

**QUELQUES PARAMETRES DE CONTROLE DES  
PROPRIETES ELECTROMAGNETIQUES DE  
FERRITES DE NICKEL-ZINC DANS LA BANDE  
UHF-V**

David Souriou, Jean-Luc Mattei, Alexis Chevalier, Patrick Queffelec

► **To cite this version:**

David Souriou, Jean-Luc Mattei, Alexis Chevalier, Patrick Queffelec. QUELQUES PARAMETRES DE CONTROLE DES PROPRIETES ELECTROMAGNETIQUES DE FERRITES DE NICKEL-ZINC DANS LA BANDE UHF-V. Journées de Caractérisation Microondes et Matériaux, Mar 2010, Brest, France. pp.06-1, 2010. <hal-00488989>

**HAL Id: hal-00488989**

**<http://hal.univ-brest.fr/hal-00488989>**

Submitted on 3 Jun 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# QUELQUES PARAMETRES DE CONTROLE DES PROPRIETES ELECTROMAGNETIQUES DE FERRITES DE NICKEL-ZINC DANS LA BANDE UHF-V

D. SOURIOU, J.-L. MATTEI, A. CHEVALIER, P. QUEFFELEC

UEB, Université de Bretagne Occidentale,  
Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Information, de la Communication et de la Connaissance.  
Lab-STICC, UMR CNRS 3192, 6 av. Le Gorgeu, CS 93837, 29238 Brest Cedex 3, France.

## 1. INTRODUCTION

En raison du développement des terminaux mobiles pour la bande UHF-V (300MHz-700MHz), il existe une forte demande pour la réalisation d'antennes miniatures destinées à ces applications [1-5]. En effet les dimensions des antennes actuellement disponibles sont trop importantes pour permettre leur intégration, et les techniques qui permettent de réduire ces dimensions conduisent à une certaine dégradation de leurs performances [6]. Des travaux récents sur la miniaturisation des antennes imprimées, basée sur l'utilisation de substrats à fort indice de réfraction, ont montré l'intérêt des matériaux magnétiques pour l'amélioration des performances (bande passante, efficacité) [2]. Une piste que nous avons retenue pour atteindre cet objectif de miniaturisation consiste à employer des matériaux magnéto-diélectriques, qui allient une perméabilité magnétique à une permittivité diélectrique, tout en conservant des niveaux de pertes acceptables dans une bande de fréquence comprise entre 0.1 GHz et 1 GHz typiquement. En effet la longueur d'onde guidée dans un matériau magnétodiélectrique, de perméabilité  $\mu$  et de constante diélectrique  $\epsilon$ , s'écrit  $\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}$  où  $\lambda_0$  représente la longueur

d'onde dans le vide.

Dans cette expression l'indice de réfraction ( $n = \sqrt{\mu' \epsilon'}$ ) apparaît comme un facteur de miniaturisation, qui indique qu'une réduction de taille de l'antenne est possible par l'utilisation de substrats associant des propriétés magnétiques et diélectriques. Ces matériaux magnéto-diélectriques devraient donc présenter des valeurs de tangentes de pertes suffisamment faibles ( $\text{tg}\delta_\mu = \mu''/\mu'$  and  $\text{tg}\delta_\epsilon = \epsilon''/\epsilon' < 5 \cdot 10^{-2}$ ) et un indice de réfraction suffisamment important dans la bande de fréquence indiquée plus haut. Afin de limiter les pertes d'origine magnétique dans cette même bande de fréquence il est important d'éviter la formation de parois de domaines, et de repousser la fréquence de résonance des moments au-delà des fréquences de fonctionnement de l'antenne.

Par ailleurs Hansen et Burke ont montré que la largeur de bande d'une antenne patch déposée sur un milieu magnétodiélectrique d'épaisseur  $t$  peut être approchée par l'expression suivante [7] :

$$BW \approx \frac{96 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \cdot \frac{t}{\lambda_0}}{\sqrt{2} [4 + 17 \sqrt{\mu \cdot \epsilon}]}$$

Ainsi pour un facteur de miniaturisation  $\sqrt{\mu \cdot \epsilon}$  constant la largeur de bande de l'antenne pourra être accrue d'un facteur [3].

