



Novas configurações de FSSs utilizando a geometria do fractal octogonal

José Bosco Cruz Júnior², Paulo Henrique da Fonseca Silva^{1,2}

¹ Departamento de Engenharia de Comunicação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte -- UFRN, Caixa Postal 1655, CEP 59078-970, Natal, RN, Brasil.

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba -- IFPB, CEP 58015-430, João Pessoa, PB, Brasil.

Resumo: Este artigo apresenta um estudo de superfícies seletivas de frequências (FSSs) com aplicações de elementos do tipo patch baseados na geometria fractal octogonal. Foram analisadas as características de espalhamento das FSSs fractais para os níveis 0, 1 e 2. As estruturas projetadas apresentam características de filtros rejeita-faixa, atuando parcialmente nas bandas X e Ku independente da polarização, devido à simetria do fractal utilizado. Foram realizadas simulações através do software Ansoft DesignerTM e os protótipos das FSSs propostas foram construídos e medidos, validando a metodologia utilizada.

Palavras-chave: superfície seletiva de frequência, fractais, patch condutores, métodos dos momentos.

1. INTRODUÇÃO

Uma superfície periódica é basicamente um conjunto de elementos idênticos dispostos bidimensionalmente formando um arranjo infinito. Um arranjo periódico formado por *patches* condutores ou elementos de abertura é conhecido como uma Superfície Seletiva de Frequência (Frequency Selective Surface - FSS). As FSS's possuem a característica de variar a irradiação da energia incidente na direção de reflexão em relação à frequência do sinal, onde na frequência de ressonância da estrutura, esta se comporta como um condutor perfeito, refletindo toda a energia aplicada sobre a superfície seletiva (CHEN, 1971)-(HARMAS, 1994).

Os primeiros relatos sobre o uso de FSSs estão relacionados ao físico norte-americano David Rittenhouse que no ano de 1786, utilizou arranjos igualmente espaçados como filtros, com a intenção de decompor um feixe de luz branca em diferentes comprimentos de onda (MITTRA, 1988). Estes arranjos são aplicados atualmente em uma variedade de dispositivos, tais como: radomes usados em aeronaves militares *stealth* para reduzir do *spread* (POUS, 1992), células de coleta de energia solar (MCPHEDRAN, 1977), anteparos de fornos de micro-ondas e sub-refletores de antenas (LEE, 1992).

As FSSs usadas em sistemas de comunicações modernos possuem a finalidade de transmitir ou refletir ondas eletromagnéticas incidentes com discriminação em frequência. Os parâmetros utilizados para analisar o comportamento destas estruturas seletivas estão associados ao tipo e a espessura do substrato dielétrico; à geometria do elemento; ao espaçamento entre as células que compõem a matriz (periodicidade); ao ângulo de incidência da onda no dispositivo, combinação de estruturas seletivas em cascata, etc. (WU, 1995).

Há um número considerável de métodos utilizados na análise do comportamento eletromagnético para descrever os atributos de transmissão e rejeição de uma FSS, dentre eles estão o Método dos Momentos (MoM) (HARMAS, 1994), o Método das Diferenças Finitas no Domínio do Tempo (FDTD) (HARMAS, 1994), a Expansão Modal (MITTRA, 1984)-(LEE, 1971)-(HUANG, 1994), e a Técnica de Circuito Equivalente (CAMPOS).

Com o advento das comunicações sem fio, houve um crescente aumento na pesquisa voltada ao desenvolvimento de dispositivos de micro-ondas compactos, leves e com um baixo custo de fabricação, como: antenas, filtros e superfícies seletivas de frequência. O uso da geometria fractal na fabricação destes dispositivos tem proporcionado à fabricação de estruturas com estas características e com desempenho superior em relação às estruturas euclidianas.

