



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Centro Tecnológico

Departamento de Engenharia Elétrica

Eletromagnetismo II

Profs. Responsáveis: Marcelo Segatto (segatto@ele.ufes.br)

Edson Cardoso (edson@ele.ufes.br) e Jair Silva (jair.silva@ufes.br)

Laboratório # I – Onda Plana

1. Objetivos

Nesta aula de laboratório o aluno deverá levantar a curva de radiação de uma antena monopolo utilizando uma antena bipolar e um analisador de espectro.

2. Conceitos Envolvidos

- Onda Plana
- Antena no Espaço Livre
- Diagrama de Irradiação

3. Teoria

3.1 - Propagação no Espaço Livre

Uma antena no espaço livre, emitindo uma potência P_T (W) igualmente repartida para todas as direções, fará com que a uma distância r , cada m^2 de área seja atravessado por uma quantidade $S_o = \frac{P_T}{4\pi r^2}$ dada em W/m^2 , chamada de densidade de potência, conforme ilustra a Figura 1.

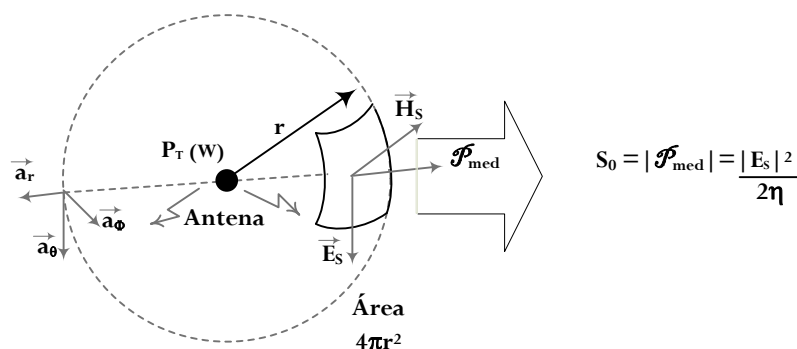


Figura 1 – Propagação no espaço livre

P_T é transportada pelos campos \vec{E} e \vec{H} da onda eletromagnética irradiada pela antena, que a uma distância r suficientemente grande (como será explicado mais adiante) possuem a seguinte forma fasorial:





UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Centro Tecnológico

Departamento de Engenharia Elétrica

$$\vec{E}_s = \frac{E_o}{r} e^{-j\beta r} \vec{a}_\theta \quad (\text{V/m}), \quad \vec{H}_s = \frac{H_o}{r} e^{-j\beta r} \vec{a}_\phi \quad (\text{A/m}) \quad (1)$$

$$\text{A partir destes campos obtém-se } S_o = \frac{1}{2} |\vec{E}_s| |\vec{H}_s| = \frac{|\vec{E}_s|^2}{2\eta}. \quad (2)$$

Porém, uma antena real não consegue repartir P_T igualmente para todas as regiões e por isso usa-se para representar os campos irradiados as seguintes expressões:

$$\vec{E}_s = \frac{E_o}{r} f(\theta, \phi) e^{-j\beta r} \vec{a}_\theta \quad \vec{H}_s = \frac{H_o}{r} f(\theta, \phi) e^{-j\beta r} \vec{a}_\phi \quad (3)$$

A função $f(\theta, \phi)$ define o diagrama de irradiação da antena, a partir do qual consegue-se determinar a região de maior potência. Se $f(\theta, \phi) = 1$, a potência é igualmente repartida para todas as direções (antena isotrópica hipotética). Se $f(\theta, \phi) = \sin\theta$ a antena é omnidirecional.

Para mostrar que a onda se propaga no modo TEM (transversal eletromagnético) é necessário lembrar que a onda eletromagnética tem sua origem na corrente $I = I_o \cos(\omega t)$ no condutor da antena. Um elemento de corrente Idl é chamado dipolo Hertziano e as expressões para os campos \vec{E} e \vec{H} a uma distância r da antena são obtidos a partir do potencial vetorial magnético $\vec{A} = \frac{\mu Idl}{4\pi r} \vec{a}_z$. Com $I = \text{Re}[I_o e^{j(\omega t - \beta r)}]$, escreve-se \vec{A} na forma fasorial $\vec{A}_s = \frac{\mu I_o dl}{4\pi r} e^{-j\beta r} \vec{a}_z$.

