

Desenvolvimento de um Filtro Passa-Faixa de Microondas Planar com Metassuperfícies

Palavras-Chave: Metassuperfícies, Microondas Planar, Filtro Passa-Faixa

Autores:

Matheus Aver Schweitzer de Oliveira, FT, UNICAMP

Prof. Dr. Marcos Sergio Gonçalves (orientador), FT, UNICAMP

INTRODUÇÃO:

O uso de dispositivos operando na faixa de frequência de microondas tornou-se crucial para as telecomunicações sem fio, impulsionando a pesquisa sobre metamateriais. Esses materiais são sintéticos, com propriedades únicas pouco encontradas na natureza [1]. Metassuperfícies, uma forma bidimensional de metamateriais, têm ganhado destaque devido à facilidade de fabricação, menor índice de perdas e capacidade de operar em frequências ópticas [1,2].

Metassuperfícies podem controlar a propagação de ondas através da manipulação de suas células unitárias. Assim, diferentes índices de refração de superfície efetivos podem ser alcançados, e a superfície pode ser padronizada para fornecer várias funções [3]. Entre os diversos dispositivos desenvolvidos com o uso das metassuperfícies encontram-se antenas holográficas [4], guias de ondas, lentes [3], etc. Filtros passa-faixa de microondas, que permitem a transmissão de frequências específicas enquanto atenuam outras, também se beneficiam das metassuperfícies.

Os filtros passa-faixa têm aplicações em praticamente qualquer tipo de comunicações por microondas, radar e sistemas de teste e medição [5]. A pesquisa contínua nesse campo é fundamental para a evolução da tecnologia de comunicação sem fio, promovendo o desenvolvimento de dispositivos mais eficientes e robustos.

No presente resumo, serão apresentadas as atividades realizadas no durante o período da Iniciação Científica. Nesse documento, serão descritos, de forma resumida, todos os passos do desenvolvimento do projeto, desde a construção da célula unitária até a análise dos resultados obtidos a partir do filtro passa-faixa.

METODOLOGIA:

Inicialmente, uma revisão bibliográfica foi realizada para entender conceitos como ondas superficiais, impedância superficial, e modos de propagação TM e TE, além de estudar o programa HFSS para simulações eletromagnéticas.

Deu-se início ao projeto com a montagem de uma célula unitária no HFSS,

conforme demonstrado em [6], para a frequência de 17 GHz. Para isso, foram seguidas as medidas das dimensões da célula do artigo base, com o substrato possuindo um valor de permissividade relativa de 2,2, o material do *patch* sendo o cobre e a separação entre o final do *patch* e o substrato nos eixos *x* e *y* sendo representado pela variável *gap*. A representação dessa célula é ilustrada na Figura 1.

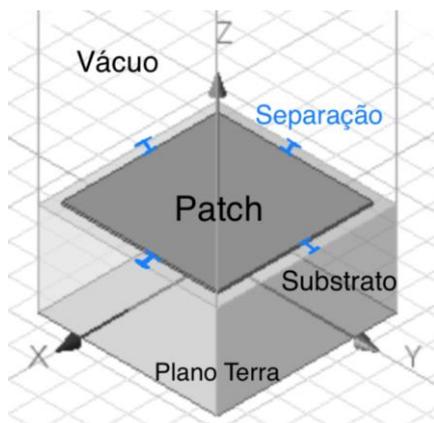


Figura 1 - Elementos da célula unitária.

Com o uso de análises de autovalores e autovetores, foram determinadas as impedâncias das células unitárias para diferentes dimensões de *patches*. Após obter resultados semelhantes aos publicados em [6], a célula unitária foi modificada para operar em 2,3 GHz, uma frequência compatível com o 5G no Brasil.

A célula unitária desenvolvida foi empregada na construção de um guia de ondas, utilizando-a periodicamente para guiar as ondas eletromagnéticas. Ainda, na entrada e na saída do guia de onda desenvolvido, foram utilizadas portas de 50 Ω para a conexão com circuitos externos. O descasamento de impedâncias entre o guia de ondas e as portas foi suficiente para provocar reflexões na onda

eletromagnética, obtendo uma cavidade ressonante superficial.

