Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]

Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève

Band: 13 (1960)

Heft: 9: Colloque Ampère

Artikel: Mesure de la constante diélectrique de ferrites en cavité résonnante à 10 GHz

Autor: Cagan, Vladimir

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-738558

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Mesure de la constante diélectrique de ferrites en cavité résonnante à 10 GHz

par Vladimir CAGAN

Laboratoire de Magnétisme et de Physique du Solide du C.N.R.S., Bellevue, (Seine-et-Oise).

Bien que la mesure de ε ait souvent été étudiée [1, 2, 3], nous n'avons pas trouvé dans la littérature de nombreux résultats de mesure sur des ferrites dans notre gamme de fréquence.

A température ambiante des résultats pour certaines compositions ont été publiés [4, 5, 6]. Par contre, nous n'avons pas connaissance de résultats en fonction de la température.

Nous avons donc mesuré ε' et ε'' pour certains échantillons ayant des propriétés remarquables en effet Faraday. Nous utilisons des méthodes en cavités résonnantes à l'exclusion de toutes les méthodes en guide d'ondes qui nécessitent de grosses quantités de matériaux soigneusement usinées ainsi que des calculs compliqués.

PRINCIPE DE LA MESURE

Si l'on introduit dans une cavité résonnante un échantillon diélectrique de petites dimensions, en une région de champ électrique haute fréquence maximal et de champ magnétique haute fréquence minimal, la théorie des perturbations permet de relier la constante diélectrique complexe $\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon''$ au déplacement de la fréquence de résonance Δf et à la variation de l'inverse du coefficient de surtension $\Delta\left(\frac{1}{Q}\right)$.

Nous avons choisi de travailler soit sur des petites sphères en cavité TE_{111}, soit sur des cylindres de petit diamètre en cavité TM_{010}, cette dernière solution étant de beaucoup la plus intéressante, comme nous l'expliquerons plus loin. Ces deux formes d'échantillons ont été choisies parce qu'elles sont pour nous les plus commodes à usiner tout en ne nécessitant que peu de matériau.

Les relations entre Δf, $\Delta\left(\frac{1}{Q}\right)$, ε' et ε'' sont alors les suivantes:

Méthode 1: Echantillon sphérique en cavité TE_{111}

$$\left|\frac{\Delta f}{f}\right| = 6{,}28\,\frac{Ve}{Vc}\,\frac{(\varepsilon'-1)(\varepsilon'+2)+\varepsilon''^2}{(\varepsilon'+2)^2+\varepsilon''^2} \tag{1}$$

$$\left|\Delta\left(\frac{1}{Q}\right)\right| = 37{,}70\,\frac{Ve}{Vc}\,\frac{\varepsilon''}{(\varepsilon'+2)^2+\varepsilon''^2} \tag{2}$$

Méthode 2: Echantillon cylindrique en cavité TM_{010}.

$$\left|\frac{\Delta f}{f}\right| = 1{,}855\,(\varepsilon'-1)\,\frac{Ve}{Vc} \tag{3}$$

$$\left|\Delta\left(\frac{1}{Q}\right)\right| = 3{,}710\;\varepsilon''\,\frac{Ve}{Vc} \tag{4}$$

Technique expérimentale

Mesures à température ambiante:

On remarque immédiatement la forme beaucoup plus simple des relations 3 et 4 qui se rapportent à la méthode des échantillons cylindriques. En particulier, ces relations sont indépendantes l'une de l'autre en ε' et ε'', et Δf est une fonction linéaire de ε'. C'est cette dernière particularité qui, à notre avis, donne sur le plan théorique l'avantage à la méthode 2. En effet, dans la méthode 1, la relation entre Δf et ε' est telle que Δf tend vers une limite quand ε' augmente. Expérimentalement, pour un échantillon sphérique de 2 mm³, l'erreur relative $\frac{\Delta\varepsilon'}{\varepsilon'}$ est égale à 13 % pour $\varepsilon' = 6$ et à 34% pour $\varepsilon' = 20$.

Des raisons expérimentales militent aussi en faveur de la méthode 2, dont les deux seuls défauts sont d'une part de nécessiter des échantillons cylindriques (plus difficiles à tailler que des échantillons sphériques) et d'autre part d'être incapable de fournir des résultats valables dans le cas d'ε'' très élevés.

