

**LINHAS DE LÂMINAS UNILATERAIS E BILATERAIS COM MATERIAL FERRIMAGNÉTICO**

Dirce Helena Bosco de Miranda

Humberto César Chaves Fernandes

Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Centro de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Elétrica  
59.072 - Natal-RN - Brasil

RESUMO

São desenvolvidos estudos para as linhas de lâminas unilaterais e bilaterais simétricas com material ferrimagnético em seu interior, o que torna a permeabilidade um tensor. Assim, parte-se das equações de Maxwell, que se modificam em relação ao material isotrópico e possuem componentes d.c. e a.c., obtendo-se os campos elétricos e magnéticos, usando o método LTT. Em seguida determina-se a constante dielétrica efetiva e a impedância característica.

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho são desenvolvidas as teorias de estruturas de linha de lâminas unilaterais e bilaterais com anisotropia magnética. Estas estruturas são muito importantes na fabricação de dispositivos passivos de ondas milimétricas.

As linhas de lâminas unilaterais possuem uma lâmina metálica com fenda e o substrato dielétrico foi trocado por uma ferrita, como mostrada na fig. 1.a. As linhas de lâminas bilaterais possuem duas lâminas metálicas com fendas e entre as duas lâminas metálicas foi introduzido um material ferrimagnético.

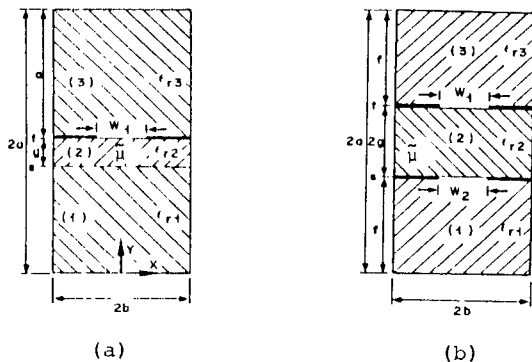


Figura 1 - Seção transversal de estruturas de linhas de lâminas a) unilateral arbitrária e b) bilateral simétrica.

Por causa da introdução da ferrita, o estudo das estruturas adquire grandes modificações. A permeabilidade não é mais uma grandeza escalar mas se transforma no tensor permeabilidade. Assim, as equações de Maxwell devem ser inicialmente estabelecidas, considerando-se essa alteração. Além disso, os campos elétricos e magnéticos terão duas componentes de campo: uma componente d.c. e uma componente a.c.. Depois de conhecida a equação de onda, de acordo com o Método da Linha de Transmissão Transversa-LTT, parte-se para o cálculo das constantes e dos campos elétricos e magnéticos. Quando estuda-se a linha de lâmina bilateral, pode-se considerar somente a metade da estrutura, já que a mesma é simétrica. Este fato simplifica o estudo e garante mais rapidez de cálculos. Após os campos serem obtidos, o procedimento do método dos

momentos é aplicado para a obtenção da constante dielétrica efetiva e, em seguida, é determinada a impedância característica, usando-se o vetor de Poynting complexo. Estes parâmetros podem ser usados no projeto de dispositivos.

2. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Considerando-se que as estruturas de linha de lâmina unilateral e bilateral simétrica possuem a ferrita em seu interior, as equações de Maxwell apresentam o tensor permeabilidade em suas expressões. Como exemplo, tem-se:

$$\vec{b} = [\mu]\vec{h} \quad \text{ou} \quad \vec{b} = \mu_0[\mu_r]\vec{h} \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{e} = -j\omega\mu_0 \begin{vmatrix} \mu & -jK & 0 \\ jK & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \vec{h} \quad (2)$$

Com a equação (2) e com o rotacional de  $\vec{h}$ , obtêm-se equações, das quais duas são mencionadas:

$$\frac{\partial e_z}{\partial y} + j\beta e_y = -j\omega\mu_0(\mu h_x - jK h_y) \quad (3)$$

$$j\beta e_x + \frac{\partial e_z}{\partial x} = j\omega\mu_0(jK h_x + \mu h_y) \quad (4)$$

