PUCRS – Escola Politécnica – Engenharia Elétrica
Antenas – T480 – Exercício aula 03/10/2019

Seja um enlace *wireless* que utiliza duas antenas dipolo conforme a Figura 1(b) abaixo.

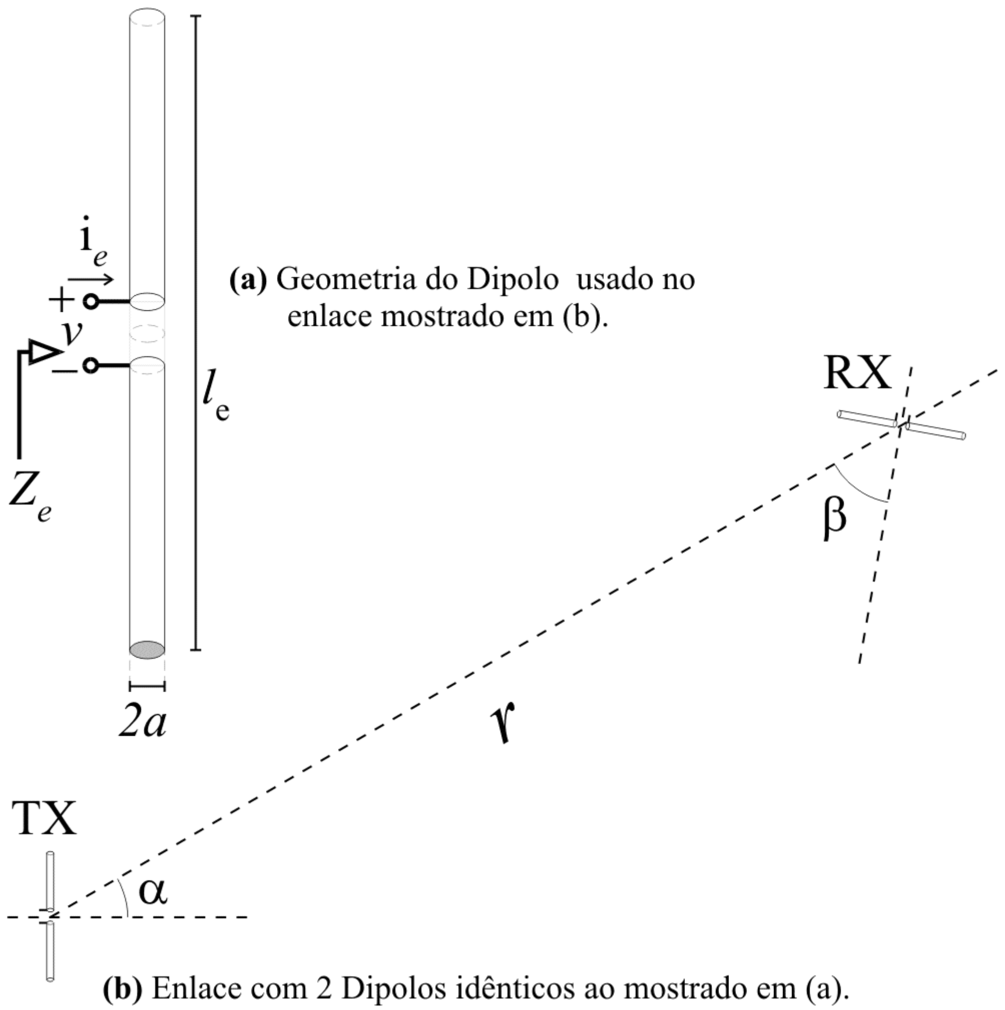

Figura 1: Enlace com duas antenas dipolo, geometricamente idênticas, operando em um ambiente que se aproxima das condições de propagação no espaço livre. Ambas as antenas possuem perdas ôhmicas e dielétricas desprezíveis e estão contidas no mesmo plano (plano da página), distando entre si $r = 100\text{Km}$, sendo $\alpha = 35^\circ$ e $\beta = 48^\circ$. Considere c = 2.99792458 $\times$ 10^8 m/s.

O dipolo TX é alimentado por um transmissor operando em $f =$ 5.2 MHz e cuja potência de saída é 50 KW (medida na situação operacional dada). Ambos os dipolos possuem as seguintes dimensões geométricas: l_e = 143 m e $a =$ 10 mm.

a) Determine o valor de pico da tensão v nos terminais da impedância de carga Z_L do dipolo RX sabendo que Z_L é resistiva e igual à parte real da impedância Z_e "vista" nos terminais do dipolo RX e que o circuito de acoplamento da antena RX insere uma reatância em série com Z_e de modo a tornar a antena ressonante para efeito de maximizar a transferência de potência à Z_L.

b) Utilizando a equação (18) do Cap IV da apostila, plote o contorno no plano E do campo elétrico $|E_\theta|$ em [V/m] a uma distância $r = 100\text{Km}$ em torno do dipolo TX.

