

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**61788-10**

Deuxième édition  
Second edition  
2006-08

---

---

**Supraconductivité –**

**Partie 10:**

**Mesure de la température critique –  
Température critique des composites  
supraconducteurs par une méthode  
par résistance**

**Superconductivity –**

**Part 10:**

**Critical temperature measurement –  
Critical temperature of composite  
superconductors by a resistance method**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 61788-10:2006

## 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](http://www.iec.ch))
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI ([www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) 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/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) 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](mailto: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](http://www.iec.ch))
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site ([www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) 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/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) 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](mailto:custserv@iec.ch)  
Tel: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD

CEI  
IEC

61788-10

Deuxième édition  
Second edition  
2006-08

---

---

**Supraconductivité –**

**Partie 10:**

**Mesure de la température critique –  
Température critique des composites  
supraconducteurs par une méthode  
par résistance**

**Superconductivity –**

**Part 10:**

**Critical temperature measurement –  
Critical temperature of composite  
superconductors by a resistance method**

© IEC 2006 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

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



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**N**

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

## SOMMAIRE

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                           | 4  |
| INTRODUCTION.....                                                                                            | 8  |
| 1 Domaine d'application .....                                                                                | 10 |
| 2 Références normatives.....                                                                                 | 10 |
| 3 Termes et définitions .....                                                                                | 10 |
| 4 Détermination de la température critique .....                                                             | 10 |
| 5 Exigences .....                                                                                            | 12 |
| 6 Appareillage .....                                                                                         | 12 |
| 7 Procédure de mesure .....                                                                                  | 14 |
| 8 Détermination de $T_c$ .....                                                                               | 18 |
| 9 Exactitude et stabilité .....                                                                              | 18 |
| 10 Rapport d'essai .....                                                                                     | 18 |
| Annexe A (informative) Informations supplémentaires relatives à la mesure de la température critique.....    | 24 |
| Figure 1 – Détermination de la température critique ( $T_c$ ) .....                                          | 20 |
| Figure 2 – Courbes types de tension en fonction de la température pour le premier et le second passage ..... | 22 |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61788-10:2006

## CONTENTS

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                                      | 5  |
| INTRODUCTION.....                                                                                  | 9  |
| 1 Scope.....                                                                                       | 11 |
| 2 Normative references .....                                                                       | 11 |
| 3 Terms and definitions .....                                                                      | 11 |
| 4 Determination of critical temperature .....                                                      | 11 |
| 5 Requirements .....                                                                               | 13 |
| 6 Apparatus.....                                                                                   | 13 |
| 7 Measurement procedure .....                                                                      | 15 |
| 8 $T_c$ determination.....                                                                         | 19 |
| 9 Accuracy and stability.....                                                                      | 19 |
| 10 Test report.....                                                                                | 19 |
| Annex A (informative) Additional information relating to measurement of critical temperature ..... | 25 |
| Figure 1 – Determination of critical temperature ( $T_c$ ).....                                    | 21 |
| Figure 2 – Typical voltage versus temperature curves for first and second runs .....               | 23 |

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## SUPRACONDUCTIVITÉ –

### Partie 10: Mesure de la température critique – Température critique des composites supraconducteurs par une méthode par résistance

#### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61788-10 a été établie par le comité d'études 90 de la CEI: Supraconductivité.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2002. Cette édition constitue une révision technique. Les principaux changements introduits par cette nouvelle édition consistent dans le fait qu'un plus grand nombre de composites supraconducteurs sont couverts par cette norme, i.e. les composites supraconducteurs Cu/Nb<sub>3</sub>Al et les MgB<sub>2</sub> à gaine métallique, et les conducteurs avec couche d'Yttrium ou de terre rare ont été ajoutés. De plus, des modifications techniques ont été apportées aux dimensions de l'embase et à la définition de la contrainte en flexion.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SUPERCONDUCTIVITY –****Part 10: Critical temperature measurement –  
Critical temperature of composite superconductors  
by a resistance method**

## FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61788-10 has been prepared by IEC technical committee 90: Superconductivity.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2002. It constitutes a technical revision. Modifications made to the second edition mostly increase covered composite superconductors in this standard, i.e. Cu/Nb<sub>3</sub>Al and metal-sheathed MgB<sub>2</sub> composite superconductors and Yttrium- or rare-earth-based coated conductors are added. Furthermore, examples of technical change made are the base plate dimension and definition of the bending strain.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| FDIS        | Rapport de vote |
|-------------|-----------------|
| 90/191/FDIS | 90/194/RVD      |

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

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61788-10:2006

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

| FDIS        | Report on voting |
|-------------|------------------|
| 90/191/FDIS | 90/194/RVD       |

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

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61788-10:2006

## INTRODUCTION

Outre le courant critique et les champs critiques, la température critique est une caractéristique importante et fondamentale des matériaux supraconducteurs. De même, la température critique est importante pour les applications pratiques des supraconducteurs dans la mesure où, si elle est supérieure, la marge de température est plus large et la consommation d'énergie de refroidissement est plus faible. Il est ainsi urgent de disposer d'une méthode normalisée de mesure de la température critique, ce qui présente des avantages certains pour les utilisateurs de conducteurs.

