

Técnica de Medição da Permissividade Elétrica Relativa de Placas FR4

Daniel A. B. Fonseca, Felipe R. Pereira, Álvaro A. M. de Medeiros, Ulysses R. C. Vitor

Resumo— Este trabalho propõe uma nova técnica para medir a permissividade elétrica de placas FR4. Isso é feito através da análise da resposta de perda por inserção de uma linha de transmissão planar de fácil implementação.

Palavras-Chave— Linha de Transmissão Planar, Permissividade Elétrica, Rádio frequência, Analisador de Redes.

Abstract— This work proposes a new technique to measure the electrical permittivity of FR4 plates. This is done by analyzing the insertion loss response of a planar transmission line that can be easily implemented.

Keywords— Planar Transmission Line, Electrical Permittivity, Radio Frequency, Network Analyzer.

I. INTRODUÇÃO

As placas FR4 são amplamente utilizadas na confecção de antenas e circuitos de rádio frequência. Para o projeto preciso destes dispositivos, é necessária uma determinação acurada da permissividade elétrica relativa da placa utilizada. Algumas técnicas já são conhecidas para a medição da constante dielétrica de materiais, entre elas, a utilização de um guia de onda [1], [2] e a modelagem da placa como uma cavidade ressonante [3]. Essas técnicas se aproveitam da característica da frequência de ressonância para chegar ao valor da permissividade elétrica de uma maneira razoavelmente simples. Porém, para a determinação em mais baixas frequências, as dimensões necessárias para isso podem ser grandes o suficiente para comprometer sua construção. Este artigo propõe uma nova técnica baseada em reflexões em uma linha de transmissão (LT) causadas por *stubs*, capaz de determinar a permissividade relativa no espectro de frequências a partir de 400MHz.

II. TÉCNICA DE MEDIÇÃO E PROJETO DA LTPT

A técnica é dividida em três etapas: (i) projeto de uma linha de transmissão planar de teste (LTPT) considerando um valor arbitrário de ϵ_r ; (ii) simulações com diversas permissividades para verificação da validade do projeto e análise de erros; e (iii) construção da LTPT para a medição de ϵ_r , Figura 1.

A impedância característica da linha de transmissão planar depende tanto das dimensões da seção transversal quanto do material do substrato. Quando a largura da microfita w é maior que a espessura h do substrato, a impedância característica é dada por [3]:

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{1}{\frac{w}{h} + 1.393 + 0.677 \ln\left(\frac{w}{h} + 144\right)}, \quad (1)$$

Daniel A. B. Fonseca, Felipe R. Pereira, Álvaro A. M. de Medeiros, Ulysses R. C. Vitor são pesquisadores do Laboratório de Telecomunicações Aplicadas da Universidade Federal de Juiz de Fora. E-mails: {daniel.fonseca, felipe.pereira, alvaro, ulysses.vitor}@engenharia.ufjf.br.

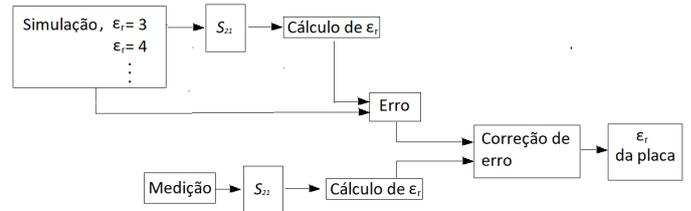


Fig. 1. Fluxograma da técnica aplicada.

em que

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1.0}{2} + \frac{\epsilon_r - 1.0}{2} \left(1 + \frac{12h}{w}\right)^{-1/2}, \quad (2)$$

