

Análise da Antena de Microfita com Patch Afilado para Comunicações Móveis

Adaildo Gomes d'Assunção Júnior e Laércio Martins de Mendonça

Resumo— Neste trabalho é proposto um modelo de antena de microfita com patch afilado para aplicações em sistemas de comunicações celulares móveis. O desempenho do modelo foi realizado em termos das métricas frequência de ressonância e impedância de entrada. As análises teórica e experimental foram realizadas e apresentaram boas concordâncias.

Palavras-Chave— Antena de microfita afilada, impedância de entrada, frequência de ressonância, protótipo de antena planar, comunicações móveis.

Abstract—This work is considered a model of well-formed antenna of microstrip with taper patch for applications in systems of mobile cellular communications. The performance of the model was carried through in metric terms of the frequency of resonance and impedance of entrance. The analyses theoretical and experimental had been carried through and had presented good agreements.

Index Terms—Taper microstrip antenna, input impedance, resonance frequency, archetype of planar antenna, mobile communications.

I. INTRODUÇÃO

A aplicação de antenas planares em sistemas de comunicações móveis tem sido bastante reportada na literatura especializada recentemente [1]-[6].

As antenas de microfita [3]-[5] são dispositivos muito empregados em sistemas modernos de telecomunicações, devido à facilidade de construção, ao pequeno volume e às dimensões reduzidas das mesmas. As antenas de microfita com patches afilados, mostrada na Fig. 1, constituem um grupo especial que pode ser obtido a partir de variações na largura do patch condutor e/ou na altura do substrato dielétrico, permitindo melhorar o desempenho da resposta em frequência e a introduzir novos graus de liberdade nos projetos. No desenvolvimento desse estudo analisamos os efeitos produzidos por diversas técnicas de excitação dessas antenas de microfita com patch afilados, obtidas a partir de linhas de alta impedância, de cabos coaxiais e de acoplamentos eletromagnéticos.

Adaildo Gomes d'Assunção Júnior e Laércio Martins de Mendonça, Departamento de Engenharia Elétrica, UFRN, Natal-RN, E-mails: adaildoir@ct.ufrn.br . laercio@ct.ufrn.br.

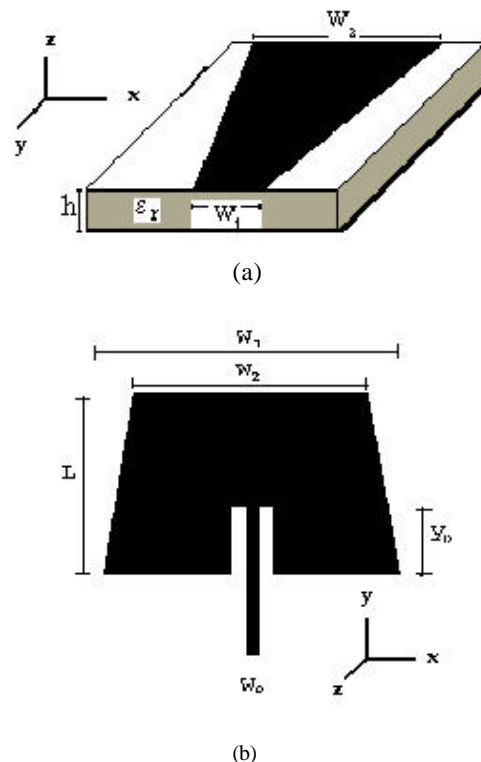


Fig. 1. Geometria da antena de microfita com patch afilado proposta. (a) Vista lateral; (b) Vista de topo.

A utilização dessas antenas requer a determinação de parâmetros importantes, como a frequência de operação e a impedância de entrada. Este último parâmetro é essencial para que se possa realizar o casamento entre a antena de microfita e a estrutura de transmissão que a conecta ao gerador/receptor.

Neste trabalho, foram construídos e medidos vários protótipos de antenas de microfita com patch afilado, levando em consideração a geometria da antena de microfita, o tipo de alimentação e o dielétrico empregado. As comparações dos resultados das simulações numéricas computacionais e dos valores medidos apresentaram boa concordância.

O resto deste trabalho está organizado da maneira descrita a seguir. Na seção II é apresentada a formulação teórica da antena de microfita com patch afilado. Os resultados numéricos para a antena são analisados na seção III. Finalizando, a seção IV apresenta as discussões e as propostas de futuras pesquisas.