O uso de FSS com aplicações de elementos fractais tem sido investigado por vários

pesquisadores devido ao comportamento multibanda e à dupla polarização apresentados em alguns estudos. Exemplos de geometrias não euclidianas exploradas no desenvolvimento de estruturas planares, são: Pentágono Dürer (TRINDADE, 2011), Koch Island (CRUZ, 2009), Tapete de Sierpinski (GIANVITTORIO, 2003), entre outros.

. Nos trabalhos (CRUZ, 2009)-(CAMPOS) pode ser observado o fenômeno de redução na largura de banda com o aumento da interação do fractal, tornando os protótipos mais seletivos e a ocorrências da rejeição em dupla banda e em ambas as polarizações é examinado em (GIANVITTORIO, 2003)-(GIANVITTORIO, NOVEMBER 2003).

Neste trabalho o uso inédito do fractal octogonal será estudado na construção de superfícies seletivas de frequências, apresentando resultados satisfatórios com dubla banda e dubla polarização. Na seção II a construção das FSSs fractais octogonais é apresentada onde posteriormente na seção III serão apresentados os resultados simulados e medidos obtidos neste estudo. Na Seção IV expomos as conclusões deste trabalho científico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As superfícies seletivas de frequência apresentadas neste estudo foram projetadas a partir de uma matriz de células, com periodicidade $P = 20$ mm. O fractal octogonal de nível $k = 0$ serviu de referência para a geração dos fractais de níveis posteriores. Os octógonos localizados no centro das células possuem um comprimento da aresta $L = 7$ mm (inicialmente), onde esta medida decai com a complexidade do elemento, pois é inversamente proporcional ao crescimento do nível K do fractal. Assim, para a geração dos fractais, $L_k = L \cdot (k - 1)/2,8$.

Para fabricação dos protótipos foram utilizadas placas constituídas do substrato dielétrico de fibra de vidro (FR- 4), com constante dielétrica igual a 4,4 e espessura de 1,5 mm. Os protótipos de FSSs foram elaborados até o nível $k = 2$, pois a construção de estruturas de maior complexidade se tornaria impraticável neste trabalho, devido à técnica de serigrafia utilizada. A geometria do fractal octogonal para os níveis 0, 1 e 2 é apresentada na figura abaixo.

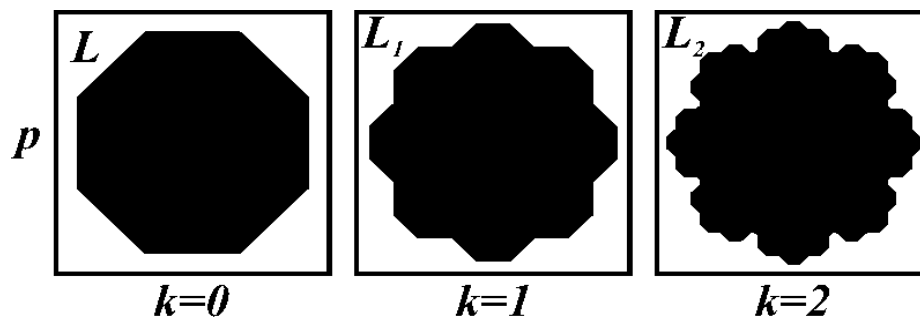


Figura 1. Elementos de *patch* fractal octogonal.

A metodologia utilizada para desenvolvimento dos FSSs com base na geometria do fractal octogonal por ser resumida nas seguintes fases: concepção, análise teórica, fabricação dos protótipos, medição e análise dos dados. O programa computacional Ansoft Designer TM foi utilizado como ferramenta para simular o comportamento eletromagnético com base no Método dos Momentos, em seguida os layouts das estruturas periódicas foram elaborados com o aplicativo Corel Draw Graphics Suit. Para a fabricação dos protótipos foram usadas placas constituídas pelo substrato de fibra de vidro (FR-4), que possui uma constante dielétrica igual a 4,4, espessura de 1,5 mm e encoberta com uma fina camada de cobre em ambas as faces. Em seguida adesivos contendo a forma das FSS's octogonais foram aplicados nas placas e colocadas para corroer em uma solução de percloroeto de ferro, posteriormente foi utilizado o uma analisador de redes vetoriais, modelo N5230A Agilent Technologies para a medição dos parâmetros de dispersão. Após a obtenção dos dados, os resultados