Il existe nombre de méthodes d'essai permettant de mesurer la température critique des supraconducteurs: la méthode par résistance, les méthodes de mesure de la susceptibilité en courant continu qui utilisent les magnétomètres à SQUID et VSM (à échantillon vibrant), les méthodes de mesure de la susceptibilité en courant alternatif ainsi que les méthodes de mesure de la chaleur massique, etc.

Il est généralement admis que les méthodes d'essai, autres que la méthode par résistance, sont plus sensibles et apportent plus d'informations que la méthode d'essai par résistance; par ailleurs, elles conviennent mieux aux matériaux non homogènes, aux films épais et minces ainsi qu'aux matériaux en vrac et aux poudres, pour lesquels la méthode par résistance est difficile à mettre en oeuvre.

La méthode de mesure par la résistance est néanmoins utilisée dans la présente Norme internationale. Ceci parce qu'elle est plus simple, plus fiable et applicable à la plupart des composites supraconducteurs pour utilisation industrielle.

Le cadre général de la présente norme a été principalement élaboré par la Japan Fine Ceramics Association (Association japonaise des fabricants de céramique de pointe), organisme membre du TWA16 (matériaux supraconducteurs) du VAMAS (Versailles Project on Advanced Materials and Standards). Les révisions structurelles de ce cadre général ont principalement été entreprises par le Centre des Matériaux Nouveaux (New Materials Center) sous la supervision du Comité National Japonais et du VAMAS.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61788-10:2006

## INTRODUCTION

In addition to critical current and critical field, critical temperature is an important, basic property of materials that exhibit superconductivity. Also, critical temperature is practically important in applications of superconductors, since the higher the critical temperature is, the larger is temperature margin and the lower the cooling power consumption. Thus, standardization of the measurement method of critical temperature is quite beneficial to conductor users and is urgently required.

There are a lot of test methods to measure the critical temperature of superconductors, including the resistance method, d.c. susceptibility methods using a SQUID magnetometer and VSM (vibrating-sample magnetometer), a.c. susceptibility methods, specific heat methods etc.

Test methods, other than the resistance method, may generally be more sensitive and informative compared to the resistance method and may be more appropriate for non-homogeneous materials or for thick films, thin films, bulks and powders, for which the resistance method is difficult to apply.

In this International Standard, however, the resistance measurement method is employed. This is because the resistance method is simpler and more reliable and can be applied to most of the composite superconductors in industrial use.

The outline of this standard was basically prepared by the Japan Fine Ceramics Association, a member institution of VAMAS (Versailles Project on Advanced Materials and Standards), TWA16 (Superconducting materials). The extensive revisions of the outline were primarily made by the New Materials Center supervised by the Japan National Committee and VAMAS.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61788-10:2006

## SUPRACONDUCTIVITÉ –

### Partie 10: Mesure de la température critique – Température critique des composites supraconducteurs par une méthode par résistance

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61788 décrit une méthode d'essai permettant de déterminer par résistivité la température critique des composites supraconducteurs pour utilisation industrielle.

La présente norme couvre des composites supraconducteurs tels que les Cu/Nb-Ti, les Cu/Cu-Ni/Nb-Ti, les Cu-Ni/Nb-Ti, les Cu/Nb<sub>3</sub>Sn, les Cu/Nb<sub>3</sub>Al, les MgB<sub>2</sub> à gaine métallique, les oxydes supraconducteurs à base Bi stabilisés au métal, ainsi que les conducteurs avec couche d'Yttrium ou de terre rare qui ont une structure monolithique et se présentent sous la forme de fils ronds ou de rubans plats ou carrés constitués de supraconducteurs monofilamentaires ou multifilamentaires.

#### 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

CEI 61788-4, *Supraconductivité – Partie 4: Mesure des taux de résistance résiduelle – Taux de résistance résiduelle des composites supraconducteurs de Nb-Ti (disponible en anglais seulement)*

#### 3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente norme, les définitions données dans la CEI 60050-815 ainsi que la suivante s'appliquent.

##### 3.1

##### **température critique (d'un supraconducteur)**

température en dessous de laquelle un supraconducteur présente des caractéristiques de supraconductivité à des champs magnétiques nuls et sans courant de transport

#### 4 Détermination de la température critique

Dans la présente norme, la température critique ( $T_c$ ) est déterminée comme étant le point médian de transition de la résistivité de l'état normal à l'état supraconducteur, à une valeur minimale de courant de transport continu (courant de l'éprouvette) et sans aucun champ magnétique autre que le champ géomagnétique.

## SUPERCONDUCTIVITY –

### Part 10: Critical temperature measurement – Critical temperature of composite superconductors by a resistance method

#### 1 Scope

This part of IEC 61788 specifies a test method for the resistive determination of the critical temperature of composite superconductors for industrial use.

The composite superconductors covered in this standard include Cu/Nb-Ti, Cu/Cu-Ni/Nb-Ti and Cu-Ni/Nb-Ti composite superconductors, Cu/Nb<sub>3</sub>Sn and Cu/Nb<sub>3</sub>Al composite superconductors, and metal-sheathed MgB<sub>2</sub> composite superconductors, and metal-stabilized Bi-system oxide superconductors and Yttrium- or rare-earth-based coated conductors that have a monolithic structure and a shape of round, flat or square wire containing mono- or multi-cores of superconductors.

#### 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*

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

#### 3 Terms and definitions

For the purposes of this standard, the definitions given in IEC 60050-815 and the following definition apply.

##### 3.1

##### **critical temperature (of a superconductor)**

temperature below which a superconductor exhibits superconductivity at zero magnetic field strength and zero electric current

#### 4 Determination of critical temperature

In this standard, the critical temperature ( $T_c$ ) is determined as the mid-point of the resistive transition from the normal state to the superconducting state with a minimum of d.c. transport current (specimen current) and at no applied magnetic field strength except for geomagnetic field.

La Figure 1 illustre schématiquement la courbe de la résistance en fonction de la température d'un composite supraconducteur. Tracer une tangente à la hauteur maximale (i.e. 100%) de la partie de la courbe se trouvant dans la région d'état normal. La valeur de température à l'intersection de la courbe de transition et d'une ligne à 50 % de la hauteur de la tangente est exprimée par  $T_c$ .

Tracer également deux lignes à 10 % et à 90 % de la hauteur de la tangente. Les températures aux points d'intersection des deux lignes avec la courbe de transition, respectivement exprimées par  $T_{c0,1}$  et  $T_{c0,9}$ , sont déterminées comme illustré à la Figure 1. La largeur de transition  $\Delta T_c$  est définie par l'expression  $T_{c0,9} - T_{c0,1}$ .

NOTE Il existe d'autres définitions possibles de la température critique non traitées dans la présente norme (voir Article A.1).

## 5 Exigences

La résistance doit être mesurée en utilisant la technique des quatre sondes.

$\Delta T_c$  doit être inférieure à 3 % de  $T_c$ . Si  $\Delta T_c$  dépasse 3 % de  $T_c$ , se reporter à l'Article A.1.

La précision recherchée pour cette méthode, c'est-à-dire le coefficient de variation (COV) dans un essai comparatif, doit être inférieure ou égale à 3 %.

Il incombe à l'utilisateur de la présente norme de consulter et d'établir les procédures d'hygiène et de sécurité appropriées et de considérer l'applicabilité des limites réglementaires correspondantes avant utilisation. Des instructions de sécurité spécifiques sont données ci-après.

Ce type de mesure présente des dangers. Un contact direct de la peau avec les canalisations de transfert de liquide froid, les vases de Dewar ou les différents organes de l'appareillage peuvent entraîner une congélation immédiate, comme un contact direct avec du fluide cryogénique en cas de déversement. Il est donc impératif d'observer les mesures de sécurité applicables à la manipulation de fluides cryogéniques.

## 6 Appareillage

L'appareillage est constitué d'une embase pour montage de l'éprouvette, d'une structure supportant l'éprouvette, d'un réservoir de fluide cryogénique, d'un système de contrôle/mesure de la température et d'un système de mesure de la résistance.

L'éprouvette doit être montée sur une embase de conception appropriée. Le matériau utilisé pour l'embase doit être non ferromagnétique, par exemple du cuivre, de l'aluminium, de l'argent ou un métal similaire dont la conductivité thermique est supérieure ou égale à 100 W/(m·deg.) à 4,2 K. La surface de l'embase doit être couverte d'une couche de matériau isolant (bande ou couche de polyester, de polytétrafluoroéthylène, etc.) d'une épaisseur maximale de 0,1 mm.

Les dimensions de l'embase doivent être, pour la longueur, une longueur égale à celle de l'échantillon augmentée de 5 mm au moins, et, pour la largeur, au moins le double de la largeur de l'échantillon.

L'éprouvette montée sur l'embase est introduite avec son support dans un cryostat rempli d'une quantité appropriée de fluide cryogénique. L'éprouvette est placée au-dessus du niveau du fluide cryogénique de façon que sa température soit contrôlée par l'équilibre entre le refroidissement du gaz cryogénique évaporé et la chaleur en provenance de l'extérieur du cryostat. D'autres méthodes de contrôle de la température, décrites à l'Article A.2, peuvent être utilisées.

Figure 1 shows schematically a curve of resistance versus temperature for a composite superconductor. Draw a tangential line with 100 % height to the part of the curve in the normal state region. The value of the temperature at the intersection of the transition curve and a line with 50 % of the height of the tangential line is  $T_c$ .

Draw also two lines with heights equalling 10 % and 90 % of the tangential line. The temperatures at the respective intersections with the transition curve, denoted by  $T_{c0,1}$  and  $T_{c0,9}$ , respectively, are determined as shown in Figure 1. The transition width,  $\Delta T_c$  is defined as  $T_{c0,9} - T_{c0,1}$ .

NOTE There are other possible definitions of critical temperature, which are not covered in this standard (see Clause A.1).

## 5 Requirements

The resistance measurement shall be performed with the four-terminal technique.

$\Delta T_c$  shall be less than 3 % of  $T_c$ . In the case that  $\Delta T_c$  exceeds 3 % of  $T_c$ , see Clause A.1.

The target precision of this method, the coefficient of variation (COV) in an inter-comparison test, shall be 3 % or less.

It is the responsibility of the user of this standard to consult and establish appropriate safety and health practices and to determine the applicability of regulatory limitations prior to use. Specific precautionary statements are given below.

Hazards exist in this type of measurement. Direct contact of skin with cold liquid transfer lines, storage dewars or apparatus components can cause immediate freezing, as can direct contact with a spilled cryogen. It is imperative that safety precautions for handling cryogenic liquids be observed.

## 6 Apparatus

The apparatus consists of a base plate for specimen mounting, a specimen support structure, a liquid cryogen reservoir, a temperature control/measurement system and a resistance measurement system.

The specimen shall be mounted on a properly designed base plate. The material used for the base plate shall be a non-ferromagnetic material, for instance copper, aluminum, silver or the like, whose thermal conductivity is equal to or better than 100 W/(m·deg.) at 4,2 K. The surface of the plate shall be covered with an insulating layer (tape or a layer made of polyester, poly tetra-fluoro-ethylene, etc.) whose thickness is 0,1 mm or less.

The base plate dimension shall be the sample length plus at least 5 mm long in length and more than twice as wide as the sample width in width.

The specimen mounted on the base plate is inserted with a specimen support structure into a cryostat filled with an appropriate amount of liquid cryogen. The specimen is placed above the level of the liquid cryogen where balancing the cooling of evaporated cryogen gas with the heat coming from outside the cryostat controls its temperature. Alternative temperature control methods, described in clause A.2, may be employed.

Le support de l'éprouvette doit être réalisé de façon qu'un courant puisse circuler dans l'éprouvette et qu'il soit possible de mesurer la tension résultante générée le long de l'éprouvette.

Pour le système de refroidissement mentionné ci-dessus, le support de l'éprouvette doit permettre de monter et de descendre l'éprouvette de manière à l'introduire et à la sortir du bain de fluide cryogénique.

Le fluide cryogénique doit être choisi parmi les produits tels que l'hélium liquide, l'hydrogène liquide, le néon liquide et l'azote liquide. Le point d'ébullition du fluide cryogénique choisi doit cependant être inférieur de 10 % au moins à la valeur  $T_c$  de l'éprouvette.

Dans le cas d'une mesure inférieure à 20 K, on doit utiliser une pièce d'ancrage thermique permettant de maintenir une température uniforme. Le fluide cryogénique peut être utilisé comme pièce d'ancrage thermique. La pièce d'ancrage thermique doit être reliée à l'embase au moyen d'un matériau ayant une bonne conductivité thermique.

## 7 Procédure de mesure

### 7.1 Montage de l'éprouvette

L'éprouvette d'essai doit être droite, d'une longueur égale ou supérieure à 10 mm, et de section uniforme. La distance entre deux prises de tension doit être d'au moins 5 mm et doit excéder la dimension de la section la plus longue.

Il convient que les prises de courant et de tension aient une faible résistance, en utilisant par exemple des fils de cuivre et des contacts soudés de manière à éviter le bruit et les fluctuations de tension. L'éprouvette doit être munie d'instruments disposant de contacts de mesure de courant à proximité de chaque extrémité ainsi que de deux prises de tension sur une partie centrale de l'éprouvette. Pour la mesure, l'éprouvette doit être montée sur l'embase.

La pose de l'instrumentation et l'installation de l'éprouvette sur l'embase doivent être réalisées avec soin de manière à éviter l'application de toute charge excessive sur l'éprouvette car cela peut donner lieu à des contraintes indésirables en flexion ou en traction. La contrainte appliquée doit être inférieure ou égale à 0,1 %. Dans certains cas, une légère flexion ou déformation de l'éprouvette est admise pendant le traitement thermique de réaction. Ne pas redresser l'éprouvette si la contrainte résultante est supérieure à 0,1 %. Ici, la contrainte de flexion/redressement ( $\varepsilon_b$ ) est définie par  $\varepsilon_b = 100 \times (r/R)$  (%), où  $r$  est égale à la moitié de l'épaisseur totale de l'échantillon.  $R$  est le rayon de flexion sur l'embase.

On doit utiliser au moins deux capteurs de température étalonnés pour mesurer la température cryogénique. Un de ces capteurs doit être placé à proximité de l'éprouvette et l'autre à proximité de l'embase. Les capteurs de température doivent être du type à résistance: Pt, Pt-Rh, Pt-Co, Rh-Fe, Ge, C, C-verre et oxynitride de métal ou du type à thermocouple: Au-Fe/Ni-Cr, Au-Fe/Ag-Au, et Au-Fe/Cu.