Finalmente, simulações adicionais exploraram a operação do filtro passa-faixa em outra frequência, como 10 GHz, para avaliar a eficiência desse filtro em diferentes aplicações de telecomunicações e radar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Primeiramente, a célula unitária foi construída no HFSS para a frequência de 17GHz. A Figura 2 ilustra a respectiva célula unitária.

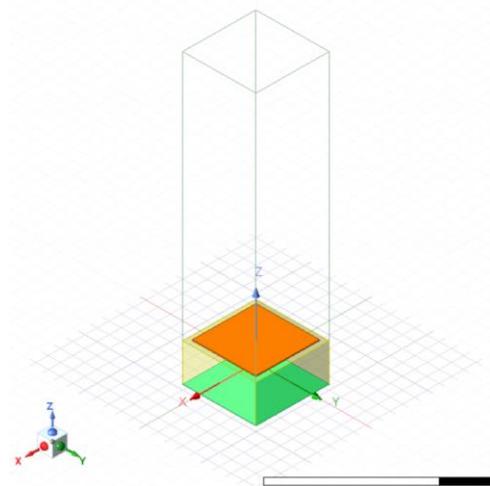


Figura 2 - Célula unitária para a frequência de 17GHz.

Fazendo uso das análises de autovalores do HFSS, realizou-se uma parametrização do ângulo de incidência da onda na célula. Os ângulos obtidos durante a simulação foram então substituídos em fórmulas físicas, resultando nos valores correspondentes de impedâncias superficiais para cada configuração de *patch*. Para verificar a características da célula unitária produzida em relação à célula unitária referência [6], os valores de impedância obtidos comparados aos valores de impedância apresentados em [6] para diferentes valores de *gap* foram registrados na Tabela I.

gap (mm)	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
impedância obtida (jΩ)	201,6	179,3	164,5	160,2	152,2	148,4	143,8	141,2	138,5
impedância esperada (jΩ)	234	219	205	196	186	177	171	165	161

Tabela 1 - impedância obtida e impedância esperada x gap.

A Figura 3 ilustra a célula unitária adaptada para a operação em 2,3 GHz.

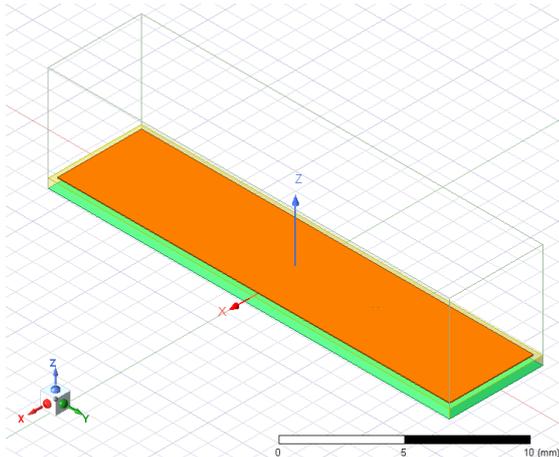


Figura 3 - Célula unitária para a frequência de 2,3GHz.

Em seguida, realizou-se a construção do guia de ondas a partir da célula unitária de 2,3GHz, conforme ilustrado na Figura 4. Para viabilizar a propagação das ondas, foram adicionadas portas de excitação do tipo "lumped port" nas extremidades do guia.

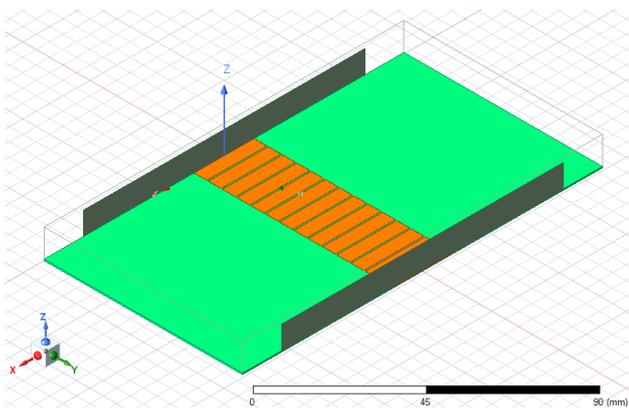


Figura 4 - Guia de ondas composto por metassuperfícies.