Les ferrites de Nickel-zinc présentent des propriétés électromagnétiques qui en font d'excellents candidats pour des applications en fréquence jusqu'à 500 MHz [8]. Il est important de comprendre et de contrôler les paramètres qui peuvent influencer sur ces propriétés. Pour ces raisons, et compte tenu de résultats antérieurs [3, 4, 9, 10] nous avons réalisés des substrats à partir de poudres de nanoferrites doux de structure spinelle de Nickel-Zinc substitués Cobalt. L'objectif de notre travail est d'examiner la potentialité de ces matériaux à fonctionner dans la gamme 0.3-0.7 GHz. L'optimisation des propriétés a été recherchée par l'utilisation de traitement thermiques adaptés, suivis par une imprégnation partielle de la porosité résiduelle par de la résine époxy. L'étude que nous présentons ici porte sur l'influence du traitement thermique (calcination-déliantage-frittage) subit par la poudre, et sur celle de l'imprégnation ultérieure du matériau céramique par une résine diélectrique.

## 2. PROCEDURE EXPERIMENTALE

Des sels de chlorures des différents éléments métalliques sont dissous dans 250 mL d'eau déminéralisée en tenant compte de la stœchiométrie. Ce mélange est versée dans une solution de soude (concentration :  $0,45\text{mol.L}^{-1}$ ) portée à ébullition et agité vigoureusement. La réaction de co-précipitation s'opère pendant 30 minutes. Après sédimentation, le précipité est lavé 3 fois à l'eau déminéralisée, centrifugé ( $5900\text{ tours.minutes}^{-1}$  pendant 13 minutes) puis séché en étuve une journée. Le produit sec est broyé puis calciné ( $650^{\circ}\text{C}$  ou  $800^{\circ}\text{C}$  durant 3 heures à raison d'une montée / descente en température de  $200^{\circ}\text{C.H}^{-1}$ ) pour l'obtention de la poudre de ferrite.

Des tores (diamètre interne : 3 mm et diamètre externe : 7 mm) sont formés par pressage uniaxial à 320 MPa de la poudre de ferrite. L'analyse des propriétés électromagnétiques est effectuée en ligne coaxiale. Les tores sont consolidés par un traitement thermique de frittage à la température de  $900^{\circ}\text{C}$  ou  $1000^{\circ}\text{C}$  pendant 1 heure avec une vitesse de montée en température de  $300^{\circ}\text{C.H}^{-1}$  et une vitesse de descente de  $600^{\circ}\text{C.H}^{-1}$ . La densité des échantillons est déterminée par la mesure de la masse et des dimensions du matériau final.

Les matériaux obtenus sont ensuite imprégnés par un diélectrique. Le procédé suivi consiste à dissoudre de la résine époxy dans de l'acétone (concentration de  $0,15\text{g.mL}^{-1}$ ) puis à y plonger le matériau, afin que la résine s'infilte dans l'échantillon en suivant la porosité ouverte. La porosité avant imprégnation est de 27%, elle est de 23% après imprégnation, le taux de porosité comblée par cette opération est de 4%. La structure de ce matériau se situe donc entre celle de la céramique et celle du composite.

Les propriétés électromagnétiques ainsi que sur la tenue mécanique du matériau fritté sont comparées à celles du matériau non imprégné.

## 3. PRESENTATION DE QUELQUES RESULTATS

La figure 1 montre l'influence de la température de frittage sur les valeurs de  $\mu^*$  et de  $\varepsilon^*$  sur 2 échantillons élaborés à partir de la poudre de ferrite calcinée à  $650^{\circ}\text{C}$  : un échantillon fritté à  $900^{\circ}\text{C}$  et un échantillon fritté à  $1000^{\circ}\text{C}$ .

Ces figures montrent que l'augmentation de la température de frittage permet d'accroître la perméabilité réelle, par élimination de la porosité. La fréquence de résonance est simultanément abaissée, ce qui peut être interprété à l'aide de la loi de Snoek [11]. On note

également un élargissement du pic de pertes magnétiques, qui pourrait être corrélé à une plus grande distribution de la taille des grains.

