

Análise dos efeitos de uma fenda poligonal regular em uma antena de microfita *patch* circular

Samantha Pinto, Leonardo Cruz, Karlo Costa, Andrécia Costa e André Cruz

Resumo— Este trabalho apresenta uma análise dos efeitos de uma fenda poligonal regular inserida no *patch* de uma antena de microfita projetada para operar na frequência de 2,4 GHz. A antena com raio aproximado de 1,69 cm foi alimentada por uma sonda coaxial por baixo do plano de terra. Foi proposto variar o número de vértices da fenda e a sua posição relativa em relação ao ponto de alimentação. Os resultados gerados no *software* HFSS mostram os efeitos da inserção da fenda sobre a perda de retorno S_{11} , a taxa de onda estacionária (VSWR), frequência de ressonância f_r e largura de banda da antena.

Palavras-Chave— Antena de microfita, *patch* circular, fenda poligonal regular, análise paramétrica.

Abstract— This paper presents an analysis of the effects of a regular polygonal slot inserted into the *patch* of a microstrip antenna designed to operate at a frequency of 2.4 GHz. The antenna, with an approximate radius of 1.69 cm, was fed by a coaxial probe from beneath the ground plane. It was proposed to vary the number of vertices of the slot and its relative position with respect to the feed point. The results generated in the HFSS *software* show the effects of slot insertion on return loss S_{11} , Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), resonance frequency f_r , and bandwidth of the antenna.

Keywords— Microstrip antenna, circular patch, regular polygonal slot, parametric analysis.

I. INTRODUÇÃO

Uma antena de microfita, na sua configuração mais básica, consiste de um *patch* radiante depositado sobre um substrato dielétrico, com plano de terra abaixo. O *patch* da antena pode assumir geometrias diversas, embora geometrias regulares sejam utilizadas para simplificar a análise de predição da sua performance [1]. A pesquisa por estruturas mais eficientes tem mostrado que a inserção de fendas (ou *slots*), produz uma melhora no desempenho destas antenas. Em [2] verificou-se que há um aumento do ganho de uma antena tribanda 5,73 GHz, 6,16 GHz e 8,34 GHz para aplicações 5G, pela simples inserção de um *slot* em *loop* seccionado no *patch* retangular.

Neste trabalho, é apresentada uma análise sobre os efeitos da inserção de um *slot* poligonal regular em um *patch* circular de raio $a \approx 1,6976$ cm, alimentado por cabo coaxial a 30% do centro. Nas simulações realizadas no *software* HFSS, foram variados o número de vértices do *slot* de $N = 4$ a 12 e sua posição angular relativa θ . Constatou-se que o *slot* heptagonal ofereceu a maior largura de banda, de 58,70 MHz, e para esta, analisou-se o efeito da redução da área do *slot* na resposta eletromagnética da antena.

Samantha Pinto¹, e-mail: eng.smota@outlook.com; Leonardo Cruz¹, e-mail: francaleo062@gmail.com; Karlo Costa², e-mail: karlo@ufpa.br; Andrécia Costa³, e-mail: andreciacosta@ufpa.br; André Cruz³, e-mail: andcruz@ufpa.br. ¹Curso de Engenharia Elétrica, ²Instituto de Tecnologia, ³Faculdade de Engenharia Elétrica; ^{1,2,3} Universidade Federal do Pará. Este trabalho foi parcialmente financiado por FAPESPA (00000.9.001282/2023).

II. PROJETO DA ANTENA PATCH CIRCULAR COM SLOT

As etapas incluem projetar um *patch* circular com raio a , calculado pela equação (1) [3], para operar em $f_r = 2,4$ GHz.

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

onde $F = 8,791 \times 10^9 / (f_r \sqrt{\varepsilon_r})$, a frequência f_r em Hz e a espessura h do substrato em cm. Este cálculo é realizado considerando que a antena possui um substrato de fibra de vidro FR4 com espessura $h = 0,15$ cm, com constante dielétrica $\varepsilon_r = 4,4$ e tangente de perdas 0,02, resultando em um *patch* com raio $a \approx 1,6976$ cm. O comprimento e largura do substrato quadrado (com plano de terra) foram calculados por $L_g = W_g = 6h + 2a \approx 4,2951$ cm [4]. A Fig. 1 ilustra a visão superior e em corte lateral da antena final.

