

Fabricação de antena *patch* por métodos de corrosão e usinagem e caracterização com o LiteVNA-64

Ryan Sousa, Leonardo Cruz, Rafael Bayma, Andrécia Costa e André Cruz

Resumo— Este trabalho apresenta a fabricação de duas antenas de microfitas com *patch* retangular para operação em 2,4 GHz. A primeira antena foi fabricada utilizando uma microfresadora CNC e a segunda, pelo método de corrosão com perclorato de ferro, em que a proteção do *patch* foi realizada com vinil adesivo. A perda de retorno e a VSWR das antenas foram medidas utilizando um LiteVNA-64 portátil. Os resultados experimentais foram comparados com os de uma antena simulada no *software* Ansys HFSS.

Palavras-Chave— Fabricação digital, Antena de microfita, LiteVNA-64 portátil.

Abstract— This work presents the manufacturing of two microstrip antennas with rectangular patches for operation at 2.4 GHz. The first antenna was manufactured using a CNC milling machine, while the second one was made with ferric chloride etching method, in which the patch protection was carried out by adhesive vinyl. The return loss and VSWR were measured using a portable LiteVNA-64. The experimental results were compared with simulations on Ansys HFSS.

Keywords— Digital fabrication, Microstrip Antenna, portable LiteVNA-64.

I. INTRODUÇÃO

Uma antena de microfita consiste em uma fina plaqueta (*patch*) de metal separada de um plano de terra por um material dielétrico. Elas são ideais para aplicações que exigem um perfil planar por motivos aerodinâmicos. Além disso, elas são uma opção econômica, pois podem ser fabricadas como placas de circuito impresso [1] utilizando métodos de manufatura ou fabricação digital. Dentre os diversos métodos de manufatura aditiva ou subtrativa, destacam-se a fotolitografia, impressão por tinta condutora, usinagem CNC (Controle Numérico Computadorizado) e gravação a laser [2].

Neste trabalho, são apresentados dois processos de fabricação utilizados para a confecção de antenas de microfita em laboratórios acadêmicos. A caracterização e medição das antenas foram feitas utilizando um analisador de rede vetorial portátil LiteVNA-64 [3]. A escolha do instrumento de medição foi feita por se tratar de um equipamento de baixo custo, e possibilitar a execução de ensaios práticos mesmo na ausência de equipamentos de bancada. A primeira antena foi fabricada pelo método de usinagem CNC, e apresentou perda de retorno de $-29,32$ dB em $f_r = 2,31$ GHz, com impedância de entrada de $Z_{ent} = 46,79 - j0,8 \Omega$. A segunda antena, fabricada

pelo método de corrosão, apresentou perda de retorno de $-25,41$ dB em $f_r = 2,30$ GHz e impedância de entrada de $Z_{ent} = 45 + j2,68 \Omega$. Os resultados foram comparados com uma simulação realizada no *software* Ansys HFSS.

II. PROJETO DA ANTENA *Patch* RETANGULAR

A antena de microfita *patch* retangular é mostrada na Fig. 1 em vista superior, e vista lateral.

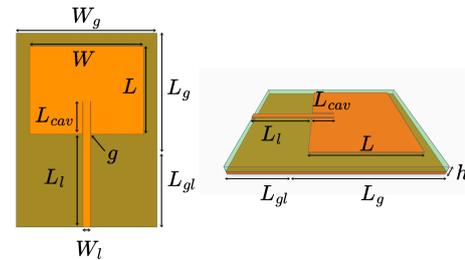


Fig. 1: Modelo da antena de microfita *patch* retangular: (a) Vista frontal; (b) Vista lateral.

As dimensões da antena *patch* retangular podem ser calculadas utilizando os procedimentos de projeto definidos em [4] e [5]. Objetivando a operação na frequência 2,4 GHz, utilizando um substrato de FR4 com constante dielétrica $\epsilon_r = 4,4$, espessura $h = 1,5$ mm e tangente de perda de 0,02, obtêm-se as dimensões do *patch* da antena: $W = 38,03$ mm e $L = 29,47$ mm. As dimensões do plano de terra abaixo do *patch* são calculados utilizando: $W_g = W + 6h = 47,03$ mm e $L_g = L + 6h = 38,47$ mm. A antena é alimentada por uma linha de microfita indentada (*inset-fed*) com dimensões: $W_l = 2,37$ mm e $L_l = 31,25$ mm, sobre uma porção do plano de terra com comprimento $L_{gl} = 26,75$ mm. Na entrada do *patch* são inseridas as cavidades com dimensões: $g = 0,203$ mm e $L_{cav} = 10,93$ mm.

