

Aplicação do Método Linear dos Momentos com Funções-base do Tipo Pulso Retangular para Análise de Nanoantenas Cilíndricas

Rafael B.Dias e Karlo Q. da Costa

Resumo— Este trabalho apresenta uma análise numérica de nanoantenas cilíndricas de ouro. Esta análise foi feita através do método linear dos momentos (MoM), com uma impedância superficial e funções-base do tipo pulso retangular. Um programa computacional foi desenvolvido no Matlab para calcular a distribuição de corrente, o campo elétrico próximo e a frequência de ressonância principal. Alguns resultados obtidos foram comparados com resultados calculados pelo software CST.

Palavras-Chave— Nanoantenas cilíndricas, método dos momentos (MoM), impedância superficial.

Abstract— This paper presents a numerical analysis of gold cylindrical nanoantennas. This analysis was performed using the linear method of moments (MoM), with superficial impedance and rectangular pulse basis functions. A computer code was developed in Matlab to calculate the current distribution, electric near field, and the principal resonant frequency. Some results were compared with results calculated by the software CST.

Keywords— Cylindrical nanoantennas, method of moments (MoM), surface impedance.

I. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da nanotecnologia, hoje em dia é possível fabricar antenas na ordem de nanômetros, conhecidas como antenas ópticas. Estas estruturas podem transmitir, receber, confinar e amplificar a luz [1].

As técnicas conhecidas de modelagem e casamento de antenas de microondas não podem ser aplicadas diretamente para o caso de nanoantenas apenas mudando a escala, pois em frequências ópticas os metais possuem condutividade finita que varia com a frequência, sendo que este efeito é representado pela permissividade complexa do material. Além deste efeito, existem também as ressonâncias de plasma dos metais em frequências ópticas.

Na maioria dos problemas convencionais os condutores das antenas são considerados perfeitos. No caso de nanoantenas existirá uma impedância superficial que pode ser considerada no modelo tradicional para considerar as perdas dos metais em frequências ópticas [2].

No presente trabalho será analisada de forma numérica uma nanoantena formada por um cilindro de ouro com uma impedância superficial. O MoM Linear com funções-base do tipo pulso retangular é utilizado para resolver numericamente o problema de espalhamento de uma onda plana incidindo em uma nanoantena cilíndrica reta [3].

II. MODELAGEM MATEMÁTICA

A modelagem matemática do problema descrito na Fig. 1 foi realizada através da equação integral do campo elétrico no domínio da frequência [4],

$$\bar{E}_s = -j\omega\mu \int_c \frac{\bar{I} e^{-jkR}}{4\pi R} dl - \nabla \left(\frac{1}{j\omega\epsilon} \int_c \frac{dI}{dl} \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} dl \right) \quad (1)$$

$$(\bar{E}_s + \bar{E}_i) \bar{a}_t = Z_s I \quad (2)$$

Onde \bar{E}_i é uma onda plana que incide sobre a nanoantena cilíndrica de raio a e comprimento L , \bar{E}_s é a onda refletida, I , a corrente e Z_s , a impedância superficial determinada em [5]. A nanoantena está sobre o eixo x , e a onda plana se propaga na direção $+z$ com polarização em x .

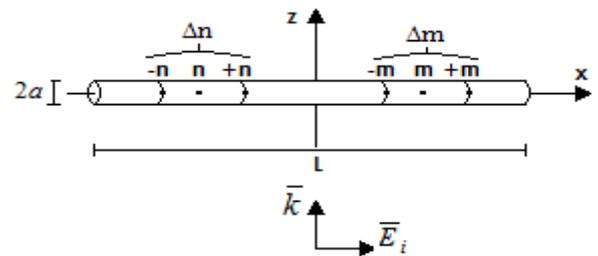


Fig. 1. Configuração do problema de espalhamento de uma onda plana incidindo sobre uma nanoantena cilíndrica de comprimento L e raio a .

