

METHODE DE DETERMINATION DU PROFIL DE LA CONSTANTE DIELECTRIQUE A PARTIR DE LA CONNAISSANCE DU CHAMP ELECTRIQUE*

Ali OKTAY**

RESUME

La détermination d'un profil de constante diélectrique est un problème de grand intérêt susceptible d'applications nombreuses dans la conception de composants micro-ondes. L'objet de cet étude est de reconstruire un profil de constante diélectrique dans un guide d'onde rectangulaire rempli inhomogènement de matériaux diélectrique, à partir de la connaissance de la configuration du champ électrique.

Cette méthode donne un moyen technique pour connaître des propriétés d'un matériaux diélectriques traités par des hyperfréquences en vue de réaliser des applicateurs assurant un transfert efficace d'énergie.

ABSTRACT

Determine of a dielectric constant profile is a very important probleme that is susceptible to several applications in microwave devices. The purpose of this contribution is to reconstruct a dielectric constant profile in a rectangular waveguide that filled an inhomogeneous dielectric materials by means of electric field configuration.

This method gives a technical mean for known the properties of a dielectric materials those treated by microwaves in order to realize the applicators insuring an effective transfert of energy.

ÖZET

İçinde homojen olmayan dielektrikler bulunan bir hacimdeki elektromagnetik dalga yayılımı, ortamın dielektrik sabiti profiline bağlı olarak değişir. Çeşitli dielektriklerin karışımları veya farklı dielektrik malzemelerin yanyana birleştirilmeleriyle oluşturulan homojen olmayan ortamların dielektrik sabiti profiline (dielektrik profiline) bilinmesi ve bunun elektromagnetik alan değerlerine göre değişiminin tayin

* *Partie expérimentale a été faite à l' U.S.T.O — Algérie.*

** *Doç. Dr.; Dept. de Génie Electronique Université Uludağ Bursa — Turquie.*

edilmesi, bu ortamlardaki elektromagnetik dalgaların yayılma özelliklerinden yararlanarak mikrodalga tekniğinde kullanılan yeni eleman ve düzenlerin gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada, homojen olmayan dielektriklerle doldurulmuş bir transmisyon borusunda elektrik alanı bilindiğine göre dielektrik profilinin tayin edilmesi incelenmektedir. Bunun için, izotrop ve homojen olmayan bir dielektrikle doldurulmuş dikdörtgen kesitli bir transmisyon borusunda belirli bir dielektrik profili gözönüne alınarak LSE_{10} moduna göre dalga yayılımı incelenerek dalga denklemi elde edilmiştir. Fourier serisi açılımı kullanılarak, dalga denklemi Fourier serisi katsayıları cinsinden bir Lineer denklem sistemine dönüştürülmektedir. Geliştirilen bir nümerik program yardımıyla, belirli bir elektrik alanı dağılımı için Fourier katsayıları hesaplanarak buna ilişkin dielektrik profili elde edilmektedir. Bu metod yardımıyla, kapalı bir hacim (örneğin bir transmisyon borusu veya rezonatör) içinde homojen olmayan bir dielektrik olduğu zaman dielektrik profiline uygun elektrik alan profili veya tersine elektrik alan profiline uygun dielektrik profilini bulmak mümkün olmaktadır.

Çalışmanın deneysel kısmı, dikdörtgen kesitli R37 standart transmisyon borusu (66,34x29,50 mm) bilinen dielektriklerle kısmen doldurularak borunun geniş yüzeyi üzerine enine açılmış bir yarık vasıtasıyla yapılan elektrik alan ölçmelerine dayanır. Gerçekleştirilen ölçme düzeniyle, borunun enine elektrik alan dağılımının belirli değerleri (eşit aralıklı 7 alan değerleri) ölçülerek, nümerik program vasıtasıyla bu dağılıma ilişkin dielektrik profili bulunmaktadır. Bu yolla bulunan dielektrik profili ile teorik dielektrik profili arasında tam bir uygunluk bulunmaktadır. Borunun yüzeylerine yaklaştıkça ve dielektriğin süresiz olduğu noktalar civarında, elektrik alan ölçmesindeki belirsizlik arttığından hesaplanan profil değerlerinde belirsizlik de artmaktadır. Bu belirsizliği, süresizlik noktalarında daha sık aralıklarla ölçmeler yapmak suretiyle en aza indirmek mümkündür.

Bu metod yardımıyla, kapalı bir hacimde (örneğin bir mikrodalga fırınında pişirilen veya kurutulan bir malzeme) elektromagnetik enerji ışımasına tabi tutulmuş dielektrik malzemelerin bazı fiziksel büyüklüklerinin (sıcaklığı, nemliliği...) zamanla değişimlerini, elektrik alanını ölçmek suretiyle kontrol etmek mümkün olur.

INTRODUCTION

La propagation des ondes électromagnétiques dans les guides remplis inhomogènement de diélectriques est d'un grand intérêt depuis plusieurs années. Elle trouve des applications intéressantes dans la conception de composants micro-ondes (déphaseurs, adaptateurs, isolateurs, circulateurs...). Cette inhomogénéité peut résulter soit d'un phénomène naturel lié aux propriétés même des matériaux, soit à la juxtaposition de milieux de natures différentes...

La reconstruction d'un profil de constante diélectrique est un problème actuel de grande importance susceptible d'applications nombreuses. Cette technique est un outil de choix pour connaître les propriétés des matériaux:

— En vue de la fabrication d'équipements hyperfréquences destinés aux radars et aux télécommunications,

— En vue de traitement de ces matériaux par des moyens hyperfréquences (cuisson, chauffage). Il s'agit dans ce cas de connaître leurs propriétés aux différents stades du processus afin de pouvoir réaliser des applicateurs assurant un transfert efficace d'énergie,

— Pour contrôler un paramètre physique, par exemple l'humidité, pendant le déroulement d'un traitement,

— En médecine, il est possible de diagnostiquer certaines maladies qui produisent un changement du contenu en eau des tissus.

Dans tous les cas la connaissance de la distribution du champ électrique dans ces matériaux suppose celle de la constante diélectrique lorsque l'on assimile leur perméabilité à celle du vide.

L'objet de notre étude est de reconstruire un profil de constante diélectrique dans un guide d'ondes rectangulaire rempli inhomogènement de matériaux diélectriques, à partir de la connaissance de la configuration du champ électrique.