La permittivité réelle diminue avec la température de frittage, ainsi que les pertes diélectriques.

Compte tenu des applications envisagées, nous privilégions une température de frittage de 900°C. Toutefois, les pertes diélectriques demeurent encore trop élevées. Afin de tenter de les abaisser, nous avons procédé à l'imprégnation par de la résine epoxy du matériau fritté.

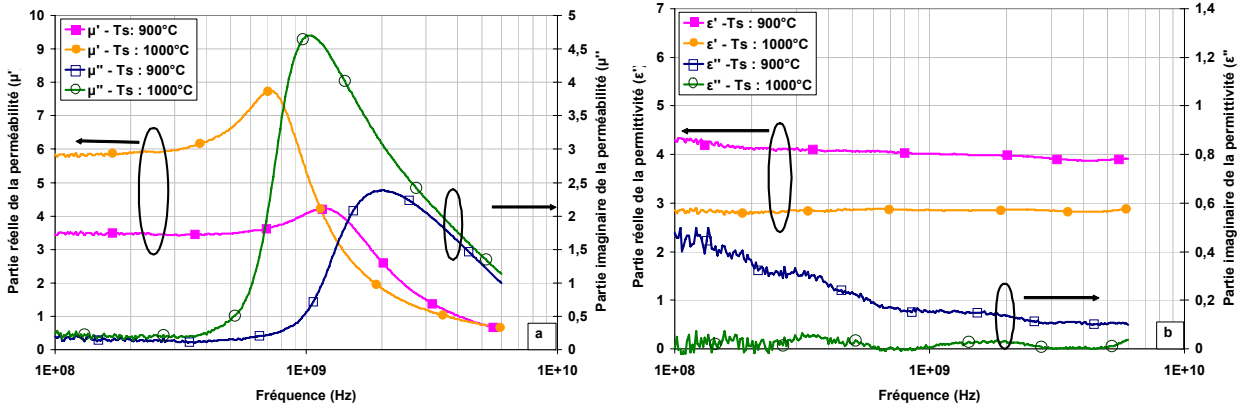


Figure 1 : Influence de la température de frittage sur les parties réelle et imaginaire de la perméabilité (a) et de la permittivité (b).

Les résultats qui suivent présentent

- l'influence de la température de calcination pour un traitement de frittage identique
- l'effet de l'imprégnation par une résine epoxy.

La figure 2a montre les résultats obtenus avec deux échantillons frittés à 900°C élaborés à partir de la même poudre calcinée à 800°C dont l'un des échantillons a subi le procédé d'imprégnation.

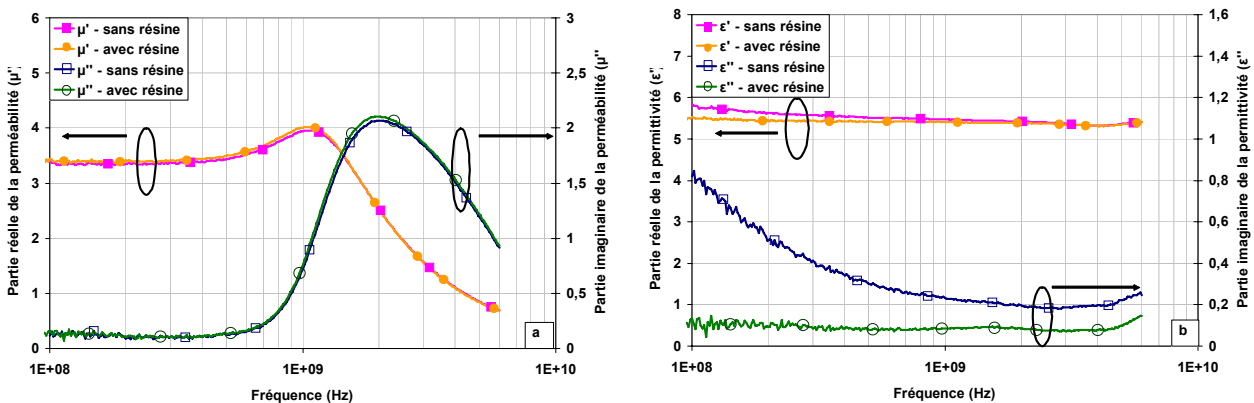


Figure 2 : Effet de l'imprégnation en résine sur les parties réelle et imaginaire de la perméabilité (a) et de la permittivité (b).

