

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Superconductivity –

Part 7: Electronic characteristic measurements – Surface resistance of superconductors at microwave frequencies

Supraconductivité –

Partie 7: Mesures des caractéristiques électroniques – Résistance de surface des supraconducteurs à des hyperfréquences

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.20; 29.050

ISBN 978-2-8322-8658-6

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Requirements	7
5 Apparatus.....	8
5.1 Measurement system	8
5.2 Measurement apparatus for R_S	9
5.3 Dielectric rods	11
6 Measurement procedure	12
6.1 Specimen preparation	12
6.2 Set-up	12
6.3 Measurement of reference level	12
6.4 Measurement of the frequency response of resonators.....	13
6.5 Determination of surface resistance of the superconductor and ε' and $\tan \delta$ of the standard sapphire rods	15
7 Precision and accuracy of the test method.....	16
7.1 Surface resistance	16
7.2 Temperature.....	17
7.3 Specimen and holder support structure	17
7.4 Specimen protection.....	18
8 Test report.....	18
8.1 Identification of test specimen	18
8.2 Report of R_S values	18
8.3 Report of test conditions.....	18
Annex A (informative) Additional information relating to Clauses 1 to 8.....	19
Bibliography.....	32
Figure 1 – Schematic diagram of measurement system for temperature dependence of R_S using a cryocooler	8
Figure 2 – Typical measurement apparatus for R_S	10
Figure 3 – Insertion attenuation IA , resonant frequency f_0 and half power bandwidth Δf , measured at T Kelvin	13
Figure 4 – Reflection scattering parameters (S_{11} and S_{22}).....	15
Figure 5 – Term definitions in Table 4	17
Figure A.1 – Schematic configuration of several measurement methods for the surface resistance	20
Figure A.2 – Configuration of a cylindrical dielectric rod resonator short-circuited at both ends by two parallel superconductor films deposited on dielectric substrates	22
Figure A.3 – Computed results of the u - v and W - v relations for TE_{01p} mode.....	23
Figure A.4 – Configuration of standard dielectric rods for measurement of R_S and $\tan \delta$	24

Figure A.5 – Three types of dielectric resonators	24
Figure A.6 – Mode chart to design TE_{011} resonator short-circuited at both ends by parallel superconductor films [11]	27
Figure A.7 – Mode chart to design TE_{013} resonator short-circuited at both ends by parallel superconductor films [11]	28
Figure A.8 – Mode chart for TE_{011} closed-type resonator.....	29
Figure A.9 – Mode chart for TE_{013} closed-type resonator.....	30
Table 1 – Typical dimensions of pairs of standard sapphire rods for 12 GHz, 18 GHz and 22 GHz	11
Table 2 – Dimensions of superconductor film for 12 GHz, 18 GHz, and 22 GHz	12
Table 3 – Specifications on vector network analyzer	16
Table 4 – Specifications on sapphire rods.....	16

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SUPERCONDUCTIVITY –**Part 7: Electronic characteristic measurements –
Surface resistance of superconductors
at microwave frequencies**

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 61788-7 has been prepared by IEC technical committee 90: Superconductivity.

This bilingual version (2020-07) corresponds to the monolingual English version, published in 2006-10.

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 2002, of which it constitutes a technical revision. Examples of technical changes made are: 1) closed type resonators are recommended from the viewpoint of the stable measurements, 2) uniaxial-anisotropic characteristics of sapphire rods are taken into consideration for designing the size of the sapphire rods, and 3) recommended measurement frequency of 18 GHz and 22 GHz are added to 12 GHz described in the first edition.

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

FDIS	Report on voting
90/193/FDIS	90/198/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.

The French version of this standard has not been voted upon.

