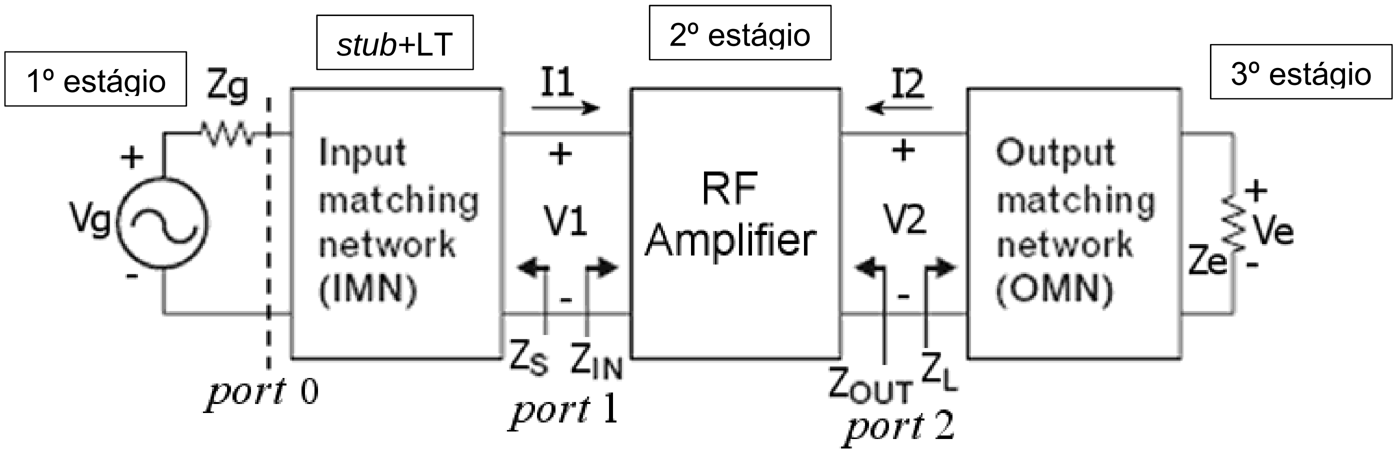
PUCRS – Escola Politécnica – Engenharia Elétrica

Microondas – T480 – 1° exercício aula 11/10/2019

A figura baixo mostra a interligação entre os 3 estágios de um amplificador de RF operando em $f = 3.5$ GHz. O gerador Vg com impedância Zg=50Ω é o Equivalente de Thévenin da saída do 1º estágio amplificador. A impedância Ze é o Equivalente de Thévenin da entrada do 3º estágio amplificador. A impedância $Z_{IN}=75-j20\Omega$ é a impedância de entrada do 2º estágio, denominado “RF Amplifier” na figura.



O *Input Matching Network* (IMN) na figura acima é uma linha de transmissão (LT) do tipo *microstrip line* sem perdas com impedância característica Zo=Zg e com comprimento d. Na entrada da *microstrip line* é inserido um *stub* **série** construído com um cabo coaxial sem perdas de comprimento ℓ e com impedância característica Zo=Zg.

Pede-se:

a) Utilizando o cabo coaxial como um *open circuited stub* (malha sem contato com o condutor interno na terminação do cabo) obtenha reflexão zero no *port* 0. Obtenha as duas soluções possíveis para tanto, determinando os respectivos valores de ℓ e d.

b) Repita a) utilizando o cabo coaxial como um *short circuited stub* (malha soldada ao condutor interno na terminação do cabo).

Solução:

$f := 3.5 \cdot \mathrm{GHz}$ $\qquad \lambda := \dfrac{c}{f}$ $\qquad \lambda = 0.086\ \mathrm{m}$

A rede de acoplamento com o *series stub* é conforme a Figura 1 a seguir, sendo, do enunciado, Zo=Zg e ZL=Z_{IN}:

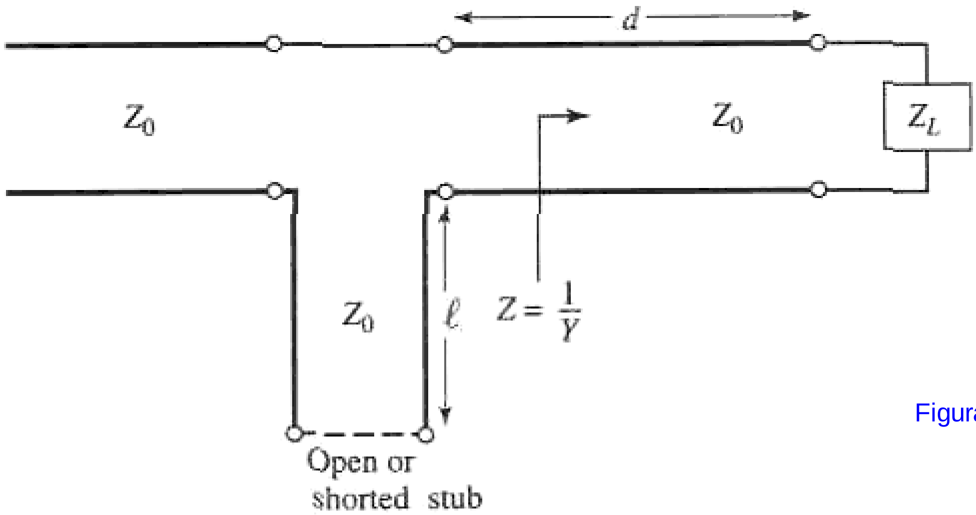


Figura 1

O acoplamento com *series stub* obedece ao seguinte equacionamento (vide Cap III notas de aula - Eqs 5.12 a 5.16):

$$Y_L = 1/Z_L = G_L + jB_L \qquad \text{(\#1)}$$

$$Y_0 = 1/Z_0 \qquad \text{(\#2)}$$

$$Z = R + jX = \frac{1}{Y} \qquad \text{(\#3)}$$

$$t = \tan \beta d \qquad \text{(\#4)}$$

$$R = \frac{G_L(1+t^2)}{G_L^2 + (B_L + Y_0 t)^2} \qquad \text{(\#5)}$$

$$X = \frac{G_L^2 t - (Y_0 - tB_L)(B_L + tY_0)}{Y_0[G_L^2 + (B_L + Y_0 t)^2]} \qquad \text{(\#6)}$$

$$t = \frac{B_L \pm \sqrt{G_L[(Y_0 - G_L)^2 + B_L^2]/Y_0}}{G_L - Y_0} \quad \text{for } G_L \neq Y_0 \qquad \text{(\#7)}$$

$$t = -B_L/2Y_0 \quad \text{for } G_L = Y_0 \qquad \text{(\#8)}$$

$$d/\lambda = \begin{cases} \dfrac{1}{2\pi}\tan^{-1} t & \text{for } t \geq 0 \\ \dfrac{1}{2\pi}(\pi + \tan^{-1} t) & \text{for } t < 0 \end{cases} \qquad \text{(\#9)}$$

short circuited stub:

$$\frac{\ell_s}{\lambda} = \frac{1}{2\pi}\tan^{-1}\left(\frac{X_s}{Z_0}\right) = \frac{-1}{2\pi}\tan^{-1}\left(\frac{X}{Z_0}\right) \qquad \text{(\#10)}$$

open circuited stub:

$$\frac{\ell_o}{\lambda} = \frac{-1}{2\pi}\tan^{1}\left(\frac{Z_0}{X_s}\right) = \frac{1}{2\pi}\tan^{-1}\left(\frac{Z_0}{X}\right) \qquad \text{(\#11)}$$

If length ℓ is negative, $\lambda/2$ can be added to give a positive result.

Do enunciado, temos: $ZL := (75 - j \cdot 20) \cdot \Omega$ $\qquad Zo := 50 \cdot \Omega$

De (#1) e (#2): $YL := \dfrac{1}{ZL}$ $\quad GL := \mathrm{Re}(YL)$ $\quad BL := \mathrm{Im}(YL)$ $\quad Yo := \dfrac{1}{Zo}$ $\qquad Yo = 0.02\dfrac{1}{\Omega}$ $\qquad GL = 0.012\dfrac{1}{\Omega}$ $\qquad BL = 3.32 \times 10^{-3}\dfrac{1}{\Omega}$

<u>1ª solução</u>: $s := -1$ $\quad \rightarrow$ s={+1,-1} e controla os dois possíveis valores do sinal algébrico em (#7)

De (#7)& (#8) temos: $$t := \mathrm{if}\left[GL \neq Yo, \left[\frac{BL + s \cdot \sqrt{\dfrac{GL \cdot \left[(Yo - GL)^2 + BL^2\right]}{Yo}}}{GL - Yo}\right], \frac{-BL}{2 \cdot Yo}\right] \qquad t = 0.422$$

