

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Modification N°2

Octobre 1968

**à la Publication 125
(Première édition-1961)**

Amendment No. 2

October 1968

**to Publication 125
(First edition-1961)**

Classification générale des matériaux en oxydes ferromagnétiques et définition des termes

Les modifications contenues dans le présent document ont été approuvées suivant la Règle des Six Mois et la Procédure des Deux Mois respectivement.

Les projets de modifications furent discutés par le Comité d'Etudes N° 51 aux cours des réunions tenues à Interlaken en 1961, à Nice en 1962 et à Aix-les-Bains en 1964, à Baden-Baden en 1965 et à Tel-Aviv en 1966.

General classification of ferromagnetic oxide materials and definitions of terms

The amendments contained in this document have been approved under the Six Months' Rule and the Two Months' Procedure respectively.

The draft amendments were discussed by Technical Committee No. 51 at meetings held in Interlaken in 1961, in Nice in 1962 and in Aix-les-Bains in 1964, in Baden-Baden in 1965 and in Tel-Aviv in 1966.



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembé
Genève, Suisse

**MODIFICATIONS ET COMPLÉMENTS A LA PUBLICATION 125 DE LA CEI:
CLASSIFICATION GÉNÉRALE DES MATÉRIAUX EN OXYDES FERROMAGNÉTIQUES
ET DÉFINITION DES TERMES**

(Première édition – 1961)

NOTE GÉNÉRALE

La rédaction des définitions dans la présente modification s'écarte de celle de la Publication 125 et de la Modification N° 1, en ce sens que l'expression «dans des conditions spécifiées» n'est pas incluse. Néanmoins, il est clair que, si l'on applique ces définitions, les grandeurs peuvent être qualifiées par les conditions dans lesquelles on utilise le matériau. Dans ce cas, ces conditions doivent être spécifiées (voir le paragraphe 3.2.3 de la Publication 125).

Page 8

2. Classification générale

Modifier les points e) et g) comme suit:

- e) Matériaux destinés à être utilisés dans le cas où il est fait un emploi des effets gyromagnétiques (rotation de Faraday, résonance gyromagnétique, variations de la perméabilité en présence d'un second champ magnétique, etc.).
- g) Matériaux destinés à des applications multiples (par exemple des absorbants électromagnétiques).

Page 10

A. Perméabilité

A. 1.3 Perméabilité tensorielle

Remplacer le présent texte par le suivant:

Le tenseur donnant le rapport entre les vecteurs d'espace représentant l'induction et le champ à l'intérieur du matériau:

$$\vec{B} = \mu_o (\mu) \vec{H}$$

où:

$$(\mu) = \begin{pmatrix} \mu_{xx} & \mu_{xy} & \mu_{xz} \\ \mu_{yx} & \mu_{yy} & \mu_{yz} \\ \mu_{zx} & \mu_{zy} & \mu_{zz} \end{pmatrix}$$

est la perméabilité tensorielle et μ_{ij} sont les composantes de la perméabilité tensorielle dans le cas général.

A. 1.4 Perméabilité tensorielle de Polder

Remplacer le titre et le présent texte par:

Perméabilité tensorielle pour un milieu saturé par un champ continu (perméabilité tensorielle de Polder)

La perméabilité tensorielle en présence d'un champ continu qui sature le matériau.

AMENDMENTS AND SUPPLEMENTS TO IEC PUBLICATION 125: GENERAL CLASSIFICATION OF FERROMAGNETIC OXIDE MATERIALS AND DEFINITIONS OF TERMS

(First edition – 1961)

GENERAL NOTE

The wording of the definitions in this Amendment deviates slightly from that in Publication 125 and Amendment No.1 in that the words “under stated conditions” have not been included. It is, however, understood that, when applying the definitions, the quantities may be qualified by the conditions under which the material is used. If so, such conditions should be stated (see also Sub-clause 3.2.3 of Publication 125).