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

IEC 61788 consists of the following parts, under the general title *Superconductivity*:

- Part 1: Critical current measurement – DC critical current of Cu/Nb-Ti composite superconductors
- Part 2: Critical current measurement – DC critical current of Nb₃Sn composite superconductors
- Part 3: Critical current measurement – DC critical current of Ag- and/or Ag alloy-sheathed Bi-2212 and Bi-2223 oxide superconductors
- Part 4: Residual resistance ratio measurement – Residual resistance ratio of Nb-Ti composite superconductors
- Part 5: Matrix to superconductor volume ratio measurement – Copper to superconductor volume ratio of Cu/Nb-Ti composite superconductors
- Part 6: Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of Cu/Nb-Ti composite superconductors
- Part 7: Electronic characteristic measurements – Surface resistance of superconductors at microwave frequencies
- Part 8: AC loss measurements – Total AC loss measurement of Cu/Nb-Ti composite superconducting wires exposed to a transverse alternating magnetic field by a pickup coil method
- Part 9: Measurements for bulk high temperature superconductors – Trapped flux density of large grain oxide superconductors
- Part 10: Critical temperature measurement – Critical temperature of Nb-Ti, Nb₃Sn, and Bi-system oxide composite superconductors by a resistance method
- Part 11: Residual resistance ratio measurement – Residual resistance ratio of Nb₃Sn composite superconductors
- Part 12: Matrix to superconductor volume ratio measurement – Copper to non-copper volume ratio of Nb₃Sn composite superconducting wires
- Part 13: AC loss measurements – Magnetometer methods for hysteresis loss in Cu/Nb-Ti multifilamentary composites

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.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

Since the discovery of some Perovskite-type Cu-containing oxides, extensive research and development (R & D) work on high-temperature oxide superconductors has been, and is being, made worldwide, and its application to high-field magnet machines, low-loss power transmission, electronics and many other technologies is in progress.

In various fields of electronics, especially in telecommunication fields, microwave passive devices such as filters using oxide superconductors are being developed and are undergoing on-site testing [1,2]¹⁾.

Superconductor materials for microwave resonators, filters, antenna and delay lines have the advantage of very low loss characteristics. Knowledge of this parameter is of primary importance for the development of new materials on the supplier side and for the design of superconductor microwave components on the customer side. The parameters of superconductor materials needed for the design of microwave low loss components are the surface resistance R_s and the temperature dependence of the surface resistance.

Recent advances in high T_c superconductor (HTS) thin films with R_s several orders of magnitude lower than that of normal metals have increased the need for a reliable characterization technique to measure this property [3,4]. Traditionally, the R_s of Nb or any other low temperature superconducting material was measured by first fabricating an entire three dimensional resonant cavity and then measuring its Q -value. The R_s could be calculated by solving the EM field distribution inside the cavity. Another technique involves placing a small sample inside a larger cavity. This technique has many forms but usually involves the uncertainty introduced by extracting the loss contribution due to the HTS films from the experimentally measured total loss of the cavity.

The best HTS samples are epitaxial films grown on flat crystalline substrates and no high quality films have been grown on any curved surface so far. What is needed is a technique that: can use these small flat samples; requires no sample preparation; does not damage or change the film; is highly repeatable; has great sensitivity (down to 1/1 000th the R_s of copper); has great dynamic range (up to the R_s of copper); can reach high internal powers with only modest input powers; and has broad temperature coverage (4,2 K to 150 K).

The dielectric resonator method is selected among several methods [5,6,7] to determine the surface resistance at microwave frequencies because it is considered to be the most popular and practical at present. Especially, the sapphire resonator is an excellent tool for measuring the R_s of HTS materials [8,9].

The test method given in this standard can be also applied to other superconductor bulk plates including low T_c material.

This standard is intended to provide an appropriate and agreeable technical base for the time being to engineers working in the fields of electronics and superconductivity technology.

The test method covered in this standard is based on the VAMAS (Versailles Project on Advanced Materials and Standards) pre-standardization work on the thin film properties of superconductors.

1) Figures in square brackets refer to the Bibliography.