ETUDE GENERALE

Nous considérons un guide d'onde rectangulaire rempli par un diélectrique inhomogène et isotrope dont la constante diélectrique $\epsilon(x)$ est variable dans un plan transverse suivant la direction x (fig. 1).

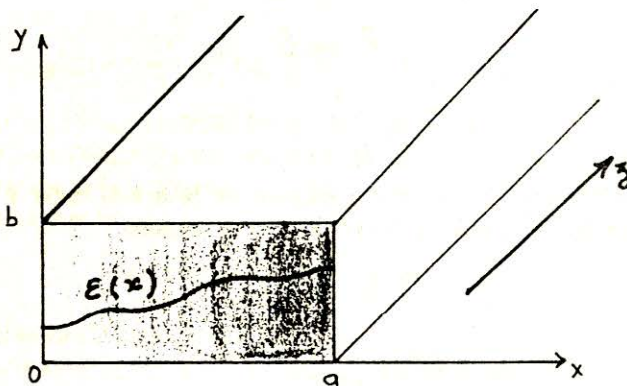


Fig.: 1

Dans un tel milieu démuné des courants et des charges, les équations de Maxwell s'écrivent:

$$\text{rot } \vec{E} = -j \omega \mu_0 \vec{H} \quad (1)$$

$$\text{rot } \vec{H} = j \omega \epsilon(x) \vec{E} \quad (2)$$

$$\text{div } \vec{D} = 0 \quad (3)$$

$$\text{div } \vec{H} = 0 \quad (4)$$

A partir de l'expression (1) et (2), on déduit les équations de propagation de champ électrique et magnétique:

$$\Delta E - \gamma^2(x) \vec{E} = -\text{grad} \left[\vec{E} \cdot \frac{\text{grad } \epsilon(x)}{\epsilon(x)} \right] \quad (5)$$

$$\Delta H - \gamma^2(x) \vec{H} = \text{rot } \vec{H} \wedge \frac{\text{grad } \epsilon(x)}{\epsilon(x)} \quad (6)$$

ou $\gamma^2(x) = -\omega^2 \mu_0 \epsilon(x)$ est la constante de propagation.

Dans les guides inhomogènes, les modes de propagation que nous aurons à considérer n'appartiennent pas en général aux types \vec{E} ou \vec{H} mais sont une combinaison linéaire de ces deux modes et que d'une façon générale on obtient les modes de propagation de base à partir des potentiels de Hertz électrique et magnétique dont les composantes sont toujours dans le plan de section droite et dirigées normalement au plan YOZ.

A partir du potentiel de Hertz magnétique nous obtenons une solution ne comportant pas de composante électrique normale au plan YOZ, la composante longitudinale existe seule, un tel mode est dit L.S.E (Longitudinal Section Electric). On définit de la même manière le mode L.S.M (Longitudinal Section Magnétique) en considérant le potentiel de Hertz électrique [1], [5].

Pour le mode L.S.E, le champ électrique peut s'écrire à partir d'une fonction vectorielle $\vec{\Phi}$ appelée "potentiel magnétique de Hertz".

$$\vec{E} = \text{rot } \vec{\Phi} \quad (7)$$

$$H = -\frac{1}{j \omega \mu_0} \text{rot rot } \Phi$$

De la même manière, le champ magnétique peut être défini à partir d'une fonction vectorielle $\vec{\Psi}$ appelée "potentiel électrique de Hertz"

$$\vec{H} = \text{rot } \vec{\Psi} \quad (8)$$

$$\vec{E} = \frac{1}{j \omega \epsilon(x)} \text{rot rot } \vec{\Psi}$$

EQUATION DE PROPAGATION DU MODE LSE

Nous proposons une méthode qui permet de trouver le profil de la constante diélectrique à partir de la mesure de la variation de composante E_y du champ électrique en fonction de la position x dans un dispositif simple comprenant un guide d'onde rectangulaire rempli d'un milieu inhomogène en mode fondamentale LSE_{10} .

La composante génératrice du mode LSE est le potentiel magnétique de Hertz dirigé suivant le grand côté du guide:

$$\vec{\Phi}(x, y, z) = \Phi(x, y) \exp(-\gamma_g z) \vec{u}_x \quad (9)$$

et donc l'équation de propagation s'écrit:

$$\Delta \phi(x, y) + [\gamma_g^2 - \gamma^2(x)] \phi(x, y) = 0 \quad (10)$$

où γ_g est la constante de propagation guidée.

L'équation caractéristique du mode LSE se présente sous la forme d'une équation différentielle du second ordre à deux variables. En utilisant la méthode de sépa-

ration des variables et en respectant les conditions aux limites, l'équation (10) devient:

$$\frac{d^2 \phi(x)}{dx^2} + \left[\gamma_g^2 - \gamma^2(x) - \left(\frac{p\pi}{b}\right)^2 \right] \phi(x) = 0 \quad (11)$$

Avec le changement de variable suivant

$$\zeta = \frac{\pi x}{2a} \quad (12)$$

$$\frac{d^2 \phi(x)}{dx^2} = \left(\frac{\pi}{2a}\right)^2 \frac{d^2 \phi(\zeta)}{d\zeta^2} \quad (13)$$

et l'équation de propagation s'écrit:

$$\frac{d^2 \phi(\zeta)}{d\zeta^2} + g(\zeta) \phi(\zeta) = 0 \quad (14)$$

$$g(\zeta) = \left(\frac{2a}{\pi}\right)^2 \left[\gamma_g^2 - \gamma^2(\zeta) - \left(\frac{p\pi}{b}\right)^2 \right] \quad (15)$$

L'équation (14) est identifiée à l'équation de Hill où le coefficient $g(\zeta)$ représente une fonction définie sur un intervalle de largeur π . Cette fonction peut être décomposée en une série de Fourier.

Ainsi on pourra écrire

$$g(\zeta) = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} g_n \cos 2n\zeta \quad (16)$$

$g(\zeta)$ est fonction de l'inhomogénéité.

