Aula 12

Diretividade, Dipolo curto, Separação de Regiões, Campos de Fraunhofer, Fresnel e Campo Reativo

... Vamos continuar nossos estudos sobre Antenas Filamentares.

Continuaremos a Diretividade

Vimos que: $P_{rad} = \eta \left(\frac{\pi}{3}\right) \left| \frac{I_0 l}{\lambda} \right|^2$ (aula anterior)

Porém, a mesma equação pode ser obtida, usando a relação de Campo Distante, também da aula anterior, onde:

$$\vec{S} \equiv P_{med} = \frac{1}{2} \Re e \left(\vec{E} \times \vec{H}^* \right)$$

usando os valores de E_θ e H_ϕ p/ antenas filamentares em Campo Distante.

$$P_{med} = \frac{1}{2\eta} |E_\theta|^2 \, \hat{a}_r$$

$$\boxed{P_{med} = \frac{\eta}{2} \left| \frac{k I_0 l}{4\pi} \right|^2 \frac{\sin^2\theta}{r^2}}$$

A intensidade de radiação U é dada por:

$$\boxed{U = r^2 \cdot P_{rad} = \frac{\eta}{2}\left(\frac{k I_0 l}{4\pi}\right)^2 \sin^2\theta = \frac{r^2}{2\eta}\left|E_\theta(r,\theta,\phi)\right|^2}$$

usando $P_{rad} = \eta\left(\frac{\pi}{3}\right)\left|\frac{I_0 l}{\lambda}\right|^2$ e $U_{max} = \frac{\eta}{2}\left(\frac{k I_0 l}{4\pi}\right)^2$

A diretividade será:

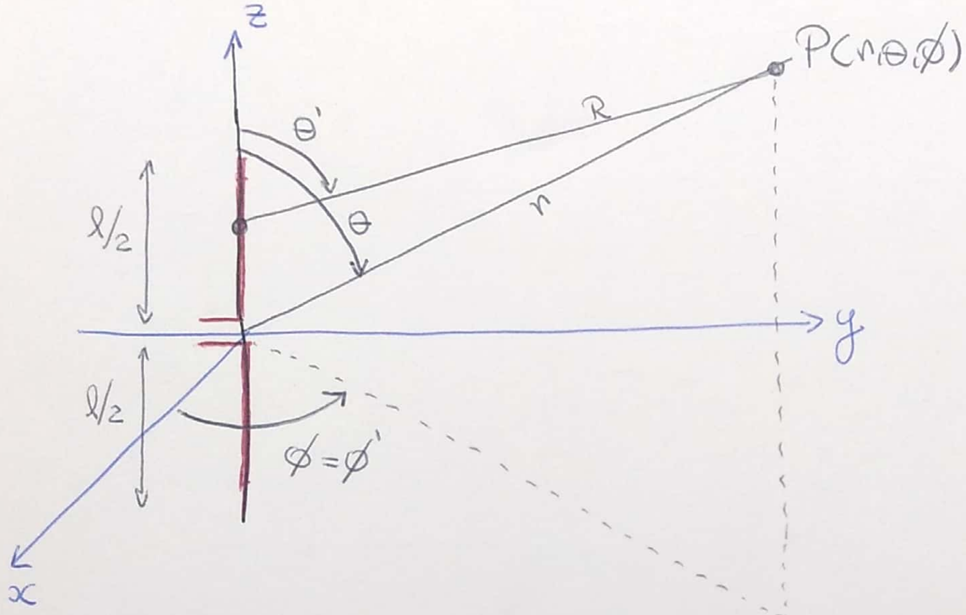
$$\boxed{D_0 = 4\pi\,\frac{U_{max}}{P_{rad}} = \frac{3}{2}}$$

e a máxima abertura efetiva como:

$$\boxed{A_{em} = \left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) D_0 = \frac{3\lambda^2}{8\pi}}$$

