

Relations entre la Permittivité et l'Effet Faraday en Ondes Centimétriques et à Champ Faible dans des Ferrites Chromites de Nickel-Zinc*

VLADIMIR CAGAN

*Laboratoire de Magnétisme et de Physique du Solide
 Bellevue (S. & O.), France*

Cette étude a pour but de préciser le rôle des pertes diélectriques ϵ'' sur les pertes d'insertion globales α de certains ferrites, dans le cas de l'effet Faraday et en ondes centimétriques. Les variations de α sont comparées à celles de ϵ'' et de μ'' , pertes magnétiques, en fonction de la composition nominale et de la température de frittage. Les résultats obtenus montrent que dans tous les cas les pertes diélectriques ont une influence prépondérante sur les pertes d'insertion totales.

The object of this study is to define the influence of dielectric losses ϵ'' on total insertion losses α for some ferrites, in the case of Faraday effect at microwave frequencies. Variations of α are compared with those of ϵ'' and magnetic losses μ'' , as a function of nominal composition and sintering temperatures. Results obtained show that in all cases dielectric losses have a great influence on total insertion losses.

Introduction

Nous avons déjà mis en évidence le rôle important des pertes diélectriques dans les pertes d'insertion totales, dans les dispositifs à effet FARADAY¹⁾.

En vue de préciser cette influence nous avons mesuré systématiquement sur de nombreux échantillons les paramètres suivants: la rotation θ du plan de polarisation de l'onde haute fréquence, les pertes d'insertion α correspondantes, la constante diélectrique $\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$ et les composantes du tenseur de perméabilité $\mu = \mu' - j\mu''$, $K = K' - jK''$.

Techniques de mesure

L'étude est faite dans la bande X à faible niveau. La rotation de Faraday est mesurée sur des échantillons de diamètre 6 mm et de longueur 45 mm, le champ continu appliqué étant 150 Oe. Ces conditions correspondent en moyenne aux applications pratiques de l'effet Faraday. La technique de mesure utilisée a déjà été exposée ailleurs¹⁾. Les mesures de ϵ , μ et K s'effectuent en cavités résonnantes sur des échantillons cylindriques de diamètre 1 mm environ et de longueur utile 30 mm. ϵ est mesuré dans une cavité TM₀₂₀, tandis que les composantes du tenseur de perméabilité sont déterminées dans une cavité TM₁₁₀ à polarisation circulaire. Dans

ce dernier cas le champ magnétique continu appliqué est calculé en tenant compte des champs démagnétisants de façon que le champ réel en un point soit le même, pour une composition donnée, quelles que soient les dimensions de l'échantillon.

Le principe de ces mesures en cavités résonnantes est bien connu^{2), 3), 4)}; signalons toutefois que les valeurs mesurées de ϵ , μ et K dépendent dans une certaine mesure des paramètres géométriques de l'échantillon et de la cavité de mesure. Une étude expérimentale de ces influences sera publiée ultérieurement. Dans le cas présent où la précision nécessaire est peu élevée les corrections ne sont pas indispensables.

Résultats et interprétation des mesures

Les ferrites de Nickel-Zinc étudiés répondent aux formules générales:

$$18 \text{ NiO}, \left\{ \begin{matrix} 49 \\ 50 \\ 51 \end{matrix} \right\} (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3), \left\{ \begin{matrix} 33 \\ 32 \\ 31 \end{matrix} \right\} \text{ZnO}$$

dans lesquelles le pourcentage de chrome peut varier de 0 à 20. Chaque composition nominale est frittée à six températures différentes comprises entre 1150 et 1400°C.

Nous avons groupé sur les figures 1 et 2 des courbes illustrant l'allure générale des résultats obtenus dans la plupart des cas quand on fait varier le pourcentage de Cr₂O₃. La

* Read by R.Vautier.