Page 9

2. General classification

Amend items e) and g) as follows:

- e) Material, intended for use in those cases where use is made of gyromagnetic effects (Faraday effect, gyromagnetic resonance, permeability variations in the presence of a second magnetic field etc.).
- g) Materials for miscellaneous applications (e.g. electromagnetic absorbers).

Page 11

A. Permeability

A. 1.3 Tensor permeability

Replace the present text by the following:

The tensor giving the relation between the space vectors representing flux density and field strength inside the material:

$$\vec{B} = \mu_0 (\mu) \vec{H}$$

where:

$$(\mu) = \begin{pmatrix} \mu_{xx} & \mu_{xy} & \mu_{xz} \\ \mu_{yx} & \mu_{yy} & \mu_{yz} \\ \mu_{zx} & \mu_{zy} & \mu_{zz} \end{pmatrix}$$

is the tensor permeability and μ_{ij} are the tensor permeability components in the general case.

A. 1.4 Polder's tensor permeability

Replace present title and text by:

Tensor permeability for a magnetostatically saturated medium (Polder's tensor permeability)

The tensor permeability in the presence of a static magnetic field which saturates the material.

A. 2.6 Perméabilité tensorielle

Remplacer le titre et le texte par :

A. 2.6 Perméabilité tensorielle pour un milieu saturé par un champ continu (perméabilité tensorielle de Polder)¹⁾

La perméabilité tensorielle pour un milieu saturé par un champ magnétique continu dans le sens $o - z$ peut être représentée par le tenseur désigné fréquemment par «perméabilité tensorielle de Polder» :

$$(\mu)_p = \begin{pmatrix} \underline{\mu} - j\underline{\kappa} & 0 \\ j\underline{\kappa} & \underline{\mu} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

où : $\underline{\mu}$ et $\underline{\kappa}$ sont les composantes tensorielles complexes :

$$\begin{aligned} \underline{\mu} &= \mu' - j\mu'' \\ \underline{\kappa} &= \kappa' - j\kappa'' \end{aligned}$$

Note 1 : Les composantes tensorielles complexes peuvent être calculées en utilisant les descriptions phénoménologiques du comportement dynamique des milieux pyromagnétiques. Des équations dynamiques contenant des termes de pertes de formes différentes sont données par Landau et Lifshitz²⁾, par Bloch³⁾ et par Bloembergen⁴⁾. Il est admis que les composantes du champ magnétique de haute fréquence sont petites en comparaison des composantes du champ magnétique continu.

De l'équation de Landau-Lifshitz, les expressions suivantes peuvent être obtenues :

$$\mu' = 1 - \frac{f_0 f_m [f^2(1-a^2) - f_0^2(1+a^2)^2]}{[f^2 - f_0^2(1+a^2)]^2 + 4a^2 f^2 f_0^2}$$

$$\mu'' = \frac{a f f_m [f^2 + f_0^2(1+a^2)]}{[f^2 - f_0^2(1+a^2)]^2 + 4a^2 f^2 f_0^2}$$

$$\kappa' = \frac{f f_m [f^2 - f_0^2(1+a^2)]}{[f^2 - f_0^2(1+a^2)]^2 + 4a^2 f^2 f_0^2}$$

$$\kappa'' = \frac{2 a f^2 f_0 f_m}{[f^2 - f_0^2(1+a^2)]^2 + 4a^2 f^2 f_0^2}$$

1) D. Polder: "On the Theory of Ferromagnetic Resonance Absorption", Phil. Mag., 23 (1947).

2) L. Landau, E. Lifshitz: "On the Theory of the Dispersion of Magnetic Permeability in Ferromagnetic Bodies", Phys. Z. der Sowjetunion, 8, 1935.

3) F. Bloch: "Nuclear Induction", Phys. Rev., 70, 7 (1946).

4) N. Bloembergen: "Magnetic Resonance in Ferrites", Proc. IRE, 44, 10 (1956).

