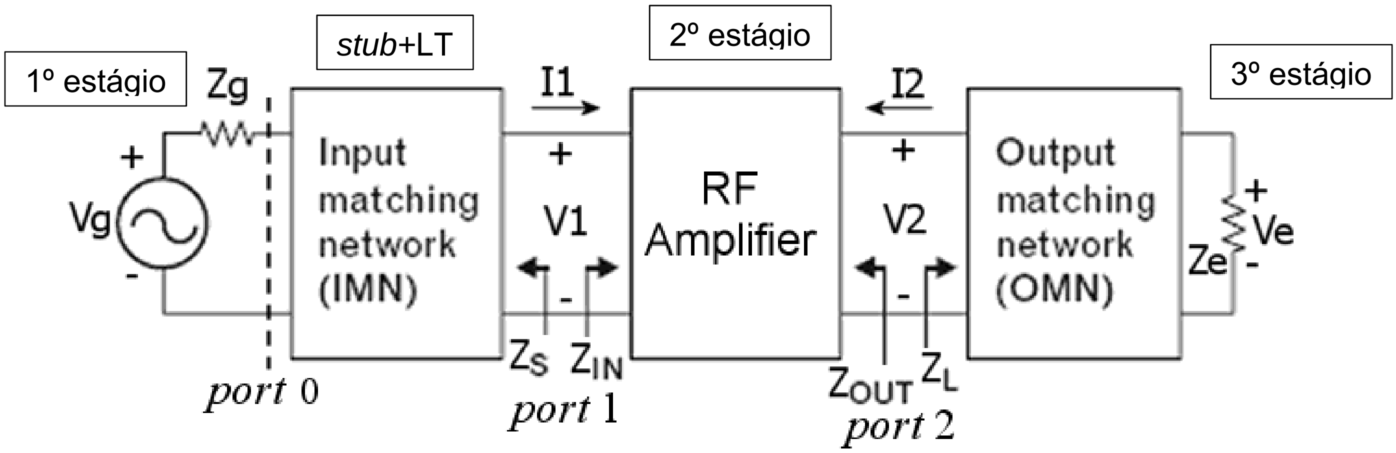
PUCRS – Escola Politécnica – Engenharia Elétrica

Microondas – T480 – 2° exercício aula 11/10/2019

A figura baixo mostra a interligação entre os 3 estágios de um amplificador de RF operando em $f = 2.4$ GHz. O gerador Vg com impedância Zg=75Ω 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 $Z_{IN}=35+j28\Omega$ 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 trilha de entrada da *microstrip line* é conectado em paralelo um ***shunt stub*** sem perdas de comprimento ℓ e com impedância característica Zo=Zg, impresso sobre o mesmo substrato da PCB em que é construída a *microstrip line* .

Pede-se:

a) Utilizando um *open circuited stub* (trilha aberta na terminação do *stub*) 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 um *short circuited stub* (trilha na terminação do *stub* soldada à face de *ground* do PCB através de uma ou mais vias de passagem).

Solução:

$f := 2.4\cdot GHz$ $\qquad \lambda := \dfrac{c}{f}$ $\qquad \lambda = 0.125\ m$

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

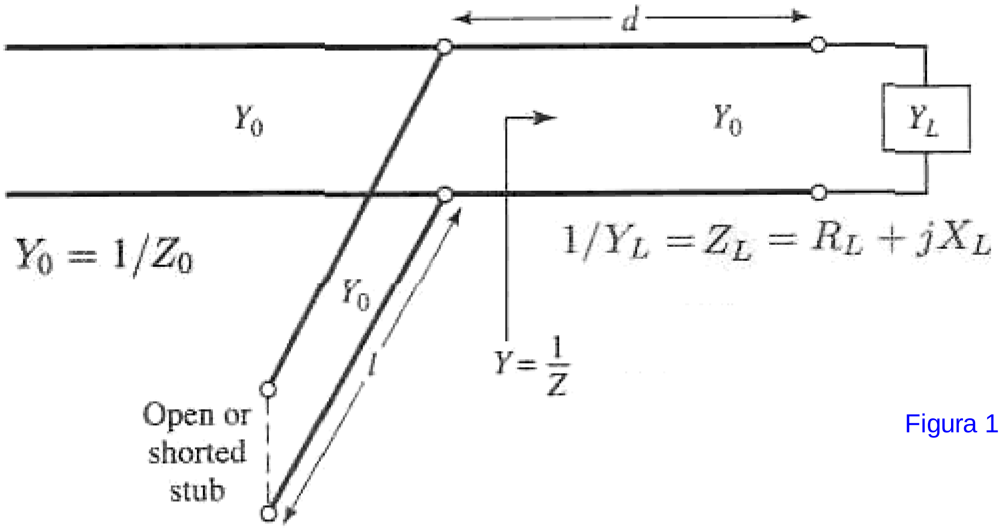


Figura 1

O acoplamento com *shunt stub* obedece ao seguinte equacionamento (vide notas de aula cap III eqs 5.7 a 5.11):

$$1/Y_L = Z_L = R_L + jX_L \quad (\#1)$$

$$Y_0 = 1/Z_0 \quad (\#2)$$

$$Y = G + jB = \frac{1}{Z} \quad (\#3)$$

$$t = \tan \beta d \quad (\#4)$$

$$G = \frac{R_L(1+t^2)}{R_L^2 + (X_L + Z_0 t)^2} \quad (\#5)$$

$$B = \frac{R_L^2 t - (Z_0 - X_L t)(X_L + Z_0 t)}{Z_0[R_L^2 + (X_L + Z_0 t)^2]} \quad (\#6)$$

