



# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

---

**Gyromagnetic materials intended for application at microwave frequencies –  
Measuring methods for properties**

**Matériaux gyromagnétiques destinés à des applications hyperfréquences –  
Méthodes de mesure des propriétés**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE **XA**  
CODE PRIX

---

ICS 29.100.10

ISBN 978-2-88912-595-1

## CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references .....	7
3 Terms and definitions .....	7
4 Saturation magnetization $M_S$ .....	7
4.1 General .....	7
4.2 Object .....	8
4.3 Theory.....	8
4.4 Test sample .....	9
4.5 Measuring apparatus for the vibrating coil method (VCM).....	9
4.6 Measuring apparatus for the vibrating sample method (VSM) .....	12
4.7 Calibration.....	15
4.8 Measuring procedure.....	16
4.9 Calculation .....	17
4.10 Accuracy .....	17
4.11 Data presentation .....	18
5 Magnetization (at specified field strength) $M_H$ .....	18
5.1 General .....	18
5.2 Object .....	18
5.3 Theory.....	18
5.4 Test specimen.....	20
5.5 Measuring apparatus.....	21
5.6 Calibration.....	23
5.7 Measuring procedure.....	24
5.8 Calculation .....	24
5.9 Accuracy .....	24
5.10 Data presentation .....	24
6 Gyromagnetic resonance linewidth $\Delta H$ and effective Landé factor $g_{\text{eff}}$ (general) .....	25
6.1 General .....	25
6.2 Object .....	25
6.3 Theory.....	25
6.4 Test specimens and cavities.....	26
6.5 Measuring apparatus.....	29
6.6 Measuring procedure.....	29
6.7 Calculation .....	31
6.8 Accuracy .....	31
6.9 Data presentation .....	31
7 Gyromagnetic resonance linewidth $\Delta H_{10}$ and effective Landé factor $g_{10}$ (at 10 GHz) .....	31
7.1 General .....	31
7.2 Object .....	31
7.3 Theory.....	31
7.4 Test specimen and cavity .....	32
7.5 Measuring apparatus.....	33
7.6 Measuring procedure.....	33
7.7 Calculation .....	34
7.8 Accuracy .....	34

7.9	Data presentation .....	35
8	Spin-wave resonance linewidth $\Delta H_k$ .....	35
8.1	General .....	35
8.2	Object .....	35
8.3	Theory.....	35
8.4	Test specimen and cavity .....	38
8.5	Measuring apparatus.....	39
8.6	Calibration.....	39
8.7	Measuring procedure.....	39
8.8	Calculation .....	40
8.9	Accuracy .....	40
8.10	Data presentation .....	40
9	Effective linewidth $\Delta H_{\text{eff}}$ .....	40
9.1	General .....	40
9.2	Object .....	40
9.3	Theory.....	41
9.4	Test specimen and cavity .....	43
9.5	Measuring apparatus.....	43
9.6	Calibration.....	44
9.7	Apparatus adjustment.....	44
9.8	Measuring procedure.....	45
9.9	Calculation .....	46
9.10	Accuracy .....	46
9.11	Data presentation .....	46
10	Complex permittivity $\epsilon_r$ .....	47
10.1	General .....	47
10.2	Object .....	47
10.3	Theory.....	47
10.4	Test specimen and cavity .....	50
10.5	Measuring apparatus.....	50
10.6	Measurement procedure.....	51
10.7	Calculation .....	51
10.8	Accuracy .....	52
10.9	Data presentation .....	52
11	Apparent density $\rho_{\text{app}}$ .....	52
11.1	General .....	52
11.2	Apparent density (by mensuration) .....	52
11.3	Apparent density (by water densitometry).....	54
Bibliography.....		56
Figure 1 – Vibrating coil method – Sample and coils arrangement .....		9
Figure 2 – Magnetic field configuration .....		10
Figure 3 – Measuring apparatus (VCM).....		12
Figure 4 – Vibrating sample method – Sample and coil arrangement .....		13
Figure 5 – Measuring apparatus (VSM).....		14
Figure 6 – Hysteresis curves for a magnetic material: $B(H)$ curve, $M(H)$ curve .....		19
Figure 7 – Test sample with compensation unit.....		20