II. FORMULAÇÃO TEÓRICA

A geometria da estrutura da antena de microfita com patch afilado a ser analisada está mostrada na Fig. 1. Na Fig. 1(a), é mostrada a vista lateral da estrutura onde as dimensões transversais W_1 e W_2 são as larguras inicial e final do patch afilado; L é o comprimento; W_0 é a largura da microfita alimentadora da antena e Y_0 é o comprimento da reentrância na estrutura. Na Fig. 1(b), mostramos a vista de topo da antena, onde h é a altura do substrato dielétrico com permissividade relativa ϵ_r . Através da teoria da linha de transmissão e do método da segmentação, determinam-se os parâmetros principais da seção transversal da microfita afilada, que é tratada como uma associação em cascata de várias subseções uniformes [7], mostrada na Fig. 2.

A impedância de entrada da sua i -ésima seção, $Z_{in(i)}$, pode ser obtida como [8]

$$Z_{in(i)} = Z_{0(i)} \left\{ \frac{Z_{l(i)} + Z_{0(i)} \tanh \gamma_{(i)} l}{Z_{0(i)} + Z_{l(i)} \tanh \gamma_{(i)} l} \right\} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

com

$$\gamma_{(i)} = \alpha_{(i)} + j\beta_{(i)} \quad (2)$$

$$Z_{in(i)} = Z_{l(i-1)} \quad (3)$$

$$Z_{in} = Z_{in(i-1)} \quad (4)$$

sendo $Z_{in(i)}$ a impedância de entrada da subseção i ; $Z_{0(i)}$ a impedância característica da subseção i ; $Z_{l(i)}$ a impedância de carga da subseção i ; $\gamma_{(i)}$ a constante de propagação da subseção i ; $\alpha_{(i)}$ a constante de atenuação da subseção i ; $\beta_{(i)}$ a constante de fase da subseção i ; Z_{in} a impedância de entrada da linha de microfita, e l o comprimento de cada subseção.

Um dos fatores determinantes para a precisão numérica do método da segmentação é a definição do número de subseções (n) em que a seção da linha de transmissão afilada é dividida. Esse estudo requer um estudo de convergência [9].

O método da segmentação tem como objetivo principal a determinação da impedância de entrada (Z_{in}) de uma seção de linha de microfita afilada, com variação na largura da fita condutora (W_1 - W_2), terminada por uma impedância de carga conhecida (Z_L).

Nos procedimentos do método da segmentação, a expressão para a largura W_i da seção de microfita em uma posição i da linha de microfita afilada é dada como [8]

$$\frac{W_i}{h} = 8 \frac{\left[\exp Z_{0(i)} \sqrt{\epsilon_r + \frac{1}{42,4}} - 1 \right] \left[\frac{7 + \frac{4}{\epsilon_r}}{11} + \frac{1 + \frac{1}{\epsilon_r}}{0,81} \right]^{\frac{1}{2}}}{\exp \left\{ \left(Z_{0(i)} \sqrt{\epsilon_r + \frac{1}{42,4}} \right) - 1 \right\}} \quad (5)$$

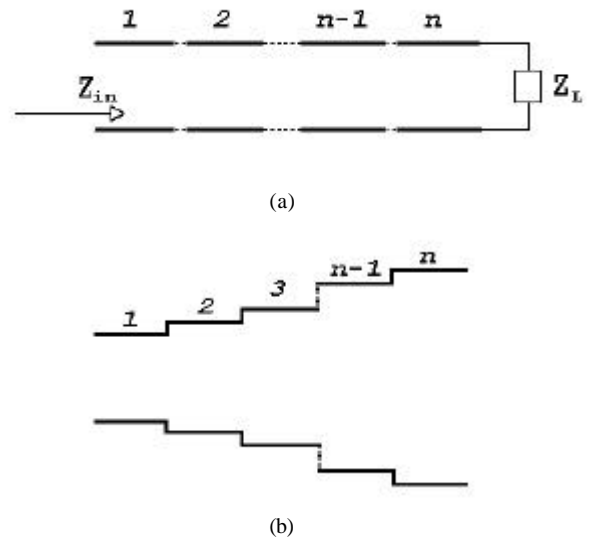


Fig. 2. Esquema de seções uniformes da linha de transmissão. (a) Circuito equivalente. (b) Modelo adotado.

