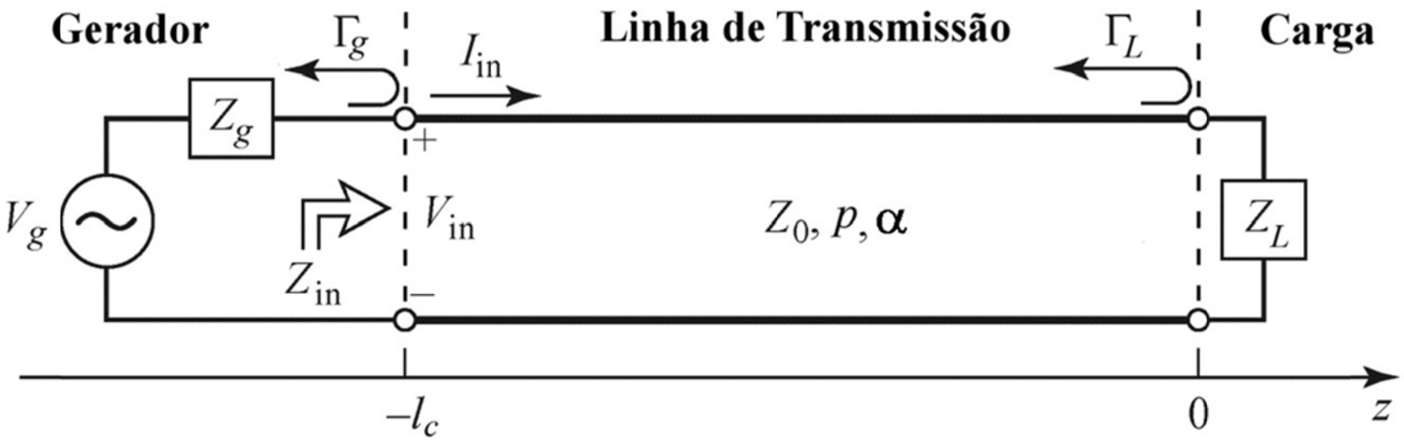
PUCRS – Escola Politécnica – Engenharia Elétrica

Microondas – T480 – 2° exercício aula 06/09/2019 (linha c/ perdas e SWR medida na entrada)

Um transmissor (TX) representado pelo “Gerador” na figura baixo opera em 3.5GHz e é conectado através de uma linha de transmissão a uma antena cuja impedância de entrada é representada pela impedância Z_L na figura abaixo. A linha de transmissão é um cabo coaxial de $l_c = 15$m de comprimento com impedância característica $Z_0 = 50\,\Omega$ e fator de perdas $\alpha = 3.6$dB/100m. O descasamento entre a impedância de carga Z_L e a impedância característica Z_0 do cabo é tal que a VSWR (=ROE) <u>medida na entrada do cabo</u> é VSWR=5.0.



Para a situação operacional dada **determine**:

(a) A perda (atenuação) de potência em dB do cabo de comprimento l_c na situação operacional com a VSWR dada.

(b) A perda (atenuação) de potência em dB do cabo de comprimento l_c na situação operacional em que a VSWR=1.0.

(c) Determine a perda (atenuação) de potência adicional em dB em relação a situação (b) que o cabo exibe pelo fato de operar com o valor de VSWR > 1.0 dado no enunciado.

<u>Homework</u>**:** Refazer este exercício p/ $\alpha = 1.8$dB/100m.

<u>Referências bibliográficas</u>

[1] Microwave Engineering 4th - Pozar - JohnWiley & Sons – 2012

[2] Microwave and RF Design: A Systems Approach - Steer - SciTech Publishing, Inc. - 2010

Solução :

Do enunciado são dados:

$\alpha := 3.6\frac{1}{m}$ → perda no cabo em dB/100m $\quad \alpha := \frac{\alpha}{100 \cdot 8.686}$ → $\alpha = 4.145 \times 10^{-3}\, m^{-1}$ → perda no cabo em Np/m

$Zo := 50\Omega$ → Impedância característica do cabo

$lc := 15 \cdot m$ → Comprimento do cabo

$SWRi := 5$ → ROE medida na entrada do cabo

a) A relação entre coeficiente de reflexão e ROE na entrada e saída do cabo é:

$|\Gamma i| = |\Gamma L| \cdot e^{-2\cdot\alpha\cdot lc}$ → Relação entre o módulo do coeficiente de reflexão Γi na entrada do cabo e o módulo do coeficiente de reflexão ΓL na saída do cabo (vide (2.90) de [1])

$|\Gamma i| = \frac{SWRi - 1}{SWRi + 1}$ → SWRi é a ROE medida na entrada do cabo

$|\Gamma L| = \frac{SWRL - 1}{SWRL + 1}$ → SWRL é a ROE medida na saída do cabo (medida na carga ZL)

Das relações acima:

$$\frac{|\Gamma i|}{|\Gamma L|} = e^{-2\cdot\alpha\cdot lc} = \frac{\frac{SWRi-1}{SWRi+1}}{\frac{SWRL-1}{SWRL+1}}$$

Isolando SWRL:

$$SWRL := \frac{\frac{e^{-2\cdot\alpha\cdot lc}\cdot(SWRi + 1)}{SWRi - 1} + 1}{\frac{e^{-2\cdot\alpha\cdot lc}\cdot(SWRi + 1)}{SWRi - 1} - 1} \quad \rightarrow \quad SWRL = 7.161$$

O módulo do coeficiente de reflexão na entrada e na saída do cabo (na carga) é:

$$|\Gamma L| = \frac{SWRL - 1}{SWRL + 1} \quad \rightarrow \quad |\Gamma L| = 0.755$$

$$|\Gamma i| = \frac{SWRi - 1}{SWRi + 1} \quad \rightarrow \quad |\Gamma i| = 0.667$$

A potência PL na saída do cabo e a potência Pin na entrada do cabo são dadas por:

$$PL = \frac{(|VoP|)^2}{Zo}\cdot\left[1 - (|\Gamma L|)^2\right]$$ (eq (2.93) de [1])

$$Pin = \frac{(|VoP|)^2}{Zo}\cdot\left[e^{2\cdot\alpha\cdot lc} - (|\Gamma L|)^2\cdot e^{-2\cdot\alpha\cdot lc}\right]$$ (eq (2.92) de [1])

A expressão -10log(PL/Pin) define em dB a atenuação de potência "Att" do cabo de comprimento lc:

$$Att := -10\cdot\log\left[\frac{\left[1 - (|\Gamma L|)^2\right]}{\left[e^{2\cdot\alpha\cdot lc} - (|\Gamma L|)^2\cdot e^{-2\cdot\alpha\cdot lc}\right]}\right] \qquad Att = 1.652 \text{ dB}$$

Note que a expressão de Att acima independe de Zo ser real (linha sem perdas) ou Zo ser complexa (linha com perdas).

b) Se SWRi=1.0 então a consequência é SWRL=1.0 (vide acima expressão de SWRL em função de SWRi) e, portanto, resulta que $\Gamma L := 0$ **. Daí, a atenuação de potência "Att1_1" do cabo de comprimento lc sob SWRi=SWRL=1.0 é:**

$$Att1\_1 := -10 \cdot \log\left[\frac{\left[1-\left(\left|\Gamma L\right|\right)^2\right]}{\left[e^{2\cdot\alpha\cdot lc}-\left(\left|\Gamma L\right|\right)^2\cdot e^{-2\cdot\alpha\cdot lc}\right]}\right] \qquad Att1\_1 = 0.54 \quad \text{dB}$$

c) A atenuação de potência adicional "Att_add" que o cabo exibe pelo fato de operar com o valor de VSWR > 1.0 dado no enunciado é calculada através de:

$$Att\_add := Att - Att1\_1 \qquad Att\_add = 1.112 \quad \text{dB}$$

<u>Moral da estória</u>: Sempre fazer um cabo com perdas operar com a menor VSWR possível para efeito de minimizar a perda de potência adicional à perda de potência intrínseca do cabo (definida pelo fator de perdas α do cabo), perda adicional que é imposta pelo fato de a VSWR não ser unitária.

