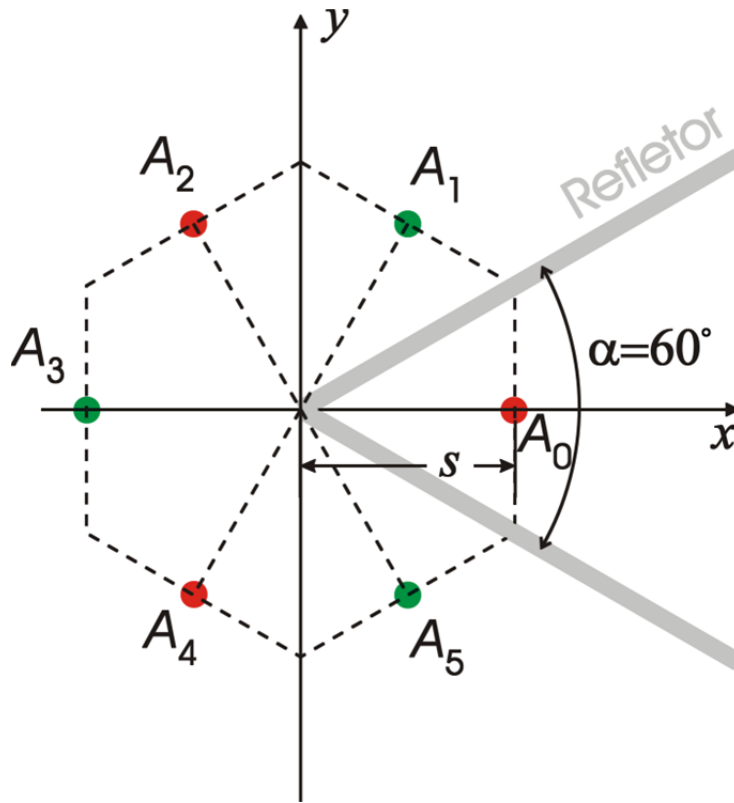


PUCRS – Escola Politécnica– Engenharia Elétrica

Antenas – T480 – exercício aula 31/10/2019

A figura abaixo representa esquematicamente um refletor de canto com ângulo de abertura $\alpha=60^\circ$ refletindo o campo eletromagnético gerado pelo dipolo A_0 , dipolo que é um cilíndrico de comprimento $L = 62.026$ cm e raio $a=8$ mm, paralelo ao eixo z do sistema cartesiano mostrado. Os demais dipolos A_k , $k=1,2,\dots, 5$, representam as imagens virtuais do dipolo A_0 geradas pela condição de campo elétrico tangencial nulo na superfície do refletor.



Sabe-se que o dipolo A_0 é excitado por um gerador senoidal de frequência $f = 435\text{MHz}$ e que o espaçamento entre o dipolo A_0 e o vértice do refletor de canto é $s = 93.039$ cm. Um acoplador de impedância entre o *port* do dipolo A_0 e o cabo coaxial que efetua a interligação com gerador faz o *port* operar sob máxima transferência de potência (*conjugate matching*). A potência entregue pelo gerador ao *port* nesta condição de operação é $P=350\text{W}$.

Assumindo que as dimensões do refletor de canto sejam suficientemente grandes para que os efeitos de difração e de *spillover* nas bordas do mesmo sejam desprezíveis, pede-se:

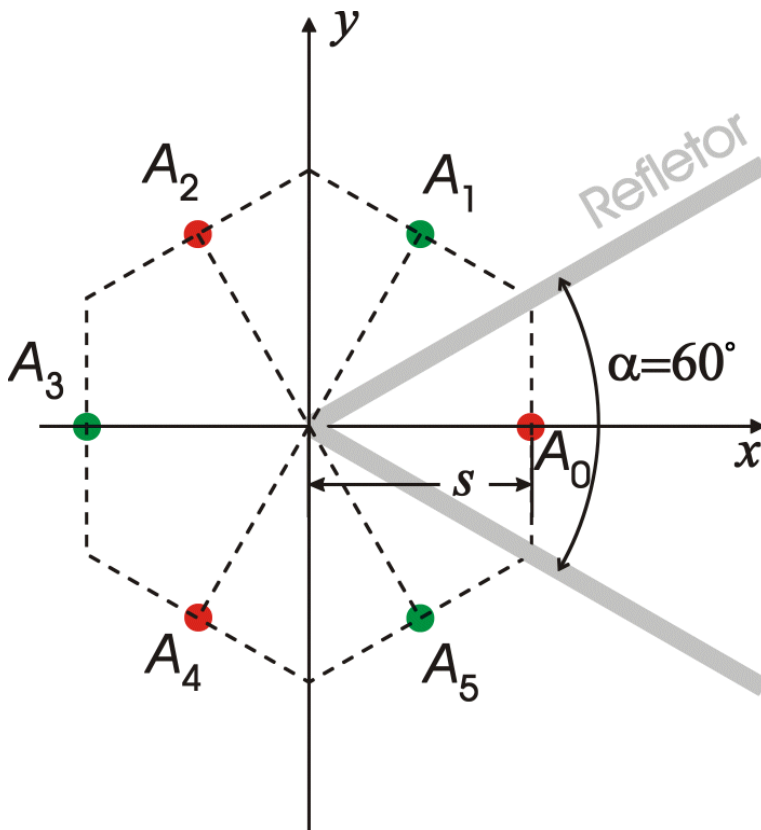
- Determine o ganho em dB deste refletor de canto em relação à antena isotrópica, ganho este calculado na direção de irradiação correspondente à direção do eixo x do sistema cartesiano.
- Determine o campo E_θ gerado por este refletor de canto em um ponto p situado no eixo x positivo do sistema cartesiano distante $r = 500$ Km do vértice do refletor.
- Plote os contornos do campo E_θ nos planos E e H a uma distância $r = 500$ Km do vértice do refletor.

Nota: Use $c= 2.99792458 \times 10^8$ m/s.

Solução :

$$f := 435 \cdot \text{MHz} \quad \lambda := \frac{c}{f} \quad \lambda = 0.689 \text{ m} \quad s := 1.35\lambda$$

$$s = 93.039 \cdot \text{cm} \quad P := 350 \text{ W} \quad r := 500 \text{ km}$$



Coordenadas do centro dos dipolos:

$$A_0: (s, 0, 0)$$

$$A_1: (s \cos 60^\circ, s \sin 60^\circ, 0)$$

$$A_2: (-s \cos 60^\circ, s \sin 60^\circ, 0)$$

$$A_3: (-s, 0, 0)$$

$$A_4: (-s \cos 60^\circ, -s \sin 60^\circ, 0)$$

$$A_5: (s \cos 60^\circ, -s \sin 60^\circ, 0)$$

Parâmetros geométricos dos dipolos A_k , $k=0,1,\dots,5$, na figura acima - Matriz C: coordenadas (x_k, y_k, z_k) [m] do centro de cada dipolo A_k , isto é $(x_k, y_k, z_k) = (C^{<0>}_k, C^{<1>}_k, C^{<2>}_k)$. Vetor L: tamanho [m] de cada dipolo, Vetor R: raio do cilindro que forma cada dipolo em [mm] :

$$C = \begin{pmatrix} 0.93 & 0 & 0 \\ 0.465 & 0.806 & 0 \\ -0.465 & 0.806 & 0 \\ -0.93 & 0 & 0 \\ -0.465 & -0.806 & 0 \\ 0.465 & -0.806 & 0 \end{pmatrix} \text{ m} \quad L = \begin{pmatrix} 62.026 \\ 62.026 \\ 62.026 \\ 62.026 \\ 62.026 \\ 62.026 \end{pmatrix} \cdot \text{cm} \quad R = \begin{pmatrix} 8 \\ 8 \\ 8 \\ 8 \\ 8 \\ 8 \end{pmatrix} \cdot \text{mm}$$

Distâncias entre o dipolo real A_0 e os dipolos virtuais A_k $k=1,\dots,5$, obtidas das coordenadas do centro dos dipolos dadas acima em $(C^{<0>}_k, C^{<1>}_k, C^{<2>}_k)$:

$$D_{0,1} = 0.93 \text{ m} \quad D_{0,2} = 1.611 \text{ m} \quad D_{0,3} = 1.861 \text{ m}$$

$$D_{0,5} = 0.93 \text{ m} \quad D_{0,4} = 1.611 \text{ m}$$

Calculando através do script Zi_CyDip.mcd a impedância própria $Z_{0,0}$ do dipolo A_0 , de tamanho $L_0 = 62.026 \cdot \text{cm}$:

$$Z_{0,0} = (455.326 - 189.325i) \cdot \Omega$$

Calculando através do script Zm_CyPDS.mcd e das distâncias acima obtidas as impedâncias mútuas $Z_{0,1}$, $Z_{0,2}$, $Z_{0,3}$, $Z_{0,5}$ e $Z_{0,4}$, respectivamente entre o dipolo A_0 e os dipolos virtuais A_k , $k=1, \dots, 5$, todos de tamanho $L_0 = 62.026 \cdot \text{cm}$:

$$Z_{0,1} = (-67.537 + 174.302i) \cdot \Omega \quad Z_{0,2} = (-61.495 + 98.148i) \cdot \Omega \quad Z_{0,3} = (100.62 - 11.897i) \cdot \Omega$$

$$Z_{0,5} = (-67.537 + 174.302i) \cdot \Omega \quad Z_{0,4} = (-61.495 + 98.148i) \cdot \Omega$$

Nota: Ambos *scripts* encontram-se disponibilizados no *link* "Antenas - Impedância de Dipolos Simétricos (código fonte C e script MathCad 2000) - Rev. 07/09/2003 - 322Kb (.zip)." em <http://www.feng.pucrs.br/~decastro/download.html>.

Assim, a impedância de entrada Z_e no port do dipolo A_0 distante $s = 93.039 \cdot \text{cm}$ do vértice do refletor de canto é dada por:

$$Z_e := Z_{0,0} + Z_{0,2} + Z_{0,4} - (Z_{0,1} + Z_{0,3} + Z_{0,5}) \rightarrow Z_e = (366.789 - 329.736i) \cdot \Omega$$

Do enunciado é dado que o *port* do dipolo A_0 opera sob máxima transferência de potência (*conjugate matching*), implicando que a potência $P = 350 \cdot \text{W}$ do gerador é integralmente entregue nos terminais do dipolo A_0 do refletor, Portanto, o valor de pico no tempo da corrente i_e no *port* do dipolo A_0 do refletor,:

$$P = 350 \cdot \text{W} \quad I_e := \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\text{Re}(Z_e)}} \quad I_e = 1.381 \text{ A}$$

Referindo a corrente I_e à posição de máxima corrente no dipolo A_0 (corrente de radiação), temos (Equação (33) - Cap IV):

$$I_{er} := \text{if} \left(L_0 > \frac{\lambda}{2}, \frac{I_e}{\sin\left(\frac{\pi \cdot L_0}{\lambda}\right)}, I_e \right) \quad I_{er} = 4.471 \text{ A}$$

Assim, as correntes de radiação I_k nos dipolos A_k , $k=0, \dots, 5$, são dadas pelo vetor:

$$I := (I_{er} \quad -I_{er} \quad I_{er} \quad -I_{er} \quad I_{er} \quad -I_{er})^T$$

Nota: O procedimento numérico $E\theta_GeneralDipoleArray(r, \lambda, L_k, C_k, I_k, \theta, \phi)$, utilizado a seguir, implementa o módulo da Equação (14) do Capítulo V mas com o tamanho L_k do k -ésimo elemento do array indexado por k , elemento que encontra-se situado nas coordenadas $(x_k, y_k, z_k) = (C^{<0>}_k, C^{<1>}_k, C^{<2>}_k)$, conforme expresso na equação abaixo:

$$E_\theta = \sum_{k=0}^{K-1} I_k e^{j \frac{2\pi}{\lambda} (x_k \sin \theta \cos \phi + y_k \sin \theta \sin \phi + z_k \cos \theta)} \left\{ \frac{\cos\left(\frac{L_k}{\lambda} \pi \cos \theta\right) - \cos\left(\frac{\pi L_k}{\lambda}\right)}{\sin \theta} \right\} \frac{60}{r} e^{j\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r + \frac{\pi}{2}\right)}$$

a) Ganho G do refletor sobre a antena isotrópica para $\eta=100\% = 1.0$ (não há perdas nas antenas) na direção de máxima radiação:

$$r_{far} := 100\lambda \quad E\theta_Refl := E\theta_GeneralDipoleArray(r_{far}, \lambda, L, C, I, 90\text{-deg}, 0) \quad E\theta_Refl = 39.351 \cdot \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