Figure 8 – Test specimen.....	21
Figure 9 – Measuring circuit for determining magnetization (at specified field strength) $M_H$ .....	22
Figure 10 – Miller integrator.....	23
Figure 11 – Cavity for measurement of gyromagnetic resonance linewidth and effective Landé factor .....	27
Figure 12 – Stripline resonator for measurement of gyromagnetic resonance linewidth and effective Landé factor at low frequency .....	28
Figure 13 – Schematic diagram of the equipment required for measurement of gyromagnetic resonance linewidth and effective Landé factor .....	30
Figure 14 – Schematic diagram of the equipment required for measurement of gyromagnetic resonance linewidth and effective Landé factor at 10 GHz .....	34
Figure 15 – Subsidiary absorption and saturation of the normal resonance .....	36
Figure 16 – Pulse deterioration at onset of subsidiary resonance .....	36
Figure 17 – Measured critical r.f. field strength as a function of pulse duration $t_d$ .....	37
Figure 18 – Typical $TE_{104}$ cavity for the measurement of spin-wave resonance linewidth at about 9,3 GHz.....	38
Figure 19 – Block diagram of spin-wave resonance linewidth test equipment .....	39
Figure 20 – Sectional view of the cavity with specimen .....	42
Figure 21 – Dimensions of a cavity designed for resonance at a frequency of 9,1 GHz .....	42
Figure 22 – Schematic diagram of equipment for measuring effective linewidth $\Delta H_{eff}$ .....	44
Figure 23 – Determination of $Q_0$ .....	46
Figure 24 – Ideal resonant cavity with specimen, used for theoretical calculation (sectional view).....	48
Figure 25 – Dimensions of the resonant cavity with specimen .....	50
Figure 26 – Schematic diagram of equipment required for the measurement of complex dielectric constant.....	51

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

### **GYROMAGNETIC MATERIALS INTENDED FOR APPLICATION AT MICROWAVE FREQUENCIES – MEASURING METHODS FOR PROPERTIES**

#### 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.

International Standard IEC 60556 has been prepared by IEC technical committee 51: Magnetic components and ferrite materials.

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 1982, its amendment 1 (1997) and amendment 2 (2004). This edition constitutes a technical revision.

This second edition is a consolidation of the first edition and its amendments 1 and 2. It includes editorial improvements as well as improvements to the figures.

This standard is to be read in conjunction with IEC 60392.

This bilingual version (2011-07) replaces the English version.

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

FDIS	Report on voting
51/850/FDIS	51/859/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.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability 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.

## GYROMAGNETIC MATERIALS INTENDED FOR APPLICATION AT MICROWAVE FREQUENCIES – MEASURING METHODS FOR PROPERTIES

### 1 Scope

This International Standard describes methods of measuring the properties used to specify polycrystalline microwave ferrites in accordance with IEC 60392 and for general use in ferrite technology. These measuring methods are intended for the investigation of materials, generally referred to as ferrites, for application at microwave frequencies.

Single crystals and thin films generally fall outside the scope of this standard.

NOTE 1 For the purposes of this standard, the words “ferrite” and “microwave” are used in a broad sense:

- by “ferrites” is meant not only magneto-dielectric chemical components having a spinel crystal structure, but also materials with garnet and hexagonal structures;
- the “microwave” region is taken to include wavelengths approximately between 1 m and 1 mm, the main interest being concentrated on the region 0,3 m to 10 mm.

NOTE 2 Examples of components employing microwave ferrites are non-reciprocal devices such as circulators, isolators and non-reciprocal phase-shifters. These constitute the major field of application, but the materials may be used in reciprocal devices as well, for example, modulators and (reciprocal) phase-shifters. Other applications include gyromagnetic filters, limiters and more sophisticated devices, such as parametric amplifiers.

### 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 amendment) applies.

IEC 60050-221, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 221: Magnetic materials components*

IEC 60205:2006, *Calculation of the effective parameters of magnetic piece parts*