Os valores da largura W_i para a i -ésima subseção são obtidos através da seguinte função linear

$$W_i = W_a + (W_b - W_a) \frac{(i-1)}{n} \quad (6)$$

onde os índices a e b indicam, respectivamente, as posições inicial e final da subseção.

A impedância característica e a permissividade efetiva de cada subseção são dadas, respectivamente, como [8]

$$Z_{0(i)} = \frac{42,4}{\sqrt{\epsilon_r + 1}} \ln \left\{ 1 + \left(\frac{4h}{W_i} \right) \left[\frac{14 + \frac{8}{\epsilon_r}}{11} \left(\frac{4h}{w_i} \right) + \sqrt{\frac{14 + \frac{8}{\epsilon_r}}{11} \left(\frac{4h}{w_i} \right)^2 + \frac{1 + \frac{1}{\epsilon_r}}{2} \pi^2} \right] \right\} \quad (7)$$

$$\epsilon_{ef(i)} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W_i} \right)^{-1/2} \quad (8)$$

O cálculo da constante de atenuação, α_i , é realizada através da seguinte expressão

$$\alpha_i = \frac{R_s}{Z_{0(i)} h} \left(\frac{1 + \left(\frac{h}{W_i} \right)}{2 + \left(\frac{h}{W_i} \right)} \right) \quad (9)$$

sendo $R_s = 1,925 \cdot 10^{-3} \sqrt{\epsilon_r}$.

Neste trabalho, foram realizados estudos através de métodos aproximadas que permitam a obtenção de resultados precisos de forma eficiente. Assim, no estudo de antenas foram considerados duas técnicas: Método da Cavidade Ressonante e Método da Linha Equivalente [10]-[11]. Através desses métodos se consegue obter diversos parâmetros da

estrutura, como por exemplo, frequência de ressonância, impedância de entrada, largura de banda e diagrama de radiação. O estudo da linha de microfita afilada, efetuado para o modo quase-TEM apresenta boa precisão, especialmente para frequências até 10 GHz. Os resultados obtidos são válidos para antenas de microfita com substratos dielétricos isotrópicos finos e espessos.

III. RESULTADOS NUMÉRICOS

Na análise numérica foram desenvolvidos e implementados programas computacionais em **Matlab[®] 6.0** para as linhas e antenas de microfita, considerando-se sempre o modo fundamental nos resultados obtidos.

Na confecção dos protótipos foram empregadas técnicas convencionais de fabricação de circuitos integrados de microondas. Na Fig. 3 é mostrada uma fotografia de um protótipo de antena de microfita com patch afilado, projetada para a faixa de comunicações móveis.

As medições efetuadas em laboratório dos protótipos se concentraram na frequência de ressonância e a impedância de entrada das antenas de microfita e das seções de linhas afiladas. A Carta de Smith foi usada na apresentação de alguns desses resultados. Foi empregado o analisador de redes **HP 8714C** para as medições da impedância de entrada (Fig. 4) e da frequência de ressonância (Fig. 5).

Na Figura 4, temos a resposta em frequência de uma antena de microfita do tipo patch afilado. A forma de alimentação usada permite o casamento da antena a uma linha de microfita com $Z_0 = 50 \Omega$. Os demais parâmetros da antena são os seguintes: $W_1 = 5,4 \text{ cm}$; $W_2 = 4,8 \text{ cm}$; $l = 3,7 \text{ cm}$; $h = 0,15875 \text{ cm}$; $y_0 = 0,55 \text{ cm}$, e $\epsilon_r = 4,4$.

A frequência de ressonância considerada é a do modo fundamental, ou seja, o modo TM_{010} [1]. O valor obtido para a frequência de ressonância foi de 1.879,083 MHz e para a impedância de entrada de $Z_{in} = (52,23-j2,621) \text{ ohms}$.