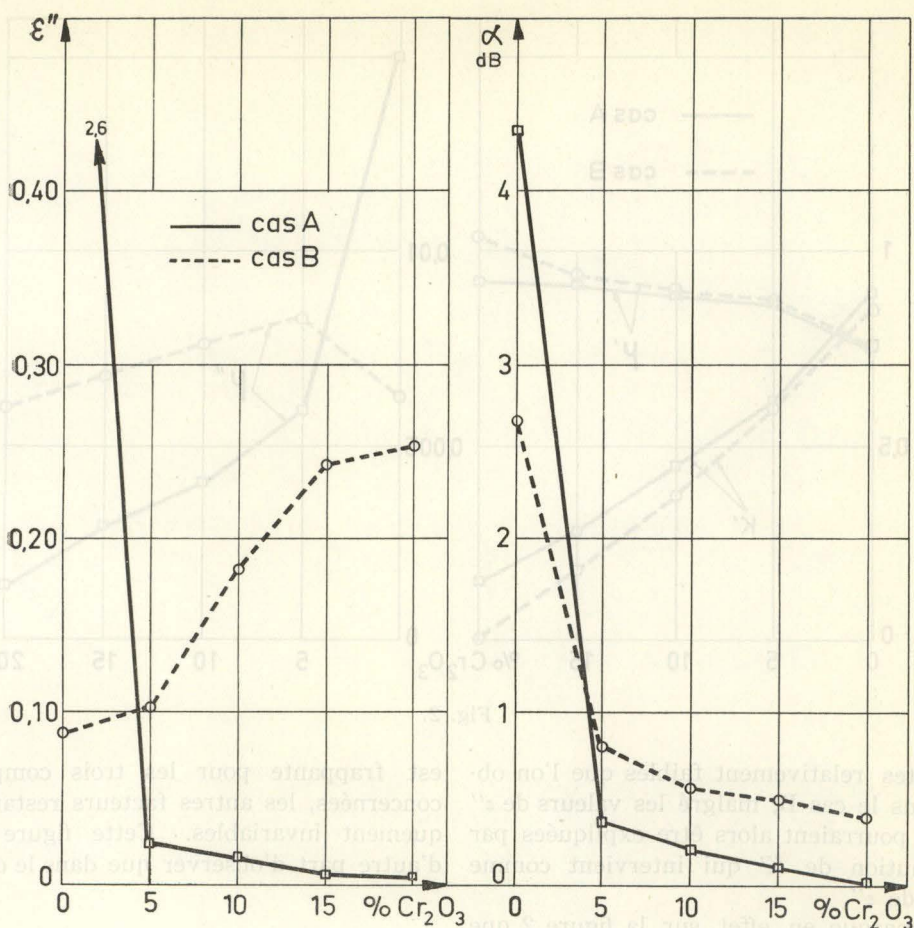


Fig. 1.

première constatation que l'on peut faire est que les pertes diélectriques ϵ'' sont beaucoup plus importantes que les pertes magnétiques μ'' ; ce n'est que pour de très fortes teneurs en chrome que ces pertes peuvent devenir comparables.

Pour suivre l'effet des additions de chrome et comparer valablement les variations de ϵ'' et μ'' avec celles des pertes d'insertion α , il est nécessaire de distinguer deux cas, suivant que la teneur moléculaire initiale en ions trivalents est supérieure ou inférieure à la stoechiométrie.

Dans le cas A (teneur supérieure à la stoechiométrie) les courbes correspondantes des figures 1 et 2 montrent que ϵ'' et μ'' diminuent simultanément quand la teneur en ions Cr^{3+} augmente; mais on constate que la variation de ϵ'' est beaucoup plus rapide que celle de μ'' . Etant donnée la valeur initiale très élevée de ϵ'' , il n'y a pas de doute que

dans ce cas la diminution de α , visiblement parallèle à celle de ϵ'' , est due à la diminution de ϵ'' .

