



PRPG | Pós-Graduação
PIBIC/CNPq/UFCA-2009

INVESTIGAÇÃO DE MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE PERMISSIVIDADE ELÉTRICA DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Victor Felipe Moura Bezerra Melo¹, Adaildo d'Assunção Júnior², Glauco Fontgalland³

RESUMO

Neste trabalho são propostas novas configurações do anel ressonador para medir, com maior precisão, a permissividade de materiais dielétricos utilizados na fabricação de placas de circuito impresso e dispositivos que operam em altas frequências. O procedimento é determinar, através de medições, a frequência de ressonância do anel e sua relação com a permissividade do substrato. As amostras utilizadas são obtidas no mercado. Os resultados obtidos são comparados àqueles da configuração clássica do anel ressonador.

Palavras-chave: Frequência de ressonância, atenuação do sinal, perturbação no ressonador.

INVESTIGATION OF METHODS TO MEASURE THE ELECTRIC PERMITTIVITY OF PRINTED CIRCUIT BOARDS

ABSTRACT

In this work it is proposed new configurations of the ring resonator to measure, with greater accuracy, the permittivity of dielectric materials used in the design of printed circuit boards that operate at high frequencies. The procedure is determining, through measurements, the resonance frequency of the ring and its relation with the permittivity of the substrate. The samples used are obtained in the trade. The results obtained are compared to the ones for the classic configuration of the ring resonator.

Keywords: Resonance frequency, signal attenuation, perturbation in the resonator.

INTRODUÇÃO

Com o aumento da frequência de operação dos circuitos elétricos, há uma necessidade cada vez maior de uma melhor precisão na caracterização dos materiais dielétricos utilizados como substratos para tais circuitos.

Quando se determina o valor da permissividade de forma errônea, isso pode resultar em diferenças na fase do jitter e no valor da taxa de transmissão de bits incorretos numa transmissão digital, por exemplo. O valor da permissividade também se torna muito importante no projeto de antenas planares, onde parâmetros como impedância, frequência de ressonância e eficiência são fortemente afetados pela permissividade. É de grande importância também no projeto de circuitos em micro-ondas para substratos de baixa permissividade[1].

A técnica geralmente utilizada é baseada na construção de filtros. Sabe-se que para determinar com precisão a frequência de ressonância de um filtro, o seu fator de qualidade Q deve apresentar um valor elevado.

Logo, o anel ressonador, que caracteriza também um filtro, se mostra mais preciso na determinação da sua frequência de ressonância e, conseqüentemente, no resultado obtido para a permissividade quando comparado a outros métodos, como os ressoadores planares.

¹ Aluno de Curso de Engenharia Elétrica, Depto. de Engenharia Elétrica, UFCA, Campina Grande, PB, E-mail: victor_mbmelo@hotmail.com

² Aluno de doutorado em Engenharia Elétrica, Depto. de Engenharia Elétrica, UFCA, Campina Grande, PB, E-mail: adaildojr@yahoo.com.br

³ Engenheiro eletricitista, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Elétrica, UFCA, Campina Grande, PB, E-mail: gfontgalland@yahoo.fr

Entretanto, o espaço (gap) entre as linhas de alimentação e o anel se caracteriza por ser um acoplamento capacitivo, e tal acoplamento pode mudar de forma significativa a frequência na qual ressoa o filtro.

Então, o objetivo do trabalho é apresentar configurações do anel ressoador para as quais o acoplamento entre as linhas de alimentação e o anel não afete a frequência do ressoador e, assim, consigamos medir com maior precisão o valor da permissividade do substrato.

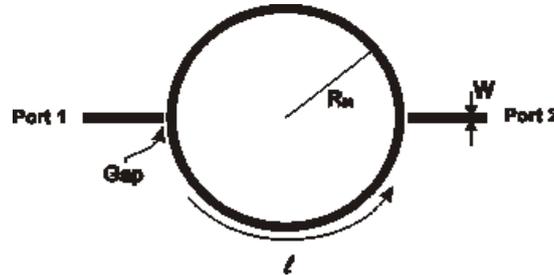


Figura 1. Configuração clássica do anel ressoador com $W = 1,2$ mm, $l = 119,69$ mm, $\text{Gap} = 1$ mm e $R_m = 19,05$ mm.

METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Eletromagnetismo e Micro-ondas Aplicados do Departamento de Engenharia Elétrica no Centro de Engenharia Elétrica e Informática da Universidade Federal de Campina Grande – PB.

Teoria da linha de microfita

Para melhor compreensão de como determinar a permissividade do substrato, é necessário levar em conta as equações desenvolvidas na teoria da linha de microfita

$$R_m = \frac{l}{2\pi} \quad (1)$$

$$l = n\lambda_g \quad (2)$$

$$\epsilon_{r_{eff}} = \left(\frac{c}{f\lambda_g} \right)^2 \quad (3)$$

$$\epsilon_r = \frac{2\epsilon_{r_{eff}} - 1 + \left(\frac{1}{\sqrt{1+12(h/w)}} \right)}{\left(1 + \frac{1}{\sqrt{1+12(h/w)}} \right)} \quad (4)$$

onde λ_g é o comprimento da onda que atravessa a linha, c é a velocidade da luz no vácuo (3×10^8 m/s), $\epsilon_{r_{eff}}$ é a permissividade dielétrica efetiva da linha, w é a largura do condutor que está acima do substrato dielétrico, h é a altura do substrato, l é a circunferência do anel, R_m é o raio médio do anel, f é a frequência de ressonância, n é o modo de ressonância, considerado 1 (um) no nosso trabalho e ϵ_r é a permissividade relativa no substrato.

Estudo da capacitância

Então, levando em conta a configuração vista na figura 2, nós temos um ressoador de meio comprimento de onda. Foram feitas duas configurações, com $L = 70$ mm e $L = 90$ mm. Entretanto, o comprimento do acoplamento é igualmente de um quarto do comprimento de onda. Medições experimentais mostram que para tal configuração de ressoador, o acoplamento capacitivo causa uma variação muito pequena da frequência de ressonância, se mostrando de grande interesse para o nosso objetivo. Logo, a mesma idéia será utilizada para a configuração do anel ressoador.

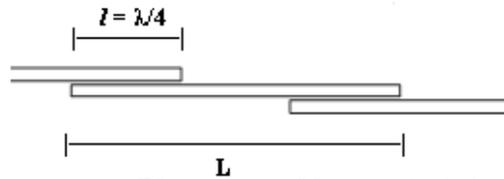


Figura 2. Ressorador planar com $L = 70$ mm e $l = 90$ mm e $l = \lambda/4$.

A configuração vista na figura 2 também se mostra extremamente útil na determinação da permissividade em todas as direções da placa. Usando configurações como a da figura 1 somente é possível obter a permissividade na direção vertical.

Podemos citar também que a configuração possibilita uma maior potência de transmissão do sinal. Já a vista na figura 1 não possui tal característica, apresentando uma grande atenuação.

Procedimento

Logo, levando em conta essas características (determinação da permissividade em todas as direções, baixa perturbação e baixas perdas), foi acrescentado mais um terminal na configuração clássica do anel ressonador.

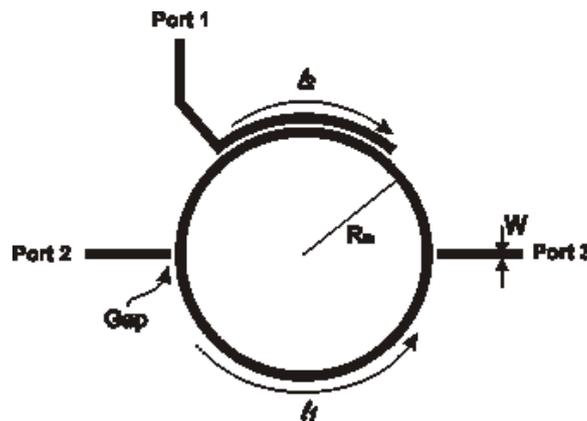


Figura 3. Ressorador com 3 terminais com $W = 1,2$ mm, $l_1 = 119,69$ mm, $\text{Gap} = 1$ mm, $R_m = 19,05$ mm e $l_2 = l_1/4$.

Vemos que o comprimento l_2 é um quarto do comprimento de onda, já que o modo de ressonância n é igual a um.

Outra configuração que satisfaz as condições mencionadas é mostrada na figura 4. O anel permanece com dois terminais, como a configuração clássica, mas com uma maior área de acoplamento.

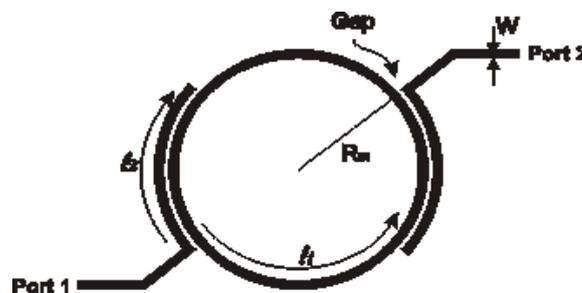


Figura 4. Anel ressonador com 2 terminais modificado com $W = 1,2$ mm, $l_1 = 119,69$ mm, $\text{Gap} = 1$ mm, $R_m = 19,05$ mm e $l_2 = l_1/4$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram utilizados dois tipos de placas. A primeira é feita de fibra de vidro e de fabricação desconhecida. A segunda é fabricada pela Rogers e sua permissividade, fornecida pelo fabricante, é de $\epsilon_r = 3,55$. Para

realizar as medições foi utilizado o analisador de malhas HP-8714C. A altura de substrato é de $h = 0,508\text{mm}$.

Nas figuras 5, 6, 7 e 8, nós vemos a potência de transmissão em função da frequência para as configurações vistas nas figuras 1, 3 e 4 para os dois tipos de placas.

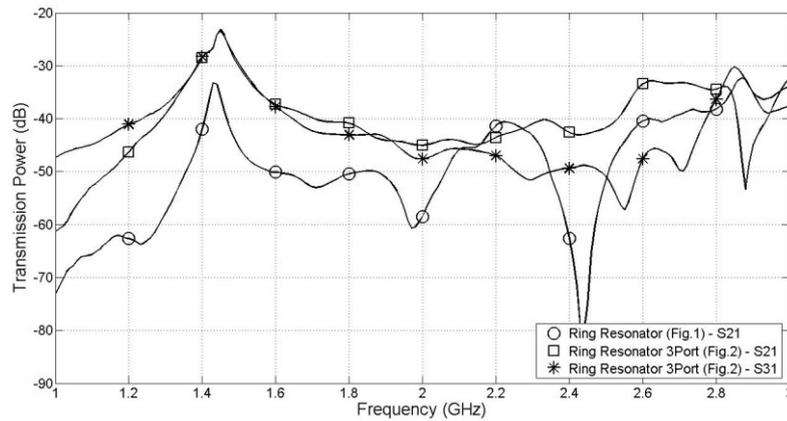


Figura 5. Potência de transmissão para as configurações das figuras 1 e 3 para a placa de fibra de vidro de fabricação desconhecida.

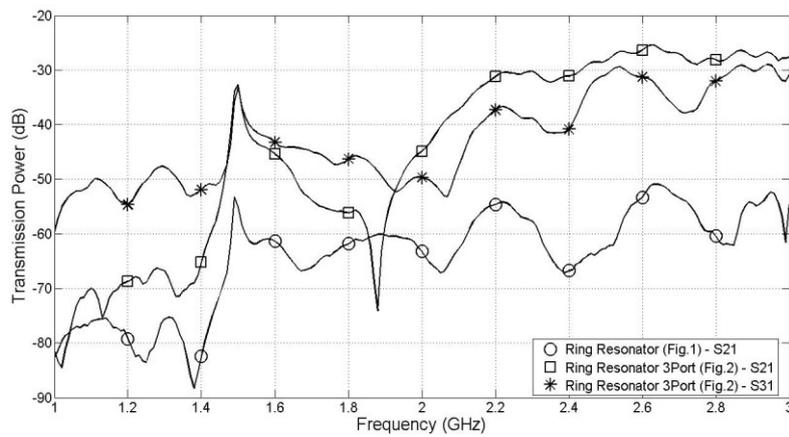


Figura 6. Potência de transmissão para as configurações das figuras 1 e 3 para a placa de fabricação Rogers.

