

PSI5897 – Amplificadores de Micro-ondas a Transistor

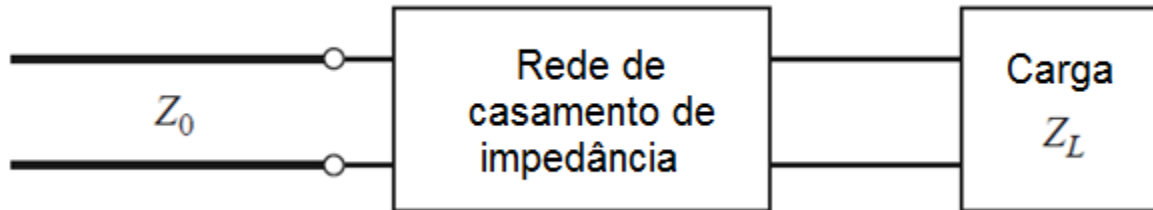
Redes de Casamento de Impedâncias

Profa. Fatima Salete Correra

Prof. Antonio Sandro Verri

Casamento de Impedâncias

A ideia básica:

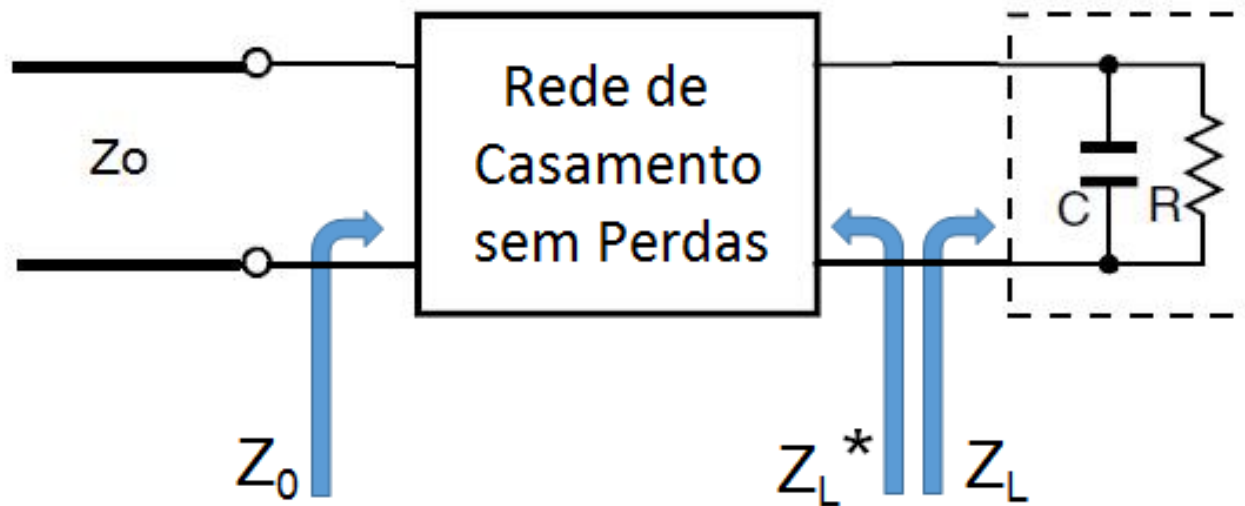


Rede de casamento entre uma carga e uma linha de transmissão

- Projeto e construção de uma rede de casamento de impedâncias usada para otimizar a transferência de potência de uma fonte para uma carga.
- A rede de casamento também é conhecida como transformador de impedâncias.

Casamento de Impedâncias

A máxima transferência de potência de uma fonte para uma carga é obtida através do “casamento conjugado”



Algumas aplicações

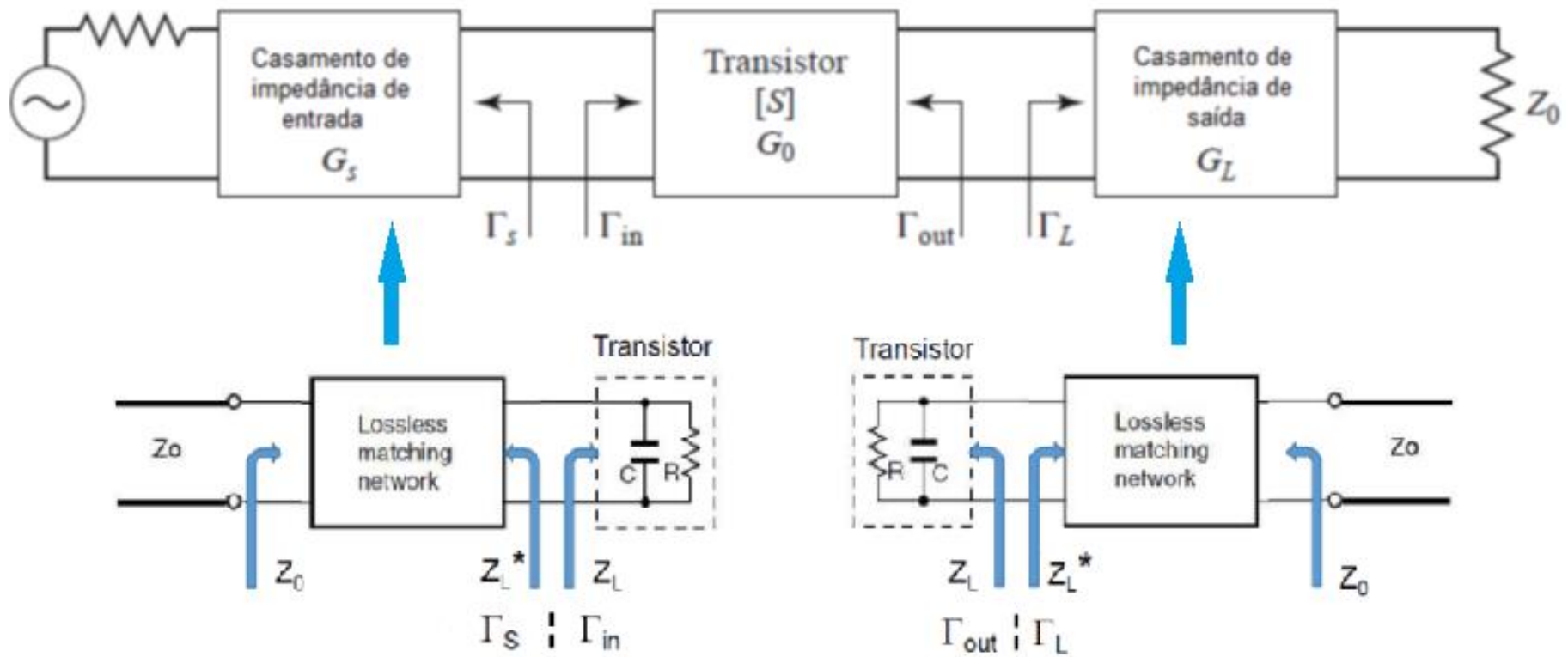
- Casamento entre transmissores e antenas
 - Transmissores de alta potência
 - Telefones celulares
- Casamento interestágio de transistores
- Casamento entre válvulas e guias de onda
 - Acelerador de processos químicos industriais
 - Acelerador de processos de corrosão por plasma

