

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Superconductivity –

Part 17: Electronic characteristic measurements – Local critical current density and its distribution in large-area superconducting films

Supraconductivité –

Partie 17: Mesurages de caractéristiques électroniques – Densité de courant critique local et sa distribution dans les films supraconducteurs de grande surface

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.20; 29.050

ISBN 978-2-8322-4953-6

**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	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	8
4 Requirements	9
5 Apparatus	10
5.1 Measurement equipment	10
5.2 Components for inductive measurements	11
6 Measurement procedure	12
6.1 General	12
6.2 Determination of the experimental coil coefficient	12
6.3 Measurement of J_C in sample films	16
6.4 Measurement of J_C with only one frequency	16
6.5 Examples of the theoretical and experimental coil coefficients	17
7 Uncertainty in the test method	18
7.1 Major sources of systematic effects that affect the U_3 measurement	18
7.2 Effect of deviation from the prescribed value in the coil-to-film distance	19
7.3 Uncertainty in the experimental coil coefficient and the obtained J_C	20
7.4 Effects of the film edge	20
7.5 Specimen protection	20
8 Test report	21
8.1 Identification of test specimen	21
8.2 Report of J_C values	21
8.3 Report of test conditions	21
Annex A (informative) Additional information relating to Clauses 1 to 8	22
A.1 Comments on other methods for measuring the local J_C of large-area HTS films	22
A.2 Requirements	22
A.3 Theory of the third-harmonic voltage generation	23
A.4 Calculation of the induced electric fields	24
A.5 Theoretical coil coefficient k and experimental coil coefficient k'	25
A.6 Scaling of the U_3 – I_0 curves and the constant-inductance criterion to determine I_{th}	25
A.7 Effects of reversible flux motion	27
Annex B (informative) Optional measurement systems	28
B.1 Overview	28
B.2 Harmonic noises arising from the power source and their reduction	29
Annex C (informative) Evaluation of the uncertainty	33
C.1 Evaluation of the uncertainty in the experimental coil coefficient	33
C.2 Uncertainty in the calculation of induced electric fields	34
C.3 Experimental results on the effect of the deviation of the coil-to-film distance	35

C.4	Examples of the Type-A uncertainties of J_C and n -values, originating from the experimental uncertainty in the U_3 measurement	35
C.5	Evaluation of the uncertainty in the obtained J_C	36
C.6	Experimental results that reveal the effect of the film edge	37
	Bibliography	39
Figure 1	– Diagram for an electric circuit used for inductive J_C measurement of HTS films	10
Figure 2	– Illustration showing techniques to press the sample coil to HTS films	11
Figure 3	– Example of a calibration wafer used to determine the coil coefficient	12
Figure 4	– Illustration of the sample coil and the magnetic field during measurement	13
Figure 5	– Illustration of the sample coil and its magnetic field generation	14
Figure 6	– E - J characteristics measured by a transport method and the U_3 inductive method	16
Figure 7	– Illustration of coils 1 and 3 in Table 2	17
Figure 8	– The coil-factor function $F(r) = 2H_0/I_0$ calculated for the three coils	18
Figure 9	– The coil-to-film distance Z_1 dependence of the theoretical coil coefficient k	19
Figure A.1	– Illustration of the sample coil and the magnetic field during measurement	24
Figure A.2	– U_3 and U_3/I_0 plotted against I_0 in a YBCO thin film measured in applied DC magnetic fields, and the scaling observed when normalized by I_{th} (insets)	26
Figure A.3	– Example of the normalized third-harmonic voltages (U_3/fI_0) measured with various frequencies	26
Figure B.1	– Schematic diagram for the variable- RL -cancel circuit	29
Figure B.2	– Diagram for an electrical circuit used for the two-coil method	29
Figure B.3	– Harmonic noises arising from the power source	30
Figure B.4	– Noise reduction using a cancel coil with a superconducting film	30
Figure B.5	– Normalized harmonic noises (U_3/fI_0) arising from the power source	31
Figure B.6	– Normalized noise voltages after the reduction using a cancel coil with a superconducting film	31
Figure B.7	– Normalized noise voltages after the reduction using a cancel coil without a superconducting film	32
Figure B.8	– Normalized noise voltages with the two-coil system shown in Figure B.2	32
Figure C.1	– Effect of the coil position against a superconducting thin film on the measured J_C values	38
Table 1	– Specifications and theoretical coil coefficients k of sample coils	14
Table 2	– Specifications and coil coefficients of typical sample coils	17
Table C.1	– Uncertainty budget table for the experimental coil coefficient k'	34
Table C.2	– Examples of repeated measurements of J_C and n -values	36

