



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 # IV – Linha Fendida

1. Objetivos

Nesta aula de laboratório o aluno terá a oportunidade de analisar os efeitos de propagação de sinais de alta frequência em uma linha fendida casada, descasada e em circuito aberto. Cálculos de taxa de onda estacionária e de coeficiente de reflexão deverão ser comparados com os obtidos nos “setups” experimentais explorados.

2. Conceitos Envolvidos

- Campos Eletromagnéticos guiados
- Coeficiente de reflexão e Taxa de Onda Estacionária (TOE)
- Casamento de Impedância

3. Teoria

3.1 – Linha de Transmissão em Regime Estacionário

A Figura 1 ilustra um modelo de análise matemática de uma linha no caso mais simples em que considere-se o regime estável senoidal. Assim, considere-se que o gerador aplica uma tensão senoidal na linha e que em um trecho elementar da linha dx os parâmetros são concentrados. A impedância do trecho infinitesimal $Z'dx$ (para Z' a impedância por metro de linha) opõem-se à passagem de corrente provocando uma queda de tensão dV , da mesma forma em que a admitância de um condutor a outro $Y'dx$ permite a “fuga” de corrente dI .

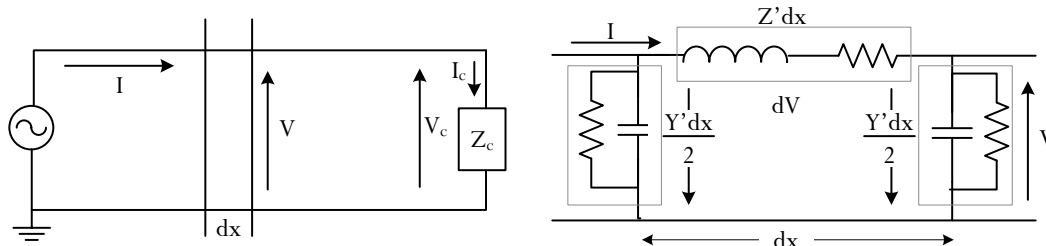


Figura 1 - Modelo típico de análise matemática de uma linha de transmissão e um elemento infinitesimal de linha.

Demonstra-se matematicamente que, admitindo-se uma tensão exponencial no trecho infinitesimal da linha $V = V_0 e^{(\gamma x)}$, para $\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{Z' \cdot Y'} = \sqrt{(R' + j\omega L')(G' + j\omega C')}$ a constante de propagação, sendo α a constante de atenuação e β a constante de fase, as seguintes relações da queda de tensão e da fuga de corrente abaixo descritas, as quais permitem deduzir o comportamento da linha.

$$V = V_c \frac{(Z_c + Z_0)}{2Z_c} [e^{(\gamma x)} + \Gamma \cdot e^{-(\gamma x)}] \quad (1)$$

$$I = I_c \frac{(Z_c + Z_0)}{2Z_0} [e^{(\gamma x)} - \Gamma \cdot e^{-(\gamma x)}] \quad (2)$$



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Centro Tecnológico

Departamento de Engenharia Elétrica

Nas equações (1) e (2) acima descritos, Z_c e $Z_0 = \sqrt{Z'/Y'}$ são respectivamente a impedância da carga e a impedância característica da linha, $e^{(\gamma x)}$ a onda incidente na terminação da linha, $\Gamma \cdot e^{-(\gamma x)}$ a onda refletida na terminação e Γ o coeficiente de reflexão dado por

$$\Gamma = \frac{Z_c - Z_0}{Z_c + Z_0} \quad (3)$$

Percebe-se pela equação (3) que o coeficiente de reflexão que representa a razão entre a onda refletida e a incidente é sempre inferior a 1. Quando a terminação é uma carga casada com a impedância da linha, este é idealmente igual a zero. Este coeficiente é igual a -1 e +1 quando a linha é terminada em curto e em circuito aberto respectivamente. Outra relação matemática muito importante neste tipo de análise é a que permite determinar a impedância $Z = V/I$ em qualquer ponto da linha fazendo,

$$Z = Z_0 \frac{e^{(\gamma x)} + \Gamma \cdot e^{-(\gamma x)}}{e^{(\gamma x)} - \Gamma \cdot e^{-(\gamma x)}} \quad (4)$$

Ressalta-se que para altas frequências as formulações acima descritas são simplificadas pelo fato de que em altas frequências as linhas são consideradas quase sem perdas. Isto é, a resistência e a condutância tornam-se desprezíveis ante os efeitos da reatância e a suscetância. Nesta situação pode-se fazer $Z_0 = \sqrt{L'/C'} = R_0$ e $\gamma = j\beta = j\omega\sqrt{L'C'}$.

4. Experimento

A Figura 2 ilustra o *setup* experimental a ser utilizado para medir o Coeficiente de Reflexão Γ e a Taxa de Onda Estacionária TOE em cada uma das configurações experimentadas. Para a linha casada com carga resistiva de 50Ω , a linha descasada com uma carga resistiva de 200Ω e com a Antena Dipolo de meia onda disponível, a linha em circuito aberto, alimente a linha fendida com um sinal senoidal centrado em $f_c = 1 \text{ GHz}$.

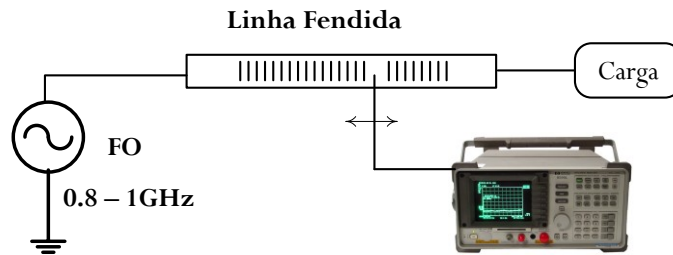


Figura 2 – Setup experimental para a transmissão em Linha Fendida.

Para cada uma das configurações acima citados, execute a sequência de tarefas abaixo relacionada. Considere que a impedância da Antena Dipolo é igual a $Z_c = 73 + j40,2$.

- Encontre e meça o valor de tensão nos pontos de máximo e mínimo ($V_{m\acute{a}x}$ e $V_{m\acute{i}n}$) ao longo da linha;
- Calcule o TOE = $S = \frac{V_{m\acute{a}x}}{V_{m\acute{i}n}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$ a partir dos valores medidos;
- Verifique se o padrão de onda estacionária se repete a cada $\frac{\lambda}{2}$ percorrida na linha fendida;



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Centro Tecnológico

Departamento de Engenharia Elétrica

- d) Calcule o coeficiente de reflexão Γ teórico em cada um dos casos;
- e) Calcule o TOE correspondente a cada coeficiente calculado acima;
- f) Compare o TOE teórico com o TOE medido.

5. Análises

Comente os resultados medidos com os calculados nas diversas configurações. Que comentários consegue tecer acerca do TOE encontrado no caso em que a linha é terminada pela Antena. Indique e justifique uma possível solução para o problema de descasamento de impedância ocorrido nesta situação.