Outras aplicações das redes de casamentos

- Minimizar a figura de ruído de transistores de baixo ruído.
- Maximizar potência em estágios amplificadores de potência.
- Evitar a queima de amplificadores de potência quando a potência refletida na carga retorna ao amplificador.
- Evitar reflexões que causem distorção de sinais em linhas de transmissão.
- Reduzir os erros nas amplitudes e fases de sinais que alimentam um conjunto de antenas (*antenna array*).
- Ajuste da frequência de oscilação em osciladores através da impedância de carga.

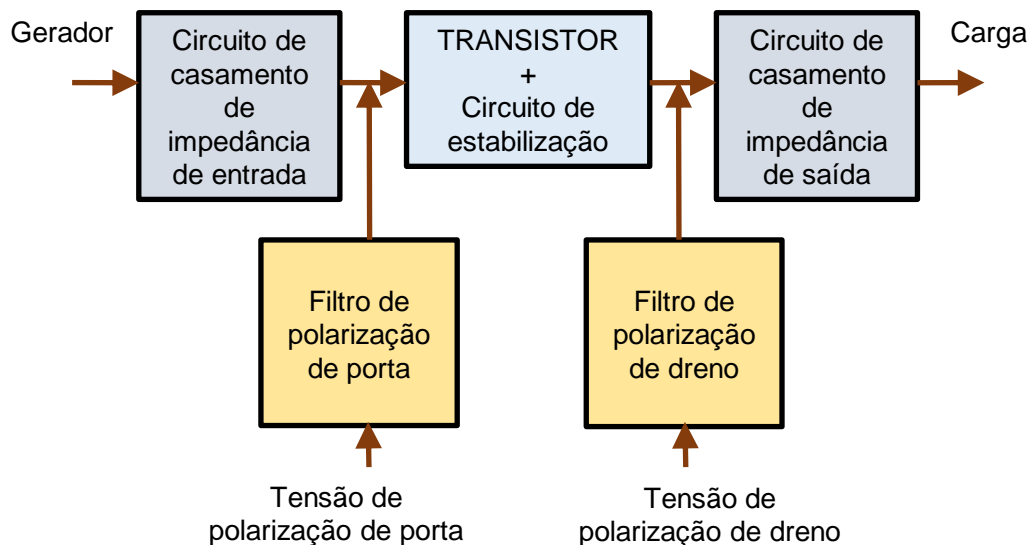
Casamento de Impedâncias

- No caso do amplificador a transistor



Casamento de Impedâncias em Amplificadores

Diagrama de blocos do amplificador



Circuito de casamento de impedância de entrada

- Transforma a impedância do gerador Z_G
- Na impedância desejada na entrada do transistor

Circuito de casamento de impedância de saída

- Transforma a impedância de carga Z_L
- Na impedância desejada na saída do transistor

Casamento de Impedâncias

As configurações de redes de casamento de impedância podem ser classificadas utilizando os seguintes critérios:

- **Complexidade:** uma rede mais simples é menor, mais barata e tem menos perda.
- **Largura de Banda:** adequada à aplicação do circuito (estreita, larga ou ultra-larga).
- **Implementação:** elementos concentrados, linhas de transmissão ou guias de onda.
- **Facilidade de ajuste:** permite a correção de desvios durante o processo de fabricação.

Tipos de redes de casamentos

Alguns tipos de redes de casamentos:

- Redes em “L”.
- Redes com toco simples em paralelo. (Single Stub)
- Transformador de quarto de onda.
- Redes com dois tocos em paralelo. (Double Stub)
- Redes de casamento em banda larga.
- Linhas cônicas.