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SUPERCONDUCTIVITY –**Part 17: Electronic characteristic measurements –
Local critical current density and its distribution
in large-area superconducting films****FOREWORD**

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

IEC 61788-17 has been prepared by IEC technical committee 90: Superconductivity. It is an International Standard.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2013. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) A simple method to calculate theoretical coil coefficient k is described in 6.2.1.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
90/462/FDIS	90/464/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

A list of all the 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 document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document 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

Over thirty years after their discovery in 1986, high-temperature superconductors are now finding their way into products and technologies that will revolutionize information transmission, transportation, and energy. Among them, high-temperature superconducting (HTS) microwave filters, which exploit the extremely low surface resistance of superconductors, have already been commercialized. They have two major advantages over conventional non-superconducting filters, namely: low insertion loss (low noise characteristics) and high frequency selectivity (sharp cut) [1]¹. These advantages enable a reduced number of base stations, improved speech quality, more efficient use of frequency bandwidths, and reduced unnecessary radio wave noise.

Large-area superconducting thin films have been developed for use in microwave devices [2]. They are also considered for use in emerging superconducting power devices, such as resistive-type superconducting fault-current limiters (SFCLs) [3] [4] [5], superconducting fault detectors used for superconductor-triggered fault current limiters [6] [7] and persistent-current switches used for persistent-current HTS magnets [8] [9]. The critical current density J_c is one of the key parameters that describe the quality of large-area HTS films. Nondestructive, AC inductive methods are widely used to measure J_c and its distribution for large-area HTS films [10] [11] [12] [13], among which the method utilizing third-harmonic voltages $U_3 \cos(3\omega t + \theta)$ is the most popular [10] [11], where ω , t and θ denote the angular frequency, time, and initial phase, respectively. However, these conventional methods are not accurate because they have not considered the electric-field E criterion of the J_c measurement [14] [15] and sometimes use an inappropriate criterion to determine the threshold current I_{th} from which J_c is calculated [16]. A conventional method can obtain J_c values that differ from the accurate values by 10 % to 20 % [15]. It is thus important to establish standard test methods to precisely measure the local critical current density and its distribution, to which all involved in the HTS filter industry can refer for quality control of the HTS films. Background knowledge on the inductive J_c measurements of HTS thin films is summarized in Annex A.

In these inductive methods, AC magnetic fields are generated with AC currents $I_0 \cos \omega t$ in a small coil mounted just above the film, and J_c is calculated from the threshold coil current I_{th} , at which full penetration of the magnetic field to the film is achieved [17]. For the inductive method using third-harmonic voltages U_3 , U_3 is measured as a function of I_0 , and the I_{th} is determined as the coil current I_0 at which U_3 starts to emerge. The induced electric fields E in the superconducting film at $I_0 = I_{th}$, which are proportional to the frequency f of the AC current, can be estimated by a simple Bean model [14]. A standard method has been proposed to precisely measure J_c with an electric-field criterion by detecting U_3 and obtaining the n -value (index of the power-law E - J characteristics) by measuring I_{th} precisely at various frequencies [14] [15] [18] [19]. This method not only obtains precise J_c values, but also facilitates the detection of degraded parts in inhomogeneous specimens, because the decline of n -value is more noticeable than the decrease of J_c in such parts [15]. It is noted that this standard method is excellent for assessing homogeneity in large-area HTS films, although the relevant parameter for designing microwave devices is not J_c , but the surface resistance. For application of large-area superconducting thin films to SFCLs, knowledge on J_c distribution is vital, because J_c distribution significantly affects quench distribution in SFCLs during faults.

The International Electrotechnical Commission (IEC) draws attention to the fact that it is claimed that compliance with this document may involve the use of a patent. IEC takes no position concerning the evidence, validity, and scope of this patent right.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

The holder of this patent right has assured IEC that s/he is willing to negotiate licences under reasonable and non-discriminatory terms and conditions with applicants throughout the world. In this respect, the statement of the holder of this patent right is registered with IEC. Information may be obtained from the patent database available at <http://patents.iec.ch>.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights other than those in the patent database. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

SUPERCONDUCTIVITY –

Part 17: Electronic characteristic measurements – Local critical current density and its distribution in large-area superconducting films

1 Scope

This part of IEC 61788 specifies the measurements of the local critical current density (J_c) and its distribution in large-area high-temperature superconducting (HTS) films by an inductive method using third-harmonic voltages. The most important consideration for precise measurements is to determine J_c at liquid nitrogen temperatures by an electric-field criterion and obtain current-voltage characteristics from its frequency dependence. Although it is possible to measure J_c in applied DC magnetic fields [20] [21], the scope of this document is limited to the measurement without DC magnetic fields.

