

Desenvolvimento de uma Antena Holográfica em 5 GHz

Palavras-Chave: ANTENA, ANTENA HOLOGRÁFICA, HOLOGRAFIA, 5 GHz

Autores:

IGOR SANTOS ZOMER, FT, UNICAMP

Prof. Dr. MARCOS SERGIO GONÇALVES (orientador(a)) FT, UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Uma antena é um componente desenvolvido para irradiar ou captar ondas eletromagnéticas. A antena atua como uma interface entre uma linha de transmissão e o espaço livre [RIBEIRO, N. I]. Esse dispositivo pode irradiar ondas eletromagnéticas no espaço de forma omnidirecional ou em determinadas direções [RIBEIRO, N. I]. Existe uma grande diversidade em tipos de antenas, dependendo do tipo de aplicações. Apesar do alto grau de flexibilidade e maturidade tecnológica atingida, novas soluções são buscadas ativamente para melhorar as já existentes como resposta à contínua demanda por melhores desempenhos [G. Minatti].

Metamateriais são materiais sintéticos projetados para alcançar propriedades únicas não normalmente encontradas na natureza [BUKHARI, Syed]. As metassuperfícies são caracterização através de suas polarizabilidades elétrica e magnética [C. L. Holloway]. Por essa razão, há algumas vantagens oferecidas pelas metassuperfícies sobre os metamateriais, como a maior facilidade de fabricação, menor índice de

perdas e a capacidade de utilizar metassuperfícies em frequências nas regiões de microondas e ópticas [BUKHARI, Syed; C. L. Holloway].

Antenas baseadas em metassuperfícies têm sido desenvolvidas nas últimas décadas, explorando várias técnicas e tecnologias diferentes. [HARIHARAN, P, SANTANA, M. P]. No trabalho de Faenzi, Gabriele Minatti e Maci (2019), uma série de diferentes elementos são tratados, no que tange ao uso de antenas em metassuperfícies. [SANTANA, M. P]. Neste trabalho, foi analisado o uso de metassuperfícies em antenas holográficas operando na frequência de 5 GHz.

METODOLOGIA:

As metassuperfícies utilizadas em antenas holográficas são baseadas na propagação de ondas superficiais que viajam em uma placa de circuito impresso (PCB). A placa é composta por células que controlam a impedância superficial e, conseqüentemente, a intensidade de irradiação da antena, de modo a formar o diagrama de irradiação desejado.

A impedância superficial da antena é determinada pelo padrão de interferência entre duas ondas eletromagnéticas. A primeira onda corresponde à onda superficial que se espalha pela superfície da PCB (onda de referência) e a segunda onda trata-se do padrão de radiação que se deseja obter (onda objeto).

Em um primeiro momento do projeto da antena, os dois padrões de onda são conhecidos e, através da técnica de holografia de microondas [FONG, Bryan H], forma-se o padrão da impedância superficial. Com o padrão holográfico gravado, quando a antena é excitada por uma onda eletromagnética originada no sistema transmissor, obtém-se o diagrama de irradiação com as mesmas características da onda objeto

O padrão da impedância superficial que será utilizado será definido pela teoria holográfica. Como ocorre com a holografia em frequências ópticas, a holografia nas faixas de frequências de microondas envolve a interferência *entre duas ondas: a onda superficial Ψ_{ref} (onda referência) e a onda que se deseja irradiar Ψ_{rad} (onda objeto)*. O padrão de interferência Ψ_{holo} entre a onda referência e a onda objeto pode ser escrito como:

$$\psi_{holo} = \psi_{rad}\psi_{ref}^* \quad (1)$$

Quando o padrão holográfico obtido é alimentado pela onda referência, a antena a espalha no espaço como o padrão da onda objeto, conforme demonstrado em [FONG, Bryan H]:

$$\psi_{holo}\psi_{ref} = (\psi_{rad}\psi_{ref}^*)\psi_{ref} = \psi_{rad}|\psi_{rad}|^2 \quad (2)$$

Com a finalidade de ilustrar o procedimento acima, será considerada, como exemplo, a onda referência com uma onda

gerada por uma antena monopolo $\psi_{ref} = e^{-jk\sqrt{x^2+y^2}}$, sendo k o número de onda no espaço livre e a onda objeto como uma onda plana na direção Θ em relação ao plano da antena dada por $\psi_{rad} = e^{-jkx \sin(\theta)}$.

