pour la mesure de R_m

9.3.3 Compte rendu des conditions pour la mesure de R_2

- a) Vitesse de montée en température
- b) Méthode de refroidissement et de chauffage

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61788-11:2003

Without watermark

- f) Voltages (U_1 , U_{0+} , U_{0rev} , U_{2+}^* , U_{20+} , U_{0-} , U_{2-}^* , U_{20-} , and $\overline{U}_2$)
- g) Resistances (R_m , R_1 , and R_2)
- h) Material, shape, and dimensions of the base plate
- i) Installation method of the specimen in the base plate
- j) Insulating material of the base plate

9.3.2 Report of conditions for the measurement of R_1

- a) Temperature setting and holding method of the specimen
- b) T_m : Temperature for measurement of R_m

9.3.3 Report of conditions for the measurement of R_2

- a) Rate of increasing temperature
- b) Method of cooling down and heating up

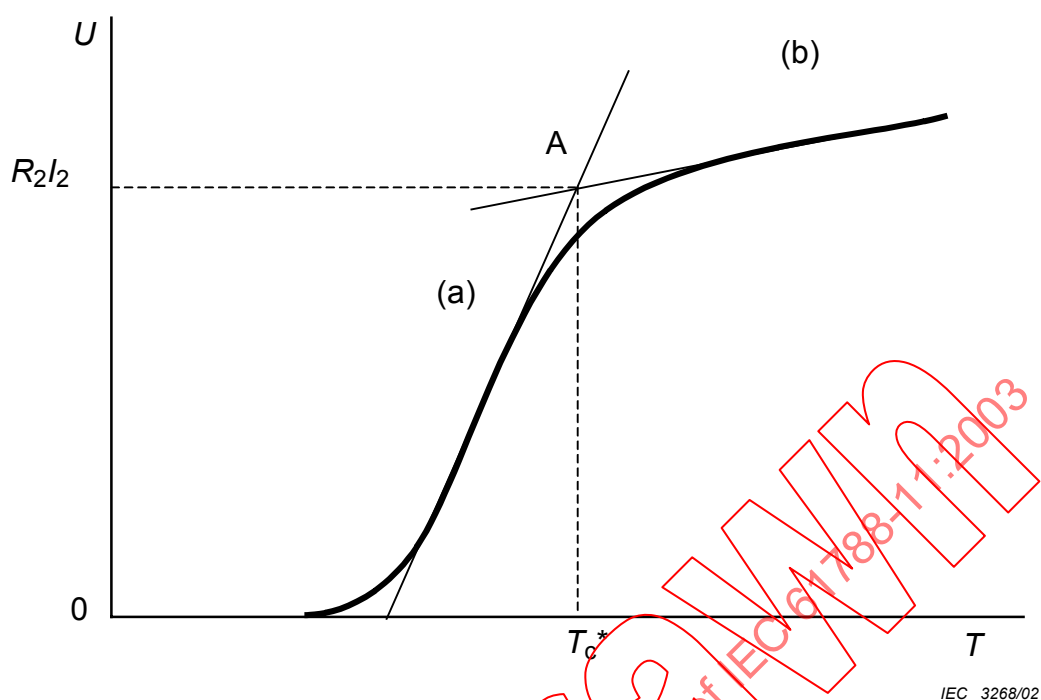
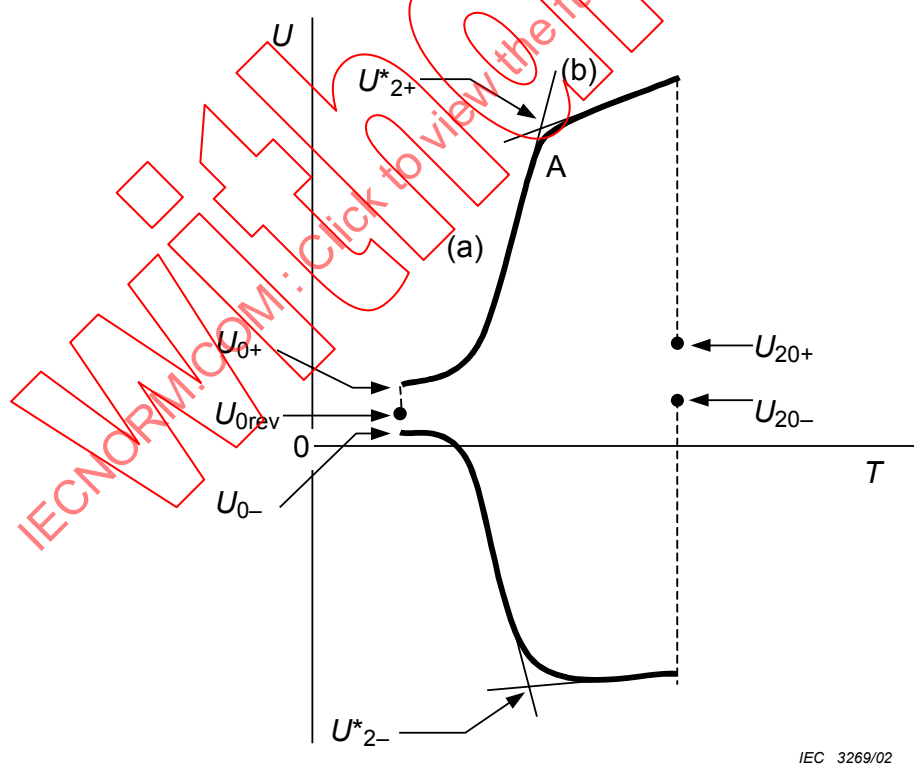