simulados e experimentais foram comparados com o auxílio do MATLAB® (Matrix Laboratory) para a validação dos métodos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de simulação e medição foram obtidos em relação ao coeficiente de transmissão (parâmetro de espalhamento S_{21}). O critério usado para o estabelecimento da largura de banda das FSS's octogonais, foi a subtração da frequência superior a ressonância com valor de -10dB menos a frequência inferior a ressonância com valor de -10dB.

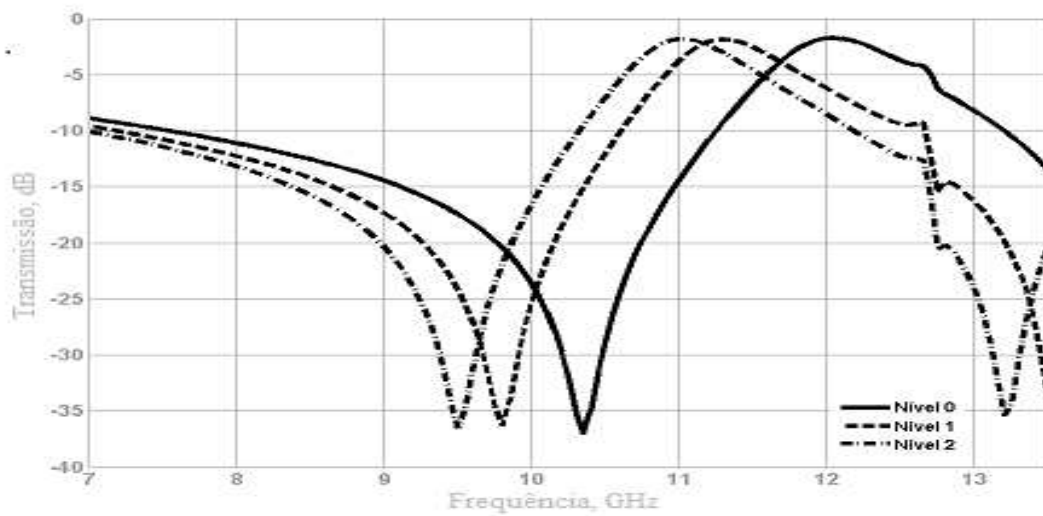


Figura 2. Comparativo entre os resultados simulados para o coeficiente de transmissão das FSSs fractais com diferentes níveis.

Comparando os dados expostos na Fig. 2, podemos observar os fenômenos de deslocamento da frequência de ressonância e redução de largura de banda, decorrentes do aumento da iteração fractal.