De (#9): $d := \mathrm{if}\left[t < 0, \left(\dfrac{\lambda}{2 \cdot \pi}\right)(\pi + \mathrm{atan}(t)), \left(\dfrac{\lambda}{2 \cdot \pi}\right)\mathrm{atan}(t)\right]$ $\qquad d = 5.446 \times 10^{-3}\ \mathrm{m}$ $\quad \rightarrow$ Comprimento da LT

De (#6): $$X := \frac{GL^2 \cdot t - (Yo - t \cdot BL) \cdot (BL + t \cdot Yo)}{Yo \cdot \left[GL^2 + (BL + Yo \cdot t)^2\right]} \qquad X = -26.141\ \Omega$$

A reatância X=Im(Z) é cancelada pela reatância Xs do *stub* de comprimento l . Desta maneira: $Xs := -X$ $\qquad Xs = 26.141\ \Omega$

De (#10): $ls := \frac{\lambda}{2\cdot\pi}\cdot \text{atan}\left(\frac{Xs}{Zo}\right)$ $ls := \text{if}\left(ls < 0, ls + \frac{\lambda}{2}, ls\right)$ $ls = 6.567\times 10^{-3}\,m$ → Comprimento do *short circuited stub*

De (#11): $lo := \frac{-\lambda}{2\cdot\pi}\cdot \text{atan}\left(\frac{Zo}{Xs}\right)$ $lo := \text{if}\left(lo < 0, lo + \frac{\lambda}{2}, lo\right)$ $lo = 0.028\,m$ → Comprimento do *open circuited stub*

Verificando se a impedância de entrada da LT +series stub é igual a Zo: $Zo\cdot\frac{ZL + j\cdot Zo\cdot\tan\left(\frac{2\cdot\pi}{\lambda}\cdot d\right)}{Zo + j\cdot ZL\cdot\tan\left(\frac{2\cdot\pi}{\lambda}\cdot d\right)} + j\cdot Xs = 50\,\Omega$ → OK!

2ª solução:

$s := 1$ → s={+1,-1} e controla os dois possíveis valores do sinal algébrico em (#7)

De (#7)& (#8) temos: $t := \text{if}\left[GL \neq Yo, \left[\frac{BL + s\cdot\sqrt{\frac{GL\cdot\left[(Yo - GL)^2 + BL^2\right]}{Yo}}}{GL - Yo}\right], \frac{-BL}{2\cdot Yo}\right]$ $t = -1.301$

De (#9): $d := \text{if}\left[t < 0, \left(\frac{\lambda}{2\cdot\pi}\right)(\pi + \text{atan}(t)), \left(\frac{\lambda}{2\cdot\pi}\right)\text{atan}(t)\right]$ $d = 0.03\,m$ → Comprimento da LT

De (#6): $X := \frac{GL^2\cdot t - (Yo - t\cdot BL)\cdot(BL + t\cdot Yo)}{Yo\cdot\left[GL^2 + (BL + Yo\cdot t)^2\right]}$ $X = 26.141\,\Omega$

A reatância X=Im(Z) é cancelada pela reatância Xs do *stub* de comprimento l . Desta maneira: $Xs := -X$ $Xs = -26.141\,\Omega$

De (#10): $ls := \frac{\lambda}{2\cdot\pi}\cdot \text{atan}\left(\frac{Xs}{Zo}\right)$ $ls := \text{if}\left(ls < 0, ls + \frac{\lambda}{2}, ls\right)$ $ls = 0.036\,m$ → Comprimento do *short circuited stub*

De (#11): $lo := \frac{-\lambda}{2\cdot\pi}\cdot \text{atan}\left(\frac{Zo}{Xs}\right)$ $lo := \text{if}\left(lo < 0, lo + \frac{\lambda}{2}, lo\right)$ $lo = 0.015\,m$ → Comprimento do *open circuited stub*

Verificando se a impedância de entrada da LT +*series stub* é igual a Zo: $Zo\cdot\frac{ZL + j\cdot Zo\cdot\tan\left(\frac{2\cdot\pi}{\lambda}\cdot d\right)}{Zo + j\cdot ZL\cdot\tan\left(\frac{2\cdot\pi}{\lambda}\cdot d\right)} + j\cdot Xs = 50\,\Omega$ → OK!