Dipolo Curto

Melhor representação p/ antenas filamentares de comprimento $\frac{\lambda}{50} < \ell \leq \frac{\lambda}{10}$ é:



A distribuição de corrente é dada por

$$I_e(x', y', z') = \begin{cases} I_0\left(1 - \frac{2}{\ell}z'\right)\hat{a}_z & 0 \leq z' \leq \ell/2 \\ I_0\left(1 + \frac{2}{\ell}z'\right)\hat{a}_z & -\ell/2 \leq z' \leq 0 \end{cases}$$

constante

Dado que o comprimento total do dipolo é muito pequeno, $R \cong r$, então, o Potencial Vetor Elétrico $(\vec{A})$, é:

$$\boxed{\vec{A} = A_z\hat{a}_z = \frac{1}{2}\left[\frac{\mu_0 I_0 \ell e^{-jkr}}{4\pi r}\right]}$$

p/ Campos Distantes (região de interesse)

de Dipolos Curtos

$\downarrow$

$$\left.\begin{array}{l} E_\theta \cong j\eta \dfrac{k I_0 \ell e^{-jkr}}{8\pi r} \sin\theta \\[2ex] \boxed{E_r \cong E_\phi = H_r = H_\theta = 0} \\[2ex] H_\phi \cong j \dfrac{k I_0 \ell e^{-jkr}}{8\pi r} \sin\theta \end{array}\right] \Rightarrow kr \gg 1$$

com impedância de:

$$\boxed{Z_{entrada} = \frac{E_\theta}{H_\phi} \simeq \eta}$$

e resistência de radiação de:

$$\boxed{R_r = \frac{2 P_{rad}}{|I_0|^2} = 20\pi^2 \left(\frac{\ell}{\lambda}\right)^2}$$

ou seja:

$$\boxed{R_r \Big|_{\text{Dipolo curto}} = \frac{1}{4} R_r \Big|_{\text{Dipolo infinitesimal}}}$$

Scanned by CamScanner

Separação de Regiões

Para analisar os campos radiados por dipolo de comprimento arbitrário, antes, façamos um resumo do Balanis (pg. 88-91), para as 3 regiões.

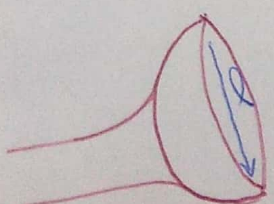
- Campo Próximo Reativo
- Campo Próximo Radiante (de Fresnel)
- Campo Distante (de Fraunhofer) → de maior interesse.

- Campo Distante (de Fraunhofer).

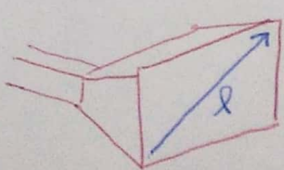
$$\boxed{r \geq 2\left(\frac{\ell^2}{\lambda}\right)}$$

↳ significa que, p/ manter o máximo erro de fase de uma antena igual ou menor que $\pi/8$ rad (22,5°), a distância de observação "r" deve ser igual ou maior que $\frac{2\ell^2}{\lambda}$, onde "ℓ" é a dimensão da estrutura da antena.

Para o caso de uma antena de abertura, "ℓ" é tomada como sendo sua diagonal.



ou



Campo Próximo Radiante (de Fresnel)

→ os campos se reduzem a integrais de Fresnel

Se o ponto de observação escolhido for a uma distância menor que $r = \frac{2\ell^2}{\lambda}$, o erro máximo de fase será maior que 22,5°, ⟶ e isto não é aceitável.