Manipulando-se as seis equações, chega-se a equação de onda e parte-se para o estudo das estruturas de linhas de lâminas unilaterais e bilaterais simétricas, pelo Método da Linha de Transmissão Transversa-LTT [1], [2]. Através das condições de contorno nos lugares com lâmina metálica e sem lâmina metálica, determina-se as constantes dos campos para a linha de lâmina unilateral arbitrária da figura 1. Substituindo-se essas constantes nas expressões dos campos, encontra-se todos os campos elétricos e magnéticos. Tem-se, por exemplo, para a região 3 da estrutura unilateral:

$$(\vec{e}_y)_3 = -j \left[ \frac{\beta(k_0^2 \epsilon_{r3} \mu + \gamma_3^2) \vec{e}_{zt} + (\mu\alpha - k\gamma_3 d_3)(k_0^2 \epsilon_{r3} \gamma_3^2) \vec{e}_{xt}}{\gamma_3 [(\mu\alpha^2 + \beta^2) a_3 - \alpha k \gamma_3 d_3]} \right] \cosh \gamma_3 (2a - y) \quad (5)$$

$$(\vec{h}_z)_3 = j \left[ \frac{[\beta^2 \gamma_3^2 - k_3^2 \alpha (\mu\alpha - k\gamma_3 d_3)] \vec{e}_{xt} - \alpha \beta (k_3^2 \mu + \gamma_3^2) \vec{e}_{zt}}{\omega \mu_0 \gamma_3 [(\mu\alpha^2 + \beta^2) a_3 - \alpha k \gamma_3 b_3]} \right] \cosh \gamma_3 (2a - y) \quad (6)$$

Depois de conhecidos todos os campos da linha de lâmina unilateral, encontra-se outra solução para o estudo da linha de lâmina bilateral simétrica. Como a estrutura é simétrica, ela pode ser dividida ao meio e o estudo é feito considerando-se somente a parte superior, com fendas em  $y=g$ , como na figura 1.b.. Normalmente, a partir das condições de contorno, chega-se às constantes da estrutura e, substituindo-as nos campos elétricos e magnéticos, estes são completamente determinados. Assim, por exemplo, para a região 2:

$$(\vec{e}_z)_2 = \frac{1}{(k_2^2 \mu + \gamma_2^2)} \left[ \frac{[k\beta \gamma_2 d_2 (k_2^2 + \gamma_2^2) \vec{e}_{xg} + (\mu\alpha^2 + \beta^2) (k_2^2 \mu + \gamma_2^2) \vec{e}_{zg}] \sinh \gamma_2 y}{[(\mu\alpha^2 + \beta^2) a_2 + k\alpha \gamma_2 b_2]} \right]$$

$$-\frac{k\gamma_2[\beta(k_2^2+\gamma_2^2)\tilde{e}_{xg}-\alpha(k_2^2\mu+\gamma_2^2)\tilde{e}_{zg}]\cosh\gamma_2 y}{[(\mu\alpha^2+\beta^2)a_2+k\alpha\gamma_2 b_2]} \quad (7)$$

$$(h_{z2})=j\left\{\frac{[k_2^2\alpha(\mu+\gamma_2^2kd_2)-\beta^2\gamma_2^2]\tilde{e}_{xg}+\alpha\beta(k_2^2\mu+\gamma_2^2)\tilde{e}_{zg}}{\omega\mu_0\gamma_2[(\mu\alpha^2+\beta^2)a_2+k\alpha\gamma_2 b_2]}\cosh\gamma_2 y\right\} \quad (8)$$

Conhecidos todos os campos elétricos e magnéticos para as duas estruturas, unilateral e bilateral simétrica, parte-se para o cálculo da impedância característica e da constante dielétrica efetiva. Após várias manipulações matemáticas, chega-se às relações entre as densidades de corrente e os campos elétricos, onde existem as lâminas, isto é,  $y=t$  para unilateral e  $y=g$  para bilateral simétrica. Estas relações são funções admitâncias, que são transformadas de Fourier das funções diádicas de Green, formam do uma equação matricial não-homogênea:

$$\begin{pmatrix} Y_{xx} & Y_{xz} \\ Y_{zx} & Y_{zz} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \tilde{E}_{xt}(g) \\ \tilde{E}_{zt}(g) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{J}_{xt}(g) \\ \tilde{J}_{zt}(g) \end{pmatrix} \quad (9)$$