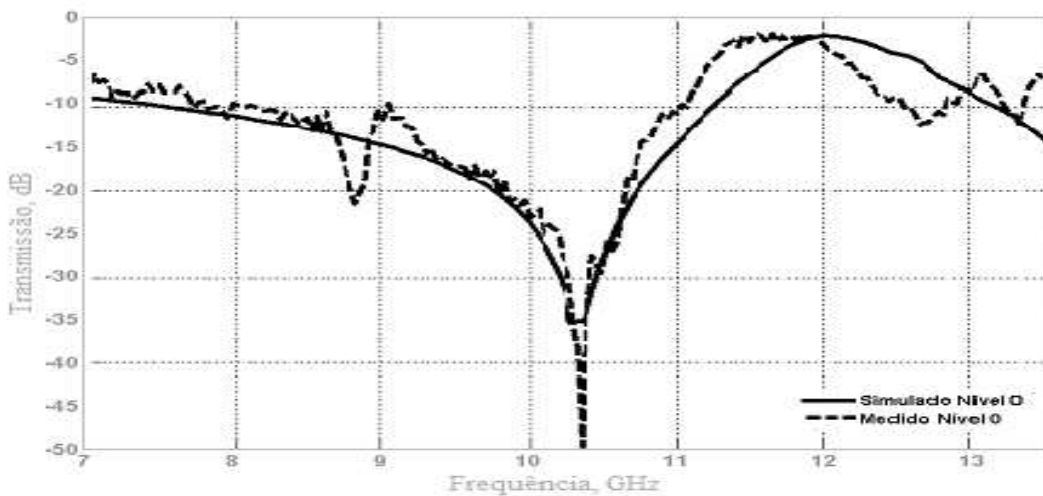


Figura 3. Comparativo entre os resultados simulado e medido para o coeficiente de transmissão da FSS fractal octogonal de nível $k = 0$.

A Fig. 3 mostra a comparação dos resultados medido e simulado referentes à FSS octogonal de nível $k = 0$. Podemos observar no resultado simulado uma primeira frequência de ressonância em 10,30 GHz, com uma largura de banda de 3,75 GHz, enquanto que no resultado medido, a frequência de ressonância é de 10,38 GHz com uma largura de banda aproximada de 3,4 GHz. A comparação dos resultados para a segunda frequência de ressonância não pode ser efetuada com precisão, por uma limitação na frequência máxima analisada pelo equipamento de medição.

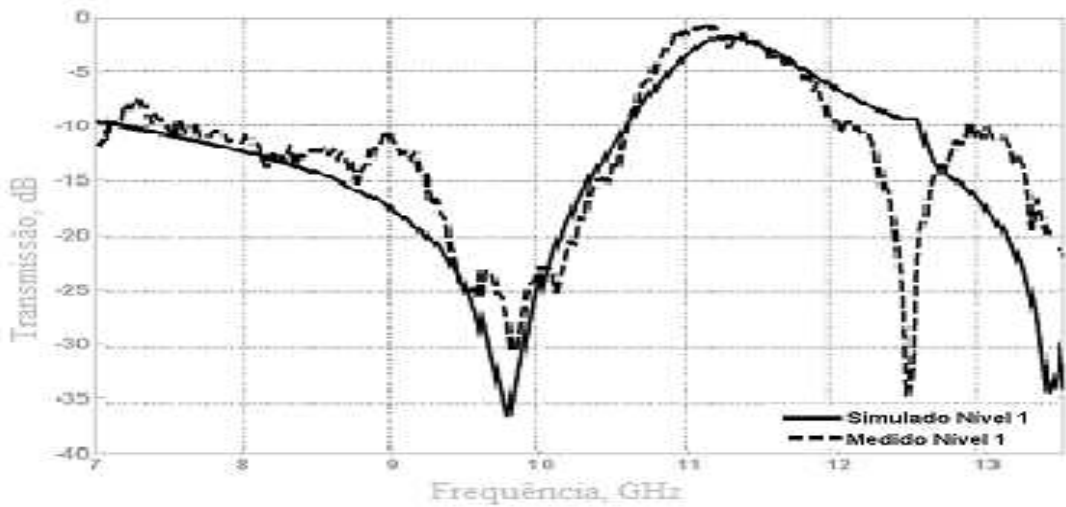


Figura 4. Comparativo entre os resultados simulado e medido para o coeficiente de transmissão da FSS fractal octogonal de nível $k = 1$.

Na Fig. 4 observa-se a comparação dos resultados medido e simulado referentes à FSS octogonal de nível $k = 1$. Verifica-se no resultado simulado que a primeira frequência de ressonância esta localizada em 9,80 GHz, possuindo uma largura de banda de 3,43 GHz. Para o resultado medido, a primeira frequência de ressonância esta em 9,83 GHz, com uma largura de banda aproximada de 3,22 GHz.

