

Otimização da Largura de Banda da Antena Monopolo Dobrada Compacta pelo Método Hill Climbing

Dilermando R. de Melo, Victor Dmitriev e Karlo Q. da Costa

Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará (UFPA), Av. Augusto Corrêa no 1, CEP 66075-900, Belém-PA, Brasil

Resumo — Este trabalho analisa uma antena Monopolo Dobrada Compacta (*Built-in Folded Monopole Antenna – (BFMA)*). As dimensões da antena são otimizadas com o objetivo de se obter a máxima largura de banda de frequência, para -10 dB, nas impedâncias de alimentação de 50, 75, 300 Ω . Para se gerar as alterações nas dimensões geométricas da antena foi desenvolvido um programa computacional em Matlab, usando-se a técnica do Método dos Momentos (MoM). O resultado alcançado com o método Hill Climbing é comparado com o resultado obtido pelo método da tentativa e erro. Com o Hill Climbing se teve resultados significativamente melhores e com redução de tempo computacional.

Palavras-chaves — Antena monopolo dobrada, antena de banda larga, BFMA, MoM, Método Hill Climbing.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, devido ao surgimento de novos sistemas de comunicações móveis que possuem maiores larguras de bandas de frequências, o desenvolvimento das antenas de bandas largas e estruturas pequenas se tornaram um dos principais temas de pesquisas em antenas. Um exemplo é a antena BFMA. Essa antena é uma versão com geometria modificada da antena FLA (Folded loop Antenna) [1]. A Antena Dobrada Fechada (FLA) é uma antena típica de alimentação balanceada que tem a função de reduzir a degradação do sinal [2]-[3]. A partir do reposicionamento do perfil da antena FLA no plano de terra, se desenvolveu a antena BFDA (Built-in Folded Dipole Antenna) que teve a altura reduzida. A antena BFMA foi derivada da Antena Dipolo Dobrada Compacta (BFDA) pela redução de suas dimensões em aproximadamente 40%, transformando sua estrutura em antena monopolo. Essa antena possui desempenho em relação à largura de banda próximo ao da antena PIFA (Planar Inverted F Antenna) [3]-[4], muito usada em aparelhos celulares.

Neste trabalho é apresentada a análise numérica de uma antena BFMA de banda larga. As dimensões geométricas da antena são otimizadas pelo método Hill Climbing para obter maior largura de banda de frequência nas impedâncias de linha de alimentação 50, 75, 300 Ω ($|\Gamma| = -10\text{dB}$).

Dilermando R. de Melo, dilermando@ufpa.br, / Victor Dmitriev, victor@ufpa.br / Karlo Q. da Costa, karlo@ufpa.br Tel +55-91-3201-7740, Fax +55-91-3201-7606;

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), Programa RH - POSGRAD.

Um programa computacional escrito em Matlab e baseado no método numérico MoM foi desenvolvido para se calcular a distribuição de corrente na antena, a largura de banda, coeficiente de reflexão e o diagrama de radiação [5] - [6]. Um segundo programa também escrito em Matlab foi usado para otimizar a largura de banda da antena de frequência pelo método Hill Climbing. Os resultados obtidos são comparados com resultados calculados pelo método da tentativa e erro [7].

II. GEOMETRIA DA ANTENA

A geometria da antena BFMA analisada nesse trabalho é mostrada na Fig.1. O comprimento $H + B$ representa a altura da antena em relação ao plano de terra infinito. As dimensões H , B , L_2 e L_3 , são os principais parâmetros geométricos que foram otimizados para aumentar a largura de banda com o método Hill Climbing. O elemento condutor L_1 foi fixado e usado para normalizar os demais elementos condutores. O plano de terra foi considerado infinito e sem perdas no modelo matemático MoM. Os condutores da antena foram considerados com condutividade infinita.

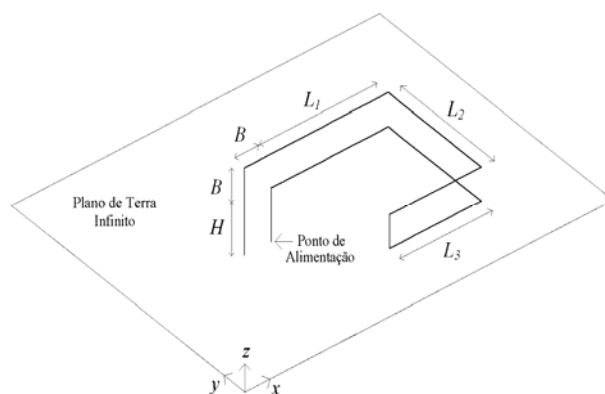


Fig. 1. Geometria da Antena BFMA.