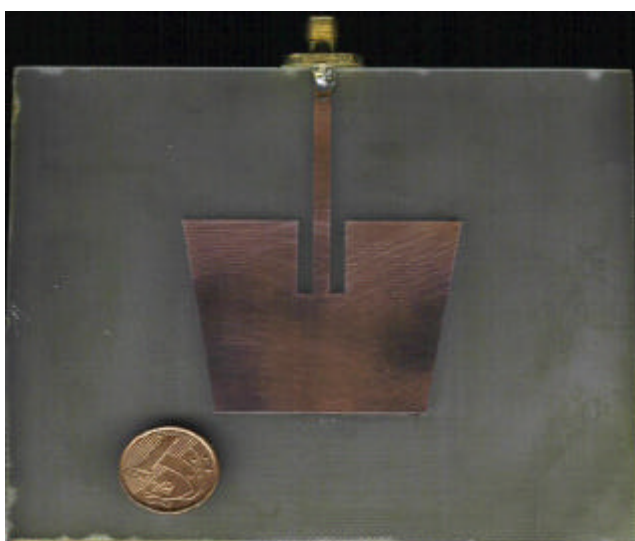


Fig. 3. Fotografia do protótipo da antena de microfita afilada.

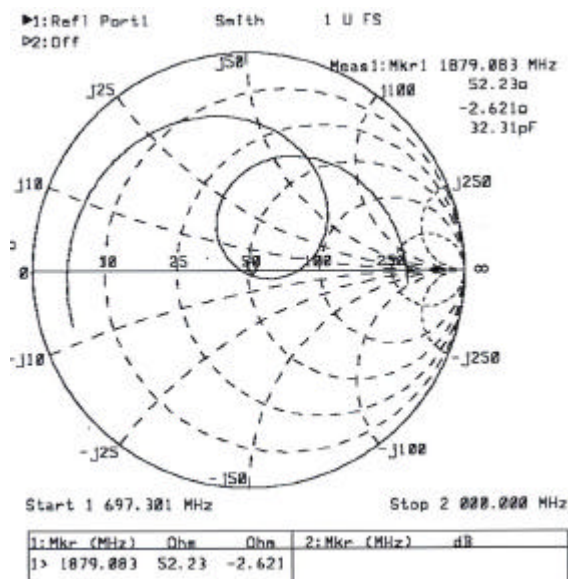


Fig. 4. Impedância de entrada de antena de microfita afilada.

Na análise desse cenário, verificou-se a possibilidade de ajuste, ou redimensionamento da estrutura considerada, através da variação da posição (y_0) do ponto de alimentação do patch condutor.

A Figura 5, mostra o resultado da medição para a frequência de ressonância de um patch afilado de microfita, com os seguintes parâmetros de acordo com a Fig. 1: $W_1 = 5,4 \text{ cm}$; $W_2 = 4,8 \text{ cm}$; $l = 3,7 \text{ cm}$; $h = 0,15875 \text{ cm}$; $y_0 = 0,55 \text{ cm}$, e $\epsilon_r = 4,4$. Observando essa figura, constatamos que a frequência de ressonância do modo fundamental de operação é igual a 1.880,899 MHz.

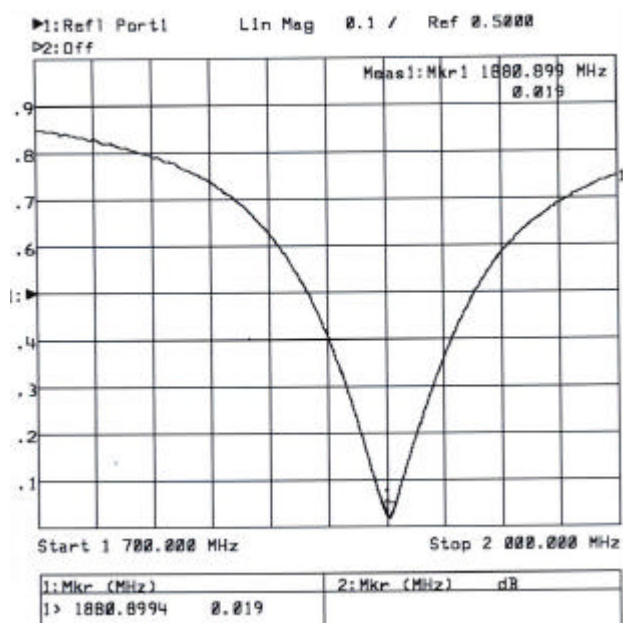


Fig. 5. Frequência de ressonância de antena do tipo patch afilado para a estrutura mostrada na Fig. 1.