### 7.2 Mesure

#### 7.2.1 Courbes de tension en fonction de la température

La Figure 2 montre de façon schématique deux courbes de tension en fonction de la température et les tensions initiales  $U_{0+}$  et  $U_{0-}$  aux températures initiales pour le premier et le second passage ( $U_+-T$ ) et ( $U_--T$ ) respectivement.

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.

For the cooling system mentioned above, the specimen support structure shall allow the specimen to be lowered and raised into and out of the liquid cryogen bath.

The cryogen shall be selected from liquid helium, liquid hydrogen, liquid neon and liquid nitrogen. The boiling point of the cryogen selected, however, shall be at least 10 % lower than  $T_c$  of the specimen.

A thermal anchor to maintain a uniform temperature shall be used in the case of the measurement below 20 K. The cryogen can be used as the thermal anchor. The thermal anchor shall be connected to the base plate with a material with good thermal conductivity.

## 7 Measurement procedure

### 7.1 Mounting of specimen

The test specimen shall be a straight length, 10 mm or longer, with a uniform cross section. The distance between two voltage taps shall be 5 mm or longer and shall exceed the longest cross-sectional dimension.

Current and voltage taps should have a low resistance, e.g. by using copper wires and solder contacts in order to avoid noise and voltage fluctuations. The specimen shall be instrumented with current contacts near each end of the specimen and a pair of voltage taps over a central portion of the specimen. The specimen shall be mounted on the base plate for the measurement.

Special care shall be taken during instrumentation and installation of the specimen on the base plate to ensure that no excessive force is applied to the specimen, since this may cause undesired bending strain or tensile strain. The applied strain shall be kept within 0,1 %. In some cases, the specimen might be slightly bent or deformed during the reaction heat treatment. Do not straighten the specimen in the case that the resulting strain exceeds 0,1 %. Here, the bending/unbending strain ( $\varepsilon_b$ ) is defined as  $\varepsilon_b = 100 \times (r/R)$  (%), where  $r$  is a half of the overall thickness or diameter for the specimen.  $R$  is the bending radius on the base plate.

At least two calibrated temperature sensors for measuring cryogenic temperature shall be used. One shall be placed near the specimen and the other shall be placed near the base plate. Temperature sensors shall be selected from the resistance type: Pt, Pt-Rh, Pt-Co, Rh-Fe, Ge, C, C-glass and metal-oxynitride or the thermo-couple type: Au-Fe/Ni-Cr, Au-Fe/Ag-Au and Au-Fe/Cu.

### 7.2 Measurement

#### 7.2.1 Voltage versus temperature curves

Figure 2 shows schematically two curves of voltage versus temperature and the initial voltages  $U_{0+}$  and  $U_{0-}$  at the starting temperatures for the first ( $U_+-T$ ) and the second ( $U_--T$ ) runs, respectively

### 7.2.2 Premier passage

L'éprouvette doit être descendue lentement dans le bain de fluide cryogénique et laissée à refroidir à la température du fluide cryogénique pendant au moins 5 min.

Un courant d'éprouvette de polarité positive doit être appliqué, et la tension résultante  $U_+$  (V) entre les prises de tension et les températures  $T$  (K) et  $T_b$  (K) des capteurs à proximité de l'éprouvette et de l'embase doit être enregistrée.

Les valeurs de courant de l'éprouvette doivent être déterminées dans des conditions telles que la tension résultante juste au-dessus de la transition supraconductrice ne dépasse pas 5 mV/m pour éviter tout échauffement excessif par effet joule, mais soit supérieure à 2 mV/m pour obtenir une tension normale suffisamment élevée pour exclure la transition.

Lorsque l'éprouvette est en état supraconducteur, la tension initiale  $U_{0+}$  doit être mesurée.

L'éprouvette doit être progressivement réchauffée. Cela peut être obtenu tout simplement en remontant l'éprouvette en une position appropriée au-dessus du niveau du fluide cryogénique.

On doit continuer à enregistrer la courbe  $U_+-T$  au moins jusqu'à une température de 10 % supérieure à  $T_c$  pour les oxydes supraconducteurs à base Bi et Yttrium/terre rare et au moins jusqu'à une température de 20 % supérieure à  $T_c$  pour les composites supraconducteurs Nb-Ti, Nb<sub>3</sub>Sn, Nb<sub>3</sub>Al et MgB<sub>2</sub>. Dans la plage de températures de  $\pm 10$  % autour de la transition, une détermination valable de la température de l'éprouvette nécessite une différence de température mesurée d'environ 3 % entre les deux capteurs de température. C'est-à-dire que:

$$|T - T_b| / \bar{T} \leq 3 \% \quad (1)$$

où  $\bar{T}$  est définie comme  $\bar{T} = (T + T_b) / 2$ . Si la condition ci-dessus est remplie,  $T$  doit être utilisée comme température de l'éprouvette. Si les différences de température sont significatives, il est admis d'utiliser un écran thermique relié à l'embase et couvrant l'éprouvette de façon à réduire efficacement ces différences.

Une mesure valable de la courbe  $U_+-T$  nécessite également que la courbe soit linéaire au-dessus de la transition supraconductrice, ce qui indique que le dégagement de chaleur n'est pas excessif.