Dans notre étude, nous traitons le cas où le diélectrique est sans perte:

$$\gamma_g = j\beta_g \quad (17)$$

$$\gamma(\zeta) = j\omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r(\zeta)} \quad (18)$$

Pour le mode LSE_{10} , l'équation de propagation devient:

$$\frac{d^2 \phi(\zeta)}{d\zeta^2} + \left(\frac{2a}{\pi}\right)^2 \left[\beta_0^2 \epsilon_r(\zeta) - \beta_g^2 \right] \phi(\zeta) = 0 \quad (19)$$

$$\beta_0^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0$$

De (16) et (19), on peut écrire:

$$\left(\frac{2a}{\pi}\right)^2 (\beta_0^2 \epsilon_r(\zeta) - \beta_g^2) = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} g_n \cos 2n\zeta \quad (20)$$

Les conditions aux limites:

$$\phi(\zeta) = 0 \quad \text{pour} \quad \begin{cases} \zeta = 0 \\ \zeta = \pi/2 \end{cases} \quad (21)$$

qui permet à chercher une solution en $\sin(2m\xi)$ ce qui revient à mettre le champ E_y sous forme de sinus à période complète.

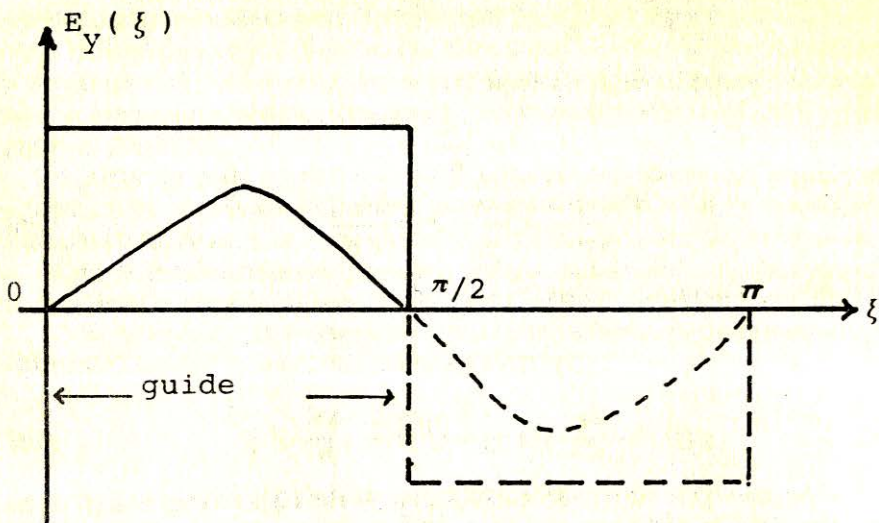


Fig.: 2

On peut écrire:

$$\phi(\xi) = \sum_{m=1}^{\infty} C_m \sin(2m\xi) \quad (22)$$

et l'équation de propagation se trouve:

$$\sum_{m=1}^{\infty} [(1 - 4m^2)] C_m \sin(2m\xi) + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} g_n C_m [\sin 2(m+n)\xi + \sin 2(m-n)\xi] = 0 \quad (23)$$

En faisant une identification des termes en $\sin(2m\xi)$, on obtient un système d'équation homogène:

$$C_m (1 - 4m^2) + \sum_{j=1}^{\infty} [(g_{m-j} - g_{m+j})] \cdot C_j = 0 \quad (24)$$

Ce système représentera une équation pour chaque valeur de m avec comme conditions $g_0 = 0$ et $g_{-k} = g_k$. Le système d'équation (24) peut s'écrire:

$$C_m + \sum_{j=1}^{\infty} \frac{g_{m+j} - g_{m-j}}{1 - 4m^2} C_j = 0 \quad (25)$$

ou encore on peut écrire sous la forme:

$$\left[\delta_{m,j} + \frac{g_{m-j} - g_{m+j}}{1 - 4m^2} \right] \times \begin{bmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_m \end{bmatrix} = 0 \quad (26)$$

$$\delta_{m,j} = \begin{cases} 1 & \text{si } m = j \\ 0 & \text{si } m \neq j \end{cases}$$

La résolution de ce système d'équations infinies impose un déterminant nul:

$$\text{Det} \left[\delta_{m,j} + \frac{g_{m-j} - g_{m+j}}{1 - 4m^2} \right] = 0 \quad (27)$$

ANALYSE NUMERIQUE DE LA METHODE

Soit un profil de champ électrique mesuré dans un guide rectangulaire rempli inhomogénément par un diélectrique (fig. 3).

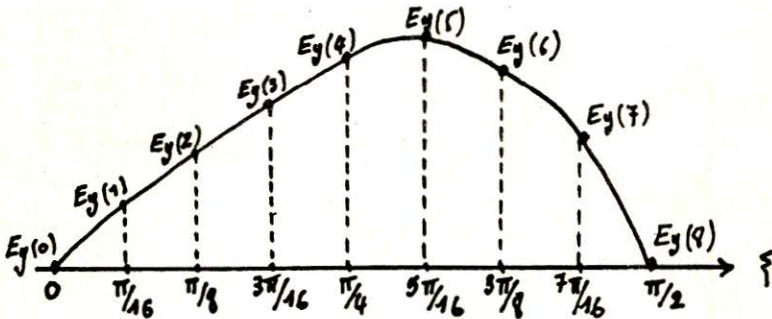


Fig.: 3

Après avoir le calcul de C_m (25), le champ électrique s'écrit sous la forme:

$$E_y(\xi) = 1 + \sum_{m=1}^{\infty} C_m \sin(2m\xi) \quad (28)$$

Dans notre étude, la décomposition en série de Fourier est limitée à huit termes (C_1 à C_8). Comme le champ est nul sur les bords du guide ($\xi = 0$ et $\xi = \pi/2$), le système se réduit à 7 équations:

$$E_y(m) = \sum_{j=1}^7 C(j) \sin\left(2j.m. \frac{\pi}{16}\right) \quad (29)$$

A partir de la connaissance des coefficients C_m , le système (25) s'écrit sous la forme:

$$[G(m, j)] X [g(m)] = [C(m)] \quad (30)$$

ou

$$\left\| \begin{array}{l} G(m, j) = G_0(m, j) / 4m^2 - 1 \\ G_0(m, j) = C(m+j) + \begin{cases} C(m-j) & j < m \\ -C(j-m) & j > m \end{cases} \end{array} \right.$$

Par la résolution du système d'équations (30), on obtient les coefficients g_n qu'ils permettent à reconstituer le profil de la constante diélectrique

$$\epsilon_r(\zeta) = \frac{\beta_g^2 + (\pi/2a)^2 [1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} g_n \cos 2n \zeta]}{\omega^2 \mu_0 \epsilon_0} \quad (31)$$

On a étudié particulièrement un exemple de profil donné par la figure 4 où

$$\epsilon = \epsilon_0 [2 - \frac{9}{8} \cos(2\zeta) + \frac{1}{8} (6\zeta)] \quad (32)$$

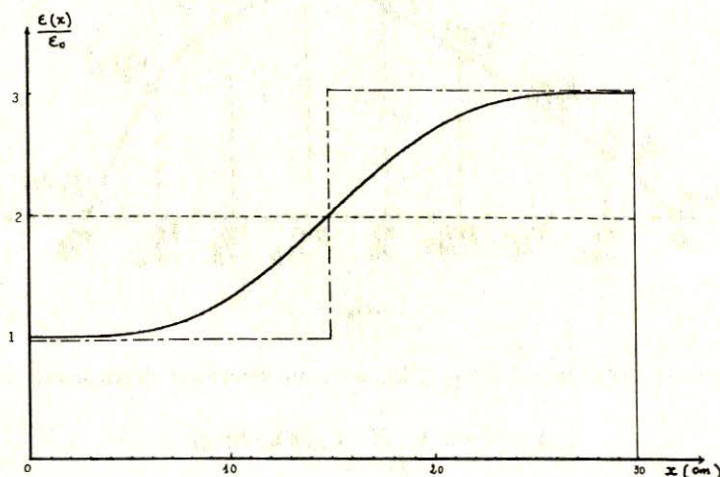


Fig. 4 - Profil diélectrique décomposé en série de FOURIER

A partir de la connaissance de la permittivité décomposée en série de Fourier, on a obtenu le profil du champ dans un guide d'onde rectangulaire à l'aide d'un programme développé (fig. 4).

Nous avons reconstitué le champ électrique à partir de la connaissance du profil de la constante diélectrique décomposée en série de Fourier (fig. 5). Dans cette reconstitution du champ électrique, nous avons considéré le profil diélectrique donné à la figure 4.

////////////////////
 / RECONSTITUTION DU CHAMP ELECTRIQUE /
 / A PARTIR DE LA CONNAISSANCE DU /
 / PROFIL DE LA CONSTANCE DIELECTRIQUE /
 / DECOMPOSEE EN SERIE DE FOURIER /
 //////////////////////

INTRODUCTION DES DONNEES DE BASE
 F=5 A=30 Y=1 N=16 EM=2

/// MATRICE X(7*1) ///

LL=3.49314613 POUR X=1.0614676
 DETER=-2.03712826E-07
 N0=7

X(1)=-.202377295
 X(2)=.0137558943
 X(3)=3.6429328E-03
 X(4)=-6.09987654E-04
 X(5)=3.41740128E-05
 X(6)=4.33900983E-06
 X(7)=-6.42595174E-07

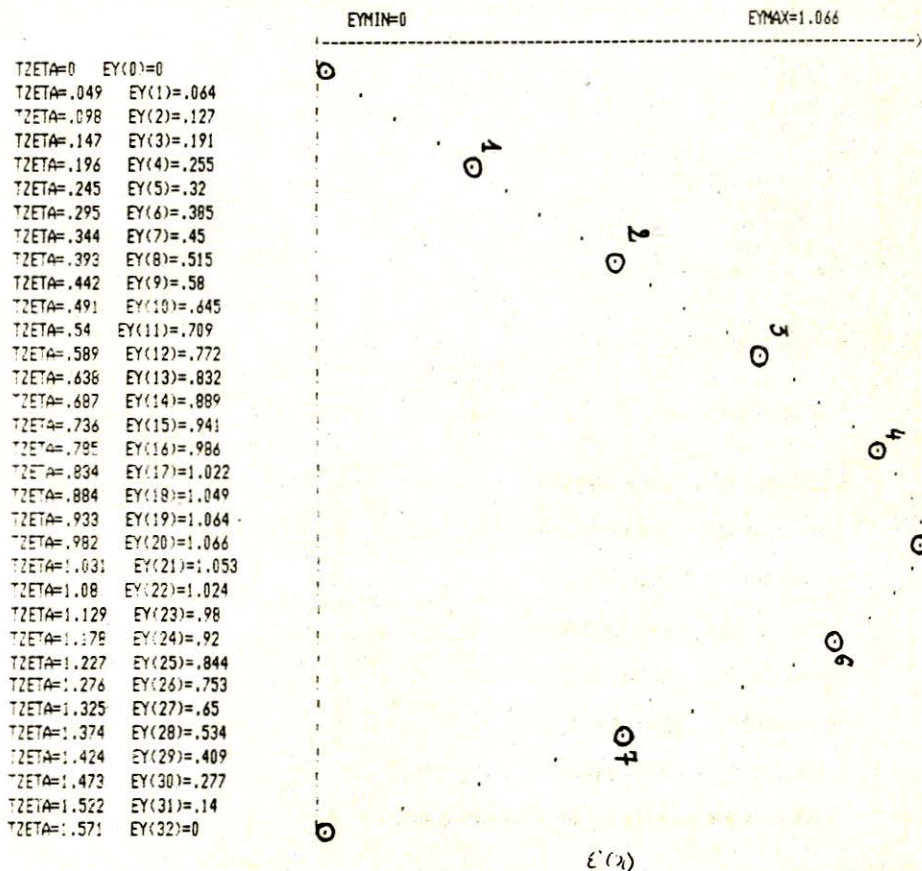


Fig. 5

Décomposition en série de Fourier du champ

1 REM ***** PARTIE 1 *****

RESOLUTION DE $(G0(N*N))*X(N*1)=(C0(N*1)) - X(N*1)$ INCONNU -

N=7

VALEURS DE L'AMPLITUDE DU CHAMP

.255385081
.514850469
.772131697
.985629778
1.06557394
.919673381
.534265574

MATRICE X(7*1)

X1=.999999042
X2=-.20237905
X3=.0137535853
X4=3.64043758E-03
X5=-6.12296594E-04
X6=3.24061566E-05
X7=3.38159139E-06

*** VERIFICATION ***

VERIF=.255385081 C0(1)=.255385081
VERIF=.514850469 C0(2)=.514850469
VERIF=.772131697 C0(3)=.772131697
VERIF=.985629778 C0(4)=.985629778
VERIF=1.06557394 C0(5)=1.06557394
VERIF=.91967338 C0(6)=.919673381
VERIF=.534265574 C0(7)=.534265574

1 REM ***** PARTIE 2 *****

////////////////////////////////////
/ PROGRAMME DE SYNTHESE /
/ DU PROFIL A PARTIR DE /
/ LA CONNAISSANCE DU /
/ CHAMP ELECTRIQUE /
/ SUIVANT L'AXE Y /
////////////////////////////////////

INTRODUCTION DES DONNEES DE BASE

100 F = 05:LG = 56.5:A1 = 30:EE = EI:N = 16

150 LG = 56.5

CO(1)=1
CO(2)=-.20237905
CO(3)=.0137535853
CO(4)=3.64043758E-03
CO(5)=-6.12296594E-04
CO(6)=3.24061566E-05
CO(7)=3.38159139E-06
CO(8)=0

FIN CHARGEMENT GO

EI=2.00101775 LL=3.49314612

-2.25039763
1.15810736E-05
.249653268
1.47367762E-04
-9.94657018E-05
4.91496448E-04
2.62096689E-04
7.16835869E-04
1.37838748E-04
6.75994551E-04
1.35670473E-04
6.96438723E-04
1.35872555E-04
6.96953306E-04
1.36704722E-04
6.79108713E-04

coefficients g_n

Inversement, pour pouvoir reconstituer le profil diélectrique à partir de la connaissance du champ électrique, nous avons prit 7 valeurs du champ comme indiqué sur la figure 5. A partir de ces valeurs de l'amplitude du champ, nous avons calculé le profil diélectrique (fig. 6) en déterminant les coefficients g_n à l'aide du programme numérique.

```

////////////////////
DETER=4,68932561E-10
////////////////////

```

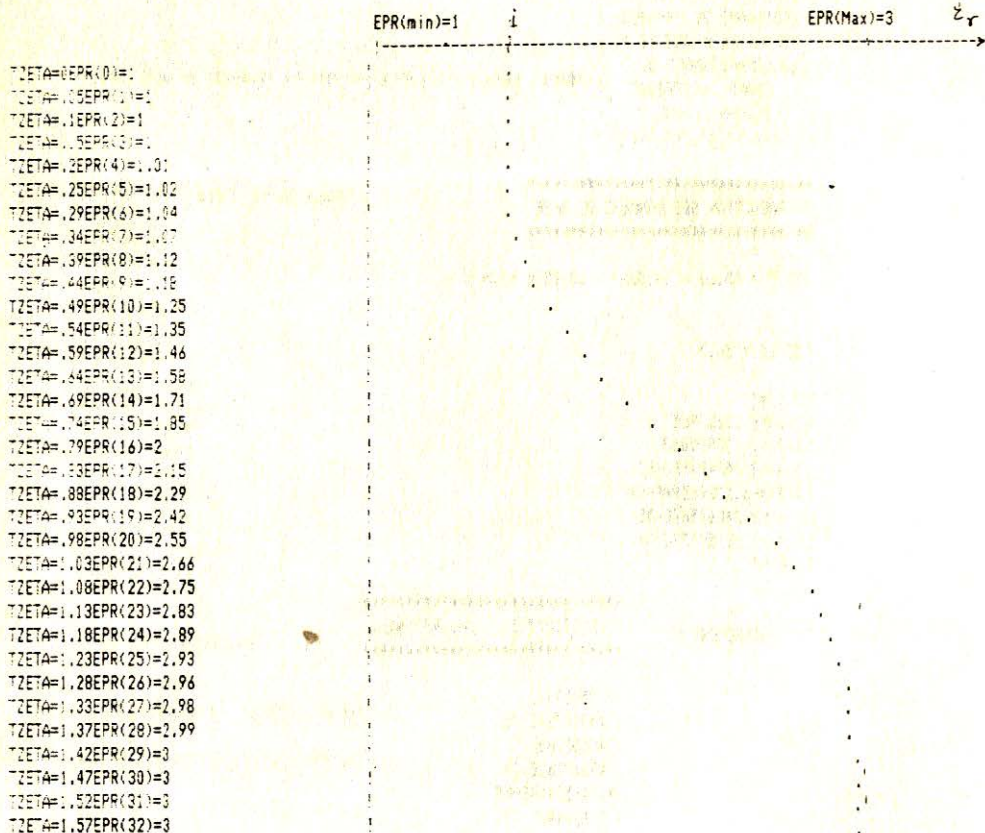


Fig. 6 — Reconstitution du profil de la constante dielectrique a l'aide du champ électrique suivant l'axe y

TECHNIQUE DE MESURE ET RESULTATS EXPERIMENTAUX

La partie expérimentale consiste à mesurer le champ électrique dans la section transversale d'un guide d'onde rectangulaire. Le guide utilisé (R37) de dimensions 66,34 X 29,50 mm travaille dans une gamme de fréquences allant de 2,82 à 4,29 GHz. En mode fondamental la fréquence est de 3 GHz tandis que sa longueur guidée est de 153 mm.

Pour éviter les problèmes de rayonnement par les fentes, nous avons ouvert une fenêtre sur le grand face du guide comme l'indique la figure (7) et placé l'antenne sur une plaque coulissante le long de cette ouverture.

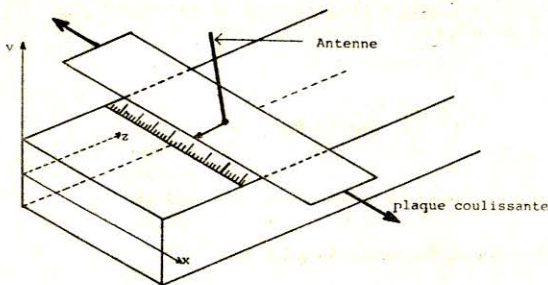


Fig. 7 - Guide ouvert sur la grande face, l'antenne est placée sur la plaque coulissante

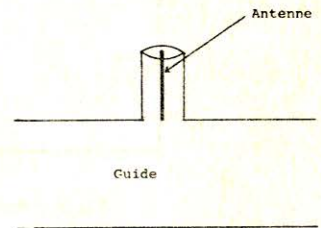


Fig. 8 - Coupe longitudinale

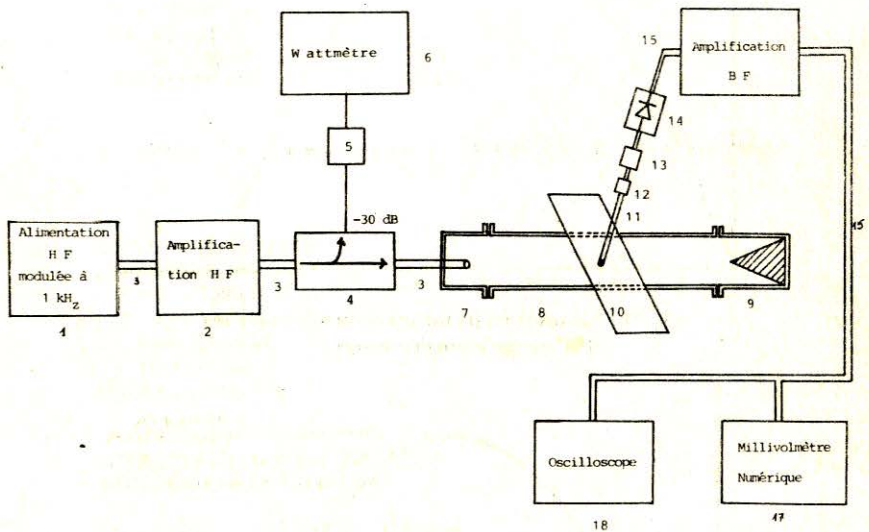


Fig. 8a - Banc de mesure

Dans un premier lieu nous nous sommes intéressés au guide rempli d'air. A l'aide du dispositif réalisé, nous avons pris des mesures qui nous ont permis de tracer le profil du champ en mode fondamental (fig. 9). Une comparaison avec la courbe théorique ($E = E_m \sin \pi x/a$) est donnée dans la figure 10.

Les résultats obtenus à l'aide de la méthode de reconstruction présentent une certaine stabilité quand on s'éloigne des parois latérales. Cela est dû aux perturbations du champ à proximité des parois.

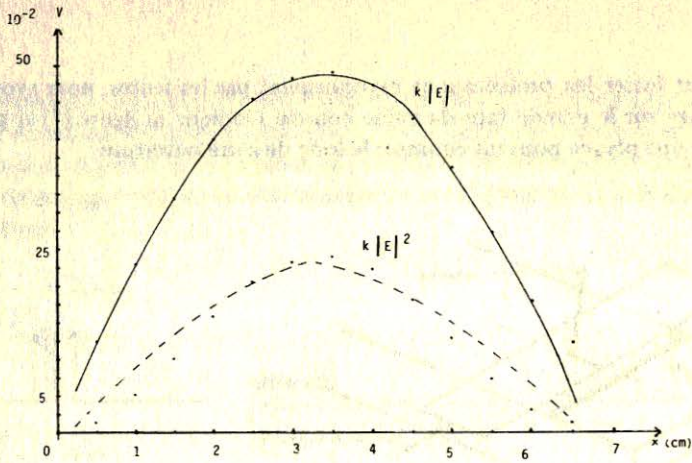


Fig. 9 — Profil du champ a l'interieur du guide vide

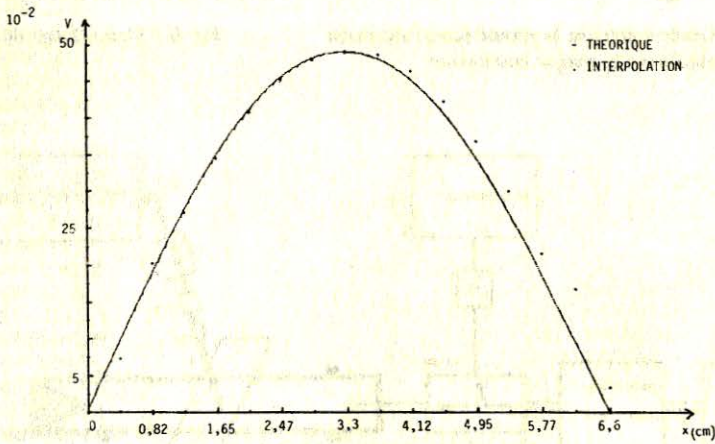


Fig. 10 — Comparaison les valeurs theoriques avec ces de l'interpolation des mesures

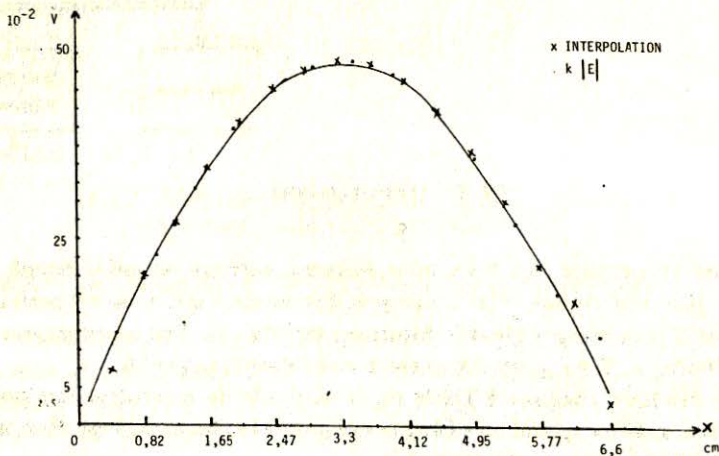


Fig. 11 — Interpolation de la courbe pratique (lissage)

Resultats du programme de reconstitution

1 REM ***** PARTIE 1 *****

RESOLUTION DE $(G0(N*N))*X(N*1)=(CO(N*1)) - X(N*1)$ INCONNU -

N=7

VALEURS DE L'AMPLITUDE DU CHAMP

.197805003

.344894947

.451936901

.488626617

.463109679

.366441581

.21665338

MATRICE X(7*1)