III. FABRICAÇÃO DIGITAL

A primeira etapa no processo de fabricação das antenas é obter um desenho digital da geometria no formato vetorizado SVG (*Scalable Vector Graphic*). Para isso, é necessário exportar o projeto simulado no *software* HFSS como uma imagem PNG (*Portable Network Graphic*), pois a versão estudantil não permite a exportação direta no formato desejado. Em seguida, utiliza-se o *software* Inkscape para vetorização do desenho. A partir do arquivo vetorizado, pode-se realizar a fabricação pelos métodos de usinagem, que utiliza uma fresadora CNC, ou corrosão por perclorato de ferro.

Ryan Sousa¹, e-mail: ryan.sousa@tucurui.ufpa.br; Leonardo Cruz¹, e-mail: francaleo062@gmail.com; Rafael Bayma², e-mail: rafaelbayma@ufpa.br; Andrécia Costa², e-mail: andreciacosta@ufpa.br; André Cruz², e-mail: andcruz@ufpa.br. ¹Curso de Engenharia Elétrica, ²Faculdade de Engenharia Elétrica; ^{1,2} Universidade Federal do Pará. Este trabalho foi parcialmente financiado por FAPESPA (projeto PRO06432-2023).

A. Antena 1 - Método de Usinagem

A primeira antena foi fabricada com usinagem convencional, usando uma fresadora CNC. Inicia-se o processo importando o arquivo vetorizado no *software* de manufatura *Vetric Aspire*. São criadas duas operações: uma do tipo “preenchimento”, utilizada para remover a camada de cobre principal (com uma fresa de topo reto de 3 mm de diâmetro) e criação das fendas (fresa V-bit 30°, 0,3 mm); e uma operação de corte de borda, para destacar a antena da peça principal (*stock*). A primeira operação é programada para uma descida total de 0,32 mm e velocidade de deslocamento (*feed*) de 40 mm/min. Já a última é feita com a mesma velocidade, mas com uma descida total de 1,6 mm.

Os comandos de máquina (*G-code*) são gerados separadamente, um para cada percurso, pois a troca de fresa é feita manualmente. Após este processo, é realizada a solda do conector SMA (*SubMiniature version A*). As dimensões da antena fabricada pelo método de usinagem, na Fig. 2 (a), foram: para o *patch* $W = 38,6$ mm e $L = 30,1$ mm; para o *ground* $W_g = 45,3$ mm e $L_g + L_{gl} = 63,6$ mm; para a linha de microfita $W_l = 2,4$ mm e $L_l = 29,9$ mm; e para a cavidade $g = 0,5$ mm e $L_{cav} = 10,9$ mm.

B. Antena 2 - Método de Corrosão

A segunda antena foi fabricada por corrosão com Perclorato de Ferro. O desenho é transferido para o fenolite com vinil adesivo, cortado com um *router* CNC a laser com precisão de 0,01 cm, usando um laser de CO₂ com potência de 80 W, foi utilizado 8% da capacidade para um corte superficial. A solução corrosiva é diluída na proporção de uma parte de perclorato para quatro partes de água. Após a corrosão, a placa é lavada e o conector SMA é soldado. As dimensões da antena fabricada, mostrada na Fig. 2 (b), são: *patch* $W = 37,9$ mm e $L = 29,3$ mm; *ground* $W_g = 47,1$ mm e $L_g + L_{gl} = 64,5$ mm; linha de microfita $W_l = 2,3$ mm e $L_l = 31,4$ mm; e cavidade $g = 0,2$ mm e $L_{cav} = 10,8$ mm.