A presença de um *stub* produz reflexões que alteram a impedância na entrada da LT. Para um comprimento do *stub* L fixo, tem-se uma variação da impedância de entrada em função da frequência do sinal injetado. Deste modo, a perda de inserção (parâmetro S_{21}) também varia com a frequência. Quando o comprimento é de

$$L = (2n - 1)\lambda/4, \quad (3)$$

não há transferência de energia, onde n é a ordem de surgimento dos nulos de frequência. Dessa forma, é possível encontrar as frequências nas quais o *stub* é responsável por zerar a potência enviada de uma porta a outra, estas são chamadas de nulos de impedância ou nulos. As frequências dos nulos são encontradas usando $\lambda = c/\sqrt{\epsilon_{eff}\mu_r}f$ em (3), resultando em

$$f = \frac{c}{4L\sqrt{\epsilon_{eff}}}(2n - 1) \quad (4)$$

em que c é a velocidade da luz no vácuo, ϵ_{eff} é a permissividade elétrica efetiva e μ_r é a permeabilidade magnética relativa, que neste caso, é unitária. Esses nulos serão extraídos da medição da perda por inserção, S_{21} .

A fibra de vidro possui uma permissividade elétrica que pode variar em uma ampla faixa de frequência [4]. Entretanto, para realizar o casamento de impedância da LT Planar, optou-se pelo valor de $\epsilon_r = 4,3$. Assim, a partir da Equação (1), adotando a espessura como 1,5 mm, o valor da largura da microfita para um Z_0 de 50 Ω é de 3,1 mm. Outro ponto importante é a determinação do comprimento L , através da Equação (3). É possível perceber que as frequências de nulos são inversamente proporcionais a L . Dessa forma, a medida que L aumenta, podem ser calculados valores da permissividade em frequências mais baixas. A Figura 2(a) mostra uma forma de aumentar o comprimento do *stub*, forma

curva, sem prejudicar a área total da placa. A placa possui dimensões de 130×130 mm, os *stubs* possuem comprimento de $L = 100$ mm, para isso os *stubs* foram construídos de forma curva. Todavia, a presença de um único *stub* na forma curva produz imperfeições na resposta de S_{21} . Uma alternativa é o acréscimo de um segundo *stub* simétrico, anulando os efeitos indesejados. Assim, chega-se à Linha de Transmissão Planar de Teste (LTPT), a qual será usada para estimar a permissividade elétrica relativa da placa de FR4.

III. SIMULAÇÃO DA LTPT E ANÁLISE DO ERRO

O próximo passo é simular a LTPT e calcular o erro. Com o *software* CST Studio, versão estudante, foi realizada uma simulação da perda por inserção com $\epsilon_r = 4,3$, conforme mostrado na Figura 2(b). Fazendo uso da frequência do primeiro nulo, $n=1$, na Equação (4), obtém-se o valor de 4,4866. Portanto, um erro de 4,34%. Esse erro pode ser causado pela imprecisão do valor do comprimento do *stub* utilizado na Equação (4), o qual foi de $L=100$ mm.

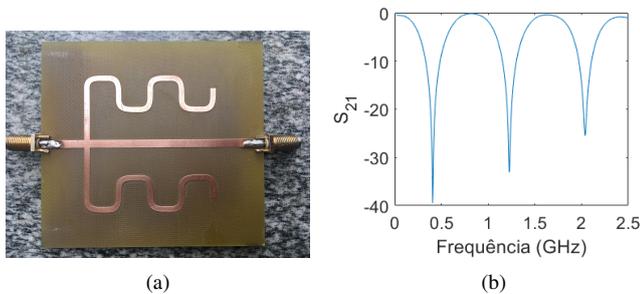


Fig. 2. (a) LTPT implementada, (b) Simulação de S_{21} para $\epsilon_r = 4.3$.

Para estimar o erro em todos os nulos, são realizadas simulações do S_{21} da LTPT. Foram usados 11 valores de permissividade diferentes, variando entre 3 a 6. Em seguida, são calculados as permissividades elétricas através da Equação (4) e os erros correspondentes. Na Figura 3, é visto que para os cinco primeiros nulos presentes, o maior erro encontrado é um pouco superior a 4%. Dentre os nulos, o terceiro é o que apresenta menor desvio padrão de erro.