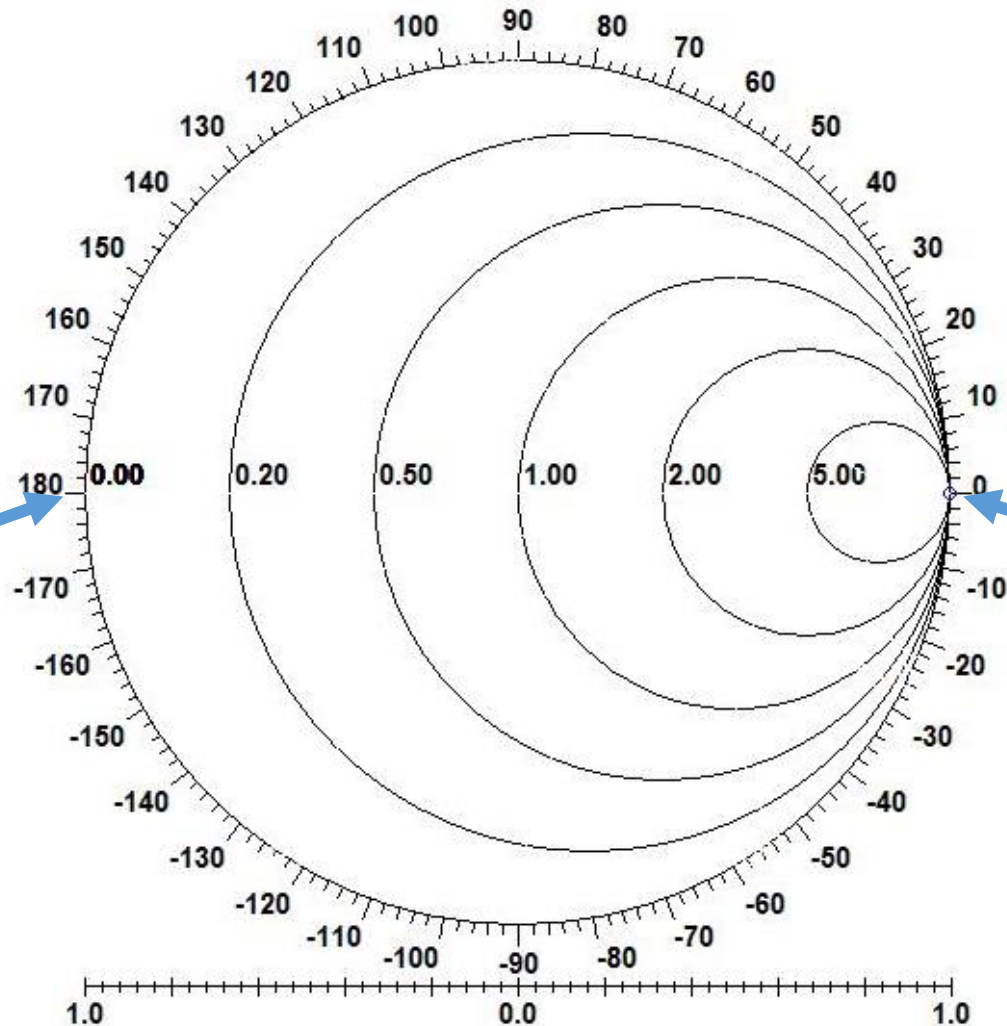
Carta de Smith

Linhas de Resistências Constantes

Resistência Normalizada

$$\bar{R} = \frac{R}{Z_0}$$

Curto-circuito



Circuito aberto

Carta de Smith

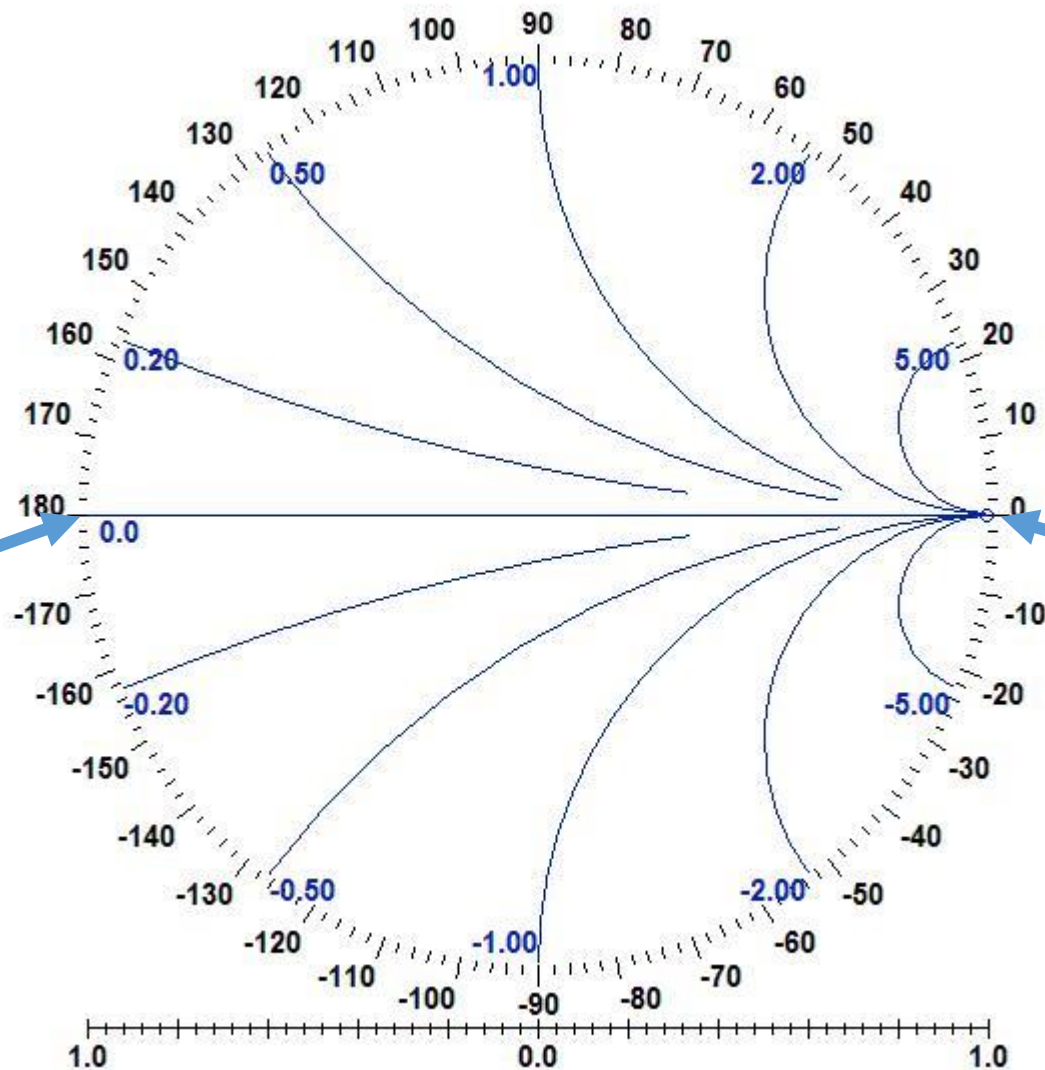
Linhas de Reatâncias Constantes

Reatância Normalizada

$$\bar{X} = \frac{X}{Z_0}$$

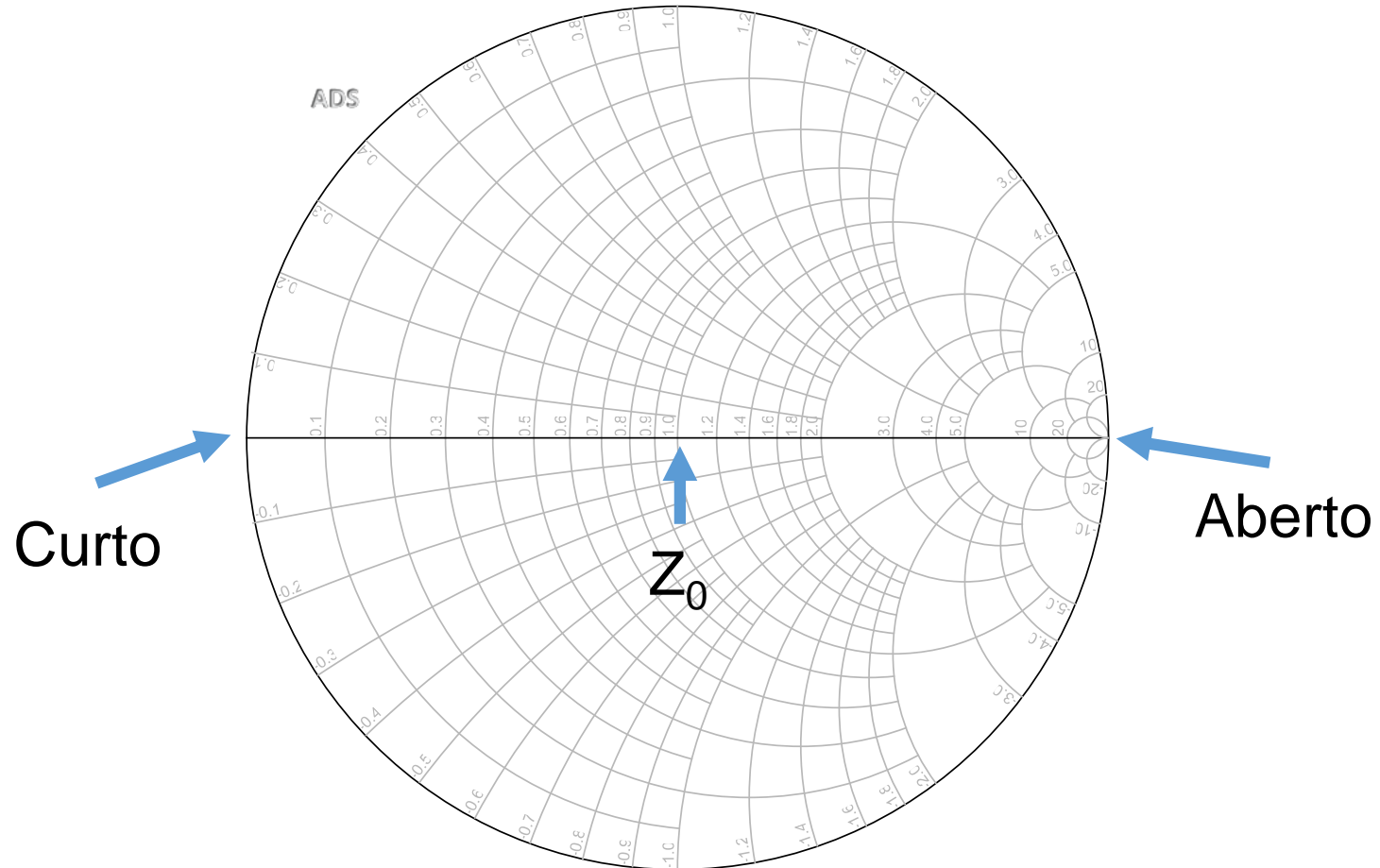
Curto-circuito

Circuito aberto



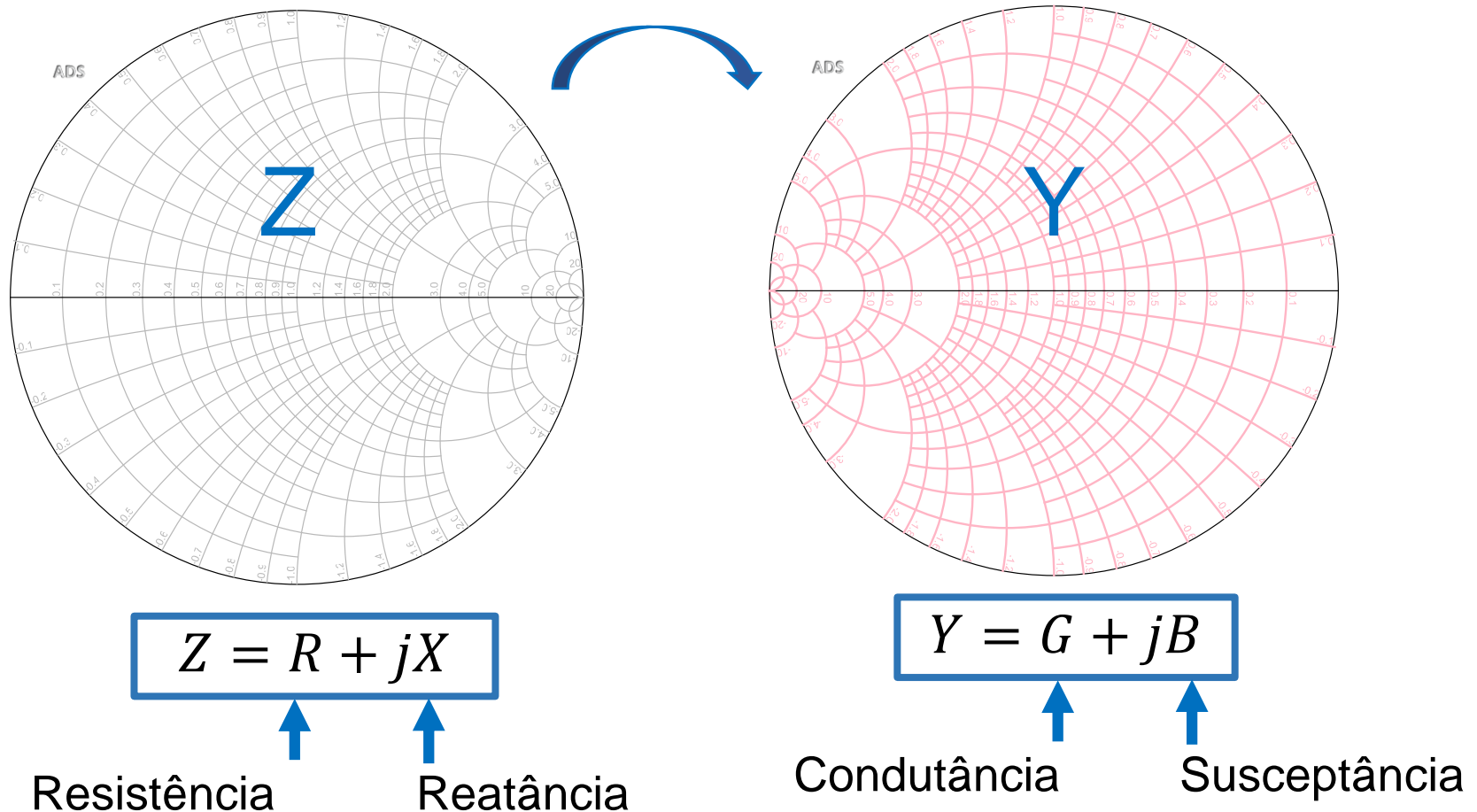
Carta de Smith de Impedâncias

Círculos de Resistências Constantes + Linhas de Reatâncias Constantes



Carta de Smith de Admitâncias