$$t = \frac{X_L \pm \sqrt{R_L[(Z_0 - R_L)^2 + X_L^2]/Z_0}}{R_L - Z_0} \quad \text{for } R_L \neq Z_0 \quad (\#7)$$

$$t = -X_L/2Z_0 \quad \text{for } R_L = Z_0 \quad (\#8)$$

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

short circuited stub:

$$\frac{\ell_s}{\lambda} = \frac{-1}{2\pi}\tan^{-1}\left(\frac{Y_0}{B_s}\right) = \frac{1}{2\pi}\tan^{-1}\left(\frac{Y_0}{B}\right) \quad (\#10)$$

open circuited stub:

$$\frac{\ell_o}{\lambda} = \frac{1}{2\pi}\tan^{-1}\left(\frac{B_s}{Y_0}\right) = \frac{-1}{2\pi}\tan^{-1}\left(\frac{B}{Y_0}\right) \quad (\#11)$$

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

Do enunciado, temos: $\quad ZL := (35 + j\cdot 28)\cdot\Omega \qquad Zo := 75\cdot\Omega$

De (#1) e (#2): $\quad Yo := \dfrac{1}{Zo} \quad RL := Re(ZL) \quad XL := Im(ZL) \quad Yo = 0.013\dfrac{1}{\Omega} \qquad RL = 35\,\Omega \qquad XL = 28\,\Omega$

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

De (#7)& (#8) temos: $\quad t := \text{if}\left[RL \neq Zo, \left[\dfrac{XL + s\cdot\sqrt{\dfrac{RL\cdot\left[(Zo - RL)^2 + XL^2\right]}{Zo}}}{RL - Zo}\right], \dfrac{-XL}{2\cdot Zo}\right] \qquad t = 0.134$

De (#9): $\quad d := \text{if}\left[t < 0, \left(\dfrac{\lambda}{2\cdot\pi}\right)(\pi + \text{atan}(t)), \left(\dfrac{\lambda}{2\cdot\pi}\right)\text{atan}(t)\right] \qquad d = 2.646\times 10^{-3}\,m$ $\quad \rightarrow$ Comprimento da LT

De (#6): $\quad B := \dfrac{RL^2\cdot t - (Zo - t\cdot XL)\cdot(XL + t\cdot Zo)}{Zo\cdot\left[RL^2 + (XL + Zo\cdot t)^2\right]} \qquad B = -0.013\dfrac{1}{\Omega}$

A susceptância B=Im(Y) é cancelada pela susceptância Bs do *stub* de comprimento l.

Desta maneira: $\quad Bs := -B \quad Bs = 0.013\dfrac{1}{\Omega}$

De (#10): $ls := \frac{-\lambda}{2\cdot\pi}\cdot atan\left(\frac{Yo}{Bs}\right)$ $ls := if\left(ls < 0, ls + \frac{\lambda}{2}, ls\right)$ $ls = 0.046\,m$ → Comprimento do *short circuited stub*

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

Verificando se a impedância de entrada da LT +*shunt stub* é igual a Zo: $\frac{1}{\frac{1}{Zo\cdot\frac{ZL + j\cdot Zo\cdot tan\left(\frac{2\cdot\pi}{\lambda}\cdot d\right)}{Zo + j\cdot ZL\cdot tan\left(\frac{2\cdot\pi}{\lambda}\cdot d\right)}} + j\cdot Bs} = 75\,\Omega$ → OK!

2ª solução: $s := 1$ → s={+1,-1} e controla os dois possíveis valores do sinal algébrico em (#7)

De (#7)& (#8) temos: $t := if\left[RL \neq Zo, \left[\frac{XL + s\cdot\sqrt{\frac{RL\cdot\left[(Zo - RL)^2 + XL^2\right]}{Zo}}}{RL - Zo}\right], \frac{-XL}{2\cdot Zo}\right]$ $t = -1.534$

De (#9): $d := if\left[t < 0, \left(\frac{\lambda}{2\cdot\pi}\right)(\pi + atan(t)), \left(\frac{\lambda}{2\cdot\pi}\right)atan(t)\right]$ $d = 0.043\,m$ → Comprimento da LT

De (#6): $B := \frac{RL^2\cdot t - (Zo - t\cdot XL)\cdot(XL + t\cdot Zo)}{Zo\cdot\left[RL^2 + (XL + Zo\cdot t)^2\right]}$ $B = 0.013\,\frac{1}{\Omega}$

A susceptância B=Im(Y) é cancelada pela susceptância Bs do *stub* de comprimento l.

Desta maneira: $Bs := -B$ $Bs = -0.013\,\frac{1}{\Omega}$

De (#10): $ls := \frac{-\lambda}{2\cdot\pi}\cdot atan\left(\frac{Yo}{Bs}\right)$ $ls := if\left(ls < 0, ls + \frac{\lambda}{2}, ls\right)$ $ls = 0.016\,m$ → Comprimento do *short circuited stub*

De (#11): $lo := \frac{\lambda}{2\cdot\pi}\cdot atan\left(\frac{Bs}{Yo}\right)$ $lo := if\left(lo < 0, lo + \frac{\lambda}{2}, lo\right)$ $lo = 0.047\,m$ → Comprimento do *open circuited stub*

Verificando se a impedância de entrada da LT +shunt stub é igual a Zo: $\frac{1}{\frac{1}{Zo\cdot\frac{ZL + j\cdot Zo\cdot tan\left(\frac{2\cdot\pi}{\lambda}\cdot d\right)}{Zo + j\cdot ZL\cdot tan\left(\frac{2\cdot\pi}{\lambda}\cdot d\right)}} + j\cdot Bs} = 75\,\Omega$ → OK!