IEC 61788-15

Edition 2.0 2026-03

NORME INTERNATIONALE

Supraconductivité -
Partie 15: Mesurages des caractéristiques électroniques - Impédance de surface intrinsèque de films supraconducteurs aux fréquences micro-ondes

ICS 17.220.20; 29.050

ISBN 978-2-8327-1113-2



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED
Copyright © 2026 IEC, Geneva, Switzerland

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat
3, rue de Varembé
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished
Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch
Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications, symboles graphiques et le glossaire. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org
Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 500 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 25 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 5
INTRODUCTION 7
1 Domaine d'application 9
2 Références normatives 9
3 Termes et définitions 9
4 Exigences 10
5 Appareillage 10
5.1 Équipement de mesure 10
5.2 Appareillage de mesure 11
5.3 Tiges diélectriques 16
5.4 Films supraconducteurs et cavité de cuivre 17
6 Procédure de mesure 17
6.1 Installation 17
6.2 Mesurage du niveau de référence 18
6.3 Mesurage de la résistance R_S du cuivre de haute conductivité sans oxygène 18
6.4 Détermination de la résistance R_{Se} des films supraconducteurs et de tan δ des tiges diélectriques normalisées 22
6.5 Détermination de la profondeur de pénétration 23
6.6 Détermination de l'impédance de surface intrinsèque 25
7 Incertitude de la méthode d'essai 25
7.1 Mesurage du facteur de qualité à l'état déchargé 25
7.2 Mesurage de la tangente de perte 26
7.3 Température 26
7.4 Structure du support de l'éprouvette et du porte-éprouvette 27
7.5 Incertitude de l'impédance de surface intrinsèque 27
8 Rapport d'essai 27
8.1 Identification de l'éprouvette 27
8.2 Rapport relatif aux valeurs de l'impédance Z_S 27
8.3 Rapport relatif aux conditions d'essai 27
Annexe A (informative) Informations détaillées relatives aux Articles 1 à 8 28
A.1 Généralités 28
A.2 Exigences 30
A.3 Théorie et procédure de mesure relatives à l'impédance de surface intrinsèque 31
A.3.1 Relation théorique entre l'impédance Z_S et l'impédance Z_{Se} [14] 31
A.3.2 Calcul des facteurs géométriques [22] 36
A.3.3 Procédures de détermination de l'impédance Z_S [14] [22] [23] 38
A.4 Dimensions de la tige de saphir normalisée 39
A.5 Dimensions des résonateurs du type fermé 40
A.6 Résultats d'essai pour les résonateurs saphir de type A et de type B 41
A.6.1 Résultats d'essai pour le résonateur de type A 41
A.6.2 Résultats d'essai pour le résonateur saphir de type B 45
A.7 Incertitude des résultats d'essai 48
Annexe B (informative) Informations complémentaires relatives à la détermination de la profondeur de pénétration et de l'impédance de surface intrinsèque des films supraconducteurs aux fréquences micro-ondes 49

B.1 Généralités 49
B.2 Exigences expérimentales pour l'utilisation de la Formule (A.43) 49
B.2.1 Exigences relatives à la température 49
B.2.2 Exigences relatives aux effets des rayonnements électromagnétiques 49
B.2.3 Exigences relatives à la suppression des vibrations mécaniques du cryoréfrigérateur 51
B.3 Procédures de détermination de la profondeur de pénétration et de l'impédance de surface intrinsèque des films de YBCO 52
Annexe C (informative) Évaluation de l'incertitude type dans la méthode d'essai pour l'impédance de surface intrinsèque des films supraconducteurs aux fréquences micro-ondes 53
C.1 Généralités 53
C.2 Évaluation de l'incertitude composée de Z_S à partir des incertitudes de R_{Se} et λ 53
C.3 Évaluation de l'incertitude composée de Z_S à partir de la conductivité complexe mesurée 54
C.4 Résultats de l'essai comparatif interlaboratoire 55
C.4.1 Incertitudes de R_{Se} et f_0 55
C.4.2 Incertitude de λ 58
C.4.3 Incertitudes de l'impédance Z_S des films de YBCO d'après l'essai comparatif interlaboratoire 59
C.4.4 Effets de l'incertitude de la température sur l'incertitude $u_r(R_{Se})$ de l'essai comparatif interlaboratoire 60
Bibliographie 62