Figure 1 – Rapport entre la température et la tension



NOTE Les tensions indicées + et – sont celles qui sont obtenues à la première et à la seconde mesure avec des courants positif et négatif. U_{20+} et U_{20-} sont les tensions obtenues avec un courant zéro. Pour des raisons de clarté, U_{0rev} et U_{0-} ne coïncident pas.

Figure 2 – Courbes de la tension en fonction de la température et définition de chaque tension

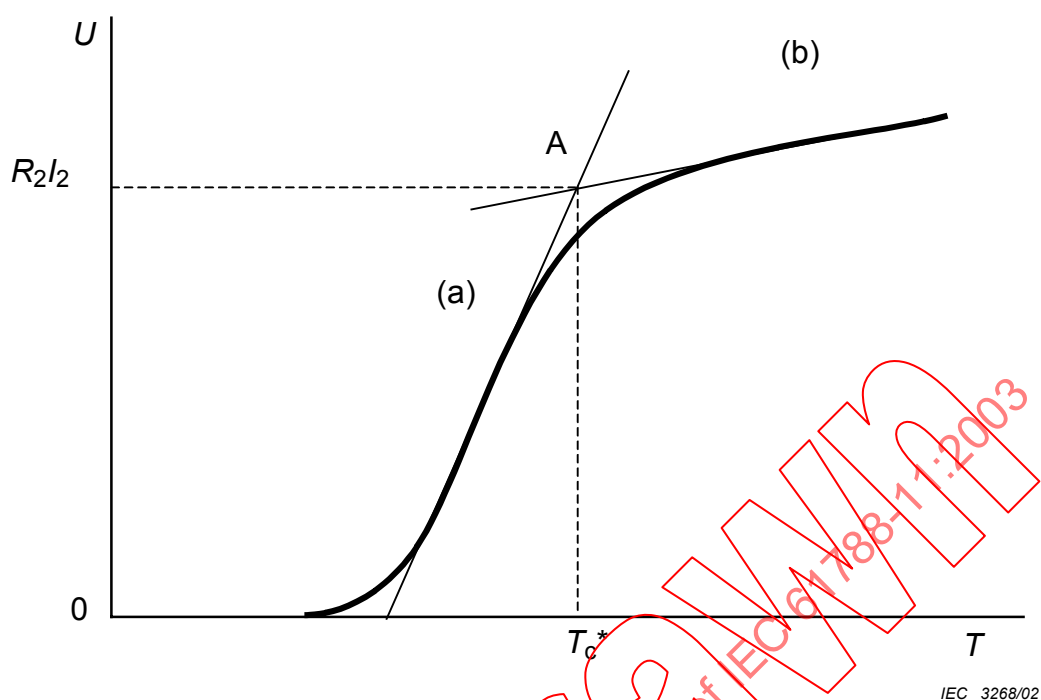
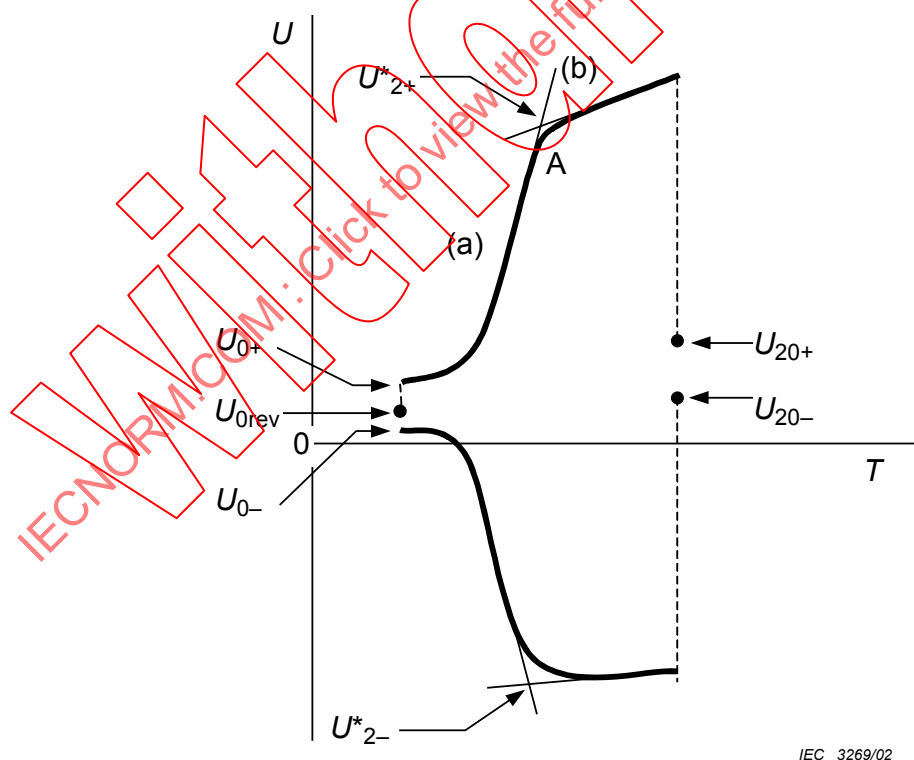