O número de discretização usado no método MoM para todos os parâmetros geométricos foi $N_m = 20$. A equação usada (1) no programa foi a mais geral, ($a, \Delta l_n \ll \lambda$).

$$\psi(n,n) \approx \frac{1}{4\pi} \left\{ \frac{1}{\Delta l_n} \ln \left[\frac{\frac{\Delta l_n}{2} + \sqrt{a^2 + \left(\frac{\Delta l_n}{2}\right)^2}}{-\frac{\Delta l_n}{2} + \sqrt{a^2 + \left(\frac{\Delta l_n}{2}\right)^2}} \right] - jk \right\} \quad (1)$$

Onde, a é o raio dos elementos condutores; Δl_n , discretização; λ , comprimento de onda; k , constante de propagação; $\psi(n, n)$, funções, [5].

III. METODOLOGIA

O método dos momentos é usado para analisar uma antena quando se trabalha com as equações de Maxwell, geralmente na forma integral, e no domínio da frequência. Na forma de derivadas e no domínio do tempo, existem outros métodos, por exemplo: Método das Diferenças Finitas no Domínio do Tempo (Finite-Difference Time-Domain Method - FDTD), Método dos Elementos (Finite Element Method - FEM), etc. Na técnica do MoM, o cálculo da distribuição de corrente na antena é feita aproximando-se a equação integral por um somatório de pequenos elementos de correntes. De posse da distribuição de corrente na antena são calculados outros parâmetros, como: largura de banda, coeficientes de reflexão, impedância, diagrama de radiação, ganho, e muitos outros [5] - [6].

Hill Climbing é um método iterativo de busca que garante um máximo ou mínimo local, e, portanto inadequado para encontrar máximo ou mínimo Global. Porém, caso haja certeza de que só exista um máximo ou mínimo, este seria global, e, portanto esse método seria aplicado com sucesso. O método Hill Climbing necessita de um chute inicial e esse foi um dos motivos para o seu uso, ou seja, usar os resultados obtidos pelo método da tentativa e erro como chute inicial no método Hill Climbing, e dessa forma melhorar os resultados. Com esse método se obteve melhores resultados em menos tempo computacional. O critério de parada foi a quantidade de iterações.

Uma forma de encontrar o máximo ou mínimo global sem que se tenha idéia do valor inicial pelo Hill Climbing, é aplicar um chute inicial aleatório e a medida que os valores forem sendo calculados, escolhe-se o melhor valor como chute inicial da próxima etapa e assim sucessivamente. Isso evitaria que o programa ficasse preso em um máximo ou mínimo local. Consome mais tempo computacional, mas obtém bons resultados.

O método Hill Climbing necessita de um passo, TABELA 1. Não se usou um passo único durante a otimização dos parâmetros geométricos da antena BFMA. A variação do passo pode evitar que o programa fique em um mínimo ou máximo local. A escolha do passo tanto pode diminuir o número de iterações como causar erro de aproximação.

TABELA 1. Passos usados no Método Hill Climbing

Z(Ω)	Std_L ₂	Std_L ₃	Std_H	Std_B	Std_a
50 e 300	0,4	0,4	0,1	0,2	0,2
75	0,2	0,2	0,4	0,4	0,1

IV. RESULTADOS

O processo de aumento da largura de banda foi feito pelo o método Hill Climbing, para as impedâncias de linha de alimentação da antena em 50, 75, e 300 Ω. O raio a dos condutores cilíndricos da antena foi variado conforme mostrado nas TABELAS 2 e 3. Todos os parâmetros geométricos da antena foram normalizados por L_1/λ . Para se calcular a distribuição de corrente, pelo método dos momentos, cada segmento da antena foi dividido em $N_H = N_{L1} = N_{L2} = N_{L3} = N_H = 20$ elementos.