### 7.2.3 Second passage

L'éprouvette doit être redescendue dans le bain de fluide cryogénique et laissée refroidir à une température égale, à  $\pm 1$  K près, à celle à laquelle la tension initiale  $U_{0+}$  a été enregistrée.

Le courant de l'éprouvette de même grandeur mais de polarité négative (polarité opposée à celle qui a été utilisée lors du premier passage) doit être appliqué; la tension résultante  $U_{0-}$  doit être enregistrée à cette température.

Le mode opératoire décrit aux quatrième et cinquième alinéas du paragraphe 7.2.2 ci-dessus doit être recommencé pour enregistrer la courbe  $U_- - T$  obtenue en utilisant ce courant de polarité négative.

Un ordinateur peut être utilisé pour contrôler le sens du courant et le réchauffage de l'éprouvette ainsi que pour mesurer la courbe  $U-T$ . Une seconde exécution peut être omise dans ce cas. Des modifications du sens du courant dues à des inversions périodiques du courant ou à des cycles de commutation périodiques sont utilisées pour corriger les tensions de décalage afin que les mesures puissent être effectuées au cours d'un cycle unique de changement de la température de l'éprouvette. Cette méthode est utile lorsque la transition à l'état normal n'est pas trop rapide. Il convient de vérifier l'effet de la tension thermoélectrique.

### 7.2.2 First run

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

A specimen current with a positive polarity shall be applied and the resulting voltage  $U_+$  (V) between the voltage taps and temperatures  $T$  (K) and  $T_b$  (K) from the sensors near the specimen and the base plate, respectively, shall be recorded.

The specimen current values shall be determined under the condition that the resulting voltage just above the superconducting transition does not exceed 5 mV/m, to avoid an excess joule heat, but exceeds 2 mV/m to obtain enough normal voltage to discriminate the transition.

When the specimen is in the superconducting state, the initial voltage  $U_{0+}$  shall be measured.

The specimen shall be gradually warmed. This can be simply achieved by raising the specimen to an appropriate position above the liquid cryogen level.

The  $U_+-T$  curve shall continue to be recorded at least up to a temperature that is 10 % above  $T_c$  for the Bi-system and Yttrium-/rear-earth based oxide composite superconductors and 20 % above  $T_c$  for Nb-Ti, Nb<sub>3</sub>Sn, Nb<sub>3</sub>Al and MgB<sub>2</sub> composite superconductors. In the temperature range of  $\pm 10$  % around the transition, a valid determination of specimen temperature requires that the measured temperature difference between the two temperature sensors shall be within 3 %. That is:

$$|T - T_b| / \bar{T} \leq 3 \% \quad (1)$$

where  $\bar{T}$  is defined as  $\bar{T} = (T + T_b) / 2$ . If the above condition is satisfied,  $T$  shall be used as the specimen temperature. If there are significant temperature differences, a radiation shield that is connected to the base plate and covers the specimen may be effective to reduce these differences.

A valid  $U_+-T$  curve measurement also requires that the curve shall be linear above the superconducting transition, which is an indication that the heat generation is not excessive.

### 7.2.3 Second run

The specimen shall then be slowly lowered into the liquid cryogen bath again and cooled to the same temperature, within  $\pm 1$  K, where the initial voltage  $U_{0+}$  was recorded.

The specimen current, with the same magnitude but negative polarity (polarity opposite that used in the first run) shall be applied and the resulting voltage  $U_{0-}$  shall be recorded at this temperature.

The procedure described in the fourth and fifth paragraphs of 7.2.2 shall be repeated to record the  $U_-T$  curve with this negative current.

A computer can be used to control the current direction and warming of the specimen and to measure the  $U-T$  curve. The second run can be skipped in this case. Changes in current direction by periodic current reversals or periodic current on and off cycles are used to correct for off-set voltages in order that the measurements can be made during one cycle of changing the specimen temperature. This method is useful when the transition to the normal state is not too fast. The effect of thermoelectric voltage should be checked.

## 8 Détermination de $T_c$

La température critique  $T_{c+}$  du premier passage doit être déterminée à partir de la courbe  $(U_+ - U_{0+})-T$  en utilisant la méthode illustrée par la Figure 1. De la même manière, la température critique  $T_{c-}$  du second passage doit être déterminée à partir de la courbe  $(U_- - U_{0-})-T$ .

Ainsi, la température critique  $T_c$  doit être déterminée par la formule

$$T_c = (T_{c+} + T_{c-}) / 2 \quad (2)$$

Pour que la mesure soit valable, la condition suivante doit être remplie.

$$|T_{c+} - T_{c-}| / T_c \leq 3 \% \quad (3)$$

$T_{c0,1}$  et  $T_{c0,9}$  doivent également être déterminées en utilisant la même méthode.

## 9 Exactitude et stabilité

### 9.1 Température

La température doit être déterminée avec une précision de  $\pm 0,1$  K.

### 9.2 Tension de l'éprouvette

La tension doit être mesurée avec une précision de 0,5 %.