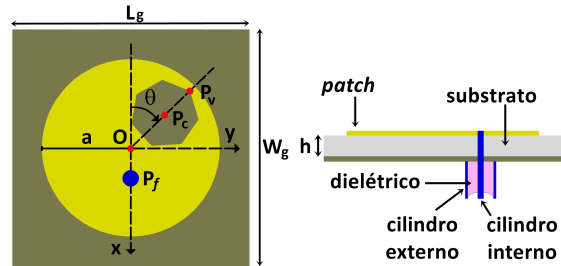


Fig. 1. Antena *patch* circular com *slot* poligonal: superior e corte lateral.

Em seguida, determinar o ponto ótimo de alimentação $P_f(x_f, 0)$ feito pela parte inferior através de um cabo coaxial com diâmetro externo de 0,4 cm e diâmetro do condutor interno de 0,14 cm e um dielétrico com permissividade relativa de 2,25. A Fig. 2 mostra a perda de retorno da antena (S_{11} em dB) na frequência de ressonância, a medida que é variado o ponto de alimentação $P_f(x_f, y_f)$ sobre o eixo x ($y_f = 0$) de $x_f = 0$ a $0,9a$, para a antena *patch* circular sem o *slot*.

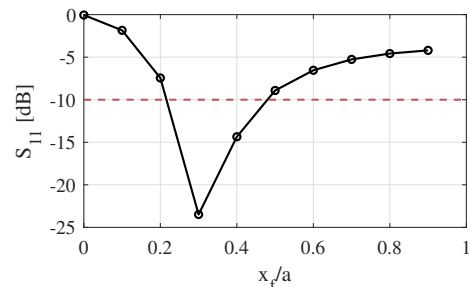


Fig. 2. Perda de retorno em função do ponto de alimentação $P_f(x_f, 0)$.

Na posição $x_f = 0,3a$ a antena *patch* circular sem a fenda poligonal regular apresentou menor perda de retorno de $-23,4873$ dB na frequência de $2,3963$ GHz.

Para inserir o *slot* com geometria de polígono regular no *patch*, é necessário definir no *software* HFSS as coordenadas do centro do polígono em $P_c(x_c, y_c, 0)$ (2), e as coordenadas do vértice mais afastado da origem $P_v(x_v, y_v, 0)$ (3).

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{c0} & y_{c0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} x_v \\ y_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{v0} & y_{v0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (3)$$

onde $(x_{c0}, y_{c0}) = (-a/2, 0)$ e $(x_{v0}, y_{v0}) = (-(a/2 + d), 0)$, são, respectivamente, as coordenadas do centro e do vértice do polígono regular sobre o eixo $-x$. O ângulo θ entre o eixo $-x$ e o segmento que vai de P_v à origem O define a rotação do *slot* em relação ao centro do *patch*. A distância d do centro ao vértice do polígono é calculada em função do número de lados N , e da área A do polígono, conforme (4).

$$d = \frac{\sqrt{A}}{\cos\left(\frac{\pi}{N}\right) \sqrt{N \tan\left(\frac{\pi}{N}\right)}} \quad (4)$$

Para padronizar todos os *slots* com a mesma área, foi definido $A = K A_{ref}$, onde K é um fator de proporcionalidade entre 0 e 1, e $A_{ref} = 1,44 \text{ cm}^2$ (área do maior *slot* quadrado posicionado em $\theta = 0^\circ$ sobre o *patch*).

III. RESULTADOS

A Fig. 3 mostra as respostas de largura de banda, perda de retorno e VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) nas respectivas frequências de ressonância para 45 antenas *patch* circular, com *slots* de $N = 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12$ vértices, posicionados conforme $\theta = 0^\circ, 22,5^\circ, 45^\circ, 67,5^\circ$ e 90° .