This technique intrinsically measures the critical sheet current that is the product of J_c and the film thickness d . The range and measurement resolution for $J_c d$ of HTS films are as follows.

- $J_c d$: from 200 A/m to 32 kA/m (based on results, not limitation).
- Measurement resolution: 100 A/m (based on results, not limitation).

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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 – Part 815: Superconductivity* (available at <<http://www.electropedia.org>>)

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	45
INTRODUCTION	47
1 Domaine d'application	49
2 Références normatives	49
3 Termes et définitions	49
4 Exigences	50
5 Appareillage	51
5.1 Matériel de mesure	51
5.2 Composants pour les mesurages inductifs	52
6 Procédure de mesure	54
6.1 Généralités	54
6.2 Détermination du coefficient de bobine expérimental	54
6.3 Mesurage de J_c dans des films d'échantillons	57
6.4 Mesurage de J_c à une seule fréquence	58
6.5 Exemples de coefficients de bobine théoriques et expérimentaux	58
7 Incertitude de la méthode d'essai	59
7.1 Sources majeures d'effets systématiques influant sur le mesurage de U_3	59
7.2 Effet d'un écart par rapport à la valeur recommandée dans la distance bobine-film	60
7.3 Incertitude du coefficient de bobine expérimental et de la J_c obtenue	61
7.4 Effets du bord du film	62
7.5 Protection des éprouvettes	62
8 Rapport d'essai	62
8.1 Identification de l'éprouvette d'essai	62
8.2 Rapport des valeurs de J_c	62
8.3 Rapport des conditions d'essai	63
Annexe A (informative) Informations complémentaires concernant les Articles 1 à 8	64
A.1 Commentaires relatifs aux autres méthodes de mesure de la valeur locale J_c des films HTS de grande surface	64
A.2 Exigences	65
A.3 Théorie de la génération de tension de troisième harmonique	65
A.4 Calcul des champs électriques induits	67
A.5 Coefficient de bobine théorique k et coefficient de bobine expérimental k'	67
A.6 Changement d'échelle des courbes U_3-I_0 et critère d'inductance constante pour déterminer I_{th}	67
A.7 Effets d'un mouvement de flux réversible	69
Annexe B (informative) Systèmes de mesure facultatifs	71
B.1 Vue d'ensemble	71
B.2 Bruits des harmoniques provenant de la source d'alimentation et réduction de ceux-ci	72
Annexe C (informative) Évaluation de l'incertitude	76
C.1 Évaluation de l'incertitude du coefficient de bobine expérimental	76
C.2 Incertitude du calcul des champs électriques induits	77

C.3	Résultats expérimentaux sur l'effet de l'écart de la distance bobine-film	78
C.4	Exemples d'incertitudes de Type A de J_C et de valeurs n , provenant de l'incertitude expérimentale du mesurage de U_3	79
C.5	Évaluation de l'incertitude de la J_C obtenue	80
C.6	Résultats expérimentaux démontrant l'effet du bord du film	81
	Bibliographie	82
	Figure 1 – Schéma d'un circuit électrique utilisé pour le mesurage inductif de J_C de films HTS	51
	Figure 2 – Illustration représentant des techniques de pression de la bobine d'échantillon sur des films HTS	53
	Figure 3 – Exemple de plaquette d'étalonnage utilisée pour déterminer le coefficient de bobine	53
	Figure 4 – Illustration de la bobine d'échantillon et du champ magnétique pendant le mesurage	55
	Figure 5 – Illustration de la bobine d'échantillon et de la génération de son champ magnétique	55
	Figure 6 – Caractéristiques E - J mesurées par une méthode de transport et la méthode U_3 inductive	57
	Figure 7 – Illustration des bobines 1 et 3 du Tableau 2	59
	Figure 8 – Fonction de facteur de bobine $F(r) = 2H_0/I_0$ calculée pour les trois bobines	59
	Figure 9 – Dépendance par rapport à la distance bobine-film Z_1 du coefficient de bobine théorique k	61
	Figure A.1 – Illustration de la bobine d'échantillon et du champ magnétique pendant le mesurage	66
	Figure A.2 – U_3 et U_3/I_0 tracées par rapport à I_0 dans un film mince en YBCO, mesurée dans les champs magnétiques en courant continu appliqués, et changement d'échelle observé avec normalisation par I_{th} (encarts)	68
	Figure A.3 – Exemple de tensions de troisième harmonique normalisées (U_3/fI_0) mesurées à différentes fréquences	69
	Figure B.1 – Schéma du circuit d'annulation à RL variable	72
	Figure B.2 – Schéma d'un circuit électrique utilisant la méthode à deux bobines	72
	Figure B.3 – Bruits des harmoniques provenant de la source d'alimentation	73
	Figure B.4 – Réduction du bruit au moyen d'une bobine d'annulation avec un film supraconducteur	73
	Figure B.5 – Bruits des harmoniques normalisés (U_3/fI_0) provenant de la source d'alimentation	74
	Figure B.6 – Tensions de bruit normalisées après réduction au moyen d'une bobine d'annulation avec un film supraconducteur	74
	Figure B.7 – Tensions de bruit normalisées après réduction au moyen d'une bobine d'annulation sans film supraconducteur	75
	Figure B.8 – Tensions de bruit normalisées avec le système à deux bobines représenté à la Figure B.2	75
	Figure C.1 – Effet de la position de la bobine contre un film mince supraconducteur sur les valeurs mesurées de J_C	81