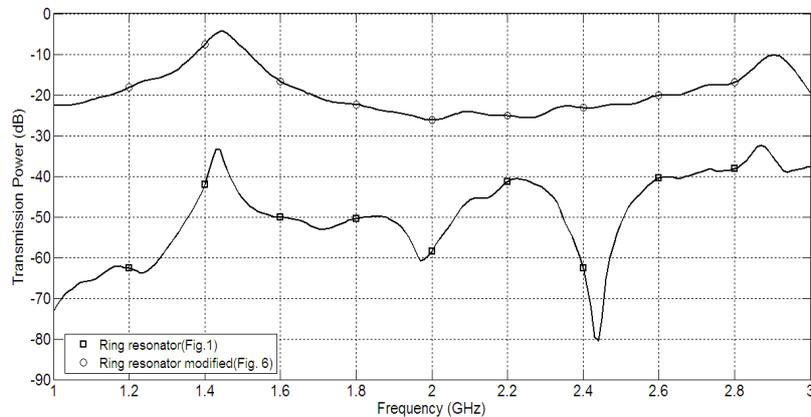


Figura 7. Potência de transmissão para as configurações das figuras 1 e 4 para a placa de fabricação desconhecida.

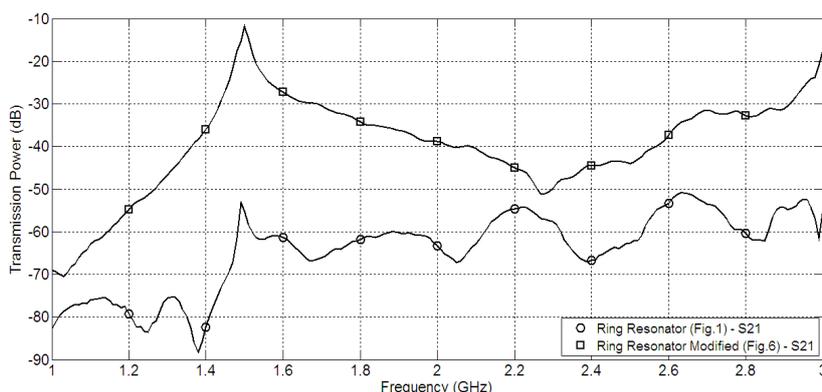


Figura 8. Potência de transmissão para as configurações das figuras 1 e 4 para a placa de fabricação Rogers.

Considera-se que o terminal de entrada é o terminal 1 e os terminais de saída são os terminais 2 e 3, e que S21 é o parâmetro de transmissão que mede sinal no terminal de saída 2 devido a 1 e S31 é o parâmetro de transmissão que mede o sinal no terminal de saída 3 devido a 1. Sabe-se também que, na ressonância, o gráfico da potência de transmissão em função da frequência se caracteriza por um pico na transmissão. Ou seja, quando mais proeminente for o pico de transmissão, melhor se pode determinar a frequência de ressonância e a permissividade.

Logo, utilizando as equações (3) e (4) vistas na teoria da linha de microfita, nós obtemos as tabelas 1, 2, 3 e 4.

Tabela 1. Frequência de ressonância e permissividade para a Figura 5.

	f_{res}	ϵ_r
S₂₁ (Fig.1)	1,43 GHz	4,33
S₂₁ (Fig. 3)	1,45 GHz	4,2
S₃₁ (Fig. 3)	1,45 GHz	4,2

Tabela 2. Frequência de ressonância e permissividade para a Figura 6.

	f_{res}	ϵ_r
S₂₁ (Fig.1)	1,490 GHz	3,6035
S₂₁ (Fig. 3)	1,501 GHz	3,55
S₃₁ (Fig. 3)	1,501 GHz	3,55

Tabela 3. Frequência de ressonância e permissividade para a Figura 7.

	f_{res}	ϵ_r
S₂₁ (Fig.1)	1,43 GHz	4,33
S₂₁ (Fig. 4)	1,45 GHz	4,2

Tabela 4. Frequência de ressonância e permissividade para a Figura 8.

	f_{res}	ϵ_r
S₂₁ (Fig.1)	1,49 GHz	3,6035
S₂₁ (Fig. 4)	1,501 GHz	3,55

O ressoadores foram projetados para ressoar em uma frequência de 1,5 GHz. Como pode ser visto, quando a placa utilizada é a Rogers, de maior qualidade, o valor da frequência para o qual o ressoador foi

projetado é plenamente atingido, bem como o valor da permissividade fornecido pelo fabricante. Ou seja, técnica se mostra mais precisa que a configuração clássica do anel ressoador.