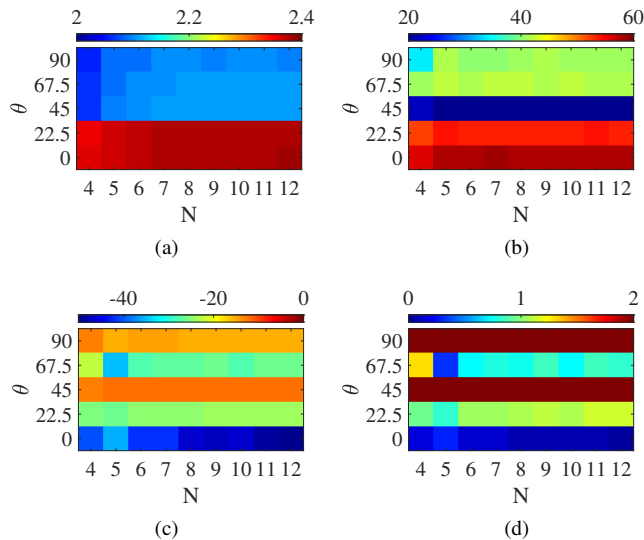


Fig. 3. Respostas das antenas *patch* circular com *slot* regular de N vértices, posicionados em função do ângulo θ em graus: (a) Frequência de ressonância em GHz; (b) Largura de banda em MHz; (c) Perda de retorno em dB; (d) VSWR em dB.

É possível observar na Fig. 3 (a) que, para as antenas com *slot* em 0° e $22,5^\circ$, as frequências de ressonância são próximas de $2,4$ GHz, e para $67,5^\circ$ ou 90° , a ressonância ocorre próxima de $2,06$ GHz. Na Fig. 3 (d) verifica-se que as antenas com *slot* localizados em 45° ou 90° produzem $VSWR > 2$ dB, portanto, não apresentam resposta aceitável. A Fig. 3 (c) mostra que as antenas com *slots* localizados em $0^\circ, 22,5^\circ$, e $67,5^\circ$ apresentam perda de retorno aceitável menor que -20 dB, e a medida que o número de vértices no *slot* aumenta, menor é a perda de retorno. A Fig. 3 (b) mostra que a antena com $N = 7$ com *slot* em $\theta = 0^\circ$ apresentou a maior largura de banda de $58,7$ MHz.

A Fig. 4 ilustra a configuração da antena *patch* circular com o *slot* heptagonal ($N = 7$ em $\theta = 0^\circ$) no HFSS.

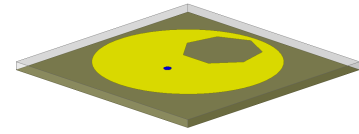


Fig. 4. Antena *patch* circular com *slot* heptagonal.

Para verificar os efeitos do tamanho do *slot* no *patch* da antena, na Fig. 5 é mostrada a perda de retorno e a VSWR para a antena com *slot* heptagonal, variando o fator de proporção de área do *slot* $K = 1, 0,5, 0,25$ e 0 (sem *slot*).

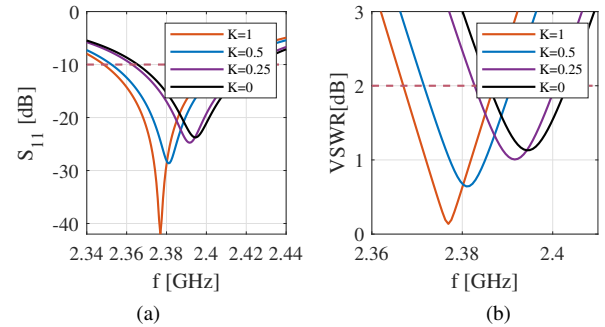


Fig. 5. Respostas da antena *patch* circular variando a área do *slot* heptagonal: (a) Perda de retorno; (b) VSWR.

IV. CONCLUSÕES

A partir da análise paramétrica na Fig. 3 verifica-se que para $N > 8$ as antenas apresentam perda de retorno entre -40 e $-50,23$ dB, com a frequência de ressonância de $2,3769$ GHz (mais próximo do especificado). No entanto, a antena com *slot* heptagonal apresentou maior largura de banda. Ao diminuir o tamanho do *slot*, verifica-se um aumento da perda de retorno até $-23,75$ dB, contudo, a f_r se desloca para a $2,3943$ GHz.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl e A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*. Artech House Antennas and Propagation Library, 2000.
- [2] E. Li, X. J. Li e Q. Zhao, "A Design of Ink-Printable Triband Slot Microstrip Patch Antenna for 5G Applications", em 4th Australian Microwave Symposium (AMS), Sydney, Austrália, 2020.
- [3] C. A. Balanis, *Teoria de Antenas: Análise e Síntese*, 3ª ed., vol. 2. LTC, pp. 425–439, 2009.
- [4] A. I. Rachmansyah, & A. B. Mutiara, Designing and manufacturing microstrip antenna for wireless communication at 2.4 GHz. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 3(5), 670-675, 2011.