

Mesure de la constante diélectrique complexe de matériaux aux fréquences radio

Karl Bois, étudiant 2^e cycle

Dr Gilles Y. Delisle, directeur de recherche

Abstract: A non-destructive method to determine the complex permittivity of lossy materials is discussed. The technique calls for the measurement of the admittance of an open-ended rectangular waveguide radiating into a dielectric slab backed by a conducting sheet. The derivation of the admittance formula, the numerical inversion technique and some experimental results will be presented here.

Résumé: Une méthode non destructive pour déterminer la permittivité complexe de matériaux est présentée. La technique nécessite la mesure de l'admittance d'un guide d'onde ouvert rayonnant dans un échantillon diélectrique adossé d'une plaque conductrice. La dérivation de l'expression analytique de l'admittance, la technique numérique d'inversion et quelques résultats expérimentaux seront présentés.

Lors de la construction du modèle d'un corps multi-couches ou de la conception d'une antenne, la connaissance précise de la constante diélectrique des matériaux est une condition absolue. Malgré l'existence de plusieurs méthodes de mesure, celles-ci requièrent l'altération du matériau [1] ou que celui-ci occupe tout le demi-espace infini [2].

Dans cette étude, une expression existante [3] de l'admittance d'un guide d'onde ouvert rayonnant dans un échantillon diélectrique adossé d'une plaque conductrice (voir figure 1) est utilisée. Pour que celle-ci soit valide, on considère que seul le mode dominant TE₁₀ se propage dans un matériau homogène et isotrope. Utilisant une méthode de résolution d'équations non linéaires à plusieurs dimensions, l'extraction de la permittivité à partir de la mesure de l'admittance en présence d'un échantillon d'épaisseur connue est possible et précise.

On peut montrer que l'expression de l'admittance prend la forme suivante,

$$Y_n = \frac{Y_{ap}}{Y_0} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_y^*(x, y, 0) \times H_x(x, y, 0)}{Y_0 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_y^2(x, y, 0)} dx dy \quad (1)$$

où Y_0 est l'admittance de l'onde TE₁₀.

En utilisant une décomposition dans le domaine des nombres d'onde avec vérification des conditions aux frontières, on peut exprimer Y_n comme

$$Y_n = \frac{j}{(2\pi)^2 \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2}} \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} G(K^2 - \chi_x^2) \left(2C_\Phi + j\frac{G}{\chi_z}\right) R d\theta dR \quad (2)$$

où les définitions suivantes sont introduites

$$G = \sqrt{\frac{2A}{B}} \frac{(4\pi) \sin\left(\frac{\chi_y B}{2}\right) \cos\left(\frac{\chi_x A}{2}\right)}{\chi_y [\pi^2 - (\chi_x A)^2]} \quad C_\Phi = -\frac{G e^{j\chi_z D}}{2\chi_x \sin(\chi_z D)}$$

$$A = k_0 a \quad B = k_0 b \quad D = k_0 d$$

$$\chi_x = R \cos \theta \quad \chi_y = R \sin \theta \quad \chi_z = \sqrt{K^2 - R^2}$$

a et b sont respectivement la largeur et la hauteur du guide d'onde, et d l'épaisseur de l'échantillon diélectrique.

L'expression de l'admittance peut-être intégrée numériquement avec la méthode de Gauss-Legendre. Pour extraire ϵ_r du système non linéaire à deux équations ($\text{Re}(Y_n), \text{Im}(Y_n)$), on utilise la méthode de multi-secante de Broyden [4]. Cette méthode approxime le Jacobien, appelé continuellement par l'algorithme. Dans le cas infortuné où l'algorithme se retrouve dans un minimum local, la situation peut-être remédiée en donnant un nouveau point de départ. L'étape critique de la méthode, qui consiste à assurer l'unicité de la solution, est réalisée à l'aide de deux mesures additionnelles autour de la fréquence centrale. Supposant que la permittivité d'un matériau est constante pour une bande étroite de fréquences, on ne devrait pas retrouver la situation où plus d'une permittivité présente les mêmes admittances mesurées.

Une expérience préliminaire a été effectuée pour une plaque de Plexiglas d'épaisseur $d = 0.92$ cm. A partir de mesures avec un analyseur de réseau HP-8703A, les admittances sont entrées dans le programme pour trois fréquences différentes. Les résultats du tableau 1 concordent avec la théorie.

Tableau 1: Valeurs mesurées pour le Plexiglass ($\epsilon' = 2.60$, $\tan \delta = 0.008$)

Fréquenc (GHz)	Admittance mesurée	ϵ' (calculé)	$\tan \delta$ (calculé)
9.5	0.3884+j2.9712	2.5982	0.005
10.0	1.0986+j5.5666	2.5886	0.008
10.5	10.1753-j3.8989	2.5883	0.007

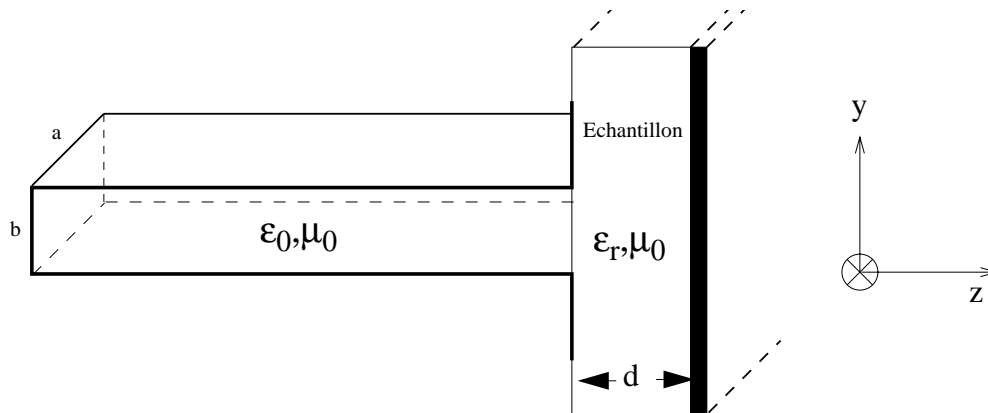


Figure 1

- [1] M.A. Stuchly and S.S. Stuchly, "Coaxial line reflection methods for measuring dielectric properties of biological substances at radio and microwave frequencies-A review", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. IM-29, pp. 176-183, Septembre 1980.
- [2] S. Ganchev, S. Bakhtiari, R. Zoughi, "A novel numerical technique for dielectric measurement of lossy dielectrics.", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 41, pp. 361-365, Juin 1992.
- [3] S. Ganchev, S. Bakhtiari, R. Zoughi, "Open-ended Rectangular Waveguide for Nondestructive Thickness Measurement and Variation of Lossy Dielectric Slabs Backed by a Conducting Plate.", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 42, pp. 19-24, Février 1993.
- [4] W.H. Press, B.P. Flannery, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, *Numerical Recipes*, second edition, Cambridge, England: Cambridge University Press, 1992.