IEC 60392:1972, *Guide for the drafting of specifications for microwave ferrites*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	61
1 Domaine d'application .....	63
2 Références normatives.....	63
3 Termes et définitions .....	63
4 Aimantation à saturation $M_s$ .....	63
4.1 Généralités.....	63
4.2 Objet .....	64
4.3 Théorie.....	64
4.4 Echantillon en essai .....	65
4.5 Appareil de mesure pour la méthode de la bobine vibrante.....	65
4.6 Appareil de mesure pour la méthode des échantillons vibrants.....	68
4.7 Étalonnage.....	71
4.8 Procédure de mesure .....	73
4.9 Calcul.....	74
4.10 Précision .....	74
4.11 Présentation des données .....	74
5 Aimantation (à l'intensité de champ spécifiée) $M_H$ .....	74
5.1 Généralités.....	74
5.2 Objet .....	75
5.3 Théorie.....	75
5.4 Spécimen d'essai .....	77
5.5 Appareil de mesure .....	78
5.6 Etalonnage.....	80
5.7 Procédure de mesure .....	80
5.8 Calcul.....	80
5.9 Précision .....	81
5.10 Présentation des données .....	81
6 Largeur de raie de la résonance gyromagnétique $\Delta H$ et facteur de Landé efficace $g_{\text{eff}}$ (cas général).....	81
6.1 Généralités.....	81
6.2 Objet .....	81
6.3 Théorie.....	82
6.4 Spécimens d'essai et cavités.....	83
6.5 Appareil de mesure .....	85
6.6 Procédure de mesure .....	85
6.7 Calcul.....	87
6.8 Précision .....	87
6.9 Présentation des données .....	87
7 Largeur de raie de la résonance gyromagnétique $\Delta H_{10}$ et facteur de Landé efficace $g_{10}$ (à 10 GHz).....	87
7.1 Généralités.....	87
7.2 Objet .....	87
7.3 Théorie.....	87
7.4 Spécimen d'essai et cavité .....	88
7.5 Appareil de mesure .....	89
7.6 Procédure de mesure .....	89



7.7	Calcul.....	90
7.8	Précision.....	90
7.9	Présentation des données.....	90
8	Largeur de raie de la résonance des ondes de spin $\Delta H_k$ .....	91
8.1	Généralités.....	91
8.2	Objet.....	91
8.3	Théorie.....	91
8.4	Spécimen d'essai et cavité.....	94
8.5	Appareil de mesure.....	95
8.6	Étalonnage.....	95
8.7	Procédure de mesure.....	95
8.8	Calcul.....	96
8.9	Précision.....	96
8.10	Présentation des données.....	96
9	Largeur de raie efficace $\Delta H_{\text{eff}}$ .....	96
9.1	Généralités.....	96
9.2	Objet.....	97
9.3	Théorie.....	97
9.4	Spécimen d'essai et cavité.....	99
9.5	Appareil de mesure.....	100
9.6	Étalonnage.....	100
9.7	Réglage de l'appareil.....	100
9.8	Procédure de mesure.....	101
9.9	Calcul.....	103
9.10	Précision.....	103
9.11	Présentation des données.....	103
10	Permittivité complexe $\epsilon_r$ .....	103
10.1	Généralités.....	103
10.2	Objet.....	103
10.3	Théorie.....	104
10.4	Spécimen d'essai et cavité.....	106
10.5	Appareil de mesure.....	106
10.6	Procédure de mesure.....	107
10.7	Calcul.....	107
10.8	Précision.....	108
10.9	Présentation des données.....	108
11	Densité apparente $\rho_{\text{app}}$ .....	108
11.1	Généralités.....	108
11.2	Densité apparente (par mensuration).....	108
11.3	Densité apparente (par densitométrie dans l'eau).....	109
	Bibliographie.....	112
	Figure 1 – Méthode de la bobine vibrante – Disposition des bobines et de l'échantillon.....	66
	Figure 2 – Configuration des champs magnétiques.....	66
	Figure 3 – Appareil de mesure (méthode de la bobine vibrante).....	68
	Figure 4 – Méthode de l'échantillon vibrant – Disposition des bobines et de l'échantillon.....	69
	Figure 5 – Appareil de mesure (méthode des échantillons vibrants).....	70