Obtida girando a carta de Smith de Impedâncias em 180°

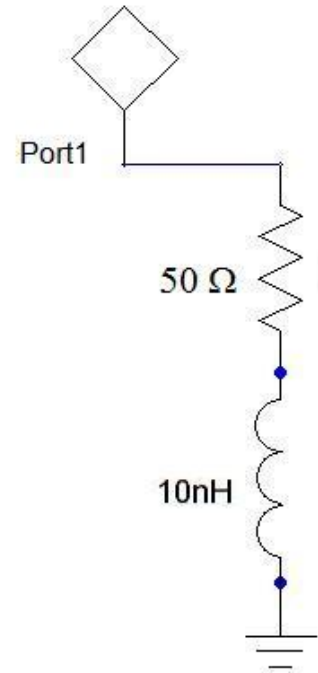
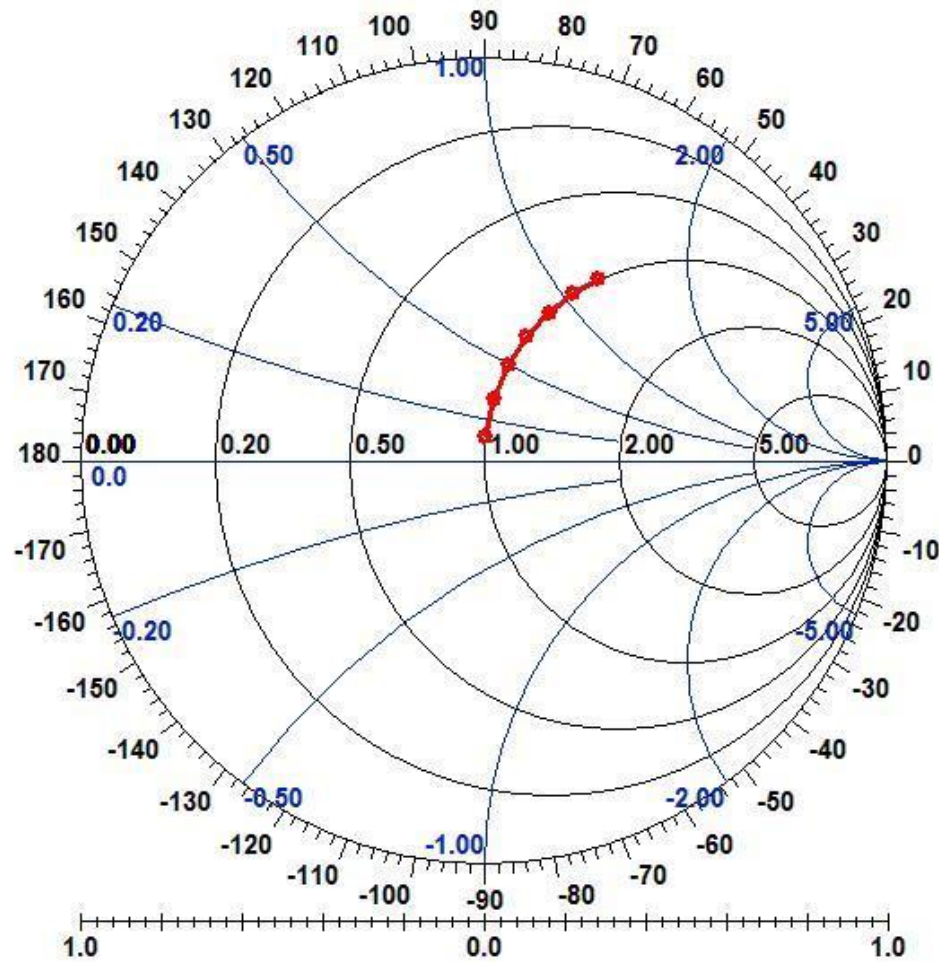


Carta de Smith de Impedâncias

(Círculos de Resistências e Linhas de Reatâncias Constantes)

Impedância Normalizada

$$\bar{Z} = \frac{R + jX}{Z_0}$$