En effet les relations 1 à 4 sont établies en supposant que le champ électrique haute fréquence est uniforme dans tout le volume de l'échantillon. Dans le cas d'une cavité TE_{11n}, la région de l'espace où cette condition est satisfaite est telle que le volume de l'échantillon ne peut dépasser 3 à 4 mm³. Les déplacements de fréquence qui en résultent, dans les cas les plus favorables, c'est-à-dire une cavité TE_{111}, sont de l'ordre de 10 MHz,

donc difficiles à mesurer avec précision à l'aide d'un appareillage simple. De plus, un échantillon sphérique donné ne peut fournir qu'une seule valeur de Δf puisque son volume est invariable. Enfin, l'échantillon sphérique doit être maintenu au centre de la cavité par un support matériel.

Il n'en est plus de même dans le cas de la méthode 2. En effet, le champ électrique dans une cavité TM_{010} est constant tout au long de l'axe de révolution de la cavité. Un échantillon cylindrique de petit diamètre, placé suivant l'axe de la cavité, se trouve dans une région de champ constant quelle que soit la longueur dont il pénètre dans la cavité. L'échantillon traversant un des fonds de la cavité, il n'est pas nécessaire d'introduire un support. Le volume utile peut être important d'où des déplacements de fréquence élevés; il est variable, ce qui permet d'obtenir plusieurs mesures sur le même échantillon.

Pour la cavité que nous utilisons, les relations 3 et 4 deviennent:

$$\varepsilon' - 1 = 0{,}957 \frac{\Delta f}{l \varnothing^2} \tag{5}$$

$$\varepsilon'' = 4439 \frac{\Delta \left(\frac{1}{Q}\right)}{l \varnothing^2} \tag{6}$$

où l est la longueur de l'échantillon de diamètre $\varnothing$ à l'intérieur de la cavité (l et $\varnothing$ en mm).

La figure 1 montre, à côté d'un schéma de la cavité, des courbes Δf en fonction de l. On remarque que la plupart de ces courbes, tout en étant linéaires, ne passent pas par l'origine. Il s'agit là de l'influence des champs dépolarisants qui sont l'analogue des champs démagnétisants. Cette influence est d'autant plus marquée que ε' est élevé, mais devient négligeable dès que l est assez grand.

La cavité utilisée (fig. 1) travaille par transmission. Sa fréquence de résonance à vide est de 9 275 MHz, son coefficient de surtension à vide Q_0 est de 4 300. Les trous de couplage ont été disposés côte à côte pour pouvoir rendre l'ensemble étanche, ce qui est nécessaire dans le cas de mesures en fonction de la température. Un bouchon vissé protège le porte échantillon. L'échantillon est fixé sur un support amovible dans lequel il glisse à frottement doux. Les diamètres d'échantillon utilisés varient de 0,9 à 1,4 mm.

Expérimentalement, la mesure de ε' est la plus facile et la plus précise. On fait apparaître sur l'écran d'un oscillographe à 2 voies la courbe de résonance de la cavité et celle de l'ondemètre; on mesure Δf pour diverses

valeurs de l. Les Δf étant élevés (fig. 1), cette mesure peut se faire avec une bonne précision (l'ondemètre permet d'apprécier 0,2 MHz et Δf atteint en général 150 MHz). On trace ensuite $\Delta f = f\ (l)$ et l'on en déduit $\frac{\Delta f}{l}$, c'est-à-dire la pente de la droite représentative.

La mesure de ε'' présente plus de difficultés. Tout d'abord, si ε'' est très élevé, la mesure peut être impossible; en effet, la longueur minimale qu'il faut introduire dans la cavité pour éliminer l'influence du champ