A partir do padrão holográfico obtido, deve-se obter o padrão da impedância superficial da PCB. Nas situações em que a impedância superficial da placa se aproxima da impedância do espaço livre, a onda superficial é irradiada para o espaço formando a onda irradiada. A impedância superficial da placa pode ser escrita em função do padrão de holografia, conforme demonstrado em [FONG, Bryan H]

$$Z_s = j[X + M Re\{\psi_{rad}\psi_{ref}^*\}] \quad (3)$$

Onde X equivale a um valor médio da distribuição de impedância e M é o índice de modulação. A impedância de uma célula unitária é dada por [FONG, Bryan H]:

$$Z_s = Z_0 \sqrt{1 - n_{ef}^2} \quad (4)$$

Onde n_{ef} é o índice de refração efetivo e será determinado pelo programa HFSS e Z_0 a impedância intrínseca do espaço livre.

A Figura 1 mostra a célula unitária operando em 17 GHz. A célula é feita a partir de uma PCB de dupla face e possui periodicidade de 3 mm, com substrato de altura 1.57 mm e constante dielétrica de 2,2. O condutor inferior corresponde ao plano-terra e o condutor superior é utilizado para formar *patches* (condutores retangulares). Variando-se as dimensões dos *patches*, é possível variar o índice efetivo da célula e, conforme (4), a sua impedância superficial.

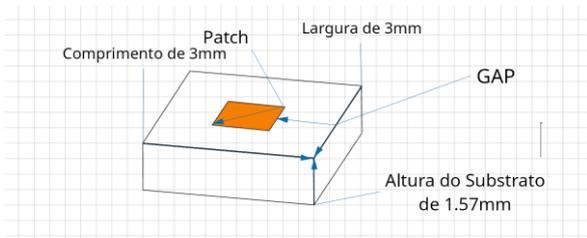


Figura 1. Esquemático da Célula Unitária em 17 GHz. Imagem do Autor

Através das análises de autovalores realizadas no programa HFSS para obter o índice de refração efetivo, foi possível a curva de impedância superficial em função do tamanho dos *patches*. No caso, a variável *gap* representa a distância entre o fim da célula e a borda do *patch*.

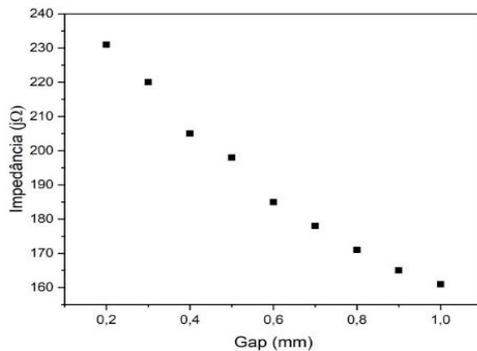


Figura 2. Curva da impedância superficial em função do tamanho dos *patches*.

Conhecendo-se a impedância superficial das células unitárias, é possível obter o padrão holográfico a partir de (3). Assim para cada valor do produto $\psi_{rad}\psi_{ref}^*$ gera-se uma célula com impedância superficial Z_s . Para este caso $X=197,5 \Omega$ e $M=36,5 \Omega$. A Figura 3 ilustra a holografia obtida com $\Theta=30^\circ$. As dimensões da antena são 150 mm de comprimento por 96,25mm de largura.