A. 2.6 Tensor permeability

Replace present heading and text by:

A. 2.6 Tensor permeability for a magnetostatically saturated medium (Polder's tensor permeability)¹⁾

The tensor permeability for a medium, magnetostatically saturated in the z-direction, may be represented by the tensor frequently referred to as Polder's permeability tensor:

$$(\mu)_p = \begin{pmatrix} \underline{\mu} - j\underline{\kappa} & 0 \\ j\underline{\kappa} & \underline{\mu} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

where: $\underline{\mu}$ and $\underline{\kappa}$ are the complex tensor components:

$$\begin{aligned} \underline{\mu} &= \mu' - j\mu'' \\ \underline{\kappa} &= \kappa' - j\kappa'' \end{aligned}$$

Note 1: The complex tensor components may be computed utilizing phenomenological descriptions of the dynamic behaviour of gyromagnetic media. Equations of motion containing loss terms of different forms have been given by Landau and Lifshitz²⁾ and by Bloch³⁾ and Bloembergen⁴⁾. The high-frequency magnetic field components are assumed to be small compared to the static ones.

From the Landau-Lifshitz equation the following expressions can be obtained:

$$\mu' = 1 - \frac{f_0 f_m [f^2(1-a^2) - f_0^2(1+a^2)^2]}{[f^2 - f_0^2(1+a^2)]^2 + 4a^2 f^2 f_0^2}$$

$$\mu'' = \frac{a f f_m [f^2 + f_0^2(1+a^2)]}{[f^2 - f_0^2(1+a^2)]^2 + 4a^2 f^2 f_0^2}$$

$$\kappa' = \frac{f f_m [f^2 - f_0^2(1+a^2)]}{[f^2 - f_0^2(1+a^2)]^2 + 4a^2 f^2 f_0^2}$$

$$\kappa'' = \frac{2 a f^2 f_0 f_m}{[f^2 - f_0^2(1+a^2)]^2 + 4a^2 f^2 f_0^2}$$

1) D. Polder: "On the Theory of Ferromagnetic Resonance Absorption", Phil. Mag., 23 (1947).

2) L. Landau, E. Lifshitz: "On the Theory of the Dispersion of Magnetic Permeability in Ferromagnetic Bodies", Phys. Z. der Sowjetunion, 8, 1935.

3) F. Bloch: "Nuclear Induction", Phys. Rev., 70, 7 (1946).

4) N. Bloembergen: "Magnetic Resonance in Ferrites", Proc. IRE, 44, 10 (1956).

où:

$$a = \frac{\Delta H}{2H_0}$$

$$f_0 = \frac{\gamma \mu_0 H_0}{2\pi}$$

$$f_m = \frac{\gamma \mu_0 M_0}{2\pi}$$

et:

f = fréquence de service en hertz

ΔH = largeur de la raie de résonance gyromagnétique en ampères/mètre (voir la note du paragraphe B.1.5 de la Modification N°1 à la Publication 125 de la CEI)

H_0 = champ continu intérieur effectif en ampères/mètre

M_0 = aimantation à saturation en ampères/mètre

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m

$\gamma = 88\text{ g} \times 10^9 \text{ m}^2/\text{Vsec}^2$ (pour g on peut utiliser le facteur de Landé effectif)

Les expressions correspondantes de Bloch-Bloembergen sont obtenues par la substitution:

$$a = \frac{1}{2\pi f_0 \tau}$$

où:

τ est le temps de relaxation

Quand des pertes sont négligées, le paramètre « a » disparaît et les composantes tensorielles deviennent réelles et égales à:

$$\mu = 1 - \frac{f_0 f_m}{f^2 - f_0^2}$$

$$\kappa = \frac{f f_m}{f^2 - f_0^2}$$

Note 2: Conformément à C. Kittel⁵⁾, dans des conditions spécifiées, le champ continu effectif H_0 peut être calculé pour des ellipsoïdes saturés magnétiquement suivant $o-z$, par la formule:

$$H_0 = \sqrt{[H_z + (N_x - N_z)M_0][H_z + (N_y - N_z)M_0]}$$

où:

H_z = le champ continu appliqué à l'extérieur (dans le sens $o-z$)

M_0 = aimantation à saturation

N_x, N_y, N_z = les facteurs de désaimantation dans la direction des trois axes principaux

Cette formule ne contient pas les effets des champs d'anisotropie à l'intérieur du matériau.

Note 3: Les composantes tensorielles peuvent être mesurées à l'aide des techniques de la perturbation de cavité, pourvu que les conditions soient spécifiées. L'échantillon, ayant généralement la forme d'une petite sphère polie, est placé dans un résonateur à cavité et soumis simultanément à un champ magnétique de haute fréquence et à un champ continu. Les composantes tensorielles peuvent être calculées à partir des variations de la fréquence résonance et du facteur de qualité (Q) de la cavité, à l'aide de la théorie de perturbation.

⁵⁾ C. Kittel: Physical Theory of Ferromagnetic Domains, Rev. Mod. Phys. 24 (1949).

where:

$$a = \frac{\Delta H}{2H_0}$$

$$f_0 = \frac{\gamma \mu_0 H_0}{2\pi}$$

$$f_m = \frac{\gamma \mu_0 M_0}{2\pi}$$

and:

f = the operating frequency in hertz

ΔH = the gyromagnetic resonance linewidth in amperes/metre (see Note to Sub-clause B.1.5 of Amendment No.1 to Publication 125)

H_0 = the effective internal static field strength in amperes/metre

M_0 = the saturation magnetization in amperes/metre

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m

$\gamma = 88 g \times 10^9$ m²/Vsec² (for g the effective Landé factor of the material should be used)

The corresponding Bloch–Bloembergen expressions are obtained by the substitution:

$$a = \frac{1}{2\pi f_0 \tau}$$

where:

τ is the relaxation time

If losses are neglected, the parameter “ a ” vanishes and the tensor components become real and equal to:

$$\mu = 1 - \frac{f_0 f_m}{f^2 - f_0^2}$$

$$\kappa = \frac{f f_m}{f^2 - f_0^2}$$

Note 2: According to C. Kittel⁵⁾, the effective internal static field strength, H_0 , may under certain conditions be calculated for general magnetically saturated ellipsoids as:

$$H_0 = \sqrt{[H_z + (N_x - N_z)M_0][H_z + (N_y - N_z)M_0]}$$

where:

H_z = the externally applied static field strength (in the z-direction)

M_0 = the saturation magnetization

N_x, N_y, N_z = the demagnetizing factors in the three coordinate directions

This formula does not include the effects of anisotropy fields inside the material.

Note 3: The tensor components may be measured with the aid of cavity perturbation techniques, provided the conditions are specified. The sample, usually in the form of a small polished sphere, is placed in a cavity resonator and simultaneously subjected to a high-frequency and a static magnetic field. The tensor components may be calculated from observed changes in the resonant frequency and the quality factor (Q) of the cavity, with the aid of perturbation theory.

⁵⁾ C. Kittel: Physical Theory of Ferromagnetic Domains, Rev. Mod. Phys. 24 (1949).

A. 2.7 Perméabilité tensorielle de Polder

Remplacer le titre et le texte par:

A.2.7 Perméabilité scalaire pour des champs polarisés circulairement

Dans un milieu saturé par le champ continu dans le sens $o-z$, la perméabilité scalaire complexe pour une onde électromagnétique ayant une composante du champ H polarisé circulairement dans un plan perpendiculaire au champ appliqué:

$$\begin{aligned}\underline{\mu}_+ &= \underline{\mu} + \underline{\kappa} \\ \underline{\mu}_- &= \underline{\mu} - \underline{\kappa}\end{aligned}$$

où:

$\underline{\mu}$ et $\underline{\kappa}$ sont les composantes complexes de la perméabilité tensorielle pour un milieu saturé par un champ continu

Note: Les indices sont choisis conformément aux signes dans les membres de droite des équations mathématiques données ci-dessus. En pratique $\underline{\mu}_+$ s'applique lorsque la composante du champ H tourne en fonction du temps dans le sens inverse d'une montre quand on la regarde dans le sens du champ continu appliqué. Pour le sens opposé de la rotation, $\underline{\mu}_-$ est valable.