Ao ajustar o valor da impedância das portas para 50 ohms, desenvolveu-se o filtro passa-faixa. As simulações dos campos elétricos, Figura 5, demonstraram ao propagar a onda que a ressonância produzida, devido à diferença no valor de impedância entre as

portas e os *patches*, não estava sendo acoplada por completo. Assim, acarretando em distorções nos resultados obtidos a partir das simulações do filtro passa-faixa por completo.

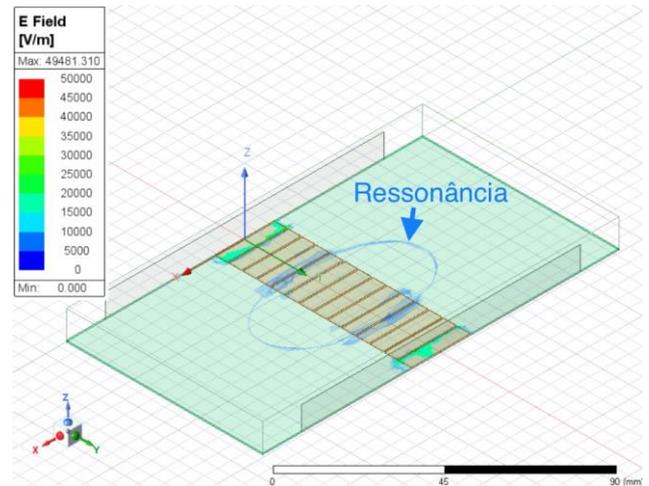


Figura 5 - Simulação dos campos elétricos no filtro passa-faixa.

Para contornar esse problema e possibilitar que toda a onda eletromagnética se propague pelos *patches*, foram criadas outras quatro linhas de propagação, duas de cada lado da linha original e separadas pelo valor do *gap* da célula unitária, conforme ilustrado na Figura 6. O resultado obtido através do filtro é representado na Figura 7. Ainda, a Figura 8 ilustra em detalhes a faixa de frequência de 2,3 GHz.

Nesses gráficos são representadas as características da onda na frequência de 2,3GHz, em que a perda de inserção $S_{21} \approx 0$ e a perda de retorno $S_{11} \approx -27,28\text{dB}$. Ainda, é possível visualizar uma aproximação dos resultados de forma a obter a largura de banda $2,3062\text{GHz} - 2,2952\text{GHz} = 11\text{ MHz}$, que serve para calcular o fator de qualidade do filtro.

Com os resultados extraídos da simulação, foi possível aplicar a fórmula de fator de qualidade do filtro $Q = 2,3\text{GHz}/11\text{ MHz} \approx 209,1$. Esse valor de Q obtido representa uma

seletividade alta, havendo uma baixa perda de energia e uma banda passante estreita.

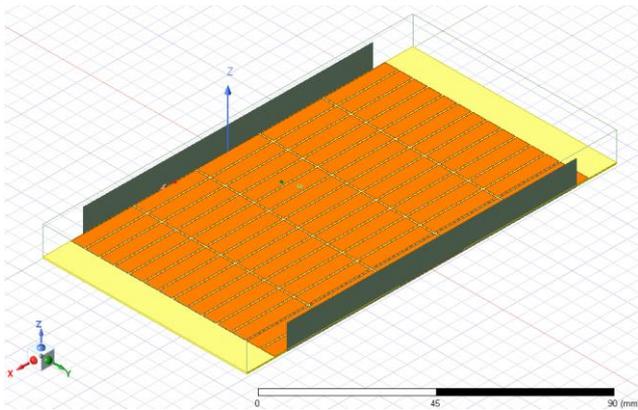


Figura 6 - Filtro passa-faixa com 5 linhas de metassuperfícies.

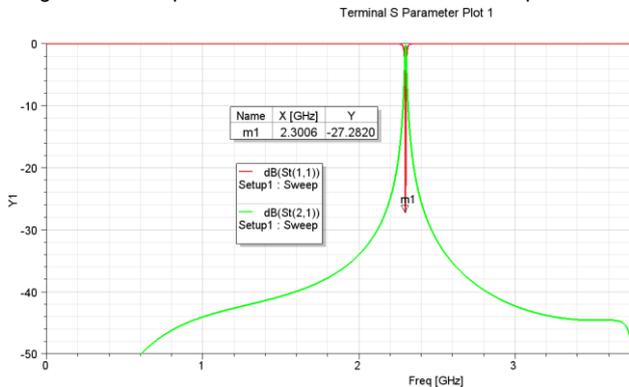


Figura 7 - Resultado filtro passa-faixa.

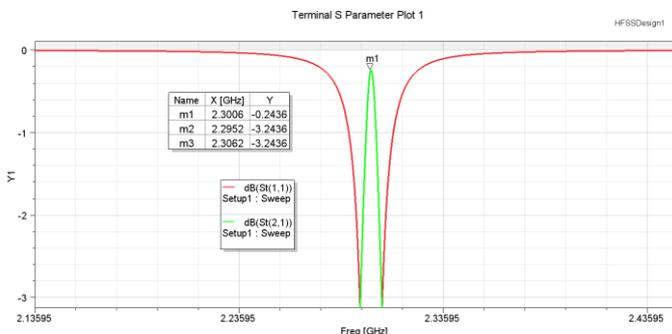


Figura 8 - Zoom no resultado do filtro passa-faixa.

Em seguida, foi possível realizar a montagem do filtro com as dimensões adaptadas para a frequência de 10GHz, conforme ilustrado na Figura 9. Os resultados da simulação do filtro para 10GHz são ilustrados, Figura 10.

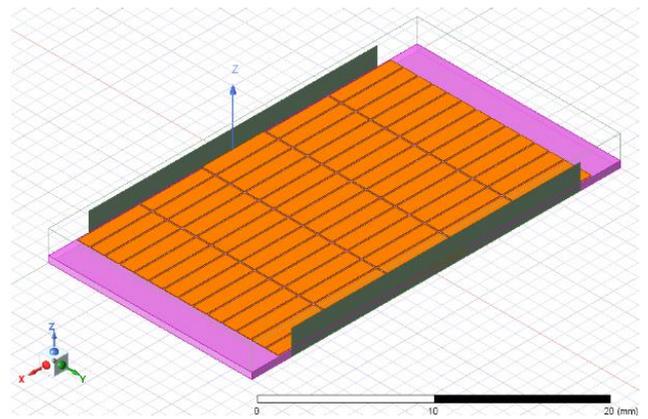


Figura 9 - Filtro passa-faixa na frequência de 10GHz.

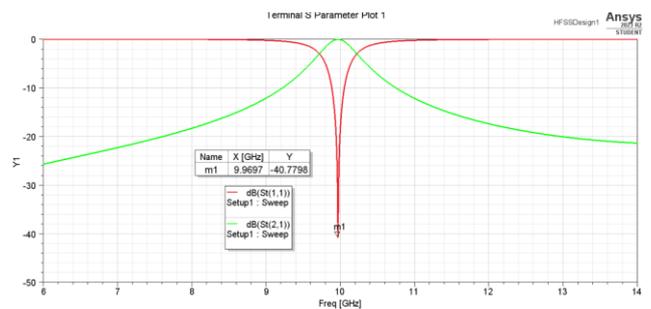


Figura 10 - Resultado filtro passa-faixa na frequência de 10GHz.