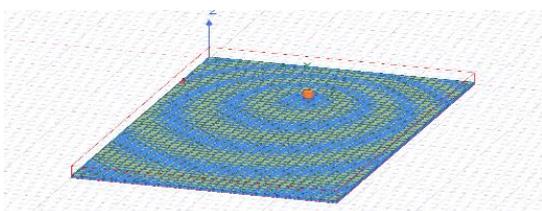


Figura 3. Antena holográfica. Imagem do Autor

Uma vez que a antena holográfica foi analisada em 17 GHz, deu-se início ao desenvolvimento de uma célula unitária para funcionamento em 5 GHz. A Figura 4 ilustra a célula unitária obtida. A periodicidade da célula é de 10,2 mm, a constante dielétrica do substrato foi de 2,2. Entretanto, para conservar o decaimento dos campos evanescentes, a altura do substrato foi alterada de 1,57 mm para 10 mm.

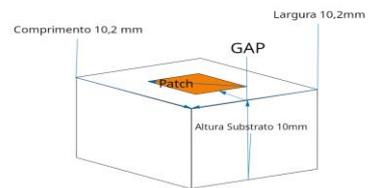


Figura 4. Esquemático Célula unitária em 5 GHz. Imagem do Autor

A Figura 5 ilustra a impedância superficial da célula unitária em função da variável *gap* utilizada na formação do padrão holográfico da antena operando em 5 GHz.

Através dos resultados da variação da impedância superficial em função das dimensões dos *patches*, desenvolveu-se um polinômio que mostre a impedância superficial das células unitárias em função do tamanho do *patches*. O polinômio é dado por $Z_s = -1.338g^3 + 10.11g^2 - 27.598g + 137.46$, onde $g(mm)$ é a variável *gap*.

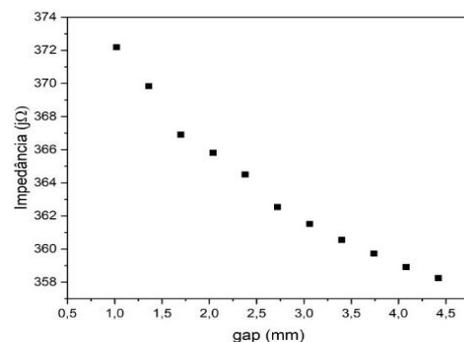


Figura 5. Curva da impedância superficial em função do tamanho dos *patches* para operação em 5 GHz.

Esse polinômio será utilizado para modular os patches na formação da holografia, conforme (3). Para este caso, $X= 364,03\Omega$ e $M= 5,79\Omega$. A Figura 6 ilustra a holografia obtida para a operação em 5 GHz, ângulo $\Theta=60^\circ$ e 510 mm de comprimento e 327,25mm de largura

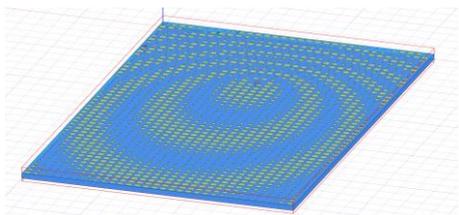


Figura 6. Antena Holográfica 5GHz. Imagem do Autor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

O primeiro resultado foi obtido para a antena holográfica operando em 17 GHz. A onda eletromagnética é incidida na holografia através de um monopólio, conforme ilustrado na Figura 3. O raio e a altura do monopólio são 1,7 mm e 4,3 mm, respectivamente. A Figura 7 mostra a curva do parâmetro S_{11} (dB) em função da frequência. Por esta curva, observa-se que a relação entre a potência refletida em relação à potência incidente foi de $S_{11} = -34$ dB na frequência de 17 GHz.

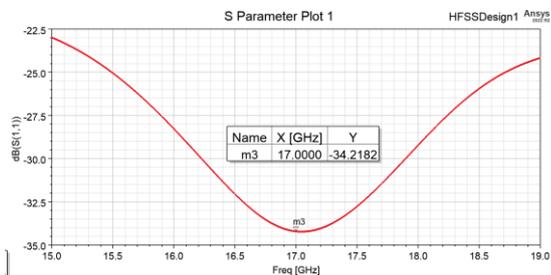


Figura 7 - Parâmetro S_{11} da antena em 17 GHz. Imagem do Autor

A Figura 8 mostra o diagrama de radiação da antena operando em 17 GHz. Pela figura, nota-se que o máximo ganho obtido foi de 24 dB com diretividade de 24 graus, próximo

ao projetado. Algumas técnicas estão sendo estudadas para diminuir essa diferença.