↓

Para fixar um erro de fase menor ou igual à $\frac{\pi}{8}$ rad, a distância r deve ser:

$$\boxed{r^2 \geq \frac{2}{3\sqrt{3}}\left(\frac{\ell^3}{\lambda}\right) = 0{,}385\left(\frac{\ell^3}{\lambda}\right)}$$

ou

$$\boxed{r \geq 0{,}62\sqrt{\ell^3/\lambda}}$$

isto significa que:

- Para antenas filamentares
- em Região de Campo Próximo Radiante

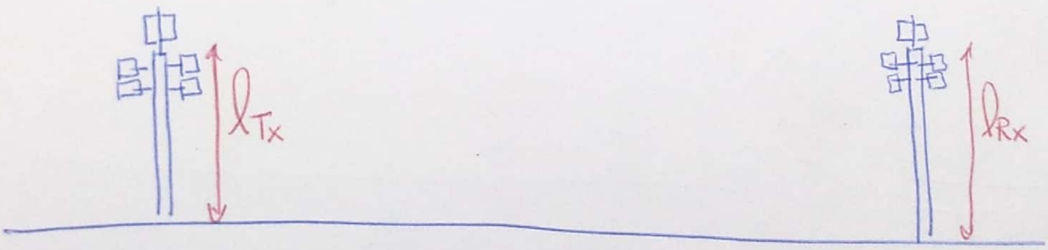
$$\boxed{2\ell^2/\lambda > r \geq 0{,}62\sqrt{\ell^3/\lambda}}$$

→ comprimento da antena

Esta região é referida como região de campo próximo radiante, pois a densidade de potência radiada é maior que a densidade de potência reativa, e o diagrama de campo é uma função da distância radial r.

Fato 1

Num rádio enlace, se a antena Tx tiver comprimento ℓ_{Tx} e antena receptora ~~tiver~~ tiver comprimento ℓ_{Rx}.



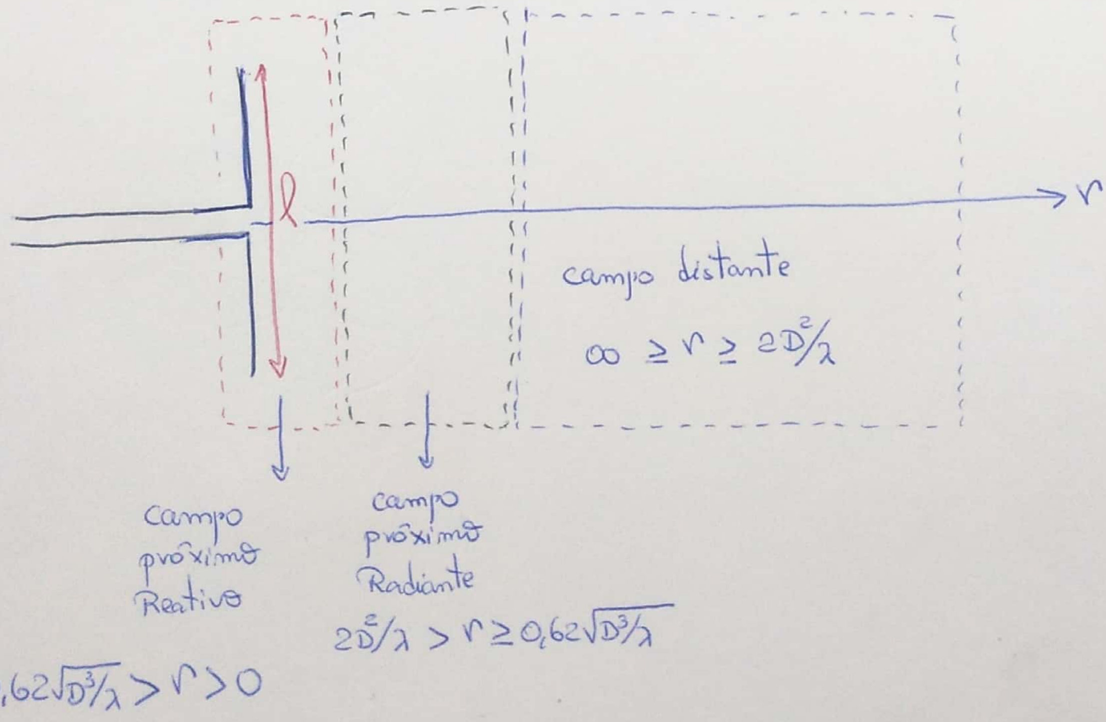
A soma $\ell_{Tx} + \ell_{Rx} = \ell$, deve ser usada na equação anterior.