Nesse caso, observou-se uma melhor perda de retorno do filtro passa-faixa em 10 GHz ($S_{11} \approx -40,78\text{dB}$) em comparação com o filtro passa-faixa em 2,3GHz ($S_{11} \approx -27,28\text{dB}$). Também, para uma comparação mais precisa entre os filtros nas duas diferentes frequências, foi calculado o fator de qualidade do filtro passa-faixa de 10 GHz a partir dos dados obtidos na Figura 11. Em que, largura de banda foi de $10,225\text{GHz}-9,718\text{GHz} \approx 507\text{MHz}$.

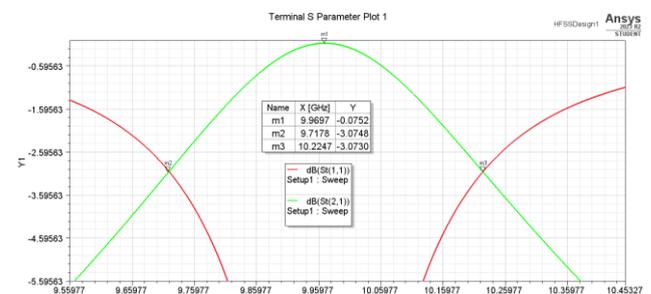


Figura 11 - Zoom no resultado do filtro na frequência de 10GHz.

Em 10 GHz, foi encontrado o valor de fator de qualidade $Q \approx 9,97\text{GHz}/507\text{MHz} \approx 19,66$. Neste caso, a seletividade torna-se menor que o filtro operando em 2,3 GHz devido

às perdas introduzidas pelos condutores, havendo uma maior perda de energia e uma banda passante mais larga.

CONCLUSÕES:

Durante o primeiro semestre, foram adquiridos os conhecimentos teóricos e práticos necessários para o projeto. A célula unitária, inicialmente projetada para 17GHz, foi adaptada para operar a 2,3GHz, permitindo a construção do guia de ondas com essa célula.

Simulações do guia de ondas mostraram a necessidade de ajustes para adequar a propagação da onda eletromagnética na cavidade. Após essas modificações, o filtro passa-faixa foi concluído e as análises dos resultados foram realizadas.

O filtro também foi adaptado para 10GHz, multiplicando suas dimensões o que permitiu a exploração do filtro em uma faixa de frequência diferente. Comparando os resultados, o filtro de 10GHz apresentou maior perda de retorno, enquanto o filtro de 2,3GHz teve maior seletividade. Ainda, foi reforçado que escolha do filtro adequado depende das especificações e exigências de cada projeto específico.

BIBLIOGRAFIA

[1] C. L. Holloway, E. F. Kuester, J. A. Gordon, J. O'Hara, J. Booth and D. R. Smith, "An Overview of the Theory and Applications of Metasurfaces: The Two-Dimensional Equivalents of Metamaterials," in *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 54, no. 2, pp. 10-35, April 2012, doi: 10.1109/MAP.2012.6230714.

[2] BUKHARI, Syed S.; VARDAXOGLU, J(Yiannis); WHITTOW, William. A Metasurfaces Review: Definitions and Applications. *Applied sciences*, [s. l.], 5 jul. 2019. DOI 10.3390/app9132727.

[3] LI, Aobo; SINGH, Shreya; SIEVENPIPER, Dan. Metasurfaces and their applications. De Gruyter, [s. l.], 5 jun. 2018. DOI 10.1515/nanoph-2017-0120.

[4] HUANG, Lingling; ZHANG, Shuang; ZENTGRAF, Thomas. Metasurface holography: from fundamentals to applications. De Gruyter, [s. l.], 15 mar. 2018. DOI 10.1515/nanoph-2017-0118.

[5] POZAR, David M. *Microwave Engineering*. second edition. ed. [S. l.]: Wiley, Somerset, New Jersey, U.S.A., 1997. 736 p. v. 1. ISBN 0471170968, 9780471170969.

[6] FONG, Bryan H.; COLBURN, Joseph S.; OTTUSCH, John J.; VISHER, John L.; SIEVENPIPER, Daniel F. Scalar and Tensor Holographic Artificial Impedance Surfaces. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, [s. l.], v. 58, n. 10, p. 3212-3221, 2010. DOI 10.1109/TAP.2010.2055812.