

## Caracterização de Propriedades Magnéticas de Ferritas em Alta Frequência

DIAS, P. A. G.<sup>1</sup>, SILVA NETO, L. P., ROSSI, J. O., BARROSO, J. J.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

<sup>1</sup>Aluna de mestrado do curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais

patricia.dias@lit.inpe.br

**Resumo.** A principal ideia neste trabalho consiste em medir a permeabilidade complexa de materiais magnéticos do tipo ferrita, os quais têm sido usados extensamente como meios magnéticos em dispositivos como: linhas de transmissão não lineares, indutores, cavidades ressonantes, etc. Foram realizadas medições de resistência e reatância e através destas foi possível obter a impedância e a tangente de perdas de ferritas comerciais. Estes são parâmetros essenciais para avaliar componentes a serem usados em aplicações de alta frequência em sistemas espaciais. Além disso, uma propriedade adicional muito importante que o fabricante não revela, a permeabilidade complexa, foi acrescentada e analisada.

**Palavras-chave:** Permeabilidade Magnética; Ferrita; Tangente de Perdas.

### 1. Introdução

Para que um equipamento seja confiável é necessário que seja feita uma análise minuciosa das características dos componentes utilizados. Os materiais mais utilizados em aplicações de micro-ondas são compostos ferromagnéticos como o YIG (granada de ítrio e ferro) e as ferritas, compostas de óxidos de ferro entre outros elementos [Pozar 2005]. Muitos dos componentes utilizados em satélites são indutores com núcleo ferromagnético e o objetivo deste trabalho é realizar medições de permeabilidade magnética de ferritas, pois é um parâmetro importante devido às perdas no meio magnético que limitam a frequência de operação dos componentes.

### 2. Metodologia

Como a amostra a ser medida é em um material sólido e pequeno (com fator geométrico  $k=0,5 \text{ mm}^{-1}$ ), o método mais adequado é a medição através de um cabo coaxial de  $50 \Omega$  que faz a conexão entre a placa onde será soldada a ferrita e o analisador de rede, onde se mede o parâmetro  $S_{11}$  de reflexão. Com isto, obtêm-se parâmetros importantes como: resistência e reatância, dadas por (1). Em seguida, através destas é possível calcular a tangente de perdas e a permeabilidade magnética como podemos ver em (2) e (3). A impedância total da ferrita é definida por:  $Z = R_S + jX_L$ . Porém, pode ser calculada através da medição do coeficiente de reflexão de entrada  $S_{11}$  a partir de  $Z = 50 \left( \frac{1+S_{11}}{1-S_{11}} \right)$ .

Igualando-se as fórmulas tem-se:  $R_S + jX_L = 50 \left( \frac{1+S_{11}}{1-S_{11}} \right)$  [Silva Neto et al. 2013].

Para determinar a resistência série e a reatância indutiva, igualam-se  $R_S$  e  $X_L$  como:

$$R_S = 50 \left( \frac{1-(S'_{11})^2-(S''_{11})^2}{(1+S'_{11})^2+(S''_{11})^2} \right); X_L = 50 \left( \frac{-2S''_{11}}{(1+S'_{11})^2+(S''_{11})^2} \right) \quad (1)$$

De posse destes dados, obtêm-se a tangente de perdas:

$$\text{tang } \delta = \frac{R_S}{X_L} \quad (2)$$

E finalmente, por meio da reatância indutiva e da tangente de perdas, chega-se aos valores da permeabilidade real e imaginária:

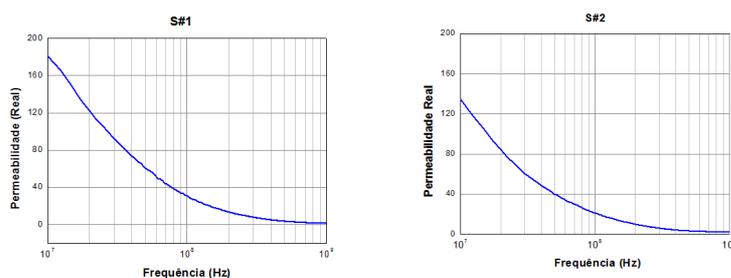
$$\mu'_r = \frac{L_S}{L_0} = \frac{L_S}{\mu_0 k} = \frac{X_L}{2\pi f \mu_0 k} ; \mu''_r = \text{tang } \delta \cdot \mu'_r \quad (3)$$

### 3. Resultados e Discussão

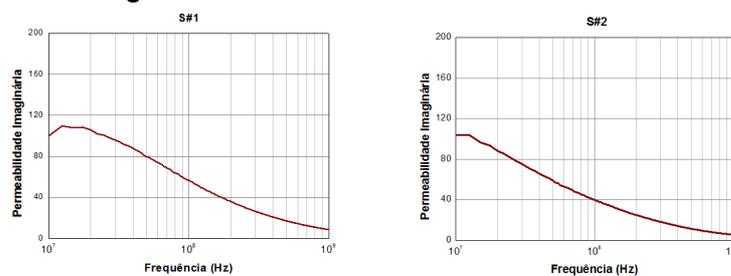
A caracterização como mostrada nas figuras 1 e 2, foi realizada na escala de frequência entre 10 MHz e 1 GHz. Foram utilizadas duas ferritas comerciais, uma da Fair-Rite (S#1) e outra da Murata (S#2).

**Tabela 1. Características das amostras.**

Ferrita	Impedância ( $\Omega$ ) 100 MHz	Espessura (mm)	Comprimento (mm)	Profundidade (mm)
S#1	30	1,6	0,8	0,8
S#2	26	1,6	0,8	0,6



**Figura 1. Permeabilidade real das amostras.**



**Figura 2. Permeabilidade imaginária das amostras.**

### 4. Conclusão

Para completar os parâmetros dos manuais, foi calculada a tangente de perdas e a permeabilidade real e imaginária de cada amostra. Os resultados foram satisfatórios e ficaram na faixa de tolerância de  $\pm 25\%$  de acordo com fabricante. Como esperado, a partir de 10 MHz a permeabilidade decresce conforme a frequência aumenta.

### Referências

Pozar, D. M. (2005). Microwave Engineering, Amherst, John Wiley & Sons.

Silva Neto, L. P. et al. (2013). "Frequency characterization of ferrite beads in the microwave range for nonlinear applications", in Proc. of the 9<sup>th</sup> International Conference on Powder Technology (PTECH), Campos do Jordão, SP, Brazil.