Dans le cas B, (teneur en ions trivalents inférieure à la stoechiométrie) tandis que μ'' reste sensiblement constant, ϵ'' croît avec le pourcentage de Cr^{3+} , mais sa variation relative est bien moindre que dans le cas A. Par contre, comme dans le cas A, les pertes d'insertion diminuent quand la teneur en ions Cr^{3+} augmente; cette contradiction apparente pourrait être expliquée de la façon suivante:

Il n'existe pas à notre connaissance de relation théorique valable pour le calcul des pertes d'insertion dans un gros échantillon. Toutefois il paraît légitime de supposer que dans une telle relation les pertes doivent être représentées par des termes en $\mu'\epsilon''$ et $K'\epsilon''$, à côté de termes en $\mu''\epsilon''$, moins importants du fait des faibles valeurs de μ'' .

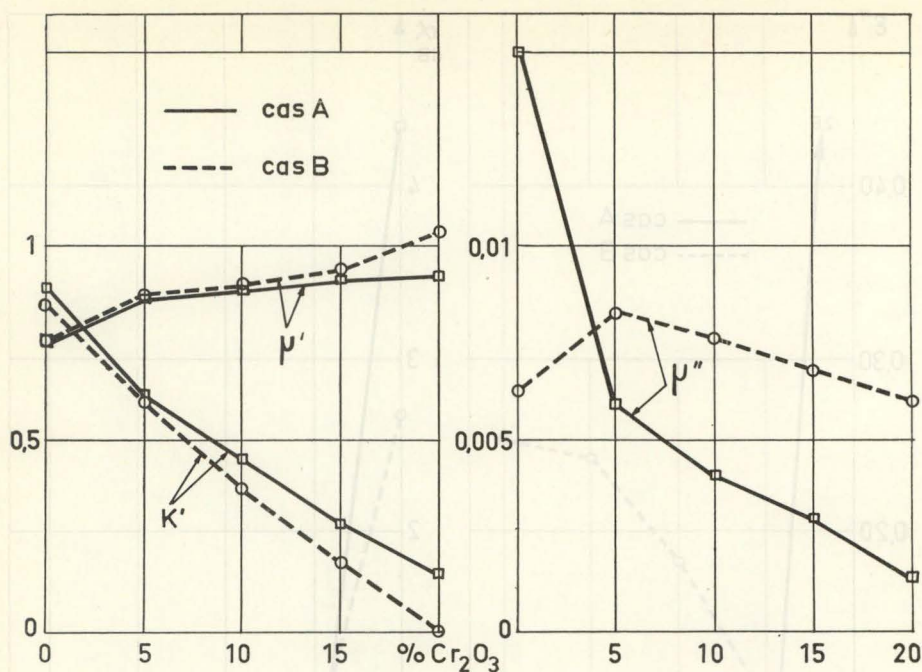


Fig. 2.

Les pertes relativement faibles que l'on obtient dans le cas B, malgré les valeurs de ϵ'' élevées, pourraient alors être expliquées par la diminution de K' qui intervient comme facteur de ϵ'' .

On remarque en effet sur la figure 2 que K' diminue plus vite dans le cas B que dans le cas A, pour s'annuler pratiquement à une teneur moléculaire de 20% en Cr_2O_3 . Remarquons d'ailleurs sur la figure 3 que ces variations concordent bien avec celles de la rotation θ , qui s'annule en même temps que K' .

D'un point de vue pratique, il faut noter que le cas B est défavorable. En effet, la valeur de ϵ'' restant toujours relativement élevée, il n'est pas possible d'obtenir de très faibles pertes d'insertion. De plus les rotations mesurées sont faibles du fait de la diminution plus rapide de K' . Le facteur de mérite θ/α présente donc toujours des valeurs pratiquement inutilisables dans les dispositifs à effet Faraday.

L'influence de ϵ'' sur α peut s'étudier aussi en fonction d'autres variables. Par exemple la figure 4 montre des variations typiques de ϵ'' et de α en fonction de la température de frittage, à composition nominale constante. La similitude des variations de ϵ'' et de α

est frappante pour les trois compositions concernées, les autres facteurs restant pratiquement invariables. Cette figure permet d'autre part d'observer que dans le cas B la