Transformando \vec{A}_s de coordenadas cartesianas (x, y, z) para coordenadas esféricas (r, θ, ϕ) fazendo $\vec{A}_s = A_{rs} \vec{a}_r + A_{\theta s} \vec{a}_\theta + A_{\phi s} \vec{a}_\phi$, onde $A_{rs} = A_{zs} \cos\theta$, $A_{\theta s} = -A_{zs} \sin\theta$ e $A_{\phi s} = 0$, e sabendo que $\vec{B}_s = \mu \vec{H}_s = \nabla \times \vec{A}_s$, obtém-se as componentes de \vec{H}_s

$$H_{\phi s} = \frac{I_o dl}{4\pi} \sin\theta \left[\frac{j\beta}{r} + \frac{1}{r^2} \right] e^{-j\beta r}, \quad H_{rs} = 0 = H_{\theta s}$$

A partir de $\nabla \times \vec{H}_s = j\omega \epsilon \vec{E}_s$, obtém-se as componentes de \vec{E}_s :

$$E_{rs} = \frac{\eta I_o dl}{2\pi} \cos\theta \left[\frac{1}{r^2} - \frac{j}{\beta r^3} \right] e^{-j\beta r}, \quad E_{\theta s} = \frac{\eta I_o dl}{4\pi} \sin\theta \left[\frac{j\beta}{r} + \frac{1}{r^2} - \frac{j}{\beta r^3} \right] e^{-j\beta r} \quad \text{e} \quad E_{\phi s} = 0$$

Na região de campo distante, $r > \frac{2d^2}{\lambda}$, onde d é a maior dimensão da antena, pode-se desprezar os termos $1/r^3$ e $1/r^2$, restando:

$$H_{\phi s} = \frac{j I_o \beta dl}{4\pi r} \sin\theta e^{-j\beta r} \quad \text{e} \quad E_{\theta s} = \eta H_{\phi s}$$





UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Centro Tecnológico

Departamento de Engenharia Elétrica

Percebe-se que estes campos têm a mesma forma da equação (3). As amplitudes decaem em função de $1/r$. Obtém-se assim uma onda esférica (os pontos de fase constante formam superfícies esféricas) de modo TEM. Ressalta-se que para uma antena monopolo com $d = 7,5$ cm irradiando em $f = 1$ GHz, encontra-se $\lambda = c/f = 30$ cm e região de campo distante para $r > 3,75$ cm.

3.2 – Unidades Logarítmicas

dB: Exprime a relação entre dois valores de potência através de $10 \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = X \text{ dB}$

dBm (dB em relação a 1mW): Unidade de potência P.

4. Experimento

A Figura 2 apresenta o *setup* experimental desta aula de laboratório. O aparato consiste de uma antena monopolo A1 conectada ao oscilador FO de frequência $f_c = 1$ GHz e de uma antena bipolar A2 conectada ao analisador de espectro AnE.

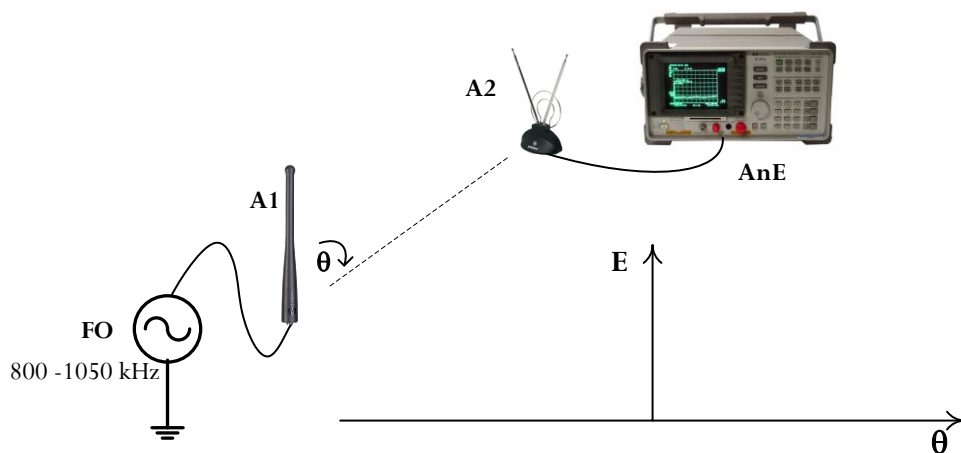


Figura 2 - Setup Experimental.

Use o gráfico $E \times \theta$ da Figura para traçar o diagrama de radiação do monopolo variando o ângulo θ e medindo a potência de sinal mostrada no analisador de espectro.

5. Análise

Use um software de computação (o Matlab por exemplo) para traçar um gráfico ilustrativo da curva levantada durante o experimento. Comente o resultado obtido nos quesitos variação do ângulo θ , máxima e mínima potência irradiadas.