Na TABELA 2, estão apresentados os resultados obtidos pelo método empírico (tentativa e erro) [7]. Na TABELA 3, os resultados obtidos pelo método Hill Climbing, sendo que este apresentou resultado melhores. A largura de banda aumentou em relação ao método empírico de: 39 % na impedância de linha de alimentação $Z_{in} = 50 \Omega$; aumentou de 129% para $Z_{in} = 300 \Omega$. Na impedância, $Z_{in} = 75 \Omega$, a largura de banda praticamente não mudou. O coeficiente de reflexão $|\Gamma| = -10$ dB foi o nível de referência.

TABELA 2. BW % versus dimensões da antena otimizada pelo método empírico

Z(Ω)	L ₂	L ₃	H	B	a	BW%
50	0,200L ₁	0,450L ₁	0,700L ₁	0,20L ₁	0,005L ₁	8,70
75	0,805L ₁	0,331L ₁	0,565L ₁	0,33L ₁	0,0166L ₁	12,10
300	0,460L ₁	0,750L ₁	0,320L ₁	0,23L ₁	0,005L ₁	29,25

TABELA 3. BW % versus dimensões da antena otimizada pelo método Hill Climbing

Z(Ω)	L ₂	L ₃	H	B	a	BW%
50	0,001L ₁	0,723L ₁	0,731L ₁	0,579L ₁	0,005L ₁	12,31
75	0,704L ₁	0,189L ₁	0,518L ₁	0,397L ₁	0,0166L ₁	12,36
300	0,458L ₁	0,801L ₁	0,746L ₁	0,90L ₁	0,005L ₁	67,67

Segue abaixo a análise dos gráficos de menor (BW% = 12,31; $Z_{in} = 50 \Omega$) e maior (BW% = 67,67; $Z_{in} = 300 \Omega$) para a largura de banda de frequência otimizada pelo Método Hill Climbing.

Observando os gráficos das Figs. A.1 e B.1, coeficiente de reflexão, observa-se que a largura de banda de frequência foi bastante aumentada em Fig. B.1, para o nível de referência de -10 dB. No ponto $L_1/\lambda = 0,4$, a curva encontra-se abaixo do nível de -10 dB, Fig. B.1.

O diagrama de radiação E_ϕ com $\phi = 0^\circ$, Fig. A.2, mostra maior irradiação de energia, entorno de +10 dB, entre o intervalo das direções de -30° a $+30^\circ$. Há forte atenuação, aproximadamente -4 dB, entorno dos ângulos de $+65^\circ$ e -65° , Fig. A.2. Na Fig. B.2, a maior atenuação, -6 dB, é entorno de -45° . Logo, pelo diagrama de radiação E_ϕ com $\phi = 0^\circ$, a antena apresenta melhor distribuição espacial da energia em $Z_{in} = 50 \Omega$.

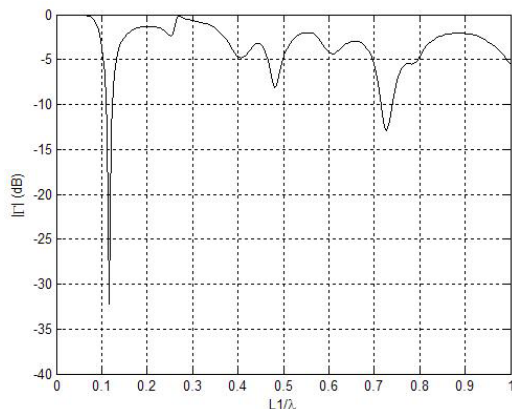
O diagrama de radiação E_θ para $\phi = 0^\circ$, Fig. A.3, mostra maior irradiação de energia, entorno de +10 dB, entre os intervalos dos ângulos -60° a $+60^\circ$. Na Fig. B.3., ocorre o mesmo entre os ângulos -30° a $+30^\circ$. Logo, na Fig. B.3, a maior concentração de energia se dá em um intervalo de ângulo menor, mais direcional em $Z_{in} = 300 \Omega$. A distribuição espacial de energia está melhor em $Z_{in} = 50 \Omega$, Fig. A.3.