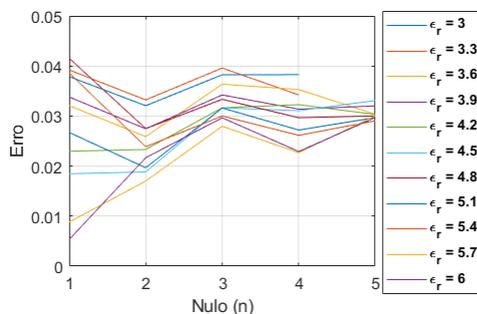


Fig. 3. Erro para permissividade relativa variando entre 3 e 6.

IV. IMPLEMENTAÇÃO E MEDIÇÃO DA LTPT

A LTPT foi construída com uma impressora LASER, Figura 2-(a). Em seguida, mediu-se a perda por inserção, S_{21} ,

com o equipamento *Agilent FieldFox RF Analyzer* N9912, o qual opera até 4GHz.

Através dos dados da medição do S_{21} , calcula-se a constante dielétrica da placa. Com o erro obtido através das simulações, é corrigido o erro do valor de ϵ_r , proveniente da Equação (4). Para os cinco primeiros nulos, os valores de ϵ_r foram 4,1255, 4,1546, 4,2493, 4,2262, 4,2134, respectivamente.

Como o equipamento de medição é limitado em até 4 GHz, a escolha do nulo é restrita até o quarto nulo, pois, para $\epsilon_r = 3$, existem 4 nulos até 4 GHz. Na Figura 3, observa-se que o menor desvio de erro ocorre no terceiro nulo, sendo este o escolhido. Todos os valores calculados são maiores do que os esperados. Logo, subtraindo o erro médio do valor encontrado, têm-se $\epsilon_r = 4,0945$.

Assim, com posse do valor de ϵ_r encontrado, é possível utilizá-lo no projeto de outros dispositivos, seja através de ferramentas analíticas ou computacionais. Para fins de ilustração, a Figura 4 mostra a comparação dos valores de S_{21} obtidos através de simulação realizada no *software* CST utilizando $\epsilon_r = 4,0945$ com aqueles obtidos através da medição com a LTPT implementada. Observa-se uma ótima concordância entre as duas curvas, com nulos e vales extremamente próximos, mostrando a eficácia da técnica.

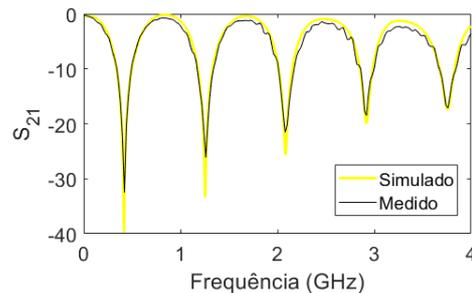


Fig. 4. Valores de S_{21} obtidos por simulação e medição para $\epsilon_r=4,0945$.

V. CONCLUSÃO

Este artigo propôs um método inovador, com baixo erro, para estimação da permissividade elétrica relativa de placas FR4, que são largamente usadas na confecção de antenas e circuitos de rádio frequência. A técnica se baseia na análise de uma LT planar de fácil construção, através de cálculos, simulações e medições. A técnica mostrou-se precisa ao comparar os valores de perda de inserção de uma LT simulada a partir da permissividade encontrada com os valores obtidos através de medição.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Yarlequé and A. Miranda, "Permittivity measuring technique based on a parallel-plate waveguide concept," in Proc. 2012 IEEE Andean Region Int. Conf., Nov. 2012, pp. 67–70.
- [2] A. Namba, O. Wada, Y. Toyota, Y. Fukumoto, Z. L. Wang, R. Koga, T. Miyashita, and T. Watanabe, "A simple method for measuring the relative permittivity of printed circuit board materials," *Electromagnetic Compatibility, IEEE Trans on*, vol. 43, no. 4, pp. 515–519, Nov 2001.
- [3] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2016.
- [4] V.I. Sokolov, S.I. Shalgunov, I.G. Gurtovnik, L.G. Mikheeva, Dielectric characteristics of glass fibre reinforced plastics and their components. *Int. Polym. Sci. Technol.* 32(7), T62 (2005)