S_{11} em função da frequência

Carta de Smith de Admitâncias

(Círculos de Condutâncias e Linhas de Susceptâncias Constantes)

Admitância Normalizada

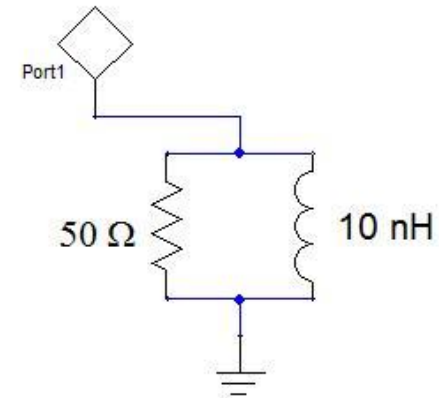
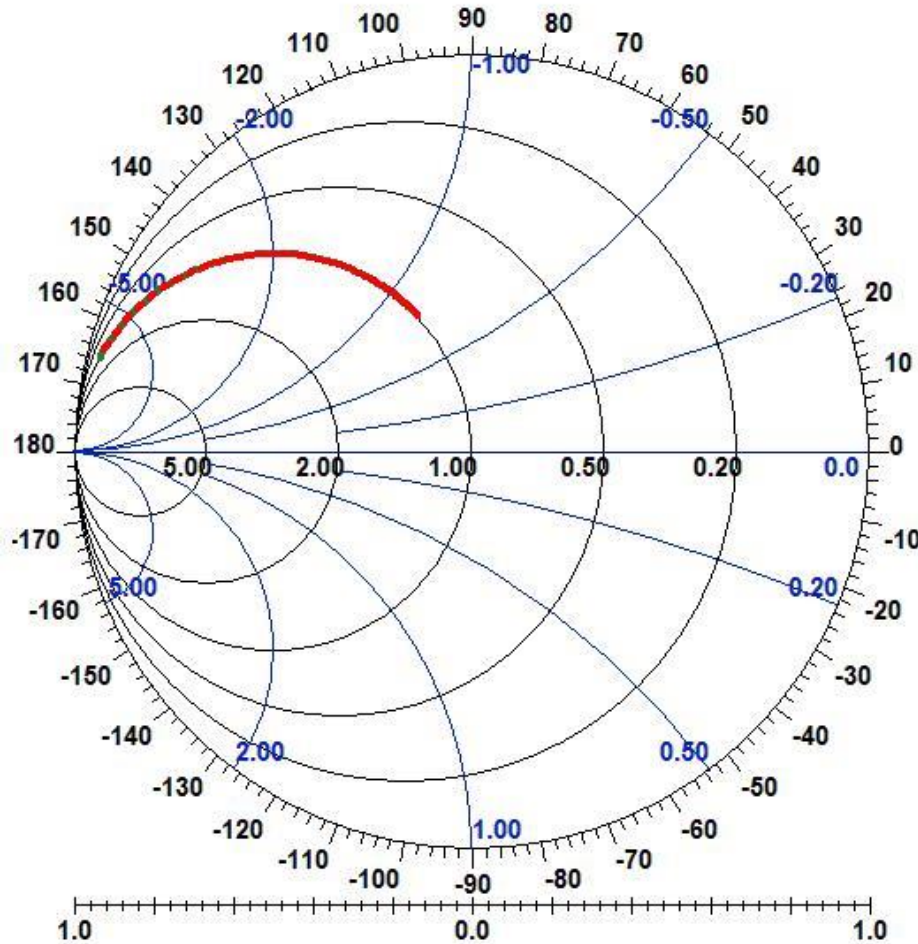
$$\bar{Y} = \frac{G + jB}{Y_0}$$