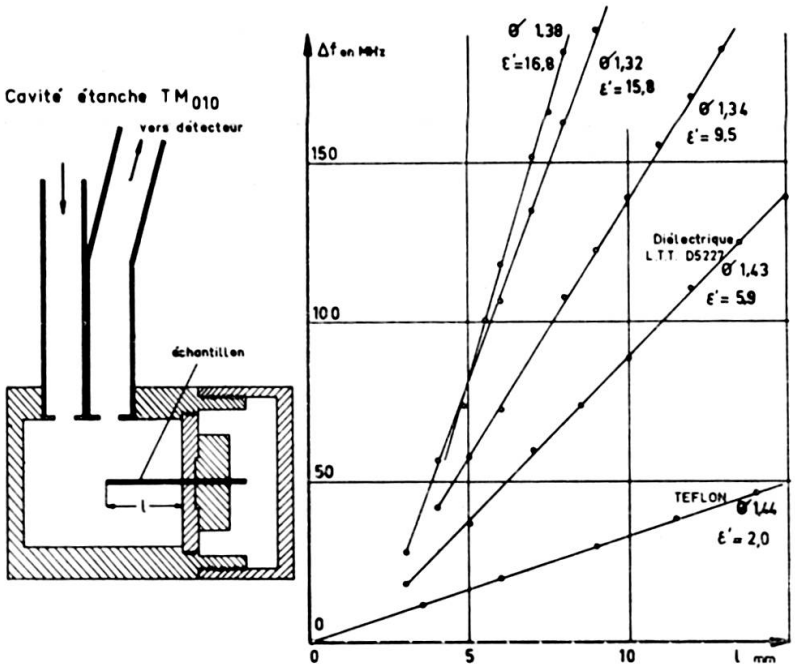

Fig. 1

dépolarisant correspond à un volume de matériau suffisant pour abaisser tellement le facteur Q de la cavité qu'une mesure de celui-ci n'est plus possible. S'il n'est pas possible de diminuer le volume de l'échantillon par réduction de son diamètre, on peut alors opérer sur des sphères, dans la même cavité, moyennant introduction d'un support en mousse de polystyrol. Mais il faut utiliser alors des relations analogues aux formules 1 et 2, ce qui nous ramène aux défauts de la méthode 1.

La détermination de ε'' nécessite la mesure des variations du coefficient de surtension Q de la cavité.

Si Q_1, coefficient de surtension de la cavité chargée, est voisin de Q_0, coefficient de surtension à vide, la détermination de ΔQ est effectuée par

la mesure du coefficient de transmission. Il faut alors disposer de deux détecteurs dont la réponse soit indépendante de la fréquence dans une bande de 150 MHz environ et dont l'un au moins soit quadratique. Les essais que nous avons effectués ont montré que la variation en fonction de la fréquence était très difficile à éliminer avec des détecteurs à cristaux. Les montures à « thermistors » ou à « baretters » seraient alors intéressantes; malheureusement elles ne sont pas assez sensibles pour les niveaux que nous utilisons en sortie de la cavité. Un des détecteurs, celui qui est quadratique, sert à mesurer le niveau d'énergie à la sortie de la cavité; l'autre est monté en dérivation à l'entrée de la cavité pour maintenir constante la puissance incidente.

Si Q_1 est beaucoup plus petit que Q_0, la mesure peut être faite directement à l'oscillographe en mesurant l'écart de fréquence δf à mi-hauteur de la courbe de résonance.

Cas des mesures en fonction de la température.

La variation thermique se fait, pour les températures inférieures à l'ambiante, en plongeant la cavité dans l'azote liquide et en laissant réchauffer. Pour les températures comprises entre l'ambiante et $+ 100°$ C, on plonge la cavité dans l'eau bouillante et on laisse refroidir. La température est mesurée par un « thermocoax » de 0,5 mm de diamètre qui pénètre radialement dans la cavité jusqu'à quelques dixièmes de millimètre de l'échantillon. La manipulation se fait sous circulation d'azote gazeux en légère surpression.

A une température donnée, le calcul d'ε' et d'ε'' nécessite la connaissance des pentes des droites $\Delta f = f(l)$ et $\Delta\left(\frac{1}{Q}\right) = f(l)$, c'est-à-dire au minimum la connaissance de deux points de ces droites, pour deux longueurs différentes. Comme il est impossible de modifier la position de l'échantillon en cours de mesure, on effectue deux variations thermiques complètes pour deux valeurs différentes de l, 5 et 10 mm en général.

En ce qui concerne ε', la comparaison des deux courbes correspondantes $\Delta f = f(t)$ permet de déterminer cette quantité en fonction de t. La fréquence f_0 de la cavité vide, qui intervient dans le calcul, varie de 35 MHz quand la température passe de -180 à $+ 100°$ C. Cette fréquence étant de l'ordre de 9 300 MHz, sa variation en fonction de la température peut être négligée. Si l'on veut en tenir compte, on se sert de la courbe $f_0 = f(t)$ qui, de toutes façons, a été tracée.

La détermination de ε'' se fait de façon analogue, par comparaison de deux courbes tracées pour deux longueurs différentes. Quand Q est mesuré de façon absolue, c'est-à-dire, sur la courbe de résonance elle-même, un calcul élémentaire montre qu'il est inutile de connaître la valeur de Q_0. ε'' est déduit des courbes $\frac{1}{Q_1} = f(t)$.

Si par contre $\Delta(\frac{1}{Q})$ est déterminé par la mesure du coefficient de transmission, la valeur de Q_0 intervient dans le calcul. Cette valeur est alors déduite d'une courbe $Q_0 = f(t)$, tracée en mesurant soigneusement Q_0 sur l'oscillographe. Les variations de Q_0 sont importantes à très basse température; par contre elles peuvent être négligées de — 100 à + 100° C.

Résultats

Nous avons déterminé ε' et ε'' sur un certain nombre d'échantillons remarquables par leurs propriétés gyromagnétiques, en particulier en effet Faraday.

Tableau

Mesures à température ambiante.

50 MnO, 50 (Fe_2O_3 + Cr_2O_3)

% Cr_2O_3	0	5	10	15	20
ε'	30	12,1	13,7	10,4	9,6

51 MnO, 49 (Fe_2O_3 + Cr_2O_3)

% Cr_2O_3	0	5	10	15	20
ε'	12	15,8	11,8	11,5	9

17 NiO, 50 (Fe_2O_2 + Cr_2O_3), 33 ZnO.

% Cr_2O_3	0	5	10	15	20
ε'	12	11,7	9,5	9,3	6,7
ε''	1,5	0,05	0,01	0,01	0,005

Dans le tableau, nous donnons quelques résultats de mesure à température ambiante pour des ferrites de manganèse et de nickel zinc à substitution de chrome.

D'autre part, la figure 2 donne des variations typiques de ε' et ε'' en fonction de la température.

D'une manière générale, les résultats que nous avons obtenus sur différents échantillons conduisent aux deux remarques suivantes:

— La substitution d'ions Cr aux ions Fe a tendance à diminuer ε' et ε''. Pour ε'' en particulier, la diminution est très importante entre 0 et 10% Cr_2O_3.

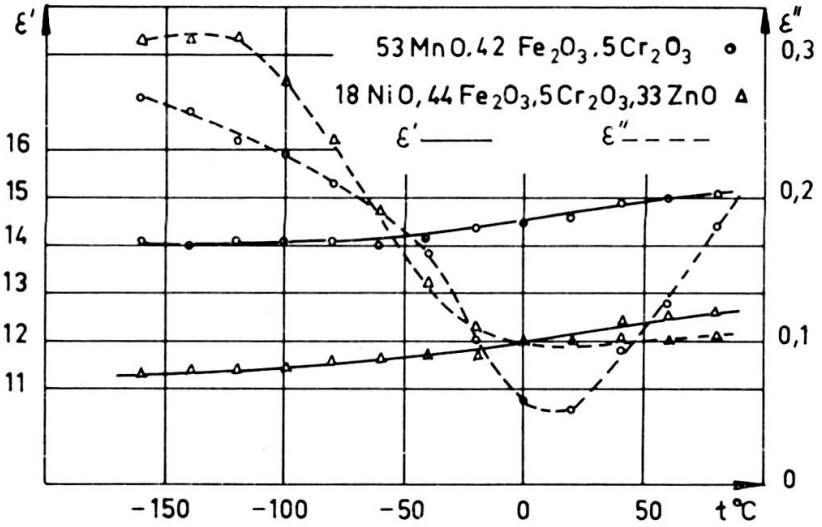

Fig. 2

— Les variations en fonction de la température sont assez faibles pour ε' et importantes pour ε''.

Ces différents résultats ont été utilisés dans l'étude de la rotation de Faraday sur de gros échantillons [7].

BIBLIOGRAPHIE

1. Spencer, E. G., R. C. Le Craw, F. Reggia, *Proc. I.R.E.*, *43*, 790 (1955).
2. Waldron, R. A., *Brit. J. Appl. Phys*, *9*, 439 (1958).
3. Carter, W. S., *Marconi Rev.*, *22*, 154 (1959).
4. Derry, R., M. S. Wills, *Proc. I.E.E.*, Part. B, *104*, 324 (1957).
5. Rado, G. T., R. W. Wright, W. H. Emerson, *Phys. Rev.*, *80*, 273, (1950).
6. Okamura, T., T. Fujimura, M. Date, *Phys. Rev.*, *85*, 1041 (1952).
7. Cagan, V., *Thèse*, Paris (1960).

DISCUSSION

M. Sardos. — Par quels moyens sont fabriqués les sphères et les cylindres de ferrites?

Quels sont les diamètres du guide et de la cavité à deux iris ? Diamètre des iris ?

V. Cagan. — Les sphères sont usinées par la méthode du jet d'air sur du papier abrasif, à sec; pour le polissage final, on utilise un revêtement à base de diamant à grains de grosseur décroissante. Les cylindres sont taillés dans la masse à l'aide de forets couronnes diamantés. On peut tailler 30 mm sur 0,9 mm de diamètre.

Le diamètre du guide d'onde est de 22,5 mm; la cavité résonne en mode TE_{112}; son diamètre est de 40 mm, sa longueur de 35 mm. Les iris sont ajustés expérimentalement; les diamètres convenables sont voisins de 6 mm.