### 9.3 Courant de l'éprouvette

Le courant de l'éprouvette doit être déterminé à partir d'une caractéristique tension-courant d'une résistance étalon à quatre sondes ayant une précision d'au moins 0,5 %.

La fluctuation du courant de l'éprouvette, fourni par une alimentation en courant continu, doit être inférieure à 0,5 %.

## 10 Rapport d'essai

Le rapport d'essai pour le résultat des mesures doit comprendre les valeurs  $T_c$  explicitement énumérées en 10.3 ainsi que les éléments suivants s'ils sont connus.

### 10.1 Éprouvette

- a) Constructeur
- b) Matériau supraconducteur et sa composition
- c) Forme et dimensions de la section  
(Matériaux de la couche et leurs dimensions pour des conducteurs avec couche)
- d) Nombre de filaments
- e) Diamètre ou dimensions de la section des filaments
- f) Rapport volumique du matériau stabilisateur/matériau non stabilisateur
- g) Etat à la livraison (diamètre de flexion de traitement thermique)

## 8 $T_c$ determination

The critical temperature for the first run  $T_{c+}$  shall be determined from the  $(U_+ - U_{0+})$ - $T$  curve using the method shown in Figure 1. Similarly, the critical temperature for the second run  $T_{c-}$  shall be determined from the  $(U_- - U_{0-})$ - $T$  curve.

The critical temperature  $T_c$  shall then be determined as

$$T_c = (T_{c+} + T_{c-}) / 2 \quad (2)$$

The following condition shall be met for a valid measurement.

$$|T_{c+} - T_{c-}| / T_c \leq 3 \% \quad (3)$$

$T_{c0,1}$  and  $T_{c0,9}$  shall also be determined with the same method.

## 9 Accuracy and stability

### 9.1 Temperature

Temperature shall be determined to an accuracy of  $\pm 0,1$  K.

### 9.2 Specimen voltage

The voltage shall be measured to an accuracy of 0,5 %.

### 9.3 Specimen current

The specimen current shall be determined from a voltage-current characteristic of a four-terminal standard resistor with an accuracy of at least 0,5 %.

The fluctuation of the specimen current, provided by a d.c. power supply, shall be less than 0,5 %.

## 10 Test report

The test report for the result of the measurements shall include  $T_c$  explicitly listed in 10.3 and also the following items if known.

### 10.1 Specimen

- a) Manufacturer
- b) Superconducting material and its composition
- c) Shape and dimensions of the cross-section  
(Materials and their dimensions of the layer structure for coated conductors)
- d) Number of filaments
- e) Diameter or the cross-sectional dimensions of filaments
- f) Stabilizer to non-stabilizer volume ratio
- g) As-received condition (bending diameter at heat-treatment)

## 10.2 Conditions d'essai

- a) Longueur totale de l'éprouvette
- b) Distance entre prises de tension
- c) Distance entre les contacts de courant
- d) Courant de l'éprouvette
- e) Densité de courant (courant d'éprouvette divisé par la section totale)
- f) Matériau, forme et dimensions de l'embase
- g) Méthode d'installation de l'éprouvette sur l'embase
- h) Matériau isolant de l'embase
- i) Type(s) de thermomètres
- j) Emplacement des thermomètres
- k) Méthode de réglage et de maintien de la température de l'éprouvette
- l) Vitesse de montée en température
- m) Méthode de contrôle de la température
- n) Tensions initiales ( $U_{0+}$  et  $U_{0-}$ )

## 10.3 Rapport relatif aux valeurs de $T_c$

- a)  $T_{c+}$  et  $T_{c-}$ .
- b)  $T_c$
- c)  $\Delta T_c$
- d)  $T_{c0,1}$  et  $T_{c0,9}$  (facultatif)

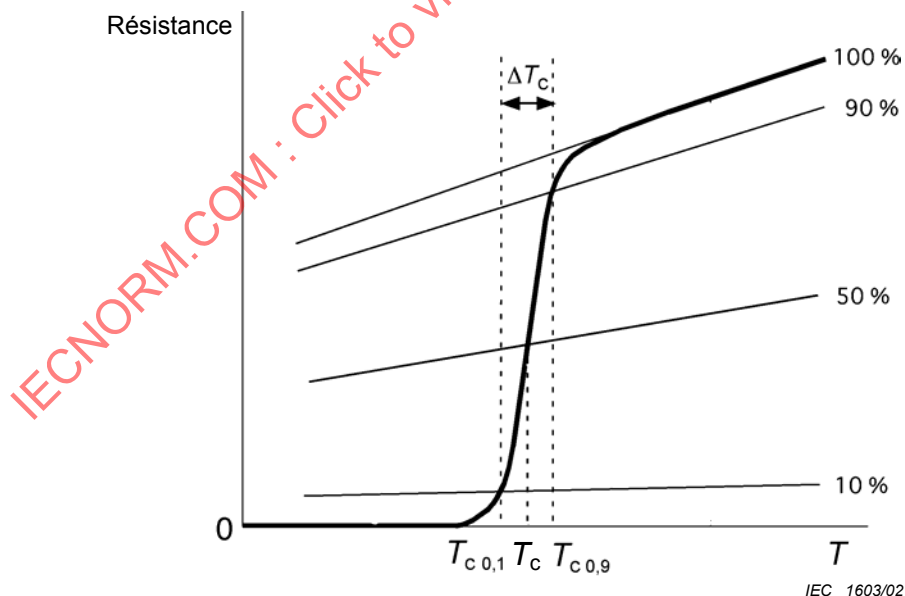


Figure 1 – Détermination de la température critique ( $T_c$ )