Condutância

$$G = \frac{1}{R}$$

Susceptância

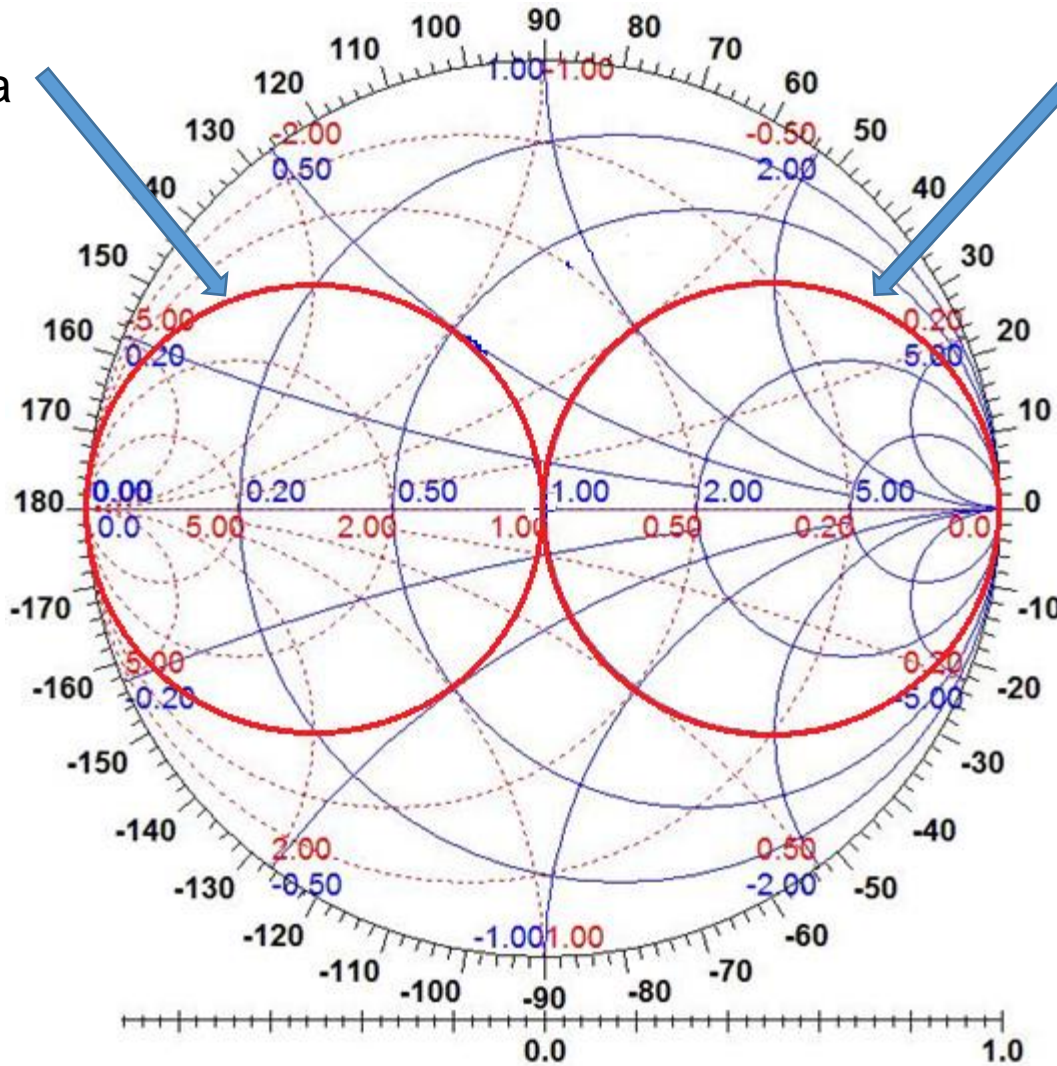
$$B = \frac{1}{X}$$



S_{11} em função da frequência

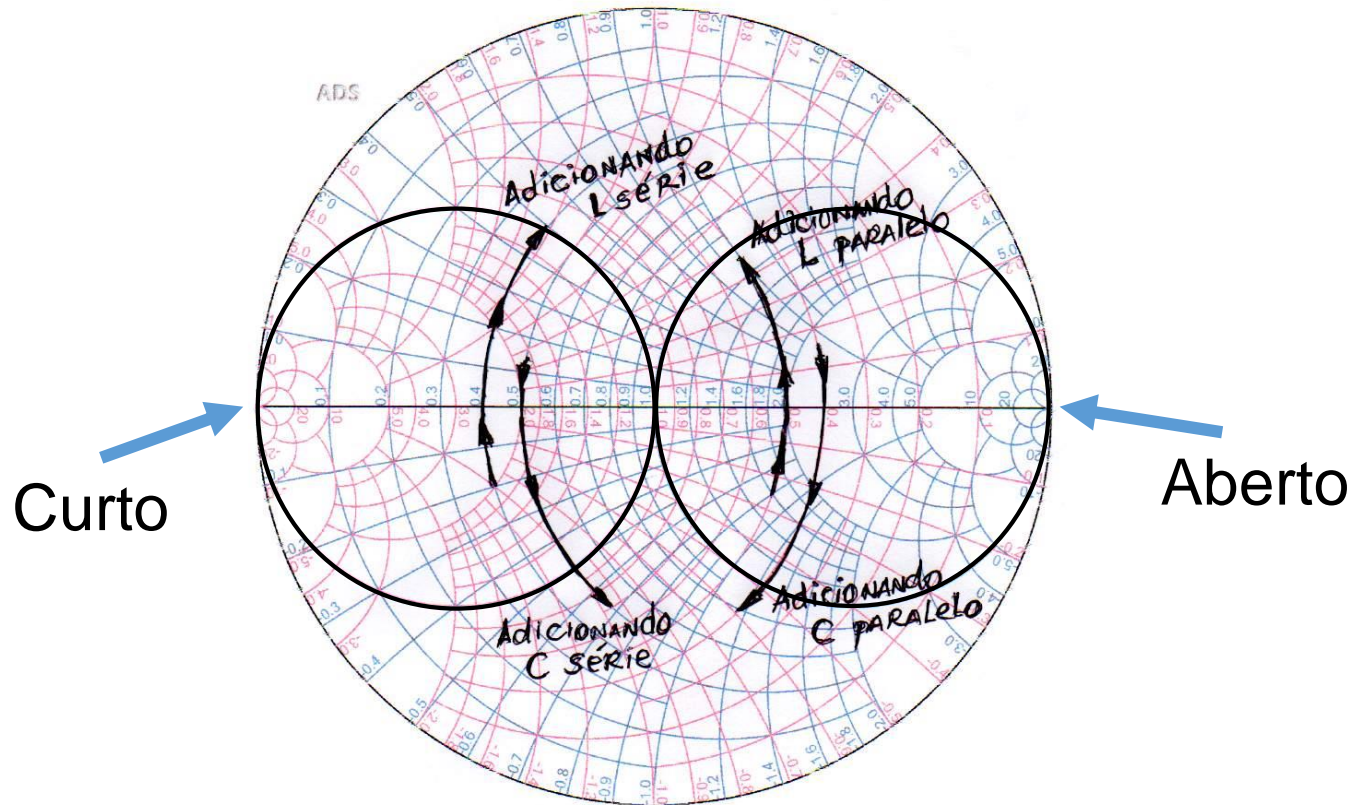
Carta de Smith (Círculos Importantes)

Círculo de