Solução :

Do enunciado são dados:

$\alpha := 1.8\frac{1}{m}$ → perda no cabo em dB/100m $\qquad \alpha := \frac{\alpha}{100 \cdot 8.686}$ → $\alpha = 2.072\times 10^{-3}\,m^{-1}$ → perda no cabo em Np/m

$Zo := 50\Omega$ → Impedância característica do cabo

$lc := 15 \cdot m$ → Comprimento do cabo

$SWRi := 5$ → ROE medida na entrada do cabo

a) A relação entre coeficiente de reflexão e ROE na entrada e saída do cabo é:

$|\Gamma i| = |\Gamma L| \cdot e^{-2\cdot\alpha\cdot lc}$ → Relação entre o módulo do coeficiente de reflexão Γi na entrada do cabo e o módulo do coeficiente de reflexão ΓL na saída do cabo (vide (2.90) de [1])

$|\Gamma i| = \frac{SWRi - 1}{SWRi + 1}$ → SWRi é a ROE medida na entrada do cabo

$|\Gamma L| = \frac{SWRL - 1}{SWRL + 1}$ → SWRL é a ROE medida na saída do cabo (medida na carga ZL)

Das relações acima:

$$\frac{|\Gamma i|}{|\Gamma L|} = e^{-2\cdot\alpha\cdot lc} = \frac{\frac{SWRi-1}{SWRi+1}}{\frac{SWRL-1}{SWRL+1}}$$

Isolando SWRL:

$$SWRL := \frac{\frac{e^{-2\cdot\alpha\cdot lc}\cdot(SWRi + 1)}{SWRi - 1} + 1}{\frac{e^{-2\cdot\alpha\cdot lc}\cdot(SWRi + 1)}{SWRi - 1} - 1} \quad \rightarrow \quad SWRL = 5.883$$

O módulo do coeficiente de reflexão na entrada e na saída do cabo (na carga) é:

$$|\Gamma L| = \frac{SWRL - 1}{SWRL + 1} \quad \rightarrow \quad |\Gamma L| = 0.709$$

$$|\Gamma i| = \frac{SWRi - 1}{SWRi + 1} \quad \rightarrow \quad |\Gamma i| = 0.667$$

A potência PL na saída do cabo e a potência Pin na entrada do cabo são dadas por:

$$PL = \frac{(|VoP|)^2}{Zo}\cdot\left[1 - (|\Gamma L|)^2\right] \qquad \text{(eq (2.93) de [1])}$$

$$Pin = \frac{(|VoP|)^2}{Zo}\cdot\left[e^{2\cdot\alpha\cdot lc} - (|\Gamma L|)^2\cdot e^{-2\cdot\alpha\cdot lc}\right] \qquad \text{(eq (2.92) de [1])}$$

A expressão -10log(PL/Pin) define em dB a atenuação de potência "Att" do cabo de comprimento lc:

$$Att := -10\cdot\log\left[\frac{\left[1 - (|\Gamma L|)^2\right]}{\left[e^{2\cdot\alpha\cdot lc} - (|\Gamma L|)^2\cdot e^{-2\cdot\alpha\cdot lc}\right]}\right] \qquad Att = 0.756 \ \ \textbf{dB}$$

Note que a expressão de Att acima independe de Zo ser real (linha sem perdas) ou Zo ser complexa (linha com perdas).

b) Se SWRi=1.0 então a consequência é SWRL=1.0 (vide acima expressão de SWRL em função de SWRi) e, portanto, resulta que $\Gamma L := 0$. Daí, a atenuação de potência "Att1_1" do cabo de comprimento lc sob SWRi=SWRL=1.0 é:

$$Att1\_1 := -10 \cdot \log\left[\frac{\left[1-\left(\left|\Gamma L\right|\right)^2\right]}{\left[e^{2\cdot\alpha\cdot lc}-\left(\left|\Gamma L\right|\right)^2\cdot e^{-2\cdot\alpha\cdot lc}\right]}\right] \qquad Att1\_1 = 0.27 \quad \textbf{dB}$$

c) A atenuação de potência adicional "Att_add" que o cabo exibe pelo fato de operar com o valor de VSWR > 1.0 dado no enunciado é calculada através de:

$$Att\_add := Att - Att1\_1 \qquad Att\_add = 0.486 \quad \textbf{dB}$$

<u>Moral da estória</u>: Sempre fazer um cabo com perdas operar com a menor VSWR possível para efeito de minimizar a perda de potência adicional à perda de potência intrínseca do cabo (definida pelo fator de perdas α do cabo), perda adicional que é imposta pelo fato de a VSWR não ser unitária.