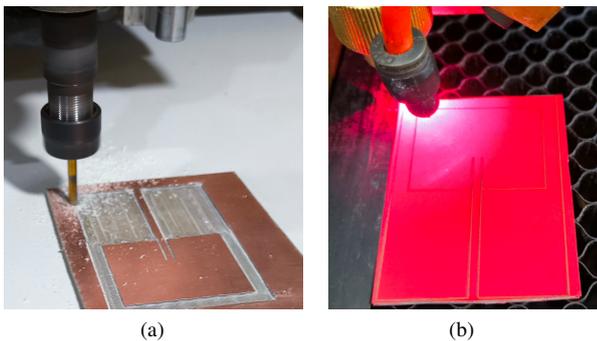


Fig. 2: Processos de fabricação das antenas *patch* retangular: (a) Método de usinagem em fresadora CNC; (b) Método de corrosão com preparo do negativo de proteção em CNC laser.

IV. RESULTADOS

A Fig. 3 (a) mostra as antenas fabricadas em ambos os métodos de manufatura, enquanto na Fig. 3 (b) é mostrado o *setup* de medição das antenas utilizando o LiteVNA-64.

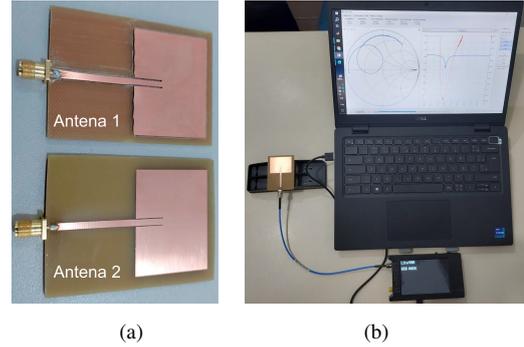


Fig. 3: (a) Antenas fabricadas; (b) *Setup* de medição.

Na Fig. 4 são mostradas a perda de retorno e a VSWR medidos no analisador de rede vetorial LiteVNA-64, em comparação aos resultados da antena simulada no HFSS.

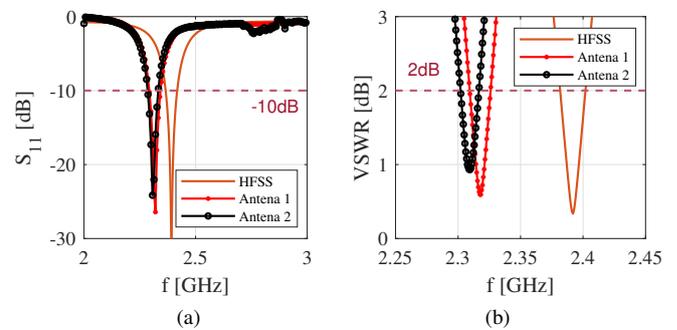


Fig. 4: Resposta das antenas: (a) Perda de retorno; (b) VSWR.

A antena 1 (fabricada pelo método de usinagem) apresentou frequência de ressonância $f_r = 2,31$ GHz (3,08% de erro comparada a simulada no HFSS), com perda de retorno de $-29,32$ dB, VSWR de 0,59 dB (bem abaixo de 2 dB) e largura de banda $BW = 50$ MHz. A antena 2 (fabricada pelo método de corrosão) apresentou frequência de ressonância $f_r = 2,30$ GHz (3,44% de erro), com perda de retorno de $-25,41$ dB, VSWR de 0,93 dB e $BW = 47,36$ MHz. As antenas 1 e 2 apresentam dimensões diferentes devido aos distintos processos de fabricação utilizados em cada uma e à precisão associada a esses processos.

V. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados mostram a viabilidade dos procedimentos de fabricação digital de antenas de microfita utilizando métodos didáticos dentro de laboratórios acadêmicos.

REFERÊNCIAS

- [1] V. F. Fusco, Teoria e técnicas de antenas: princípios e prática. Bookman Editora, 2009.
- [2] L. A. R. Werlang, N. A. Carvalho, T. M. Abreu e U. M. Bruscato, “Modelagem virtual e processos de fabricação digital como recursos no desenvolvimento de produtos”, *Marcavistual*, v. 2, p. 395-411, 2018.
- [3] NANORFE. NanoVNA V2 Software. Disponível em: <https://nanorfe.com/nanovna-v2-software.html>. Acesso em: 7 ago. 2024.
- [4] C. A. Balanis, *Antenna theory: analysis and design*. John & sons, 2016.
- [5] O. P. Lavor, “Bi anisotropia em antenas de microfita retangular e estruturas circulares modificadas”, Univ. Fed. Rio Gd. Norte, 2015. Consult. 2024-08-03. [Online]. Disponível: <http://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/20678>.