Campo Próximo Reativo

Se a distância de observação for menor que a fronteira interna da região de Fresnel.

$$0{,}62\sqrt{\ell^3/\lambda} > r > 0$$

Em resumo:



$D = \ell$

A Eficiência de Radiação do Dipo Curto

Em geral: $e_{rad} = \dfrac{P}{P + P_o}$

$P \rightarrow$ pot. radiada

$P_o \rightarrow$ pot. dissipada por perdas ôhmica na antena. (geram ruído)

Após alguns algebrismos, podemos construir uma equação da eficiência de antenas filamentares de dipolo curto, como função da resistência:

$$\boxed{e_{rad} = \frac{R_{rad}}{R_{rad} + R_o}}$$

ou seja: $e_{rad} \downarrow$ qdo $R_o \uparrow$

- Antenas pequenas têm eficiência de radiação muito baixo
- baixa e_{rad} é aceitável em aplicações de recepção e de transmissão de baixa potência.
- Para antenas transmissoras de alta potência, a e_{rad} deve ser $\approx 100\%$

$\hookrightarrow$ por 2 motivos: $P_o \rightarrow$ custam dinheiro

Calor $\rightarrow$ eventualmente danifica a antena.

No dipolo ideal: $R_{rad} = 80\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2 \ \Omega$

qdo $l \ll \lambda$ ⟶ dipolo curto

$$\boxed{R_{rad} = 20\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2 \ \Omega}$$

Então: A resistência superficial ⟶ aquela que refere-se à capacidade da antena de transportar corrente axialmente — é:

$$\boxed{R_{sup} = \sqrt{\frac{\mu\omega}{2\sigma}}}$$

Enqto a resistência ôhmica está relacionada ao transporte da corrente — como função do seu comprimento (l), logo

$$\boxed{R_o = \frac{l}{2\pi a} \frac{R_{sup}}{3}}$$ dipolo curto

onde: a — diâmetro do fio usado p/ montar a antena.

Exemplo: Antena p/ automóveis

Uma antena monopolo de $h = 0,787 m = \ell$ montada no para-lama já foi usada p/ receber sinais de rádio AM e FM. A antena (tipo chicote) é feita de aço com diâmetro de 0,15875 cm, $f = 1 MHz$ ($\lambda = 300 m$), na banda AM.

Usando o modelo de monopolo curto, calcule a R_{rad}, R_{sup} e R_o. Dado: $\sigma = 2 \times 10^6$.

$$R_{rad} = \overset{20}{40\pi^2} \left(\frac{\ell}{\lambda}\right)^2 = 40\pi^2 \left(\frac{0,787}{300}\right)^2 = \overset{0,013\ \Omega}{0,00271\ \Omega}$$

$$R_{sup} = \sqrt{\frac{2\pi f \cdot 4\pi \times 10^{-7}}{2 \cdot \sigma}} = \sqrt{\frac{2\pi \cdot 10^6 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 2 \times 10^6}} = 1,405 \times 10^{-3}\ \Omega$$

$$R_o = \frac{\ell}{2\pi a} \frac{R_{sup}}{3} = \frac{0,787}{2\pi \cdot 1,5875 \times 10^{-3}} \cdot \frac{1,4 \times 10^{-3}}{3} = 0,0370\ \Omega$$

Agora calcule a e_{rad}.

$$e_{rad} = \frac{R_{rad}}{R_{rad} + R_o} = \frac{\overset{0,013}{0,00271}}{0,00271 + 0,0370} = \overset{3,54\%}{6,82\%}$$

A baixa e na recepção é compensada por uma antena grande com alta potência de transmissão.