Substituindo (1) em (2) e aplicando o método linear dos momentos com funções-base do tipo pulso retangular [4], obtemos o seguinte sistema linear

$$E^i(m)\Delta lm = \underbrace{Z_s I_m}_{Perdas} \Delta lm + \sum_{n=1}^N Z_{mn} I_n, m = 1, 2, \dots, N. \quad (3)$$

sendo Z_{mn} a impedância mútua entre os segmentos n em m (Fig. 1). Resolvendo este sistema linear, as correntes I_n são determinadas.

A partir da distribuição de corrente, os campos totais próximos e distantes podem ser calculados.

III. RESULTADOS NUMÉRICOS

A Fig. 2 apresenta a variação do campo elétrico da nanoantena em função da frequência, obtida pelo MoM Linear e pelo CST, no ponto $(x=L/2+a \text{ nm}, y=0, z=0)$, com $L=220 \text{ nm}$, $a=10 \text{ nm}$ e $N=9$, pois para este valor o método já

apresenta uma boa precisão e satisfaz a condição de estabilidade $\Delta L=L/N>2a$.

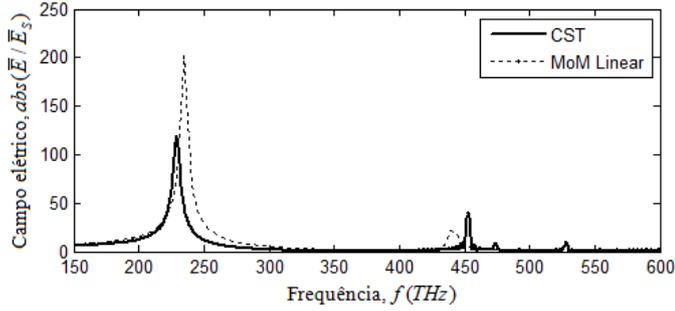


Fig. 2. Variação do campo elétrico normalizado no ponto $(x=L/2+a \text{ nm}, y=0, z=0)$ em função da frequência.

Nesta figura o maior pico de ressonância mostrado na região esquerda da curva representa o modo $\lambda/2$. A frequência de ressonância obtida para este modo foi de $f_{\lambda/2}=234,5\text{THz}$ para o MoM Linear e $f_{\lambda/2}=229,2\text{THz}$ para o CST. O valor obtido desta frequência em [6] é $f_{\lambda/2}=230,8\text{THz}$. Observa-se que estes resultados apresentam boa aproximação.

As Figs. 3-4 mostram como se comporta a corrente ao longo da nanoantena e a distribuição espacial do campo elétrico no plano $z=40 \text{ nm}$ respectivamente, calculadas na frequência de ressonância $f_{\lambda/2}$. Já a Fig. 5 mostra a variação do comprimento de onda ressonante em $\lambda/2$ em função de L e a , obtida de forma analítica em [3], pelo MoM Linear e o CST.

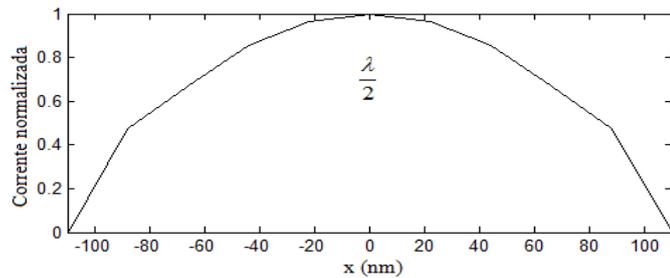


Fig. 3. Distribuição da corrente normalizada ao longo da nanoantena na frequência $f_{\lambda/2}=234,5 \text{ THz}$.