SUPERCONDUCTIVITY –

Part 7: Electronic characteristic measurements – Surface resistance of superconductors at microwave frequencies

1 Scope

This part of IEC 61788 describes measurement of the surface resistance of superconductors at microwave frequencies by the standard two-resonator method. The object of measurement is the temperature dependence of R_s at the resonant frequency.

The applicable measurement range of surface resistances for this method is as follows:

- Frequency: $8 \text{ GHz} < f < 30 \text{ GHz}$
- Measurement resolution: $0,01 \text{ m}\Omega$ at 10 GHz

The surface resistance data at the measured frequency, and that scaled to 10 GHz, assuming the f^2 rule for comparison, are reported.

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*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	36
INTRODUCTION.....	38
1 Domaine d'application	39
2 Références normatives.....	39
3 Termes et définitions	39
4 Exigences.....	40
5 Appareillage	40
5.1 Système de mesure.....	40
5.2 Appareil de mesure de R_S	41
5.3 Tiges diélectriques	43
6 Procédure de mesure	44
6.1 Préparation de l'éprouvette	44
6.2 Installation d'essai.....	44
6.3 Mesure du niveau de référence	44
6.4 Mesure de la réponse en fréquence des résonateurs.....	45
6.5 Détermination de la résistance de surface du supraconducteur et des valeurs ε' et $\tan \delta$ des tiges en saphir étalons.....	47
7 Justesse et précision de la méthode d'essai	48
7.1 Résistance de surface	48
7.2 Température.....	49
7.3 Epreuve et structure du porte-échantillon	49
7.4 Protection de l'éprouvette.....	50
8 Rapport d'essai	50
8.1 Identification de l'éprouvette.....	50
8.2 Rapport des valeurs R_S	50
8.3 Rapport des conditions d'essai.....	50
Annexe A (informative) Informations supplémentaires relatives aux Articles 1 à 8.....	51
Bibliographie.....	65
Figure 1 – Schéma de principe du système de mesure pour la dépendance à la température de R_S en utilisant un cryoréfrigérant	41
Figure 2 – Appareil de mesure type de R_S	42
Figure 3 – Affaiblissement de l'insertion IA , fréquence résonante f_0 et largeur de bande à mi-puissance Δf , mesurés à une température T Kelvin	45
Figure 4 – Paramètres de diffusion de la réflexion (S_{11} et S_{22}).....	47
Figure 5 – Définitions des termes données dans le Tableau 4	49
Figure A.1 – Schéma de configuration de plusieurs méthodes de mesure de la résistance de surface.....	53
Figure A.2 – Configuration d'un résonateur à tige diélectrique cylindrique mis en court-circuit à ses deux extrémités par deux films supraconducteurs parallèles déposés sur des substrats diélectriques	54
Figure A.3 – Résultats calculés des relations $u-v$ et $W-v$ pour le mode TE_{01p}	56

Figure A.4 – Configuration des tiges diélectriques étalons pour la mesure de R_S et $\tan \delta$	57
Figure A.5 – Trois types de résonateurs diélectriques	58
Figure A.6 – Organigramme de modes permettant de calculer le résonateur TE_{011} mis en court-circuit à ses deux extrémités par des films supraconducteurs parallèles [11].....	60
Figure A.7 – Organigramme de modes permettant de calculer le résonateur TE_{013} mis en court-circuit à ses deux extrémités par des films supraconducteurs parallèles [11].....	61
Figure A.8 – Organigramme de modes pour le résonateur de type fermé TE_{011}	62
Figure A.9 – Organigramme de modes pour le résonateur de type fermé TE_{013}	63
Tableau 1 – Dimensions types des paires de tiges en saphir étalons pour une résonance de 12 GHz, 18 GHz et 22 GHz	43
Tableau 2 – Dimensions du film supraconducteur pour une résonance de 12 GHz, 18 GHz et 22 GHz.....	44
Tableau 3 – Spécifications relatives à l'analyseur de réseau vectoriel.....	48
Tableau 4 – Spécifications relatives aux tiges en saphir	48

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 7: Mesures des caractéristiques électroniques – Résistance de surface des supraconducteurs à des hyperfréquences

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC 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 l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'IEC 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 IEC 61788-7 a été établie par le comité d'études 90 de l'IEC: Supraconductivité.

La présente version bilingue (2020-07) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2006-10.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2002, dont elle constitue une révision technique. Les exemples de modifications techniques opérées sont les suivants: 1) des résonateurs de type fermé sont recommandés pour obtenir des mesures stables, 2) les caractéristiques anisotropes uniaxes des tiges en saphir sont prises en considération pour le calcul de la dimension desdites tiges et 3) les fréquences de mesure recommandées de 18 GHz et 22 GHz sont ajoutées à la fréquence de 12 GHz décrite dans la première édition.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 90/193/FDIS et 90/198/RVD.

Le rapport de vote 90/198/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

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

L'IEC 61788 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Supraconductivité*:

- Partie 1: Mesure du courant critique – Courant critique continu de supraconducteurs en composite Cu/Nb-Ti
- Partie 2: Mesure du courant critique – Courant critique continu des supraconducteurs composites Nb₃Sn
- Partie 3: Mesure du courant critique – Courant critique continu des oxydes supraconducteurs Bi-2212 et Bi-2223 à gaine en argent et/ou en alliage d'argent
- Partie 4: Mesure des rapports de résistance résiduelle – Taux de résistivité résiduelle des supraconducteurs composites au Nb-Ti
- Partie 5: Mesure du rapport volumique matrice/supraconducteurs – Rapport volumique cuivre/supraconducteur des composites supraconducteurs de Cu/Nb-Ti
- Partie 6: Mesure des propriétés mécaniques – Essai de traction à température ambiante des supraconducteurs composites de Cu/Nb-Ti
- Partie 7: Mesures des caractéristiques électroniques – Résistance de surface des supraconducteurs à des hyperfréquences
- Partie 8: Mesure des pertes en courant alternatif – Méthode de mesure par bobines de détection des pertes totales en courant alternatif des fils composites supraconducteurs de Cu/Nb-Ti exposés à un champ magnétique alternatif transverse
- Partie 9: Mesures pour supraconducteurs haute température massifs – Densité de flux résiduel des oxydes supraconducteurs à gros grains
- Partie 10: Mesure de la température critique – Température critique des composites supraconducteurs Nb-Ti, Nb₃Sn ainsi que des oxydes supraconducteurs à base Bi par une méthode par résistance
- Partie 11: Mesure du rapport de résistance résiduelle – Rapport de résistance résiduelle des supraconducteurs composites de Nb₃Sn
- Partie 12: Mesure du rapport volumique matrice/supraconducteur – Rapport volumique cuivre/non-cuivre des fils en composite supraconducteur Nb₃Sn
- Partie 13: Mesure des pertes en courant alternatif – Méthodes de mesure par magnétomètre des pertes par hystérésis dans les composites multifilamentaires de Cu/Nb-Ti

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 l'IEC sous <http://webstore.iec.ch> dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

Depuis la découverte de certains oxydes contenant du Cu et de type Pérovskite, des travaux importants en matière de recherche et développement (R & D) portant sur les oxydes supraconducteurs à haute température ont été et sont toujours menés dans le monde entier, leur application à des machines magnétiques de haute résolution, la transmission de puissance à faible perte, l'électronique et de nombreuses autres technologies se multipliant par ailleurs.

Dans différents domaines de l'électronique, notamment dans le domaine des télécommunications, des dispositifs passifs à hyperfréquences tels que des filtres utilisant des oxydes supraconducteurs sont en cours de développement et font l'objet d'essais pratiques sur site [1,2]¹⁾.