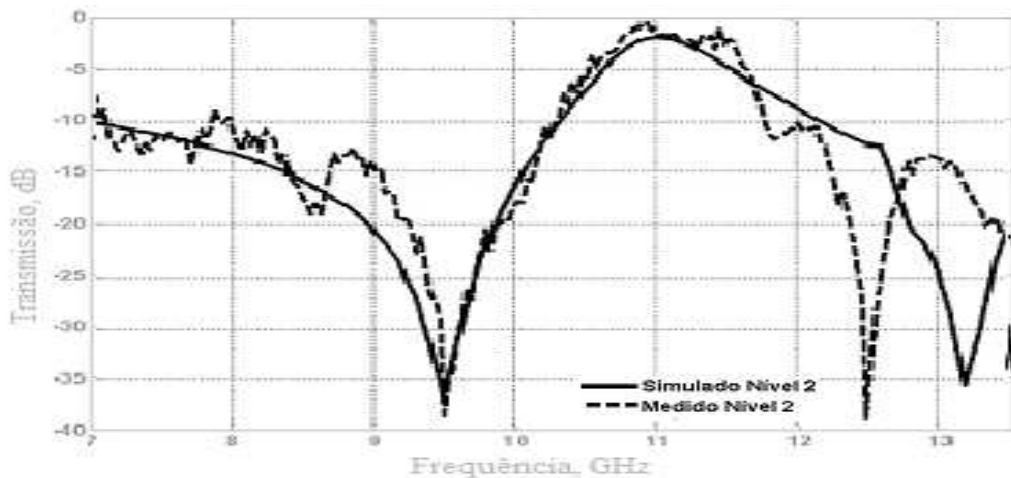


Figura 5. Comparativo entre os resultados simulado e medido para o coeficiente de transmissão da FSS fractal octogonal de nível $k = 2$.



A Fig. 5 mostra a comparação dos resultados medido e simulado para a FSS octogonal de nível $k = 2$. Podemos observar no resultado simulado uma primeira frequência de ressonância em 9,50 GHz e uma largura de banda 3,32 GHz, enquanto que no resultado medido, a frequência de ressonância é verificada em 9,56 GHz com uma largura de banda aproximada de 3,17 GHz.

O comparativo entre os dados obtidos para as FSSs fractais octogonais possuem uma excelente coerência para a primeira frequência de ressonância em ambos os níveis das estruturas fabricadas. Já os resultados obtidos para a segunda frequência de ressonância para os níveis $k = 1$ e $k = 2$, que estão situadas na região de frequências superiores a 12 GHz, apresentam uma discrepância entre os dados simulados e medidos. Este fenômeno provavelmente está associado às propriedades do substrato dielétrico (FR-4) de baixo custo utilizado.

Todos os valores de frequência de ressonância e largura de banda das estruturas analisadas estão apresentados na Tabela I.

Tabela 1 - Comparativo entre os parâmetros analisados, frequência de ressonância (f_r) e largura de banda (BW), para os diferentes níveis do fractal octogonal.

Fractal Octogonal								
Nível	Simulado (GHz)				Medido (GHz)			
	f_{r1}	BW_1	f_{r2}	BW_2	f_{r1}	BW_1	f_{r2}	BW_2
0	10,30	3,75	14,00	1,1	10,38	3,4	-	-
1	9,80	3,43	13,50	1,51	9,83	3,22	12,53	0,89
2	9,50	3,32	13,50	1,77	9,56	3,17	12,50	1,17