Figure 1 – Schéma de principe pour l'équipement de mesure de l'impédance intrinsèque Z_S des films HTS aux températures cryogéniques 12
Figure 2 – Schéma de principe d'un résonateur diélectrique avec un commutateur pour connexion thermique 13
Figure 3 – Résonateur diélectrique type avec une plaque supérieure mobile 14
Figure 4 – Bloc-commutateurs pour connexion thermique 15
Figure 5 – Résonateur diélectrique assemblé avec un bloc-commutateurs pour connexion thermique 16
Figure 6 – Crête de résonance type 19
Figure 7 – Paramètres de dispersion en réflexion S_{11} et S_{22} 20
Figure 8 – Définitions des termes utilisés dans le Tableau 5 26
Figure A.1 – Schéma de principe du système de mesure 29
Figure A.2 – Étage de mouvement utilisant des moteurs pas-à-pas 30
Figure A.3 – Vue en coupe d'un résonateur diélectrique 31
Figure A.4 – Schéma pour une vue en coupe simplifiée d'un résonateur diélectrique 36
Figure A.5 – Graphe de modes pour un résonateur saphir de type A avec un diamètre de cavité de 12 mm 40
Figure A.6 – Réponse en fréquence du résonateur saphir de type A 41
Figure A.7 – Q_U en fonction de la température pour les modes TE_{021} et TE_{012} du résonateur saphir de type A avec des films de YBCO de 360 nm d'épaisseur 42
Figure A.8 – Fréquence de résonance f_0 en fonction de la température pour les modes TE_{021} et TE_{012} du résonateur saphir de type A avec des films de YBCO de 360 nm d'épaisseur 42

Figure A.9 – Dépendance vis-à-vis de la température de la résistance R_{Se} des films de YBCO avec des épaisseurs de 70 nm à 360 nm, mesurée à environ 40 GHz 43

Figure A.10 – Dépendance vis-à-vis de la température de $\Delta\lambda_e$ des films de YBCO avec des épaisseurs de 70 nm et de 360 nm, mesurée à environ 40 GHz 43

Figure A.11 – Dépendance vis-à-vis de la température de la profondeur de pénétration λ des films de YBCO de 360 nm d'épaisseur, mesurée à 10 kHz en utilisant la méthode de l'inductance mutuelle et à environ 40 GHz en utilisant un résonateur saphir de type A 44

Figure A.12 – Dépendance vis-à-vis de la température de la résistance R_S des films de YBCO avec des épaisseurs de 70 nm à 360 nm, mesurée à environ 40 GHz 44

Figure A.13 – Graphe de modes utilisé pour un résonateur saphir de type B avec un diamètre de cavité de 15,78 mm 45

Figure A.14 – Réponse en fréquence du résonateur saphir de type B 46

Figure A.15 – Dépendance vis-à-vis de la température de la résistance R_{Se} des films de YBCO de 300 nm d'épaisseur, mesurée à environ 38 GHz 46

Figure A.16 – Dépendance vis-à-vis de la température de $\Delta\lambda_e$ des films de YBCO de 300 nm d'épaisseur, mesurée à environ 38 GHz 47

Figure A.17 – Dépendance vis-à-vis de la température de σ_2 des films de YBCO de 300 nm d'épaisseur, mesurée à environ 38 GHz 47

Figure A.18 – Dépendance vis-à-vis de la température de la résistance R_S des films de YBCO de 300 nm d'épaisseur, mesurée à environ 38 GHz 48

Figure B.1 – Comparaison entre les variations de température de la plaque supérieure et du reste du résonateur saphir dans le temps 50

Figure B.2 – Dépendance vis-à-vis de la température du rapport de Δf_0 à f_0 pour un résonateur saphir de type A avec des plaques d'extrémité de YBCO pour les distances d'écartement de 0 µm (rempli) et 10 µm (ouvert) 51

Figure B.3 – Dépendance vis-à-vis de la température de la valeur Q_U en mode TE_{021} d'un résonateur saphir de type A pour les distances d'écartement de 0 µm (rempli) et 10 µm (ouvert) 52

Figure C.1 – Dépendance vis-à-vis de la température des données mesurées de la valeur Q_U en mode TE_{021} en fonction de la température issues de l'essai comparatif interlaboratoire 56

Figure C.2 – Dépendance vis-à-vis de la température des fréquences de résonance mesurées du mode TE_{021} pour le résonateur saphir lors de l'essai comparatif interlaboratoire 56

Figure C.3 – Dépendance vis-à-vis de la température de l'incertitude relative de la valeur Q_U en mode TE_{021} et de la valeur Q_U en mode TE_{012} issue de l'essai comparatif interlaboratoire 57