Les matériaux supraconducteurs pour les résonateurs, filtres et antennes à hyperfréquences, ainsi que les lignes à retard présentent l'avantage de caractéristiques à très faible perte. Il est très important de connaître ce paramètre pour le développement de nouveaux matériaux pour le fournisseur et pour la conception de composants à hyperfréquences supraconducteurs pour le client. Les paramètres des matériaux supraconducteurs nécessaires pour la conception de composants à faible perte à hyperfréquences sont la résistance de surface R_s et la dépendance à la température de la résistance de surface.

Les progrès récents réalisés au niveau de la fabrication de films minces supraconducteurs HTS dont plusieurs ordres de grandeur de R_s sont inférieurs à ceux des métaux normaux, ont accru la nécessité d'utiliser une technique de caractérisation fiable pour mesurer cette propriété [3,4]. Traditionnellement, la valeur R_s du Nb ou de tout autre matériau supraconducteur à basse température était mesurée en fabriquant tout d'abord une cavité résonante tridimensionnelle, puis en mesurant sa valeur Q . La valeur de R_s pourrait être calculée en résolvant la distribution du champ électromagnétique à l'intérieur de la cavité. Une autre technique consiste à placer un petit échantillon à l'intérieur d'une cavité plus grande. Cette technique revêt de nombreuses formes, mais implique habituellement l'incertitude générée par l'extraction de la contribution de perte, due à la présence des films HTS, de la perte totale de la cavité mesurée de manière expérimentale.

Les meilleurs échantillons HTS sont des films épitaxiaux développés sur des substrats cristallins plats, aucun film de grande qualité n'ayant à ce jour été développé sur aucune surface incurvée. L'industrie a besoin d'une technique qui: peut utiliser ces petits échantillons plats ; ne requiert aucune préparation des échantillons ; n'endommage ni ne modifie le film ; est à haute périodicité ; présente une sensibilité élevée (jusqu'à 1/1 000^{ème} de la résistance R_s du cuivre) ; a une gamme dynamique élevée (jusqu'à la résistance R_s du cuivre) ; peut atteindre de fortes puissances internes avec uniquement des puissances d'entrée modestes ; et a une large plage de températures (4,2 K à 150 K).

La méthode du résonateur diélectrique est choisie parmi plusieurs méthodes [5,6,7] pour déterminer la résistance de surface à des hyperfréquences dans la mesure où elle est considérée comme la plus populaire et la plus pratique à l'heure actuelle. Plus particulièrement, le résonateur en saphir constitue un excellent outil de mesure de la résistance R_s des matériaux HTS [8,9].

La méthode d'essai décrite dans la présente norme peut également être appliquée à d'autres plaques volumineuses supraconductrices, y compris tout matériau à faible T_c .

La présente norme est destinée à fournir actuellement une base technique appropriée et acceptable aux ingénieurs qui travaillent dans les domaines de l'électronique et de la technologie de la supraconductivité.

La méthode d'essai traitée dans la présente norme est basée sur les travaux prénormatifs VAMAS (Projet Versailles sur les matériaux et normes avancés) concernant les propriétés de film mince des supraconducteurs.

1) Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 7: Mesures des caractéristiques électroniques – Résistance de surface des supraconducteurs à des hyperfréquences

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61788 décrit la mesure de la résistance de surface des supraconducteurs à des hyperfréquences au moyen de la méthode normalisée à deux résonateurs. La dépendance à la température de R_s à la fréquence résonante constitue l'objet de la mesure.

L'étendue de mesure applicable des résistances superficielles pour cette méthode est la suivante:

- Fréquence: $8 \text{ GHz} < f < 30 \text{ GHz}$
- Résolution de mesure: $0,01 \text{ m}\Omega$ à 10 GHz

Les données relatives à la résistance de surface à la fréquence mesurée, et à la fréquence établie à 10 GHz , en posant l'hypothèse de la règle de comparaison f^2 , sont consignées dans le rapport d'essai.

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).

IEC 60050-815, *Vocabulaire électrotechnique international (VEI) – Partie 815: Supraconductivité*