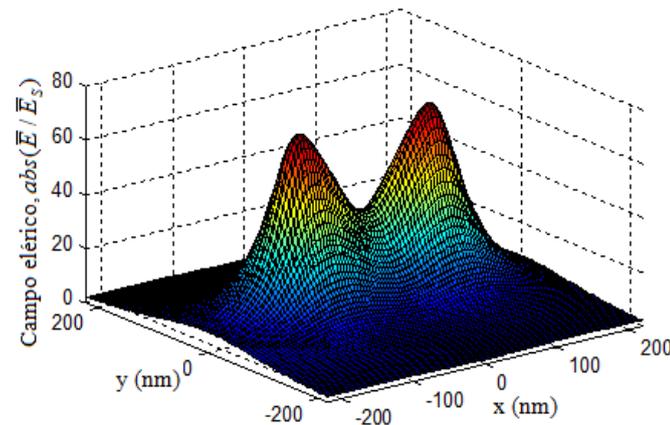


Fig. 4. Distribuição espacial do campo elétrico no plano $z=40 \text{ nm}$ na frequência $f_{\lambda/2}=234,5 \text{ THz}$.

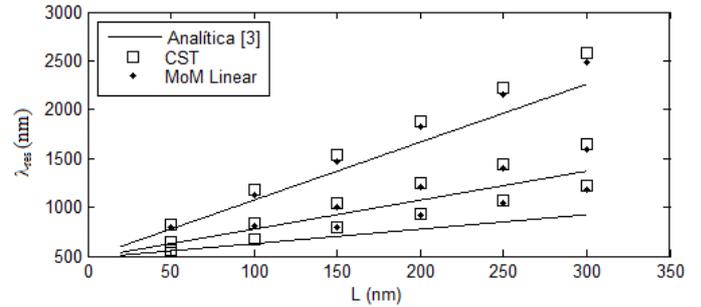


Fig. 5. Variação do comprimento de onda ressonante ($\lambda_{res}=3 \times 10^8/f_{\lambda/2}$) versus L para diferentes valores de a .

Através desta figura, observa-se que o MoM Linear não apresenta λ_{res} quando o raio tem um valor próximo do comprimento da antena, isto por que a condição $\Delta L=L/N>2a$ deve ser satisfeita. Também Estes resultados confirmam que a dependência linear de f_{res} em função de L é mantida, o que acontece para o caso das antenas lineares de microondas.

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada uma modelagem matemática simples e rápida para análise de nanoantenas cilíndricas. O modelo utiliza o MoM Linear com funções-base do tipo pulso retangular e uma impedância superficial para considerar as perdas. Os resultados obtidos apresentam boa concordância quando comparados com os resultados calculados de forma analítica e pelo CST. Com os resultados da Fig. 5, verificou-se que a melhor convergência com o CST ocorreu quando a antena possui maior raio, mas mantendo a condição de estabilidade $\Delta L=L/N>2a$. Acreditamos que a diferença observada para os casos com menor raio ocorreu porque as simulações no CST, nestes casos, deveriam ter sido feitas com uma discretização mais fina do que as utilizadas.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof Karlo Q. da Cosa pela orientação, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Campus de Tucuruí - UFPA.

REFERENCES

- [1] K. Q. da Costa e V. A. Dmitriev, “Estudo do campo próximo de nanoantenas formadas por partículas esféricas de ouro”, *Sbrt 2009*, Outubro 2009.
- [2] C. D. Angelis, et al, “Extending antenna theory to the optical domain”, *Proc. Of the 39th European Microwave Conference*, pp. 810-813, October 2009.
- [3] L. Novotny, “Effective wavelength for optical antennas”, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 98, pp. 266802(4), June 2007.
- [4] K. Q. da Costa, V. Dimitriev, Combination of Electric and Magnetic Dipoles with single element feeding for broadband applications, *Microwave and Optical Technology Letters*, USA, v. 48, p. 8-12, 2006. Apêndice I
- [5] K. Q. da Costa e V. A. Dmitriev, “Aplicação do método dos momentos linear para análise de nanoantenas cilíndricas”, submetido ao SBR’11 2011.
- [6] R. Kappeler, et. al., “Field computation of optical antennas”, *J. Comput. Theor. Nanosci.*, vol. 4, N3, PP. 686-691, 2007.