Aplicando-se o método dos momentos a equação (9), chega-se a uma equação matricial de autovalores homogênea. A constante de propagação,  $\beta$ , para a estrutura de linha de lâmina unilateral e bilateral simétrica é obtida através da pesquisa da raiz do determinante. Conhecendo-se o valor da constante de propagação, a impedância característica é determinada pela definição que realciona a voltagem através da fenda e a potência:

$$z_c = \frac{V_x}{P_j} \quad (10)$$

A potência será:

$$P_j = \frac{1}{8b} \operatorname{Re} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \int_0^{2a} (\tilde{E}_{xj} \tilde{H}_y^* - \tilde{E}_y \tilde{H}_x^*) dy \quad (11)$$

Com isso, completa-se o estudo da linha de lâmina unilateral e da linha de lâmina bilateral simétrica com anisotropia magnética:

### 3. CONCLUSÃO

O estudo das linhas de lâminas unilaterais e bilaterais simétricas com anisotropia magnética é de solução atual e complexo. A partir do momento em que se introduz a ferrita, não se pode falar em permeabilidade e sim no tensor permeabilidade, o que torna o estudo teórico das estruturas mais difícil.

Com o método LTT e as condições de contorno, obteve-se as constantes e, finalmente, os campos elétricos e magnéticos. Esses campos, que são funções das fendas das estruturas, apresentam expressões distintas dos campos encontrados em [1] e [2], já que a ferrita agora faz parte das estruturas. Encontrando-se a impedância característica e a constante dielétrica efetiva, tem-se o estudo teórico completo para a linha de lâmina unilateral e para a linha de lâmina bilateral.

### 4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Fernandes, H.C.C., Giarola, A.J., Souza, R.F., Mendonça, L.M., Miranda, D.H.B., Spinelli, R.M.R.P.. "The Use of TTT Method for Calculation of Dispersion in Slot Lines and Tridielectric Unilateral Fin Lines", 1987 International Microwave Symposium Proceedings, Rio de Janeiro, RJ, pp.405-411, julho, 1987.

- [2] Fernandes, H.C.C., Miranda, D.H.B., Madrigales, J.E.F., Giarola, A.J., Souza, R.F.. "A Simplified Method Applied to Various Finline Structures Including Dispersion, Asymmetry, Loss, Finite Strip Thickness and Discontinuity", Twelfth International Conference on Infrared and Millimeter Waves, Orlando, Flórida, USA, pp.161-162, Dezembro, 1987.
- [3] Hayashi, Y., Mittra, R. "An Analytical Investigation of Finlines with Magnetized Ferrite Substrate", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-31, n° 6, pp. 495-498, junho, 1983.
- [4] P. Hlawiczka, "Gyrotropic Waveguides", Academic Press, 1981.

### BIOGRAFIAS

MIRANDA, DIRCE HELENA BOSCO. Nasceu em Uberaba, MG, Brasil, em 23 de novembro de 1958. Recebeu o grau de Engenheira Eletricista da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Natal, RN, Brasil, no ano de 1985. Atualmente está concluindo o curso de mestrado na UFRN, na área de Microondas e Ondas Milimétricas, onde tem desenvolvido pesquisas sobre dispositivos e estruturas planares.

É sócia da Sociedade Brasileira de Microondas - SBMO.

FERNANDES, HUMBERTO CÉSAR CHAVES. Nasceu em Martins, RN, Brasil, em 1955. Recebeu o grau de Engenheiro Eletricista, com louvor, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN, Natal, RN, Brasil, em 1977, os graus M.Sc. (Mar.1978-Jan.1980), Ph.D. (Ago.1981-Jul.1984), em Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Brasil, e desenvolveu um programa de Pós-Doutorado na UNICAMP (Ago.1986-Mar.1987).

Ele tem desenvolvido pesquisas sobre dispositivos de Microondas e estruturas e dispositivos de Ondas Milimétricas. De 1984 a 1986 foi Presidente da Revista TEE - Telecomunicações, Eletrônica e Eletrotécnica, Coordenador da Câmara de Telecomunicações do Departamento de Engenharia Elétrica - DEE da UFRN, e, desde 1984 é o chefe do Laboratório de Telecomunicações da UFRN, Natal - RN, Brasil. Dr. Humberto é membro do IEEE, e sócio Fundador Efetivo da Sociedade Brasileira de Telecomunicações - SBT e da Sociedade Brasileira de Microondas - SBMO.