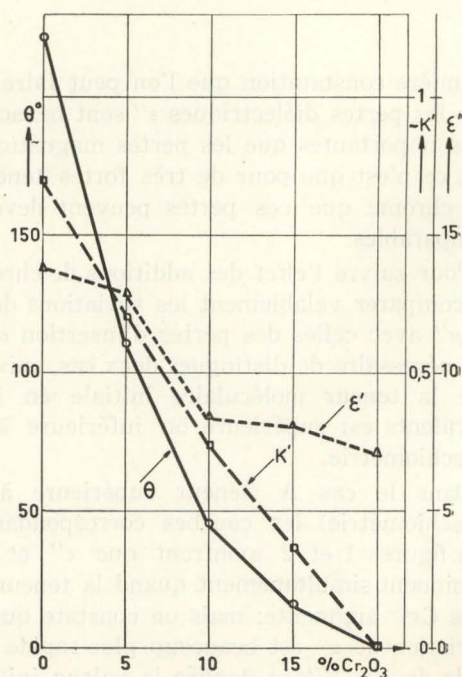


Fig. 3.

variation de ϵ'' en fonction de la teneur en ions Cr^{3+} n'est pas toujours aussi régulière que celle indiquée sur la figure 1. On peut remarquer en effet que pour les températures de frittage supérieures à 1300°C la valeur de ϵ'' pour une teneur nulle en Cr_2O_3 devient

alors plus grande que celle relative à 10% Cr_2O_3 . Il s'ensuit naturellement une variation correspondante des pertes d'insertion.

On peut aussi comparer les valeurs de ϵ'' et de α sur des échantillons choisis au hasard. Le parallélisme des variations se conserve

