

Diagrama de irradiação de antena dipolo em campo próximo

George Montgomery Machado Chaves¹ e Maurício Henrique Costa Dias¹

Resumo—Este trabalho apresenta um método simples para calcular diagramas de irradiação em campo próximo para antenas dipolo. Partindo do mesmo princípio da solução para campo distante, mas sem assumir esta aproximação, é possível calcular-se as soluções de campo próximo (numericamente), e a partir delas os respectivos diagramas, para várias distâncias.

Palavras-Chave—Antena dipolo, campo próximo, diagrama de irradiação.

Abstract—This work presents a simple method to obtain near field radiation patterns for dipole antennas. Based on the same far field solution principle, but not assuming that approximation, the near field solution may be numerically computed. Knowing the fields, the corresponding radiation patterns (for various distances) may also be plotted.

Index Terms—Dipole antenna, near field, radiation pattern.

I. INTRODUÇÃO

Em Teoria de Antenas, o diagrama de irradiação é um parâmetro básico que representa o comportamento de distribuição espacial dos campos irradiados por uma antena [1-3]. Via de regra, os diagramas são calculados assumindo-se a condição de campo distante, na qual a frente de onda propagante pode ser tomada aproximadamente como um transversal eletromagnético (TEM). Sob estas condições, a distribuição espacial dos campos independe da distância entre a antena e o ponto de observação. Esta característica é bastante interessante, pois facilita a modelagem da propagação de onda para fins de dimensionamento de enlaces de comunicações, como na fórmula de Friis por exemplo [1-3].

De fato, a representação usual de diagramas de irradiação em campo distante é suficiente para maioria das aplicações. Entretanto, a caracterização de campo próximo se faz necessária em alguns casos, como em estudos de interferência por exemplo. Uma situação menos incomum do que possa parecer ocorre com sistemas de comunicações em HF, cujas antenas são relativamente grandes dado o comprimento de onda em questão (10-100 m). Um levantamento da distribuição de campo nas proximidades da antena baseado em diagramas de irradiação de campo distante pode não ser preciso e adequado o suficiente.

O comportamento de antenas em campo próximo se assemelha ao de um capacitor, pois as linhas de campo elétrico mais fortes partem de um filamento da antena e terminam no outro, formando “arcos” ao redor do ponto

central [3-4]. Calcular a distribuição de campo próximo de uma antena não é simples. Para antenas dipolo, por exemplo, os campos são dados por integrais sem solução fechada, ou seja, é preciso recorrer a soluções numéricas. Apesar da baixa complexidade computacional deste tipo de problema, referências bibliográficas consagradas sobre teoria de antenas [1-3] pouco comentam sobre a variação com a distância de campos próximos. Diante disto, este trabalho apresenta uma metodologia para calcular diagramas de irradiação em campo próximo para antenas dipolo de comprimento finito.

II. IRRADIAÇÃO DE ANTENA DIPOLO EM CAMPO DISTANTE

A Fig. 1 representa a geometria para cálculo de campo eletromagnético irradiado por uma antena dipolo com alimentação no ponto central (0). A antena é filamentar de diâmetro desprezível e está alinhada com o eixo z de um sistema de coordenadas retangulares. O ponto P(R, θ) onde se deseja calcular os campos é referenciado ao sistema de coordenadas esférico associado ao anterior.

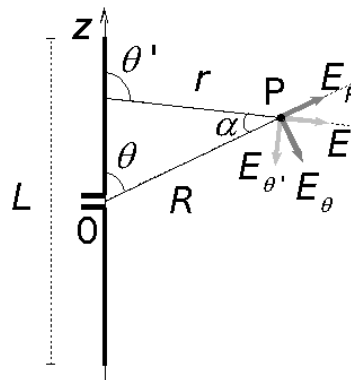


Fig. 1. Geometria para cálculo de campos de uma antena dipolo.

Considerando-se inicialmente que o comprimento da antena é infinitesimal ($L = \Delta z$), a partir da solução com base no potencial vetor magnético é possível chegar-se a expressões fechadas para os campos irradiados [1-3]. Esta antena é conhecida como “dipolo ideal”. A solução compreende campo elétrico nas direções R e θ , e magnético na direção ϕ . A componente (fasorial) de campo elétrico na direção θ é dada por [1-3]:

$$E_{\theta} = \frac{I_0 \cdot L \cdot e^{-j \cdot k \cdot R} \cdot \sin(\theta)}{4 \pi \epsilon_0} \left(\frac{j \cdot \omega}{c^2 \cdot R} + \frac{1}{c \cdot R^2} + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot R^3} \right) \quad (1)$$

onde I_0 é a corrente na antena, k é a constante de fase, ϵ_0 é a permissividade do espaço livre, ω é a frequência angular do sinal irradiado e c é a velocidade da luz.

(1) Seq Eng Ele, Inst Mil Eng (IME), Rio de Janeiro, Brasil, e-mails: george.montgomery@terra.com.br, mhcdias@ime.eb.br.