No diagrama de radiação E_ϕ com $\phi = 90^\circ$, há forte atenuação da energia entorno do ângulo de 0° , Fig. A.4. Na Fig. B.4, ao contrario, no ângulo de 0° , o nível de concentração de energia é alto, entorno de +3 dB. Logo, pelo diagrama de radiação E_ϕ com $\phi = 90^\circ$, a antena apresenta melhor distribuição espacial da energia, entorno de 0 dB, com $Z_{in} = 300 \Omega$.

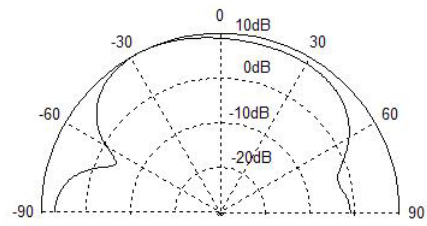
No diagrama de radiação E_θ com $\phi = 90^\circ$, as Figs. A.5 e B5 mostram comportamentos ligeiramente opostos para a distribuição espacial de energia. A Fig. A.5, mostra ligeira atenuação entorno dos ângulos de -30° a $+30^\circ$. Na Fig. B.5, mostra a atenuação entorno dos ângulos -60° e $+60^\circ$.

A. Resultados da otimização pelo método Hill Climbing, $Z_{in} = 50 \Omega$

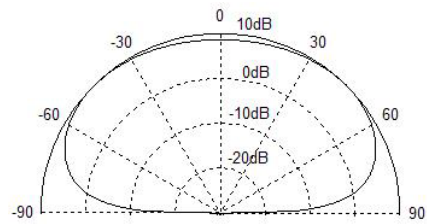
A.1 Coeficiente de Reflexão ($|\Gamma|$), $Z_{in} = 50 \Omega$



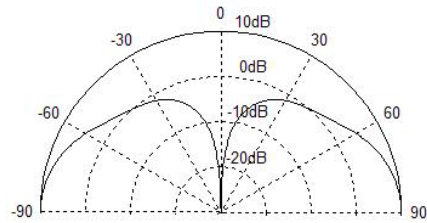
A.2 Diagrama de Radiação, $Z_{in} = 50 \Omega$; E_ϕ para $\phi = 0^\circ$;



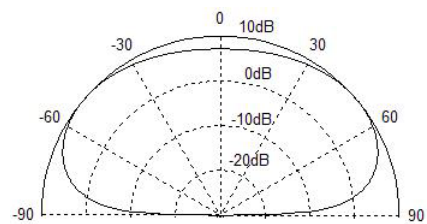
A.3 Diagrama de Radiação, $Z_{in} = 50 \Omega$; E_θ para $\phi = 0^\circ$;



A.4 Diagrama de Radiação, $Z_{in} = 50 \Omega$; E_ϕ para $\phi = 90^\circ$;

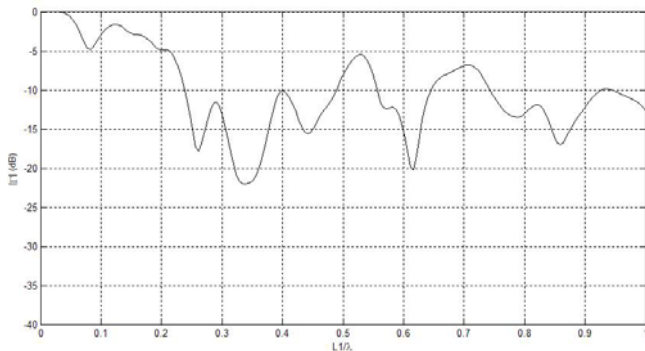


A.5 Diagrama de Radiação, $Z_{in} = 50 \Omega$; E_θ para $\phi = 90^\circ$;

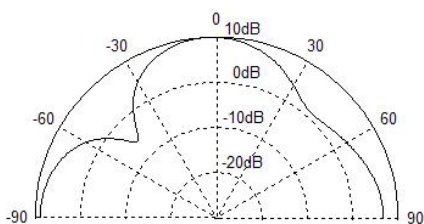


B. Resultados da otimização pelo método Hill Climbing, $Z_{in} = 300 \Omega$

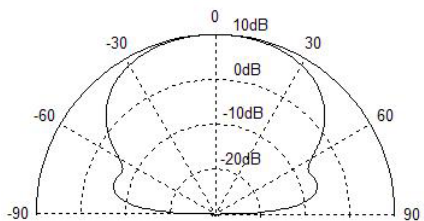
B.1 Coeficiente de Reflexão ($|\Gamma|$), $Z_{in} = 300 \Omega$