Figure 1 – Relationship between temperature and voltage



NOTE Voltages with subscripts + and – are those obtained in the first and second measurements under positive and negative currents, respectively, and U_{20+} and U_{20-} are those obtained at zero current. For clarity, U_{0rev} is not shown coincident with U_{0-} .

Figure 2 – Voltage versus temperature curves and definition of each voltage

Annexe A (informative)

Informations supplémentaires concernant la mesure du RRR

A.1 Méthodes de mesure de la résistance (R_2) immédiatement supérieure à la transition supraconductrice

Les méthodes suivantes sont également recommandées pour augmenter la température au-dessus de la valeur de transition supraconductrice de l'éprouvette. Pour ces méthodes, il convient d'appliquer une vitesse de montée en température de l'ensemble de l'éprouvette comprise entre 0,1 K/min et 10 K/min. Pour ralentir la vitesse de montée en température et éviter un gradient de température élevé, il convient de choisir avec soin la puissance et la capacité thermiques (éprouvette avec embase de mesure), ainsi que la distance entre le réchauffeur et l'éprouvette.

a) Méthode du réchauffeur

L'éprouvette peut être chauffée au-dessus de la valeur de transition supraconductrice par un réchauffeur monté dans l'embase de mesure après avoir retiré l'éprouvette du bain d'hélium liquide dans le cryostat.

b) Méthodes adiabatiques

1) Méthode adiabatique

Dans cette méthode, le cryostat maintient une chambre qui contient l'éprouvette, un support d'échantillon, un réchauffeur, etc. Avant que la chambre ne soit immergée dans le bain d'hélium liquide, on expulse l'air de la chambre et on la remplit de gaz hélium. Ensuite, la chambre est immergée dans le bain d'hélium liquide et l'éprouvette sera refroidie à une température inférieure ou égale à 5 K. Après l'expulsion du gaz hélium, l'éprouvette peut être chauffée au-dessus de la valeur de transition supraconductrice sous condition adiabatique.

2) Méthode quasi adiabatique

Dans cette méthode, le cryostat maintient l'éprouvette à une certaine distance au-dessus du bain d'hélium liquide tout au long de la mesure à température cryogénique. Une pièce d'ancrage thermique allant de l'embase de mesure au bain d'hélium liquide permet de refroidir l'éprouvette à une température inférieure ou égale à 5 K. L'éprouvette peut être chauffée au-dessus de la valeur de transition supraconductrice par un réchauffeur situé dans l'embase de mesure sous condition quasi adiabatique.

c) Méthode du réfrigérateur

Dans cette méthode, un dispositif électromécanique (réfrigérateur) est utilisé pour refroidir l'éprouvette, qui est montée sur une embase de mesure, à une température inférieure ou égale à 5 K. L'éprouvette peut être chauffée au-dessus de la valeur de transition supraconductrice au moyen d'un réchauffeur ou en contrôlant la puissance du réfrigérateur.

A.2 Autre méthode de mesure de R_2

Les méthodes facultatives suivantes peuvent être utilisées pour obtenir R_2 .

a) Méthode par température fixe

Dans cette méthode, R_2 est directement déterminé à une température fixe immédiatement supérieure à la température de transition. Elle est utilisée à la place de la méthode décrite en 7.2. Dans ce cas, il est souhaitable de vérifier que l'ensemble de l'éprouvette présente une température uniforme et fixe. Il convient de noter dans le rapport d'essai la température fixe adoptée dans la méthode. Il convient également d'enregistrer U_{0+} et U_{0-} ,