Já para a placa de fabricação desconhecida, de menor qualidade, o valor da frequência de ressonância não foi plenamente atingido devido à qualidade da placa, mas o valor o seu valor é mais preciso, assim como o da permissividade, quando comparado à configuração clássica.

O valor da permissividade encontrado com as novas configurações é o valor equivalente em todas as direções da placa. Já para a configuração da figura 1, somente a permissividade na direção vertical é obtida.

Notamos também, analisando as figuras de 5 a 8, que as novas configurações possibilitam uma menor atenuação do sinal transmitido, além de um pico de ressonância mais proeminente.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa experimental, onde se analisou o efeito do acoplamento capacitivo entre as linhas de transmissão e anel ressoador, levando em conta a atenuação do sinal e a perturbação do anel, concluímos que:

- As novas configurações propostas para o anel ressoador se mostraram mais precisas quando comparadas à configuração clássica do anel ressoador.
- Quando o comprimento do acoplamento entre as linhas de alimentação e o anel é de um quarto do comprimento do ressoador (comprimento de onda), a perturbação no anel devido ao acoplamento capacitivo diminui consideravelmente, possibilitando uma melhor determinação da permissividade.
- A atenuação do sinal transmitido é expressivamente menor para as configurações quando comparadas à configuração clássica do anel ressoador, além de se obter um pico de transmissão mais proeminente, possibilitando a medição mais precisa da frequência de ressonância e da permissividade.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Thompson, M. Falah, X. Fang and D. Linton. **Dielectric Characterization Using the Microstrip Resonator Method**.
- [2] J. I. Takemoto, C. M. Jackson, R. Hu, J. F. Burch, K. P. Daly, And R. W. Simon. **Microstrip Resonators And Filters Using High-Tc Superconducting Thin Films On LaAlO₃**. IEEE Transactions on Magnetism, Vol. 27, No. 2, March 1991.
- [3] I. Waldron, S. N. Makarov. **Measurement of dielectric permittivity and loss tangent for bulk foam samples with suspended ring resonator method**. Antennas and Propagation Society International Symposium 2006, IEEE 9-14 July 2006 Page(s):3175 – 3178
- [4] J. Carroll, M. Li, and K. Chang. **New Technique To Measure Transmission Line Attenuation**. IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques, Vol. 33, No. 1, January 1995
- [5] S. A. IvanoV, and V. N. Peshlov. **Ring-Resonator Method—Effective Procedure for Investigation of Microstrip Line**. IEEE Microwave And Wireless Components Letters, Vol. 13, No. 6, June 2003
- [6] K. Chang. **Microwave Ring Circuits and Antennas**. Willey, 1996
- [7] W.J.R. Hofer. **Measurement of the Equivalent Circuit Parameters of Discontinuities in a Resonant Microstrip Ring**. Microwave Symposium Digest, MTT-S International Volume 75, Issue 1, May 1975 Page(s):103 – 105
- [8] K. Chang. **Microwave Ring Circuits and Antennas**. Willey, 1996
- [9] R. E. Collin. **Foundations For Microwave Engineering**. IEEE Press, 2000
- [10] D. M. Pozar. **Microwave Engineering**. Addison Wesley, 1993
- [11] C. Y. Chang and T. Itoh. **Microwave Active Filters Based on Coupled Negative Resistance Method**. IEEE MTT, Vol. 38, December 1990
- [12] P. Troughton, P. J. B. Clarricoats, and C. D. Hannaford. **Measurement Techniques in Microstrip**. Electronic Letters, Vol. 5, January 1969
- [13] K. Chang, S. Martin, F. Wang, and J. L. Klein. **On the Study of Microstrip Ring and Varactor-Tuned Ring Circuits**. IEEE MTT, Vol. 35, December 1987
- [14] T. S. Martin, F. Wang, and K. Chang. **Theoretical and Experimental Investigation of Novel Varactor-Tuned Switchable Microstrip Ring Resonator Circuits**. IEEE MTT, Vol. 36, December 1988.