Figure C.4 – Dépendance vis-à-vis de la température de l'incertitude relative de la valeur f_0 en mode TE_{021} en fonction de la température issue de l'essai comparatif interlaboratoire 57

Figure C.5 – Comparaison de la dépendance vis-à-vis de la température de la résistance R_{Se} mesurée à environ 38 GHz pour les films YBCO lors de l'essai comparatif interlaboratoire 58

Figure C.6 – Dépendance vis-à-vis de la température des incertitudes relatives de R_{Se} (cercle ouvert) et de R_S (cercle rempli) à environ 38 GHz pour les films de YBCO issues de l'essai comparatif interlaboratoire 59

Figure C.7 – Dépendance vis-à-vis de la température des incertitudes relatives de la valeur Q_U en mode TE_{021} d'après l'essai comparatif interlaboratoire (cercle ouvert) et

des incertitudes dues à l'incertitude présumée de 0,5 K de la température (croix) à environ 38 GHz pour le résonateur saphir de type B 61

Tableau 1 – Dimensions types d'une tige de saphir 17
Tableau 2 – Dimensions types des cavités de cuivre OFHC et des films HTS 17
Tableau 3 – Facteurs géométriques et facteurs de remplissage calculés pour les résonateurs saphir normalisés 21
Tableau 4 – Spécifications de l'analyseur de réseau vectoriel 26
Tableau 5 – Incertitude de type B pour les spécifications relatives à la tige de saphir 26
Tableau C.1 – Valeurs de ε_{r4}, l, t, β_4, β_{z4}, β_h, λ et coth(t/λ) à 30 K 54
Tableau C.2 – Valeurs moyennes des résistances R_{Se} et R_S des films de YBCO issues de l'essai comparatif interlaboratoire et incertitudes relatives de R_{Se} et R_S 60

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

Supraconductivite - Partie 15: Mesurages des caractéristiques électroniques - Impédance de surface intrinsèque de films supraconducteurs aux fréquences micro-ondes

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'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'IEC n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse https://patents.iec.ch. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié tout ou partie de tels droits de brevet.

L'IEC 61788-15 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 2011. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

a) l'Annexe B informative, concernant l'incertitude type relative composée de l'impédance de surface intrinsèque, a été ajoutée;
b) les termes "fidélité" et "exactitude" ont été remplacés par "incertitude";
c) les résultats d'un essai comparatif interlaboratoire ont été ajoutés.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
90/550/FDIS	90/556/RVD

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

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

Ce 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/publications.

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

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

– reconduit,
– supprimé, ou
– révisé.

INTRODUCTION

Depuis la découverte de supraconducteurs à haute température critique T_C (HTS, *High TC Superconductors*), des travaux de recherche approfondie ont été réalisés dans le monde entier sur les applications électroniques et les applications à grande échelle avec les sous-systèmes de filtres HTS à base de $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (YBCO) déjà commercialisés [1][1].

Les avantages des films HTS pour les dispositifs micro-ondes tels que les résonateurs, filtres, antennes, lignes à retard, etc., comprennent i) un niveau de pertes micro-ondes dans les films HTS qui peut être extrêmement bas et ii) l'absence de dispersion de signal sur les lignes de transmission fabriquées à partir de films HTS en raison de la résistance de surface intrinsèque extrêmement faible (R_S) [2] et de la profondeur de pénétration indépendante de la fréquence (λ) des films HTS.

À cet égard, lorsqu'il s'agit de la conception des dispositifs micro-ondes à base de HTS, il est important de mesurer l'impédance de surface intrinsèque (Z_S) des films HTS avec $Z_S = R_S + jX_S$ et $X_S = \omega\mu_0\lambda$ (ici, ω et μ_0 désignent respectivement la fréquence angulaire et la perméabilité du vide, X_S désigne la réactance de surface intrinsèque, l'équation $X_S = \omega\mu_0\lambda$ étant valide à des températures qui ne sont pas trop proches de la température critique T_C des films HTS).