Figure 6 – Courbes d'hystérésis pour un matériau magnétique: courbe $B(H)$ , courbe $M(H)$ .....	75
Figure 7 – Echantillon d'essai avec unité de compensation .....	77
Figure 8 – Spécimen d'essai .....	77
Figure 9 – Circuit de mesure pour déterminer l'aimantation (à une intensité de champ spécifiée) $M_H$ .....	78
Figure 10 – Intégrateur de Miller .....	79
Figure 11 – Cavité pour mesurer la largeur de raie de la résonance gyromagnétique et le facteur de Landé efficace .....	83
Figure 12 – Résonateur à ligne à ruban pour mesurer la largeur de raie de la résonance gyromagnétique et le facteur de Landé efficace à basse fréquence .....	84
Figure 13 – Schéma des équipements nécessaires pour mesurer la largeur de raie de la résonance gyromagnétique et le facteur de Landé efficace .....	86
Figure 14 – Schéma des équipements nécessaires pour mesurer la largeur de raie de la résonance gyromagnétique et le facteur de Landé efficace à 10 GHz.....	90
Figure 15 – Absorption auxiliaire et saturation de la résonance normale .....	92
Figure 16 – Détérioration d'une impulsion au début de la résonance auxiliaire .....	92
Figure 17 – Intensité du champ RF critique mesurée en fonction de la durée d'impulsion $t_d$ .....	93
Figure 18 – Cavité $TE_{104}$ typique pour la mesure de la largeur de raie de résonance des ondes de spin à environ 9,3 GHz.....	94
Figure 19 – Schéma fonctionnel des équipements d'essai de largeur de raie de résonance des ondes de spin .....	95
Figure 20 – Vue en coupe de la cavité avec le spécimen .....	98
Figure 21 – Dimensions d'une cavité conçue pour entrer en résonance à une fréquence de 9,1 GHz .....	98
Figure 22 – Représentation schématique des équipements de mesure de la largeur de raie efficace $\Delta H_{\text{eff}}$ .....	100
Figure 23 – Détermination de $Q_0$ .....	102
Figure 24 – Cavité résonante idéale avec spécimen, utilisée pour le calcul théorique (vue en coupe).....	104
Figure 25 – Dimensions de la cavité résonante avec le spécimen .....	106
Figure 26 – Schéma des équipements nécessaires pour la mesure de la constante diélectrique complexe .....	107

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

---

### **MATÉRIAUX GYROMAGNÉTIQUES DESTINÉS À DES APPLICATIONS HYPERFRÉQUENCES – MÉTHODES DE MESURE DES PROPRIÉTÉS**

#### 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 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 la CEI. La CEI 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 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 brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60556 a été établie par le comité d'études 51 de la CEI: Composants magnétiques et ferrites.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1982, ainsi que son amendement 1 (1997) et son amendement 2 (2004). Cette édition constitue une révision technique.

Cette deuxième édition est une consolidation de la première édition et de ses amendements 1 et 2. Elle inclut des améliorations éditoriales et des améliorations des figures.

La présente norme doit être lue conjointement avec la CEI 60392.

Cette version bilingue (2011-07) remplace la version monolingue anglaise.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 51/850/FDIS et 51/859/RVD.

Le rapport de vote 51/859/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/CEI, Partie 2.

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

## MATÉRIAUX GYROMAGNÉTIQUES DESTINÉS À DES APPLICATIONS HYPERFRÉQUENCES – MÉTHODES DE MESURE DES PROPRIÉTÉS

### 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale décrit des méthodes de mesure des propriétés utilisées pour spécifier des ferrites polycristallins pour hyperfréquences conformément à la CEI 60392 et l'utilisation générale de la technologie des ferrites. Ces méthodes de mesure sont destinées à l'étude de matériaux, les ferrites, pour les applications hyperfréquences.

Les monocristaux et les couches minces sortent en général du domaine d'application de la présente Norme.

NOTE 1 Pour les besoins de la présente Norme, les mots "ferrite" et "hyperfréquence" sont utilisés au sens large:

- "ferrite" fait référence non seulement aux composants chimiques magnéto-diélectriques présentant une structure cristallographique spinelle, mais aussi aux matériaux avec grenats et structures hexagonales;
- la région "hyperfréquences" inclut les longueurs d'ondes comprises entre environ 1 m et 1 mm, la région de principal intérêt étant dans la gamme allant de 0,3 m à 10 mm.

NOTE 2 Des exemples de composants utilisant des ferrites pour hyperfréquences sont les dispositifs non réciproques tels que les circulateurs, les isolateurs et les déphaseurs non réciproques. Ils constituent le principal champ d'application, mais les matériaux peuvent également être utilisés dans des dispositifs réciproques, par exemple, des modulateurs et des déphaseurs (réciproques). D'autres applications incluent les filtres gyromagnétiques, les limiteurs, mais aussi des dispositifs plus sophistiqués tels les amplificateurs paramétriques.

### 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 60050-221, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 221: Matériaux et composants magnétiques*

CEI 60205:2006, *Calcul des paramètres effectifs des pièces ferromagnétiques*

CEI 60392:1972, *Directives pour l'établissement des spécifications relatives aux ferrites pour hyperfréquences*