Na Tabela I, mostramos os resultados para a impedância de entrada de uma linha de microfita afilada, como mostrado na Fig. 1. Nessa simulação, consideramos os seguintes parâmetros geométricos e elétricos: permissividade relativa, $\epsilon_r = 25,0$; altura do substrato, $h = 0,15875$ cm; condutividade do material, $\sigma = 0,58823 \times 10^8$ (Ωm)⁻¹; impedância da carga, $Z_L = 10,0$ Ω ; impedância da entrada da linha, $Z_{in} = 50,0$ Ω ; largura da linha de microfita, $W_0 = 3,0$ cm.

Através da análise dos resultados da TABELA I, verificamos que o emprego dos modelos de análise para as linhas de microfita afiladas apresentam robustez e eficiência. Por exemplo, nas células da Tabela I referentes à impedância de entrada, são mostradas comparações das partes reais e imaginárias da linha afilada com os resultados da referência [9]; nesse caso foram observados erros de pequena magnitude.

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi efetuada a análise de linhas de microfita afiladas, com perfil linear, sobre substratos dielétricos isotrópicos. O conhecimento das características dessas linhas afiladas possibilita o desenvolvimento de antenas, transformadores de impedância e afilamentos para aplicações em microondas, ondas milimétricas e comunicações móveis.

A proposta de afilamento do patch com reentrância, para fins de casamento com a microfita, é a principal contribuição desse trabalho.

Na parte experimental, foram projetados, construídos e medidos vários protótipos.

Os resultados numéricos obtidos comprovaram a eficiência dos métodos usados através da comparação com resultados medidos.

Como propostas para futuras pesquisas podemos destacar os seguintes pontos: investigar as propriedades de antenas de microfita com outros perfis de afilamento (exponencial, parabólico, etc..) para os *patches*; aprofundar a investigação do efeito da reentrância para fins de casamento com a microfita; análise de arranjos (lineares, planares,...) de patches afilados; incluir estruturas com multicamadas dielétricas; e, analisar os efeitos das camadas dielétricas anisotrópicas no funcionamento da antena de microfita afilada.

TABELA I
IMPEDÂNCIA DE ENTRADA DE SEÇÃO DE
LINHA DE MICROFITA AFILADA.

Impedância de carga (Z_L)		Freq (GHz)	Impedância de entrada (Z_{in})			
Real (Ω)	Imag (Ω)		Real (Ω) [9]	Imag (Ω) [9]	Real (Ω)	Imag (Ω)
50	15	2,00	6,280	3,405	6,349	3,355
7	18	2,25	5,154	13,75	5,157	13,70
10	22	2,50	5,149	23,84	5,108	23,87
13	27	2,75	5,776	35,29	5,669	35,22

REFERÊNCIAS

- [1] C. A. BALANIS, *Antenna Theory – Analysis and Design*, Wiley, 2a. Ed., 1997.
- [2] K. F. LEE e W. CHEN, *Advances in Microstrip and Printed Antennas*, Wiley, 1997.
- [3] J. R. JAMES and P.S. HALL, *Handbook of Microstrip Antennas*, Peter Peregrinus Ltd., IEE, Londres, UK, 1989.
- [4] J. S. JEON, "Design of wideband patch antennas for PCS and IMT 2000 service", *Microwave Journal*, julho 2002.
- [5] N. KINAYMAN, "Microstrip patch antenna", www.ee.bilkent.edu.tr, 1996.
- [6] C. L. MAK, K. M. LUK e K. F. LEE, "Microstrip line-fed L-strip patch antenna", *IEE Proc. Microwave Antennas and Propagation*, vol. 146, n. 4, pp.282-284, 1999.
- [7] C. MONZON, "A small dual-frequency transformer in two sections", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 51, n. 4, p. 1157, 2003.
- [8] B. C Wadell, *Transmission Line Design Handbook*, Artech House, 1991.
- [9] A. KHILLA, "Optimum continuous microstrip tapers are amenable to computer aided-design", *Microwave Journal*, pp. 73-77, 1994.
- [10] K.-L. WONG, J.-S. ROW e K.-C. HUANG, "Resonance of a rectangular patch on a uniaxial substrate", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-41, n. 4, pp. 698-701, 1993.
- [11] R. M. NELSON, D. A. ROGERS e A. G. D'ASSUNÇÃO, "Resonant frequency of a rectangular microstrip patch on several uniaxial substrates", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-38, p. 973-981, 1990.