X1=.498904166

X2=-.010693699

X3=.0117751791

X4=-1.91889986E-03

X5=4.5930462E-03

X6=7.96179258E-05

X7=3.09541576E-03

1 REM ***** PARTIE 2 *****

////////////////////
/ PROGRAMME DE SYNTHESE /
/ DU PROFIL A PARTIR DE /
/ LA CONNAISSANCE DU /
/ CHAMP ELECTRIQUE /
/ SUIVANT L'AXE Y /
////////////////////

INTRODUCTION DES DONNEES DE BASE

100 F = 03:LG = 153:A1 = 66:EE = E1:N = 16

150 LG = 153

CO(1)=1

CO(2)=-.010693699

CO(3)=.0117751791

CO(4)=-1.91889986E-03

CO(5)=4.5930462E-03

CO(6)=7.96179258E-05

CO(7)=3.09541576E-03

CO(8)=0

LE LISSAGE A ETE FAIT POUR UN PAS DE .4125 ET POUR 16 POINTS

```
////////////////////////////////////
LES 7 POINTS SUIVANTS SONT PRIS
POUR FAIRE LA DECOMPOSITION EN
SERIE DE FOURIER DU CHAMP
////////////////////////////////////
EY(1)=.197805003
EY(2)=.344894947
EY(3)=.451936901
EY(4)=.488626617
EY(5)=.463109679
EY(6)=.366441581
EY(7)=.21665338

X(1)=.4125 EY(1)=.089150343
X(2)=.825 EY(2)=.197805003
X(3)=1.2375 EY(3)=.271793765
X(4)=1.65 EY(4)=.344894947
X(5)=2.0625 EY(5)=.407437189
X(6)=2.475 EY(6)=.451936901
X(7)=2.8875 EY(7)=.477691212
X(8)=3.3 EY(8)=.488626617
X(9)=3.7125 EY(9)=.485227565
X(10)=4.125 EY(10)=.463109679
X(11)=4.5375 EY(11)=.42156483
X(12)=4.95 EY(12)=.366441581
X(13)=5.3625 EY(13)=.298447169
X(14)=5.775 EY(14)=.21665338
X(15)=6.1875 EY(15)=.161534439
X(16)=6.6 EY(16)=.060439381
```

```
X=.4125 V(1)=.089150343
X=.825 V(2)=.197805003
X=1.2375 V(3)=.271793765
X=1.65 V(4)=.344894947
X=2.0625 V(5)=.407437189
X=2.475 V(6)=.451936901
X=2.8875 V(7)=.477691212
X=3.3 V(8)=.488626617
X=3.7125 V(9)=.485227565
X=4.125 V(10)=.463109679
X=4.5375 V(11)=.42156483
X=4.95 V(12)=.366441581
X=5.3625 V(13)=.298447169
X=5.775 V(14)=.21665338
X=6.1875 V(15)=.161534439
X=6.6 V(16)=.060439381
```

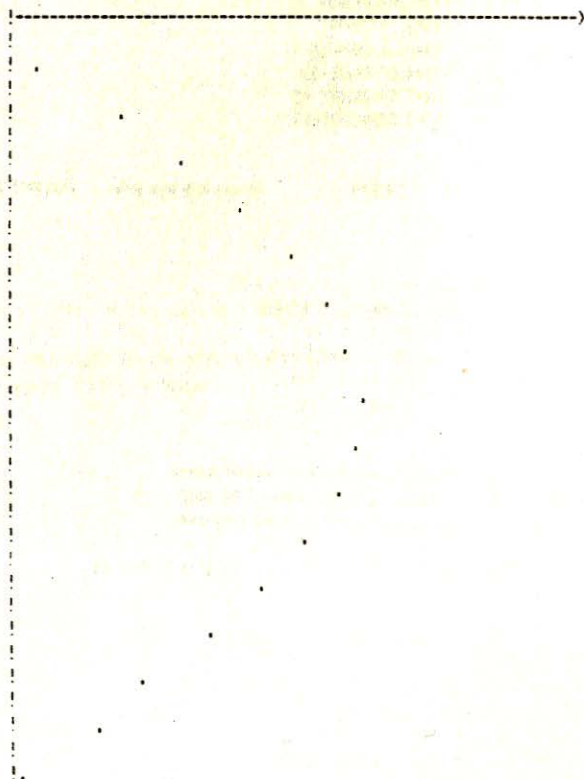


Fig. 12 - Decomposition en serie de Fourier du champ E_y

////////////////////////////////////
RESOLUTION DE $(60(N \times N)) \times (X(N \times 1)) = (C0(N \times 1)) - X(N \times 1)$ INCONNU -
////////////////////////////////////

N=7

120 DATA .187,.346,.452,.489,.452,.346,.187

MATRICE X(7*1):

X1=.489157148

X2=-7.79988713E-11

X3=-2.42462819E-05

X4=2.82748269E-11

X5=-1.83192496E-04

X6=3.71334387E-11

X7=-1.79793733E-06

1 REM ***** P A R T I E 2 *****

////////////////////////////////////
PROGRAMME DE SYNTHESE DU PROFIL A PARTIR DE LA CONNAISSANCE DU CHAMP ELECTRIQUE SUIVANT Y
////////////////////////////////////