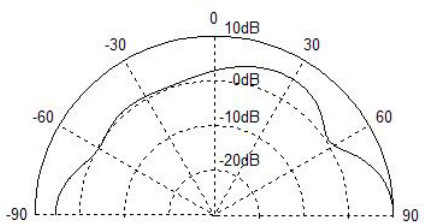
B.2 Diagrama de Radiação, $Z_{in} = 300 \Omega$; E_ϕ para $\phi = 0^\circ$;



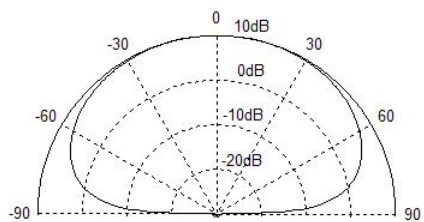
B.3 Diagrama de Radiação, $Z_{in} = 300 \Omega$; E_θ para $\phi = 0^\circ$;



B.4 Diagrama de Radiação, $Z_{in} = 300 \Omega$; E_ϕ para $\phi = 90^\circ$;



B.5 Diagrama de Radiação, $Z_{in} = 300 \Omega$; E_θ para $\phi = 90^\circ$;



VI. OBSERVAÇÕES FINAIS

Para cálculo e análise das características da antena BFMA foi usado o método dos momentos. Na fase anterior do trabalho [7], a largura de banda de frequência da antena Monopolo Dobrada Compacta foi otimizada de forma intuitiva com o método da tentativa e erro. Nessa etapa, foi usado o método Hill Climbing e comparado com os resultados obtidos pelo método da tentativa e erro. O método Hill Climbing apresentou melhores resultados em menos tempo computacional. A largura de banda de frequência aumentou de 8,7 % para 12,31 % na impedância de linha de alimentação $Z_{in} = 50 \Omega$; aumentou de 29,25 % para 67,67 % em $Z_{in} = 300 \Omega$. Na impedância, $Z_{in} = 75 \Omega$, a largura de banda praticamente não alterou, de 12,10 % para 12,36 %. O coeficiente de reflexão $|\Gamma| = -10 \text{ dB}$ foi o nível de referência.

A antena BFMA apresentou distribuição espacial de energia mais uniforme quando conectada com a linha de alimentação na impedância de 50Ω , e grande concentração de energia quando em 300Ω . O uso de uma dessas antenas com diferentes características depende da aplicação.

No futuro se pretende otimizar a antena com o uso de Algoritmo Genético (AG) e Enxame de Partículas (Particle Swarm Optimization - PSO) e comparar com os resultados obtidos pelo Método Hill Climbing.

REFERÊNCIAS

- [1] S. Hayashida, T. Tanaka, H. Morishita and K. Fujimoto, "Built-in folded monopole antenna for handsets", *Electronics Letters*, vol. 40, Nov. 2004.
- [2] S. Hayashida, T. Tanaka, H. Morishita, Y. Koyanagi, and K. Fujimoto, "Built-in half size of folded dipole antenna for handsets", *IEEE* 2004.
- [3] D. Sasaki, S. Hayashida, K. Imamura, H. Morishita, and M. Usami, "A Planar Folded Dipole Antenna for Handset", *IEEE International Workshop on Antenna Technology*. *IEEE* 2005.
- [4] H. Morishita, Y. Kim I, Y. Koyanagi, and K. Fujimoto, "A Folded Loop Antenna System for Handsets", *IEEE* 2001;
- [5] Roger F. Harrington, "*Field Computation by Moment Methods*", The Macmillan Company New York, 1968, Pp. 01 - 21; 63 - 81.
- [6] Matthew N. O. Sadiku, "Numerical Techniques in Electromagnetics". 2nd ed., Ed. New York: CRC Press LLC, 2001, Pp. 121 - 458.
- [7] D. R. de Mélo, V. A. Dmitriev, K. Q. da Costa e M. T. Reis, "Otimização da largura de banda de uma antena monopolo dobrada compacta (BMFA)". 5th International Information and Telecommunication Technologies Symposium (I2TS'2006), Várzea Grande - Cuiabá, 6 - 8 de dezembro de 2006 - Brasil.