Insérer l'article suivant:

A. 2.8 Perméabilité scalaire effective pour les ondes planes

Dans un milieu saturé par le champ continu dans le sens $o-z$, la perméabilité scalaire complexe pour une onde électromagnétique plane se propageant dans un sens perpendiculaire au champ continu et dont la composante de champ H est aussi perpendiculaire au champ continu:

$$\underline{\mu}_{\perp} = \frac{\underline{\mu}^2 - \underline{\kappa}^2}{\underline{\mu}}$$

où:

$\underline{\mu}$ et $\underline{\kappa}$ sont les composantes complexes de la perméabilité tensorielle pour un milieu saturé par un champ continu

Modification N°1 à la Publication 125 de la CEI

Page 2

B. 1.5 Pertes par résonance gyromagnétique

Remplacer la présente note par:

Note: Une mesure des pertes par résonance gyromagnétique d'un matériau donné à une fréquence donnée est fournie par la largeur de la raie de la résonance gyromagnétique, ΔH mesurée sur le matériau à cette fréquence particulière. La largeur de la raie de la résonance gyromagnétique peut être définie comme étant égale à la différence entre deux champs continus où la partie imaginaire d'une des composantes de la perméabilité tensorielle pour un milieu saturé par le champ continu ou une combinaison linéaire de celui-ci a la moitié de sa valeur maximale.

A. 2.7 Polder's tensor permeability

Replace the present heading and text by:

A. 2.7 Scalar permeability for circularly polarized fields

In a medium, magnetostatically saturated in the z-direction, the complex scalar permeability for an electromagnetic wave having a circularly polarized H-field component in a plane perpendicular to the applied magnetostatic field:

$$\begin{aligned}\underline{\mu}_+ &= \underline{\mu} + \underline{\kappa} \\ \underline{\mu}_- &= \underline{\mu} - \underline{\kappa}\end{aligned}$$

where:

$\underline{\mu}$ and $\underline{\kappa}$ are the complex components of the tensor permeability for a magnetostatically saturated medium

Note: The subscripts have been chosen in accordance with the signs in the right hand members of the mathematical expressions given above. In practice $\underline{\mu}_+$ is applicable where the H-field component rotates counter-clockwise as a function of time when seen in the direction of the applied static magnetic field. For the opposite sense of rotation, $\underline{\mu}_-$ is valid.

Add the following sub-clause:

A. 2.8 Effective scalar permeability for plane waves

In a medium, magnetostatically saturated in the z-direction, the complex scalar permeability for a plane electromagnetic wave propagating in a direction perpendicular to the magnetostatic field and whose H-field component is also perpendicular to the magnetostatic field:

$$\underline{\mu}_{\perp} = \frac{\underline{\mu}^2 - \underline{\kappa}^2}{\underline{\mu}}$$

where:

$\underline{\mu}$ and $\underline{\kappa}$ are the complex components of the tensor permeability for a magnetostatically saturated medium

Amendment No. 1 to IEC Publication 125

Page 3

B. 1.5 Gyromagnetic resonance loss

Replace the present note by:

Note: A measure of the gyromagnetic resonance loss properties of a given material at a given frequency is given by the gyromagnetic resonance line width, ΔH , measured on the material at that particular frequency. The gyromagnetic resonance line width can be described as the difference between the two magnetostatic field strengths where the imaginary part of any of the components of the permeability tensor for a magnetostatically saturated medium or a linear combination thereof has half its maximum value.