## 10.2 Test conditions

- Total length of the specimen
- Distance between voltage taps
- Distance between current contacts
- Specimen current
- Current density (specimen current divided by total cross-sectional area)
- Material, shape, and dimensions of the base plate
- Installation method of the specimen on the base plate
- Insulating material of the base plate
- Type(s) of thermometers
- Location of thermometers
- Temperature setting and holding method of the specimen
- Rate of temperature increase
- Temperature control method
- Initial voltages ( $U_{0+}$  and  $U_{0-}$ )

## 10.3 Report of $T_c$

- $T_{c+}$  and  $T_{c-}$
- $T_c$
- $\Delta T_c$
- $T_{c0,1}$  and  $T_{c0,9}$  (optional)

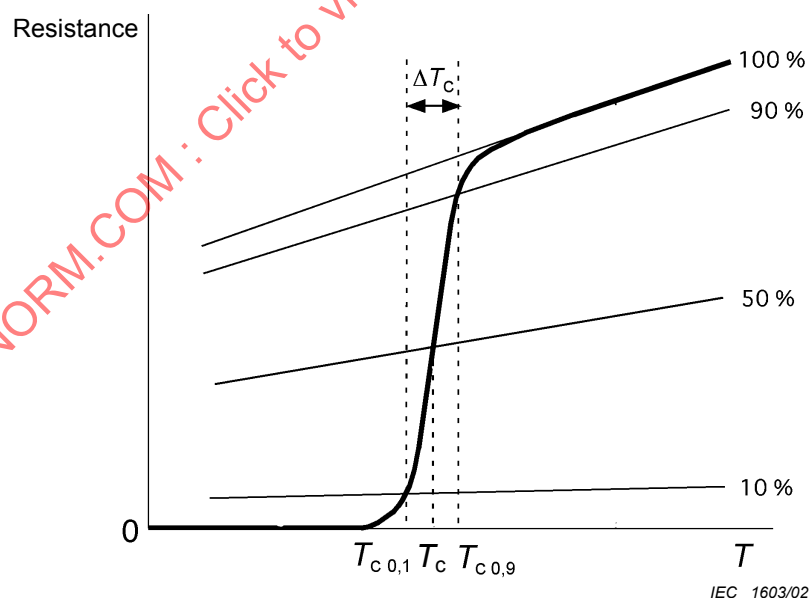
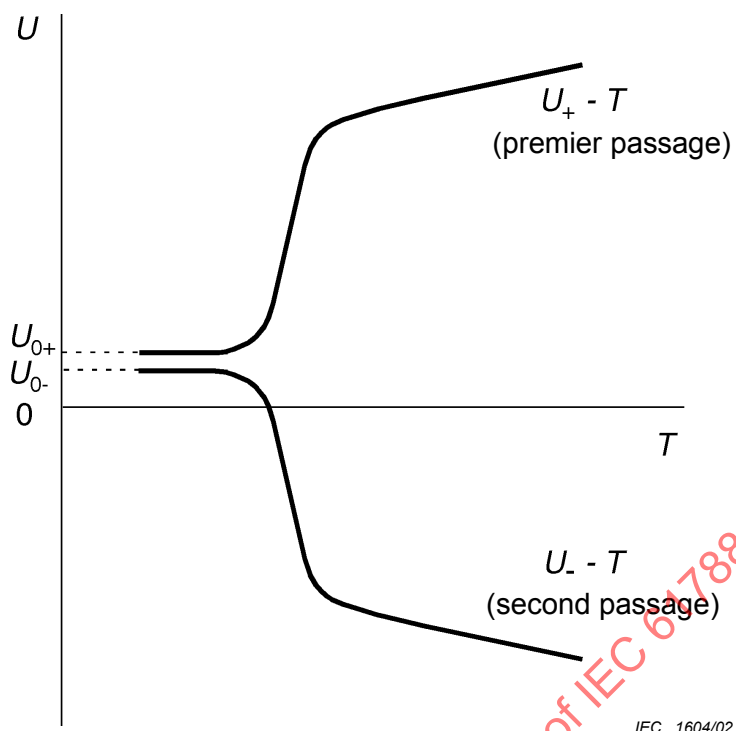


Figure 1 – Determination of critical temperature ( $T_c$ )



IEC 1604/02

NOTE Les tensions à indices + et – sont celles obtenues lors des premier et second passages pour des courants positif et négatif, respectivement;  $U_{0+}$  et  $U_{0-}$  sont les tensions obtenues à la température initiale.

**Figure 2 – Courbes types de tension en fonction de la température pour le premier et le second passage**