Différentes communications ont été rapportées en ce qui concerne le mesurage de la résistance R_S des films HTS aux fréquences micro-ondes, la résistance R_S type des films HTS ayant des valeurs-types aussi faibles que 1/100 à 1/50 de celle du cuivre de haute conductivité sans oxygène (OFHC, *Oxygen-Free High-Conductivity Copper*) à 77 K et 10 GHz. La résistance R_S des supraconducteurs conventionnels tels que le niobium (Nb) peut être facilement mesurée en utilisant des cavités de Nb et en convertissant le facteur de qualité du résonateur (Q) en résistance R_S du Nb. Cependant, une telle méthode de mesure conventionnelle ne peut plus être appliquée à des films HTS cultivés sur des substrats diélectriques, avec lesquels il est en fait impossible de pratiquer des cavités tout HTS. À la place, pour mesurer la résistance R_S des films HTS, plusieurs autres méthodes se sont avérées utiles, notamment la méthode du résonateur microruban [3], la méthode du résonateur microruban coplanaire [4], la méthode du résonateur à plaques parallèles [5] et la méthode du résonateur diélectrique ([6] à [11]). Parmi les méthodes énoncées, la méthode du résonateur diélectrique a été très utile, car elle permet de mesurer la résistance de surface aux micro-ondes de manière non invasive et avec exactitude. En 2002, la Commission Électrotechnique Internationale (IEC, *International Electrotechnical Commission*) a publié la méthode du résonateur diélectrique comme une norme de mesure [12].

La méthode d'essai donnée dans le présent document permet de mesurer non seulement la résistance R_S, mais aussi la réactance X_S des films HTS, quelle que soit l'épaisseur de ces films, en utilisant un seul résonateur saphir, ce qui diffère de la norme IEC existante (IEC 61788-7) qui se limite à mesurer la résistance de surface des films supraconducteurs ayant une épaisseur de plus de 3λ à la température mesurée à l'aide de deux résonateurs saphir. En fait, les résistances de surface mesurées des films HTS de différentes épaisseurs inférieures à 3λ correspondent à des valeurs efficaces au lieu de valeurs intrinsèques, qui ne peuvent pas être utilisées pour comparer directement les propriétés micro-ondes des films HTS les uns des autres [13], [14]. L'utilisation d'un seul résonateur saphir comme cela est suggéré dans le présent document permet aussi de réduire l'incertitude qui affecte la valeur mesurée de la résistance de surface, qui peut résulter de l'utilisation de deux résonateurs saphir avec des tiges de saphir de qualité différente.

---

[1] Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

La méthode d'essai donnée dans le présent document peut aussi être appliquée aux conducteurs revêtus de HTS, aux substrats HTS et autres supraconducteurs qui ont des modèles bien établis pour la profondeur de pénétration.

Le présent document vise à fournir une base technique appropriée et acceptable à l'heure actuelle aux ingénieurs qui travaillent dans les domaines de l'électronique et de la technologie de la supraconductivité.

La méthode d'essai couverte par le présent document a été débattue lors de la rencontre VAMAS (Versailles Project on Advanced Materials and Standards) TWA-16.

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61788 décrit les mesurages de l'impédance de surface intrinsèque (Z_S) des films HTS aux fréquences micro-ondes par une méthode modifiée du résonateur diélectrique en mode deux résonances [14], [15]. L'objet du mesurage est d'obtenir la dépendance vis-à-vis de la température de l'impédance de surface intrinsèque, Z_S, à la fréquence de résonance f_0.

La plage de fréquences et d'épaisseurs et la résolution de mesure pour l'impédance Z_S des films HTS sont les suivantes:

– fréquence: jusqu'à 40 GHz;
– épaisseur du film: supérieure à 50 nm;
– résolution de mesure: 0,01 mΩ à 10 GHz.

Il est crucial que les données Z_S à la fréquence mesurée et celles normalisées à 10 GHz soient consignées à des fins de comparaison, en prenant pour hypothèse la règle f^2 pour la résistance de surface intrinsèque R_S (f < 40 GHz) et la règle f pour la réactance de surface intrinsèque X_S.

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 60050-815:2024, *Vocabulaire électrotechnique international – Partie 815: Supraconductivité*

3 Termes et définitions

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

– IEC Electropedia: disponible à l'adresse https://www.electropedia.org/
– ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse https://www.iso.org/obp

3.1
impédance de surface
impédance d'un matériau métallique ou d'un supraconducteur lorsqu'une onde électromagnétique de haute fréquence est confinée à la surface

Note 1 à l'article: L'impédance de surface contrôle les pertes thermiques des cavités radiofréquences supraconductrices.

Note 2 à l'article: Cet article était numéroté 815-13-60 dans l'IEC 60050-815:2015.

[SOURCE: IEC 60050-815:2024, 815-22-33]