L'échantillon calciné à 650°C présente une fréquence de résonance la plus élevée que celui calciné à 800°C, après un frittage à 900°C (figure 1,a et figure 2,a). Les valeurs de

perméabilité réelles sont inchangées quelle que soit la température de calcination. L'échantillon calciné à 650°C montre une permittivité plus faible que celui calciné à 800°C (figure 1,b et figure 2,b).

L'imprégnation de résine permet d'abaisser fortement les pertes diélectriques (figure 2,b) sans que les autres propriétés de l'échantillon soient modifiées de façon notable (figure 2,a).

La perméabilité et la permittivité du substrat obtenu après calcination à 800°C et frittage à 900°C, suivi d'une imprégnation de résine epoxy, présente des valeurs sensiblement constantes dans la gamme de fréquence comprise entre 0,1 et 0,7 GHz, soit respectivement  $\mu^*=3,5-j0,15$  (tangente de perte : 0,04) et  $\varepsilon^*=7-j0,12$  (tangente de perte : 0,017). L'indice de réfraction « n » est proche de 4,9. Ces propriétés électromagnétiques, en particulier les faibles niveaux de pertes, montrent la potentialité de ce matériau pour la conception et la réalisation d'antennes miniatures dans la bande fréquence VHF-UHF.

#### 4. CONCLUSION

Notre étude illustre l'importance bien connue des paramètres tels que la température de frittage et de calcination des poudres sur les propriétés électromagnétiques d'un matériau ferrite. Nous avons en particulier montré l'influence d'un procédé d'imprégnation de résine sur la réduction des pertes diélectriques. L'optimisation de ces paramètres est une étape indispensable à la réalisation de matériau candidat à la réduction de la taille des antennes.

#### REFERENCES

- [1] S. Bae, Y.K. Hong, J.J. Lee, J. Jalli, G.S. Abo, A. Lyle, W.M. Seong, J.S. Kum, *J. Appl. Phys.* **105**, 07A515 (2009).
- [2] H. Mossalaei and K. Sarabandi, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, **52**, 1558 (2004).
- [3] S. Bae, Y.K. Hong, A. Lyle, *J. Appl. Phys.* **103**, 07E929 (2008).
- [4] I. Kim, S. Bae, J. Kim, *J. Korean Phys. Soc.*, **52**, 127 (2008).
- [5] K. Buell, H. Mossalaei, K. Sarabandi, *IEEE Trans. Microwave theory and techn.*, **54**, 135 (2006).
- [6] J. Holopainen, J. Villanen, M. Kyro, C. Icheln; P. Vainikainen, *Antenna Technology Small Antennas and Novel Metamaterials*, IEEE International Workshop, pp.305 – 308, March 6-8, (2006).
- [7] R.C. Hansen et M. Burke, *Microwave Opt. Tech. Lett.*, vol.26, n°2, pp75-78, juillet 2000.
- [8] R. Lebourgeois, "Ferrites faibles pertes pour applications fréquentielles", *Techniques de l'Ingénieur, Traité d'Electronique*, E 1 760-1
- [9] R. Lebourgeois, Ageron J. Vincent H., Ganne J.-P., *Ferrites*, **Proc. ICF8**, Japan Society for Powder and Powder Metallurgy 576 (2000).
- [10] L.Z. Wu, J. Ding, H.B. Jiang, C.P. Neo, L.F. Chen, C.K. Ong, *J. Applied Phys.* , **99**, n°8, p.083905-1 (2006).
- [11] A.N. Lagarkov and K.N. Rozanov, *J. Magn. Magn. Materials*, 321, 2082 (2009).