Uma solução para os campos de uma dipolo de comprimento L finito é dada considerando-se que a antena é formada por um número infinito de dipolos ideais. A distribuição de corrente em antenas dipolo é tipicamente senoidal (valor de pico I_0). Assumindo ainda campo distante, a componente radial de campo elétrico é desprezada e chega-se a expressões fechadas para os campos magnético (H_ϕ) e elétrico (E_θ) irradiados. O campo elétrico nesta aproximação é dado por [1-3]:

$$E_\theta = \frac{j60 I_0}{R} \left\{ \frac{\cos[k \cdot L \cdot \cos(\theta)/2] - \cos(k \cdot L/2)}{\sin(\theta)} \right\} \quad (2)$$

III. IRRADIAÇÃO DE ANTENA DIPLO EM CAMPO PRÓXIMO

Partindo da mesma idéia revista na seção anterior, mas sem considerar a aproximação de campo distante, o equacionamento dos campos é mais trabalhoso, mas pode ser calculado numericamente. Em linhas gerais, há dois cuidados principais a ser considerados. Em primeiro lugar, observando a Fig. 1, percebe-se que cada dipolo infinitesimal considerado na integração apresenta contribuições em ambas as direções fixas R e θ . O outro cuidado diz respeito ao aspecto vetorial da integração. Com isso, tomando-se a componente E_θ como exemplo, a integração necessária para seu cálculo é dada por:

$$E_\theta = \int_{-L/2}^0 [-dE_r \cdot \sin(\alpha) + dE_\theta \cdot \cos(\alpha)] + \int_0^{L/2} [dE_r \cdot \sin(\alpha) + dE_\theta \cdot \cos(\alpha)] \quad (3)$$

onde,

$$dE_{\theta'} = \frac{[I] \sin(\theta')}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{j \cdot \omega}{c^2 \cdot r} + \frac{1}{c \cdot r^2} + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot r^3} \right) dz \quad (4)$$

$$dE_{r'} = \frac{[I] \cos(\theta')}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{c \cdot r^2} + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot r^3} \right) dz \quad (5)$$

$$[I] = I_0 \cdot \sin \left[k \cdot \left(\frac{L}{2} - |z| \right) \right] \cdot e^{-j \cdot k \cdot r} \quad (6)$$

Para exemplificar o método proposto, tomou-se um dipolo de $\frac{1}{2}$ onda em 10 MHz ($L=15m$). A Fig. 2 apresenta o diagrama de irradiação normalizado do módulo de E_θ para 3 valores de R em campo próximo, e também o respectivo diagrama de campo distante. Os diagramas de E_r correspondentes estão ilustrados na Fig. 3. Em ambas as figuras, observa-se que as respostas de campo próximo são distintas das de campo distante, o que é coerente com o esperado teoricamente [3-4].

IV. COMENTÁRIOS FINAIS

O presente trabalho abordou uma metodologia simples para cálculo de diagrama de irradiação de antenas dipolo em campo próximo, problema pouco abordado em detalhes na literatura básica. O procedimento realizado pode ser útil para avaliações preliminares de problemas de interferência entre antenas em campo próximo. Preliminares, pois avaliação mais rigorosa incorporaria o efeito do acoplamento mútuo, não abordado aqui.

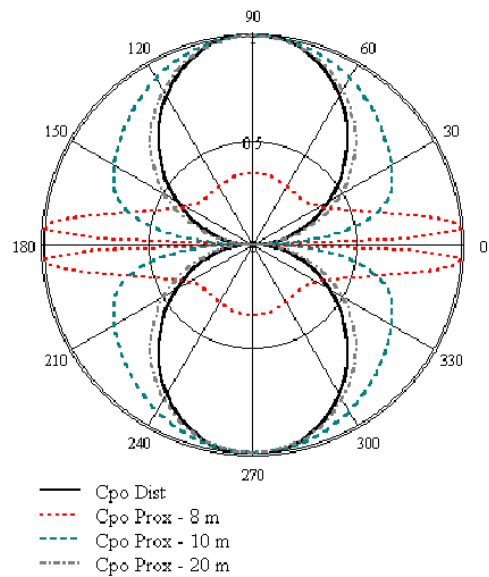


Fig. 2. Diagramas de irradiação da componente E_θ em campo próximo para um dipolo de $\frac{1}{2}$ onda.

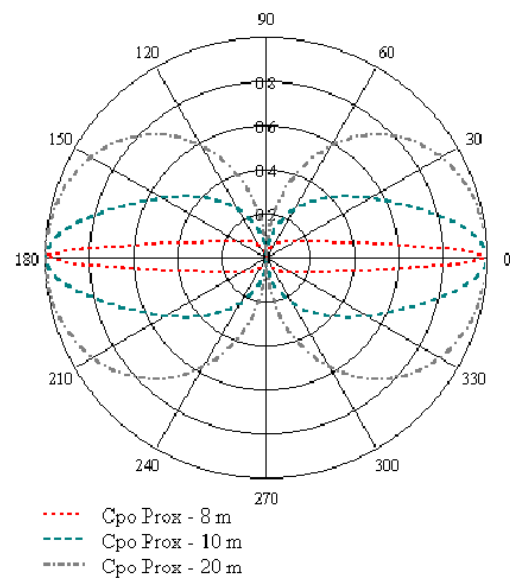


Fig. 3. Diagramas de irradiação da componente E_r em campo próximo para um dipolo de $\frac{1}{2}$ onda.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa PIBIC concedida ao primeiro autor como apoio a seu trabalho de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

- [1] J. D. Kraus, *Antennas*, 2nd ed., McGraw-Hill, 1988.
- [2] W. L. Stutzman e G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd ed., John Wiley & Sons, 1998.
- [3] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 2nd ed., John Wiley & Sons, 1997.
- [4] H. G. Schantz, "Electromagnetic energy around hertzian dipoles", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 43, no. 2, pp. 50-62, Abr. 2001.