Solução :

$f := 5.2 \cdot MHz$ $\quad a := 10 \cdot mm$ $\quad \lambda := \frac{c}{f}$ $\quad \lambda = 57.652m$ $\quad \alpha := 35 \cdot deg$ $\quad \beta := 48 \cdot deg$

$L = 143m$ $\quad r := 100 \cdot km$

Impedância de entrada Ze "vista" dos terminais do dipolo:

$$Ze := Zin\_Schelkunoff\left(\frac{a}{mm}, \frac{\lambda}{m}, \frac{L}{m}\right) \qquad Ze = (105.53 - 13.13i) \cdot \Omega$$

Do enunciado, o transmissor entrega uma potência P aos terminais do dipolo na situação operacional dada. Portanto, o valor de pico no tempo da corrente i_e e da tensão v nos terminais do dipolo é dado por:

$$P := 50 \cdot kW \qquad Ie := \sqrt{\frac{2 \cdot P}{Re(Ze)}} \qquad Ie = 30.783A$$

Daí

$$v := Ze \cdot Ie \qquad v = \left(3.249 \times 10^3 - 404.187i\right) \cdot V \quad |v| = 3.274 \times 10^3 \cdot V \qquad arg(v) = -7.092 \cdot deg$$

Referindo as correntes à posição de máxima corrente no dipolo (corrente de radiação), temos (vide Equação (33) - Cap IV):

$$Ie := if\left(L > \frac{\lambda}{2}, \frac{Ie}{\sin\left(\frac{\pi \cdot L}{\lambda}\right)}, Ie\right) \qquad |Ie| = 30.842A \qquad arg(Ie) = 0 \cdot deg$$

Resistência de radiação do dipolo (Equação (35) - Cap IV):

$$Rr := if\left(L > \frac{\lambda}{2}, Re(Ze) \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot L}{\lambda}\right)^2, Re(Ze)\right) \qquad Rr = 105.13\Omega$$

Ganho G do dipolo sobre a antena Isotrópica a um ângulo $\beta = 48 \cdot deg$ c/ o eixo do lobo principal do dipolo RX:

$r\_far := 100 \cdot \lambda$ → r_far: r para far field (r > 10λ – região de campo distante) →. $r\_far = 5.765 \cdot km$

$$E\theta Dip(r, \lambda, L, I, \theta) := \left| I \cdot \frac{60 \cdot \Omega}{r \cdot \sin(\theta)} \cdot \left(\cos\left(\frac{\pi \cdot L}{\lambda} \cdot \cos(\theta)\right) - \cos\left(\frac{\pi \cdot L}{\lambda}\right)\right) \right|$$

→ **Expressão de $|E_\theta|$ no campo distante de um dipolo simétrico - vide equação (18) do Cap IV da apostila.**

θ = 90° –β (vide figura enunciado)

⇓

$$E\theta\_Dip := E\theta Dip(r\_far, \lambda, L, Ie, 90deg - \beta) \quad \rightarrow \quad E\theta\_Dip = 0.393 \frac{V}{m}$$

→ Campo elétrico Eθ gerado pelo dipolo TX a uma distância r_far do mesmo.

Vetor de Poyinting S e campo elétrico Eθ_Iso gerados por uma antena isotrópica a uma distância r_far da antena quando o gerador entrega à mesma uma potência P:

⇓ ⇓

$$\frac{P}{4 \cdot \pi \cdot r\_far^2} = \frac{\left(\frac{E\theta\_Iso}{\sqrt{2}}\right)^2}{120 \cdot \pi \cdot \Omega} = S \quad \rightarrow \quad E\theta\_Iso := \sqrt{\frac{60 \cdot \Omega \cdot P}{r\_far^2}} \quad \rightarrow \quad E\theta\_Iso = 0.3 \cdot \frac{V}{m}$$

→ Campo elétrico Eθ gerado pela antena TX a uma distância r_far da mesma caso ela fosse uma antena isotrópica

$G := \left(\frac{E\theta\_Dip}{E\theta\_Iso}\right)^2$ $\quad G = 1.713$ vezes $\quad GdBi := 10 \cdot \log(G)$ $\quad GdBi = 2.34$ dBi

Area de Recepção Máxima:

$ARXmax := \frac{G\cdot\lambda^2}{4\cdot\pi}$ $\quad ARXmax = 453\,m^2$

Campo $E\theta$ em um ponto *p* distante $r = 100\cdot km$ do dipolo TX a um ângulo $\alpha = 35\cdot deg$ com o eixo principal do mesmo:

$$E\theta Dip(r,\lambda,L,I,\theta) := \left| I\cdot\frac{60\cdot\Omega}{r\cdot\sin(\theta)}\cdot\left(\cos\left(\frac{\pi\cdot L}{\lambda}\cdot\cos(\theta)\right) - \cos\left(\frac{\pi\cdot L}{\lambda}\right)\right)\right|$$

---> Expressão de $|E_\theta|$ no campo distante de um dipolo simétrico - vide equação (18) do Cap IV da apostila.

$E\theta := E\theta Dip(r,\lambda,L,Ie,90deg - \alpha)$ $\quad E\theta = 6.823\times10^{-3}\cdot\frac{V}{m}$

Vetor de Poynting em um ponto *p* distante $r = 100\cdot km$ do dipolo TX a um ângulo $\alpha = 35\cdot deg$ com o eixo principal do mesmo:

$Zfreespace := 120\cdot\pi\cdot\Omega$

$$S := \frac{\left(\frac{E\theta}{\sqrt{2}}\right)^2}{Zfreespace} \qquad S = 6.175\times10^{-8}\cdot\frac{W}{m^2}$$

Tensão Voc nos terminais do dipolo RX (idêntico ao TX) distante $r = 100\cdot km$ da TX:

$Voc := \sqrt{4\cdot ARXmax\cdot S\cdot Rr}$ $\quad Voc = 0.108\cdot V$ (rms)

Tensão V de pico nos terminais da impedância de carga do dipolo RX operando sob ressonância e máxima transferência de potência:

$Vrx := \frac{Voc}{2}\cdot\sqrt{2}$ $\quad Vrx = 0.077\cdot V$ (peak)

Da equação (18) do Cap IV da apostila,o contorno no plano E do campo elétrico $|E_\theta|$ em [V/m] a $r = 100\cdot km$ é: