

# Caracterização Numérica de Células Unitárias com Linhas de Atraso de Fase para Redes Refletoras Impressas

Suyane P. Campos, Marcos V. T. Heckler, e Edson R. Schlosser

**Resumo**—Este artigo apresenta as respostas de fase de espalhadores circulares com linhas de atraso para operação em 9,6 GHz. Os resultados indicam a obtenção de uma ampla faixa de valores de fase obtida a partir da variação do comprimento das linhas de atraso. As três estruturas analisadas exibiram comportamento adequado para integração em um *reflectarray* em uma etapa futura do trabalho.

**Palavras-Chave**—Redes de antenas refletoras, linhas de atraso de fase, espalhadores impressos.

**Abstract**—This paper presents the phase responses of circular-shaped scatterers with phase-delay lines for operation at 9.6 GHz. The curves indicate a wide range of phase values obtained by varying the length of the phase-delay lines. The behavior of the three analyzed structures is suitable for the integration into a *reflectarray* in the future.

**Keywords**—*Reflectarray* antennas, phase-delay lines, printed scatterers.

## I. INTRODUÇÃO

As antenas refletoras (do inglês, *reflectarrays*) foram desenvolvidas como alternativas aos refletores parabólicos convencionais [1]-[2]. Tais estruturas são comumente fabricadas empregando-se tecnologia de circuito impresso, resultando em menor custo e dimensões reduzidas em comparação à versão parabólica clássica. Como principal limitação, a *reflectarray* apresenta largura de banda estreita. A superfície refletora consiste em metalizações impressas sobre um substrato com baixas perdas na faixa de micro-ondas e um plano de terra [3].

Neste artigo, as características de espalhamento de três topologias simples são estudadas, conforme estruturas apresentadas em [4], [5], [6] e [7]. O principal objetivo deste trabalho é a obtenção das curvas de fase dos espalhadores em função do ângulo das linhas de atraso  $\varphi_S$ , que são realizadas por meio de seções de linhas de transmissão terminadas em aberto e que derivam do elemento principal circular. Como principal característica, destaca-se o emprego de substrato simples, resultando em uma estrutura compacta. Para o presente estudo, os espalhadores foram projetados para operação em 9,6 GHz, visando a uma futura aplicação em sistemas avançados de sensoriamento remoto satelital.

Suyane P. Campos, Marcos V. T. Heckler, Edson R. Schlosser, Laboratório de Eletromagnetismo, Micro-ondas e Antenas, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, e-mails: suyanecampos.aluno@unipampa.edu.br, marcos.heckler@unipampa.edu.br, edsonschlosser@unipampa.edu.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico através do processo CNPq 133338/2022-3.

## II. PROJETO DA CÉLULA UNITÁRIA

Para projetar o elemento espalhador com *patch* circular, conforme ilustrado na Fig. 1, faz-se necessário calcular o raio  $a$ , que pode ser obtido por [1]

$$a = \frac{F}{\sqrt{1 + \left[ \frac{2h}{\pi \varepsilon_r F} \left( \ln \left( \frac{\pi F}{2h} \right) + 1,7726 \right) \right]}}, \quad (1)$$

sendo

$$F = \frac{8,791 \cdot 10^9}{f_c \sqrt{\varepsilon_r}}. \quad (2)$$

Para o presente projeto, escolheu-se utilizar o substrato Rogers RO4003C, o qual possui espessura  $h = 0,813$  mm, tangente de perdas  $\tan \delta = 0,0027$  e constante dielétrica  $\varepsilon_r = 3,55$ . Aplicando-se estes dados em (1), bem como a frequência de ressonância  $f_c = 9,6$  GHz, resulta que  $a = 4,815$  mm. As seguintes dimensões serão mantidas constantes para todas as células estudadas:  $L = 9,6$  mm,  $W = 9,6$  mm,  $L_s = 0,4$  mm e  $W_s = 0,373$  mm.

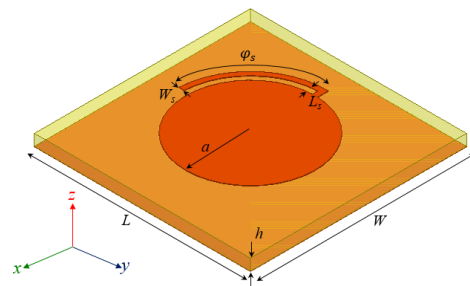


Fig. 1. Vista isométrica do espalhador com uma linha de atraso.

As análises foram realizadas com o simulador eletromagnético ANSYS HFSS, configurando-se o *setup* com condições de contorno laterais periódicas e excitação por *Floquet Port*. Tal modelo permite obter a resposta de fase em função do ângulo das linhas de atraso  $\varphi_S$  para variações de  $5^\circ$  a  $87^\circ$ , conforme será apresentado nas subseções a seguir.

### A. Célula com uma linha de atraso

A resposta de fase da topologia ilustrada na Fig. 1 é apresentada na Fig. 2. Em  $f = 9,6$  GHz, a máxima variação de fase obtida foi de  $\Delta\phi = 339,04^\circ$ .

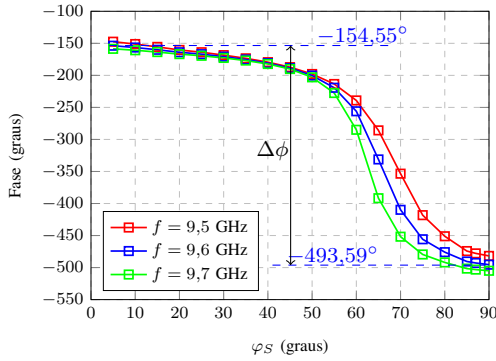


Fig. 2. Curvas de fase em função do comprimento de uma linha de atraso para diferentes frequências.

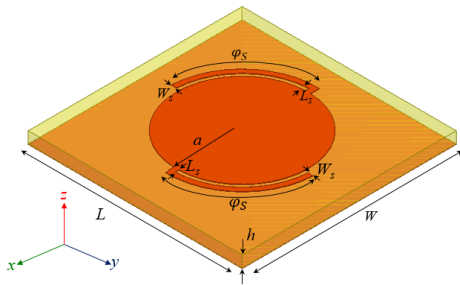


Fig. 3. Vista isométrica do espalhador com duas linhas de atraso.

### B. Célula com duas linhas de atraso

A topologia dada na Fig. 3 consiste de um elemento irradiador com duas linhas de atraso com mesmo ângulo  $\varphi_s$ . O princípio é semelhante à topologia analisada acima e a resposta de fase é apresentada na Fig. 4. Na frequência de projeto, a variação total de fase corresponde a  $\Delta\phi = 323,35^\circ$ .

### C. Célula com quatro linhas de atraso

Por fim, a geometria ilustrada na Fig. 5 mostra um elemento espalhador circular com quatro linhas de atraso. Este irradiador permite uma variação de fase de  $\Delta\phi = 344,04^\circ$  na frequência central de operação, como pode ser visualizado na Fig. 6.

## III. CONCLUSÃO

Como exposto na Seção II, cada tecnologia apresentada responde com uma variação de fase. Para o primeiro elemento,

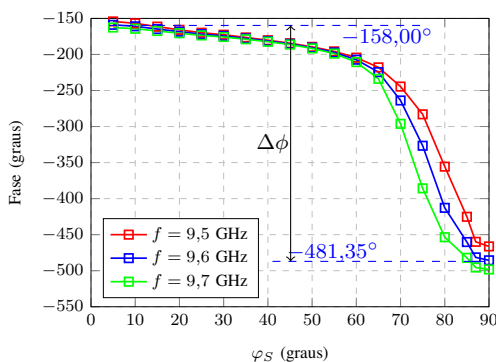


Fig. 4. Curvas de fase em função do comprimento das duas linhas de atraso para diferentes frequências.

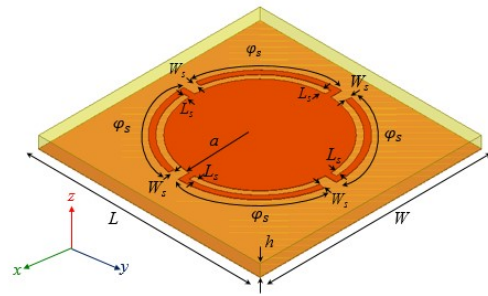


Fig. 5. Vista isométrica do espalhador com quatro linhas de atraso.

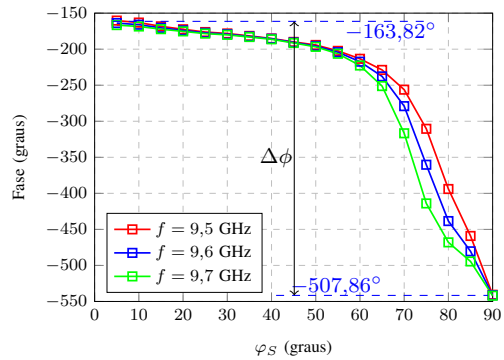


Fig. 6. Curvas de fase em função do comprimento das quatro linhas de atraso para diferentes frequências.

foram apresentados os valores máximos e mínimos da fase. Dessa forma, pelos dados apresentados e pela Fig. 2, é obtida uma variação de fase  $\Delta\phi = -339,04^\circ$ . Fazendo esta mesma análise para as Fig. 4 e 6, as variações obtidas foram  $\Delta\phi = -323,35^\circ$  e  $\Delta\phi = -344,04^\circ$ , respectivamente.

Os três modelos operam na frequência de projeto e respondem de forma coerente na banda proposta. Ante aos resultados apresentados, os elementos simples obtiveram as respostas almejadas. Diante disso, os elementos caracterizados estão aptos para serem implementados em uma rede de antenas refletoras na banda X. A elaboração do modelo eletromagnético de tal estrutura será a próxima etapa do presente trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1] C. A. Balanis, *Teoria de Antenas - Análise e Síntese*, vol. 1, 3ª Ed., LTC, 2009.
- [2] D. M. Pozar, S. D. Targonski, and H. D. Syrigos, "Design of millimeter wave microstrip reflectarrays," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 45, no. 2, pp. 287–296, Feb. 1997.
- [3] M. B. R. da Silva, "Análise e projeto de redes refletoras embarcadas em nanossatélite," *Monografia de conclusão de curso de graduação*, Universidade Federal do Pampa, 2021.
- [4] R. S. Malfajani and Z. Atlasbaf, "Design and Implementation of a Broadband Single-Layer Reflectarray Antenna With Large-Range Linear Phase Elements," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 11, pp. 1442–1445, Nov. 2012.
- [5] H. Hasani, M. Kamyab and A. Mirkamali, "Broadband Reflectarray Antenna Incorporating Disk Elements With Attached Phase-Delay Lines," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 9, pp. 156–158, Mar. 2010.
- [6] H. Hasani, M. Kamyab and A. Mirkamali, "Low Cross-Polarization Reflectarray Antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 59, no. 5, pp. 1752–1756, May 2011.
- [7] R. S. Malfajani and Z. Atlasbaf, "Design and Implementation of a Broadband Single Layer Circularly Polarized Reflectarray Antenna," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 11, pp. 973–976, Aug. 2012.