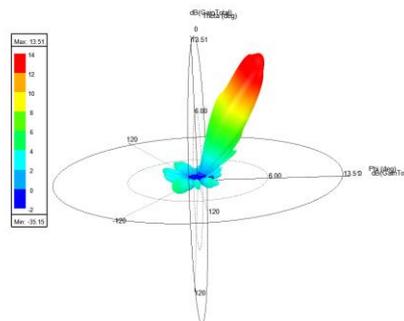


Figura 8. Padrão de radiação da antena. Imagem do autor.

Para a antena operando em 5GHz, a Figura 9 mostra o parâmetro S_{11} (dB) em função da frequência. Na frequência de ressonância de 5 GHz, a relação entre as potências refletida e incidentes é 34,34 dB. Por fim, a Figura 10 mostra o diagrama de radiação da antena. Nota-se que a diretividade foi de 49 graus e o ganho de 11,23 dB.

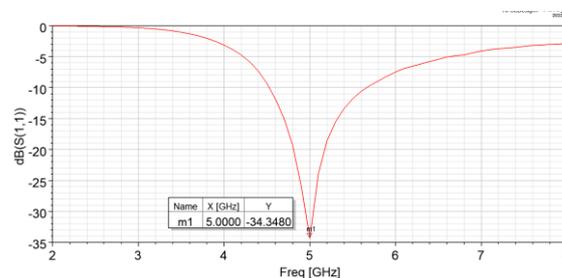


Figura 9. Perda de Retorno S_{11} , para a antena de 5 GHz. Imagem do autor.

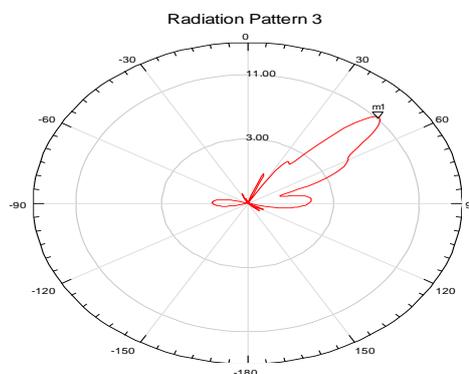


Figura 10. Padrão de Radiação da Antena em 5 GHz. Imagem do autor.

CONCLUSÕES:

Durante o período de realização da IC, foi possível desenvolver dois projetos de antenas holográficas com operação em 5 GHz e 17 GHz. Observou-se que o alto ganho que as antenas holográficas oferecem, sendo comparadas às antenas parabólicas. Ainda, possuem a vantagem do controle sobre a sua diretividade em relação a outros tipos de antenas planares.

As antenas holográficas possuem a desvantagem de necessitar de substratos muito altos para operar em 5 GHz. Uma forma de reduzir essa desvantagem é o uso de placa com altas constantes dielétricas. Entretanto, este tipo de substrato é de alto valor financeiro.

BIBLIOGRAFIA

- RIBEIRO, N. I., et al., "**Como funcionam as antenas**". Disponível em: <<https://sites.ifi.unicamp.br/mbonanca/files/2019/11/tema10L.pdf>> Acesso em: 03/08/2024
- G. Minatti et al., "**Modulated Metasurface Antennas for Space: Synthesis, Analysis and Realizations**," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 63, no. 4, pp. 1288-1300, April 2015, doi: 10.1109/TAP.2014.2377718.
- 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.
- 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.
- MACI, S. et al. **Metasurfing: Addressing Waves on Impenetrable Metasurfaces** | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6127895>>. Acesso em: 4 mar. 2024.
- HARIHARAN, P. **Optical Holography: Principles, Techniques and Applications**. 2nd edition ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- SANTANA, M. P. **Reconfigurable metasurface antenna array using holographic beamforming**. icts.unb.br, 12 jul. 2021.
- 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.