INTRODUCTION DES DONNEES DE BASE

100 F = 03:LG = 153:A1 = 66:EE = EI:N = 16

150 LG = 153

C0(1)=1

C0(2)=-7.79988713E-11

C0(3)=-2.42462819E-05

C0(4)=2.82748269E-11

C0(5)=-1.83192496E-04

C0(6)=3.71334387E-11

C0(7)=-1.79793733E-06

C0(8)=0

 E1=.995 LL=3.95743559

/////////////////
 DETER=-8.94020673E-03
 //////////////////

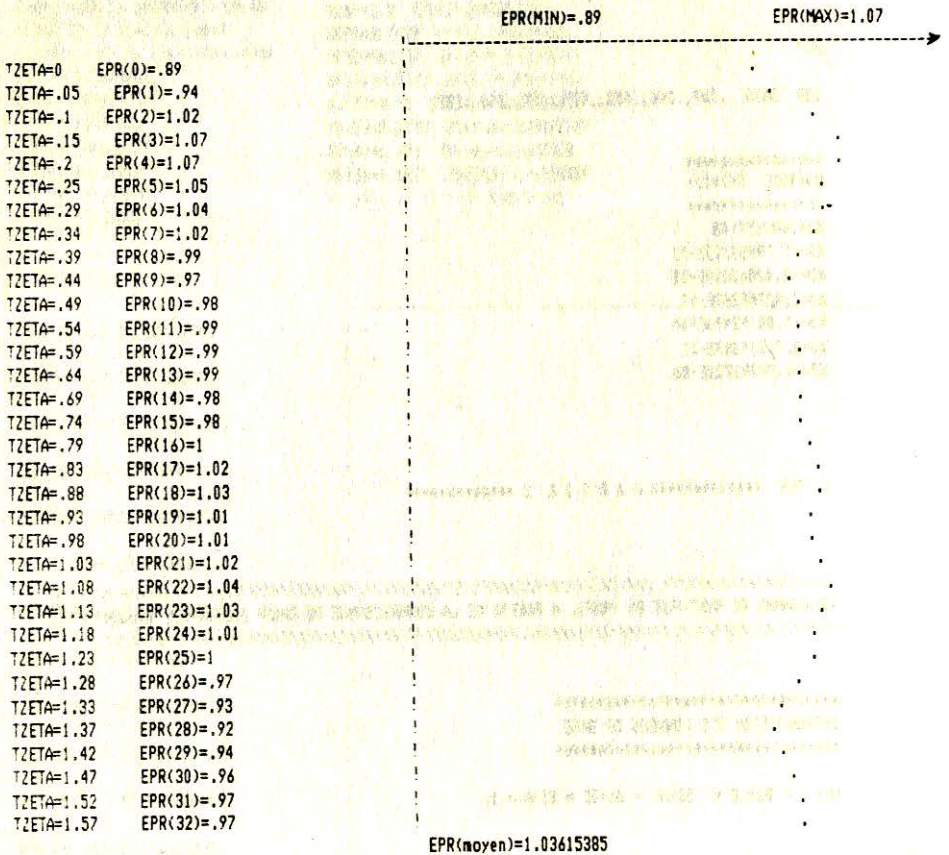


Fig. 13 — Reconstitution du profil dielectrique dans le guide vide.

En passant par un lissage (Interpolation de NEWTON) de la courbe pratique (fig. 11) nous avons pu y remédier et obtenu des résultats plus intéressants, les résultats sont montrés aux figures 12, 13.

Nous avons également fait des mesures en remplissant inhomogènement le guide d'onde avec le plexiglas ($\epsilon_r = 2.56$). Des mesures du champ électrique sont montrées à la fig. 14. Le calcul de profil diélectrique à partir de la connaissance

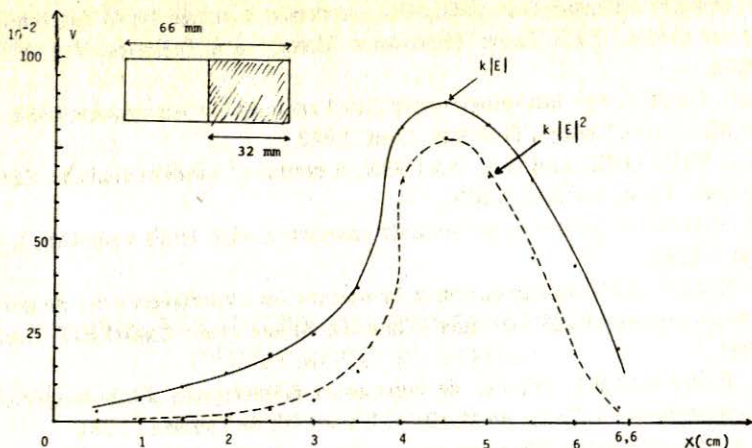


Fig. 14 — Guide rempli inhomogènement par le plexiglas

du champ électrique a été fait par la même méthode. Mais, nous n'avons pas obtenu des résultats escomptés. Par ce fait, nous constatons que la méthode de détermination du profil de la constante diélectrique à partir de la connaissance du champ électrique décomposé en série de Fourier ne donne pas des résultats appréciés dans les cas des discontinuités abrupts.

CONCLUSION

A partir de quelques mesures physiques en propagation guidée (fréquence, longueur d'onde guidée, quelques valeurs discrètes de \vec{E}_y en LSE_{10}) il est possible de reconstituer le profil ϵ_r et aussi de caractériser un matériau inhomogène par une technique micro-ondes.

Le reconstitution d'un profil de constante de diélectrique dans des milieux inhomogènes est d'un grand intérêt. Toutefois la méthode étudiée pourra être améliorée pour traiter le cas général d'un guide rempli d'un milieu inhomogène et avec perte.

Une mesure du champ suivant la composante \vec{E}_y avec éventuellement une acquisition des données peut permettre une reconstruction automatique de profil.

BIBLIOGRAPHIE

1. R. COLLINS: Theory of Waveguides, McGraw-Hill, 1960.
2. A.R. VON HIPPEL: Les diélectriques et leurs applications, Dunod, 1961.
3. E. MATAR: Contribution à l'étude de la propagation libre et guidée dans les diélectriques homogènes et inhomogènes. Thèse de 3^{ème} Cycle, E.N.P., Toulouse, 1981.
4. D.A. HOLMES: Propagation in rectangular waveguides containing inhomogeneous, anisotropic dielectric. IEEE Trans. on Microwave Theory and Technics. Vol. MTT 12, 1964.

5. A. WEXELER and D.A. HOLMES: Acceptable mode types for inhomogeneous media, IEEE Trans. Microwave Theory and Technics. Vol. MTT 13, 1965.
6. K.F. CASEY: On inhomogeneously filled rectangular waveguides IEEE Trans on Microwave Theory Technics. Aout. 1973.
7. E.T. WITTAHER and G.N. WATSON: A course of modern analysis. Cambridge Univ. Press, London, 1963.
8. W. MAGNUS: Infinite determinants associated with Hill's equation, I. Math. vol. 5.1955.
9. S. BELKECEMI: Contribution a la mesure en hyperfréquences de permittivité de matériaux diélectriques. Thèse de 3^{ème} cycle ENSEEIHT Toulouse, 1981.
10. A. BABA-HAMED: Mesure de constantes diélectriques à inhomogénéité monodimensionnell. Thèse de Magister, Université de Tlemcen, 1984.
11. C. NOWAKOWSKI: Méthodes de calcul numérique. Edit. P.S.I., 1981.
12. S. LEFEUVRE: Hyperfréquences, Dunod, 1976.