4. CONCLUSÕES

Através da análise comparativa dos resultados teóricos e experimentais obtidos, verificou-se uma boa concordância e com isto validou-se a metodologia utilizada para a primeira frequência de ressonância. No desenvolvimento das FSSs com elementos do tipo *patch* fractal octogonal, observou-se que estes filtros espaciais apresentaram respostas em duas bandas de frequência; rejeitaram sinais em ambas as polarizações; e obtiveram resultados na redução das frequências centrais das duas bandas de rejeição, provocada pelo aumento do nível do fractal octogonal. Como sugestão para um aprimoramento futuro do trabalho apresentado, poderá ser aplicada a variação nos parâmetros dos dispositivos, tais como, no tamanho da célula e na composição do material dielétrico. A partir do conjunto de dados obtidos através desta análise paramétrica, pode-se treinar uma rede neural artificial para a modelagem do comportamento eletromagnético destes filtros espaciais de micro-ondas em função dos parâmetros geométricos de seus elementos fractais, bem como, dos materiais de seus substratos dielétricos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Grupo de Telecomunicações e Eletromagnetismo Aplicado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (GTEMA). Este trabalho foi financiado pelo CNPq sob os convênios 573939/2008-0 (INCT-CSF) e 146816/2010-2 (IFPB).

REFERÊNCIAS



- CAMPOS, A. L. P.; SILVA, P. H. F. **Desing of Frequency Selective Surface Using Fractals Geometries.** Cap. 4.
- CHEN, C. C. **Transmission of microware trough peforated fat pates of finite thickness.** IEEE Microwave Theory Tech, v.21, no.1, p.1-6, 1971.
- CRUZ, R. M. S.; SILVA, P. H. F.; D'ASSUNÇÃO A. G. **Neuromodeling Stopband Properties of Kock Island Patch Elements for FSS Filter Design.** Microwave and Optical Technology Letters. v. 51, no. 12, p. 3014-3019, December 2009.
- GIANVITTORIO, J. P. **Fractals, MEMS, and FSS Electromagnetic Devices: Miniaturization and Multiple Resonances.** Dissertation the Doctor of Philosophy in Electrical Engineering, p.122-135, 2003.
- GIANVITTORIO. P. J.; ROMEU, J.; RAHMAT-SAMII, Y. **Self-Similar Prefractal Frequency Selective Surfaces for Multiband and Dual-Polarized Applications.** IEEE Transactions on Antennas and Propagation, v.51, no. 11, p. 3088-3096, November 2003.
- HARMAS, P.; MITTRA, R.; KO, W. **Implementation of the periodic boundary condition in the finite-difference time-domain algorithm for FSS structures.** IEEE Transactions on Antennas and Propagation, v.42, no.9, p.1317-1324, 1994.
- HUANG, J.; WU, T. K.; LEE, S. W. **Triband FSS circular ring elements.** IEEE Transactions on Antennas and Propagation, AP-42 , p.166-175, 1994.
- LEE, C. K.; LANGLEY, R. J. PARKER, E. A. **Compound reflector antennas.** IEEE Proc Part H: Microwares, Antennas Propag, v.22, no.17, p.135-138, 1992.
- LEE, S. W. **Scattering by dielectric-loaded screen.** IEEE Transactions on Antennas and Propagation, AP-19(5), p.656, 1971.
- MCPHEDRAN, R. C.; MAYSTRE, D. **On the theory and solar application pf inductive grids.** Appl. Phys, v.14, p.1-20, 1977.
- MITTRA, R.; CHAN, C. H.; CWIJK, T. **Techniques for analyzing frequency selective surfaces – a review.** IEEE Proc, v.76, no.12, p.1593-1615, 1988.
- MITTRA, R.; HALL, R. C.; TSAO, C. **Spectral-domain analysis of circular patch frequency selective surfaces.** IEEE Transactions on Antennas and Propagation, v. 32, no. 5, p.533–535, 1984.
- POUS, R; POZAR, D. M.; **FSS using aperture coupled microstrip patches.** Eletronics Letters, v.25, no.17, p.1136-1138, 1992.
- TRINDADE, J. I. A.; SILVA. P. H. F. CAMPOS, A. L. P. S.; D'ASSUNÇÃO, A. G. **Analysis of Stop-Band Frequency Selective Surfaces With Durer's Pentagon Pre-Fractals Patch Elements.** IEEE Transactions on Magnetics, v.47, no. 5, p. 1518-1521, 2011.
- WU, T. K. **Frequency selective surface and grid array.** Jonh wiley & Sons, New York, E.U.A, 1995.