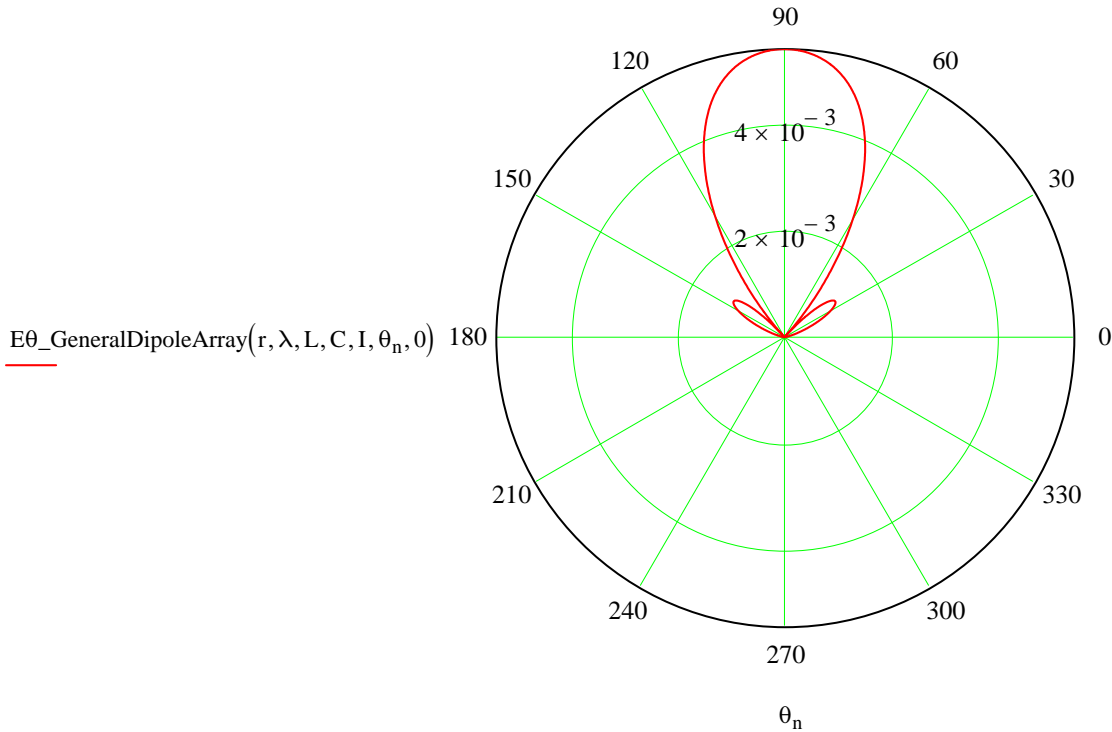
$$\frac{P}{4 \cdot \pi \cdot r_{far}^2} = \frac{\left(\frac{E\theta_Iso}{\sqrt{2}}\right)^2}{120 \cdot \pi} = S \rightarrow E\theta_Iso := \sqrt{\frac{60 \cdot \Omega \cdot P}{r_{far}^2}} \quad E\theta_Iso = 2.103 \cdot \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$G_{\text{dB}} := \left(\frac{E\theta_Refl}{E\theta_Iso}\right)^2 \quad G = 350.2 \text{ vezes} \quad G_{\text{dBi}} := 10 \cdot \log(G) \quad G_{\text{dBi}} = 25.4 \text{ dBi} \quad G_{\text{dBd}} := G_{\text{dBi}} - 2.151 \quad G_{\text{dBd}} = 23.3 \text{ dBd}$$

b) Campo E_θ em um ponto p situado no eixo x positivo do sistema cartesiano distante $r = 5 \times 10^5$ m do vértice do refletor:.

$$E_\theta := E_{\theta_GeneralDipoleArray}(r, \lambda, L, C, I, 90\text{-deg}, 0) \rightarrow E_\theta = 5.424 \times 10^{-3} \cdot \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

c) Contorno de $|E_\theta|$ no plano E em [V/m] a $r = 500\text{-km}$ do dipolo A_0 :



c) Contorno de $|E_\theta|$ no plano H em [V/m] a $r = 500\text{-km}$ do dipolo A_0 :