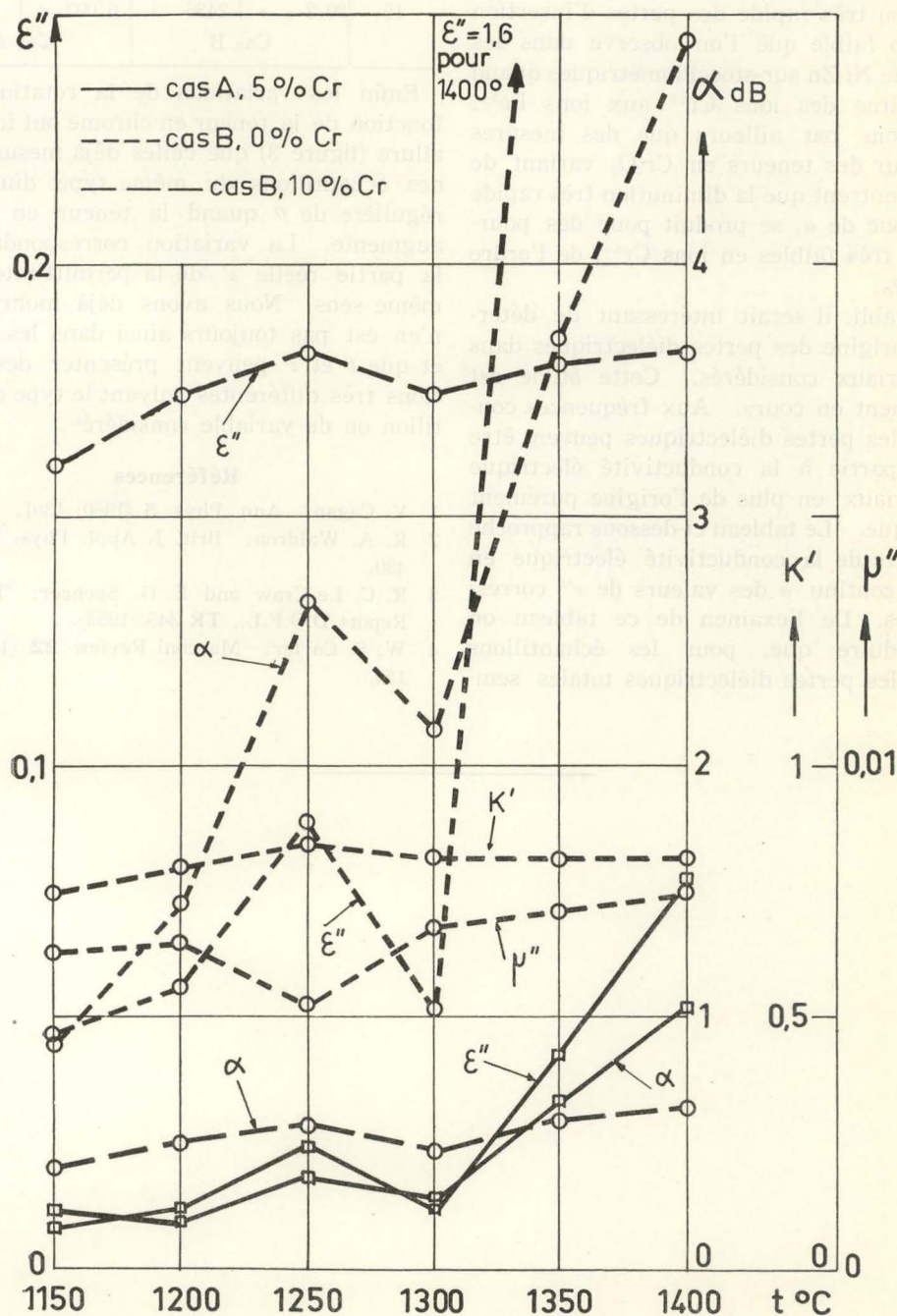


Fig. 4.

convenablement tant que les pertes ne sont pas très faibles.

En résumé, les pertes d'insertion très élevées sont dues à des valeurs élevées de ε'' . Une diminution de ε'' entraîne donc une variation correspondante de α . Ainsi c'est une variation des pertes diélectriques, et non des pertes magnétiques, qui est cause de la diminution très rapide des pertes d'insertion en champ faible que l'on observe dans les ferrites de Ni-Zn sur-stoechiométriques quand on substitue des ions Cr^{3+} aux ions Fe^{3+} . Remarquons par ailleurs que des mesures faites pour des teneurs en Cr_2O_3 variant de 0 à 5% montrent que la diminution très rapide de ε'' , donc de α , se produit pour des pourcentages très faibles en ions Cr^{3+} , de l'ordre de 1 à 2%.

Ceci établi, il serait intéressant de déterminer l'origine des pertes diélectriques dans les matériaux considérés. Cette étude est actuellement en cours. Aux fréquences considérées les pertes diélectriques peuvent être dues en partie à la conductivité électrique du matériaux en plus de l'origine purement diélectrique. Le tableau ci-dessous rapproche les valeurs de la conductivité électrique en courant continu σ des valeurs de ε'' correspondantes. De l'examen de ce tableau on peut déduire que, pour les échantillons étudiés, les pertes diélectriques totales sem-

blent en grande partie dues aux pertes par conductivité électrique.

% Cr	$\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$	ε''	$\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$	ε''
0	$2.05 \cdot 10^{-6}$	$894 \cdot 10^{-4}$	$500 \cdot 10^{-6}$	$26000 \cdot 10^{-6}$
5	1.78 "	1034 "	0.55 "	243 "
10	8.57 "	1822 "	1.1 "	162 "
15	20.2 "	2436 "	0.003 "	57 "
	Cas B		Cas A	

Enfin les variations de la rotation θ en fonction de la teneur en chrome ont ici même allure (figure 3) que celles déjà mesurées sur des échantillons du même type: diminution régulière de θ quand la teneur en chrome augmente. La variation correspondante de la partie réelle ε' de la permittivité est de même sens. Nous avons déjà montré qu'il n'en est pas toujours ainsi dans les ferrites et que θ et ε' peuvent présenter des variations très différentes suivant le type d'échantillon ou de variable considéré¹⁾.

Références

- 1 V. Cagan: Ann. Phys. **5** (1960) 1301.
- 2 R. A. Waldron: Brit. J. Appl. Phys. **9** (1958) 439.
- 3 R. C. Le Craw and E. G. Spencer: Technical Report D.O.F.L., TR 345 (1956).
- 4 W. S. Carter: Marconi Review **22** (1959) 134, 154.