Tableau 1 – Spécifications et coefficients de bobine théoriques k de bobines d'échantillon types	56
Tableau 2 – Spécifications et coefficients de bobine de bobines d'échantillon types	59
Tableau C.1 – Tableau de bilan d'incertitude pour le coefficient de bobine expérimental k' ...	77
Tableau C.2 – Exemples de mesurages répétés de J_c et de valeurs n	80

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SUPRACONDUCTIVITÉ –

**Partie 17: Mesurages de caractéristiques électroniques –
Densité de courant critique local et sa distribution dans les films
supraconducteurs de grande surface**

AVANT-PROPOS

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

L'IEC 61788-17 a été établie par le comité d'études 90 de l'IEC: Supraconductivité. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2013. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut la modification technique majeure suivante par rapport à l'édition précédente:

- a) une méthode simple de calcul du coefficient de bobine théorique k est décrite en 6.2.1.

La présente version bilingue (2021-09) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2021-04.

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

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

Le comité a décidé que le contenu du présent document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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 ce document en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

Plus de trente ans après avoir été découverts, en 1986, les supraconducteurs à haute température sont désormais utilisés dans des produits et des technologies qui sont appelés à révolutionner la transmission d'informations, le transport et l'énergie. Parmi ces produits, des filtres micro-ondes à supraconducteurs à haute température (HTS – *high-temperature superconducting*) qui exploitent la résistance de surface extrêmement faible des supraconducteurs sont déjà commercialisés. Ils présentent deux avantages majeurs par rapport aux filtres classiques sans supraconducteur, à savoir: un faible affaiblissement d'insertion (caractéristiques de faible bruit) et une grande sélectivité en fréquence (coupure brutale) [1]¹. Ces avantages ont pour conséquence un nombre réduit de stations de base, une amélioration de la qualité de la parole, une utilisation plus efficace des largeurs de bande de fréquence et une diminution du bruit inutile des ondes radio.

Des films minces à supraconducteurs de grande surface ont été réalisés pour être utilisés dans des dispositifs à micro-ondes [2]. Leur utilisation pour les dispositifs de puissance à supraconducteurs émergents, tels que les limiteurs de courant de défaut à supraconducteur de type résistif (SFCL – *superconducting fault-current limiter*) [3] [4] [5], les détecteurs de défaut à supraconducteur utilisés pour les limiteurs de courant de défaut déclenchés par supraconduction [6] [7] et les interrupteurs de courant électrique persistant utilisés pour les aimants HTS à courant persistant [8] [9], est également à l'étude. La densité de courant critique J_c est l'un des paramètres fondamentaux qui décrivent la qualité des films HTS de grande surface. Des méthodes inductives non destructives en courant alternatif sont largement utilisées pour mesurer J_c et sa distribution pour les films HTS de grande surface [10] [11] [12] [13]. Parmi elles, la méthode qui utilise les tensions de troisième harmonique $U_3 \cos(3\omega t + \theta)$ est la plus répandue [10] [11], où ω , t et θ représentent respectivement la fréquence angulaire, le temps et la phase initiale. Ces méthodes classiques ne sont toutefois pas exactes, car elles ne prennent pas en considération le critère de champ électrique E du mesurage de J_c [14] [15] et utilisent parfois un critère inapproprié pour déterminer le courant de seuil I_{th} d'après lequel est calculée J_c [16]. Une méthode classique permet d'obtenir des valeurs de J_c qui diffèrent de 10 % à 20 % des valeurs exactes [15]. Il est donc important de déterminer des méthodes d'essai normalisées pour mesurer précisément la densité de courant critique local et sa distribution, auxquelles peut se référer tout ce qui concerne l'industrie des filtres HTS pour le contrôle de la qualité des films HTS. Les connaissances acquises dans le domaine des mesurages inductifs de J_c des films HTS minces sont résumées à l'Annexe A.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

Dans ces méthodes inductives, des champs magnétiques en courant alternatif sont générés avec des courants alternatifs $I_0 \cos \omega t$ dans une petite bobine montée juste au-dessus du film et J_c est calculée d'après le courant de seuil de la bobine I_{th} , pour lequel une pénétration complète du champ magnétique dans le film [17] est obtenue. En ce qui concerne la méthode inductive qui utilise les tensions de troisième harmonique U_3 , U_3 est mesurée en fonction de I_0 , et I_{th} est déterminé en tant que courant de bobine I_0 auquel U_3 commence à apparaître. Les champs électriques induits E dans le film supraconducteur à $I_0 = I_{th}$, qui sont proportionnels à la fréquence f du courant alternatif, peuvent être estimés par un simple modèle de Bean [14]. Une méthode normalisée a été proposée pour mesurer précisément J_c avec un critère de champ électrique par détection de U_3 et obtention de la valeur n (indice des caractéristiques de la loi de puissance $E-J$) par un mesurage précis de I_{th} à différentes fréquences [14] [15] [18] [19]. Non seulement cette méthode permet d'obtenir des valeurs précises de J_c , mais elle facilite également la détection des parties dégradées dans des éprouvettes inhomogènes, car la diminution de la valeur n est plus remarquable que la diminution de J_c dans ces parties [15]. Noter que cette méthode normalisée est excellente pour évaluer l'homogénéité dans des films HTS de grande surface, bien que le paramètre approprié pour concevoir des dispositifs à micro-ondes ne soit pas J_c , mais la résistance surfacique. Pour une application de films minces supraconducteurs de grande surface à des SFCL, la connaissance de la distribution de J_c est fondamentale, car la distribution de J_c a une influence significative sur la distribution de l'extinction dans les SFCL en cas de défaut.

La Commission électrotechnique internationale (IEC) attire l'attention sur le fait qu'il est déclaré que la conformité avec les dispositions du présent document peut impliquer l'utilisation d'un brevet. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à la portée de ces droits de propriété.

Le détenteur de ces droits de propriété a donné l'assurance à l'IEC qu'il consent à négocier des licences avec des demandeurs du monde entier en des termes et conditions raisonnables et non discriminatoires. À ce propos, la déclaration du détenteur des droits de propriété est enregistrée à l'IEC. Des informations peuvent être obtenues auprès de la base de données des droits de propriété disponible à l'adresse <http://patents.iec.ch>.

L'attention est d'autre part attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété autres que ceux contenus dans la base de données des droits de propriété. 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.

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 17: Mesurages de caractéristiques électroniques – Densité de courant critique local et sa distribution dans les films supraconducteurs de grande surface

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61788 spécifie les mesurages de la densité de courant critique local (J_c) et sa distribution dans les films supraconducteurs à haute température (HTS) de grande surface par une méthode inductive qui utilise les tensions de troisième harmonique. Le plus important, pour effectuer des mesurages précis, est de déterminer J_c aux températures de l'azote liquide au moyen d'un critère de champ électrique et obtenir des caractéristiques courant-tension d'après sa dépendance vis-à-vis de la fréquence. Bien qu'il soit possible de mesurer J_c dans des champs magnétiques en courant continu appliqués [20] [21], le domaine d'application du présent document est limité au mesurage sans champ magnétique en courant continu.

Cette technique mesure de façon intrinsèque le courant de feuille critique, qui est le produit de J_c par l'épaisseur d du film. La plage et la résolution de mesure pour $J_c d$ des films HTS sont les suivantes:

- $J_c d$: de 200 A/m à 32 kA/m (sur la base de résultats, aucune limitation).
- Résolution de mesure: 100 A/m (sur la base de résultats, aucune limitation).

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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 – Partie 815: Supraconductivité* (disponible à l'adresse: <<http://www.electropedia.org>>)