Condutância
de 0,02 S

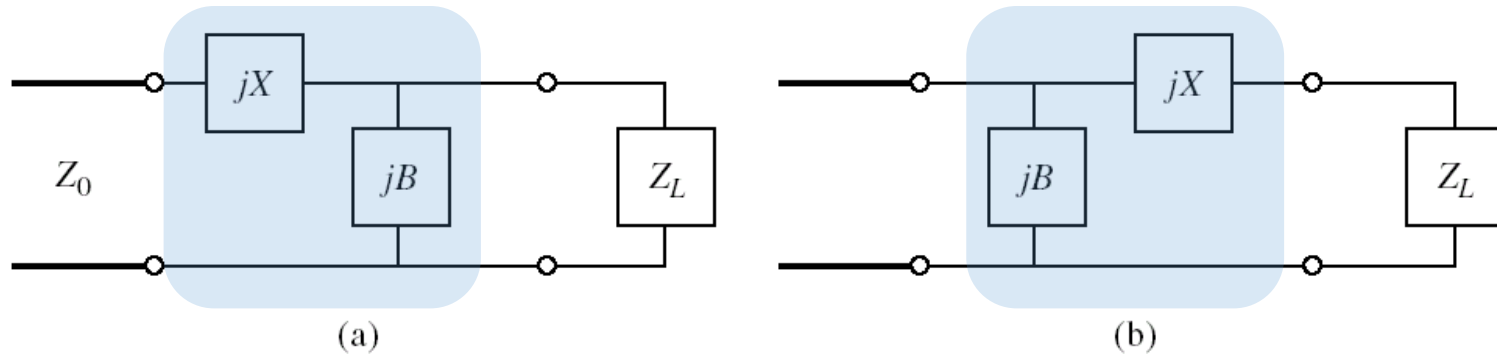


Círculo de
Resistência
de 50 Ω

Casamentos de Impedância (Movimentos pela carta de Smith)

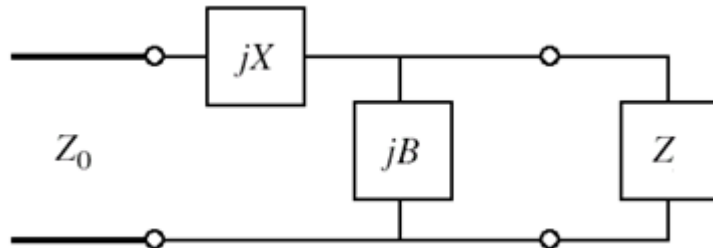


Redes de casamento em “L”

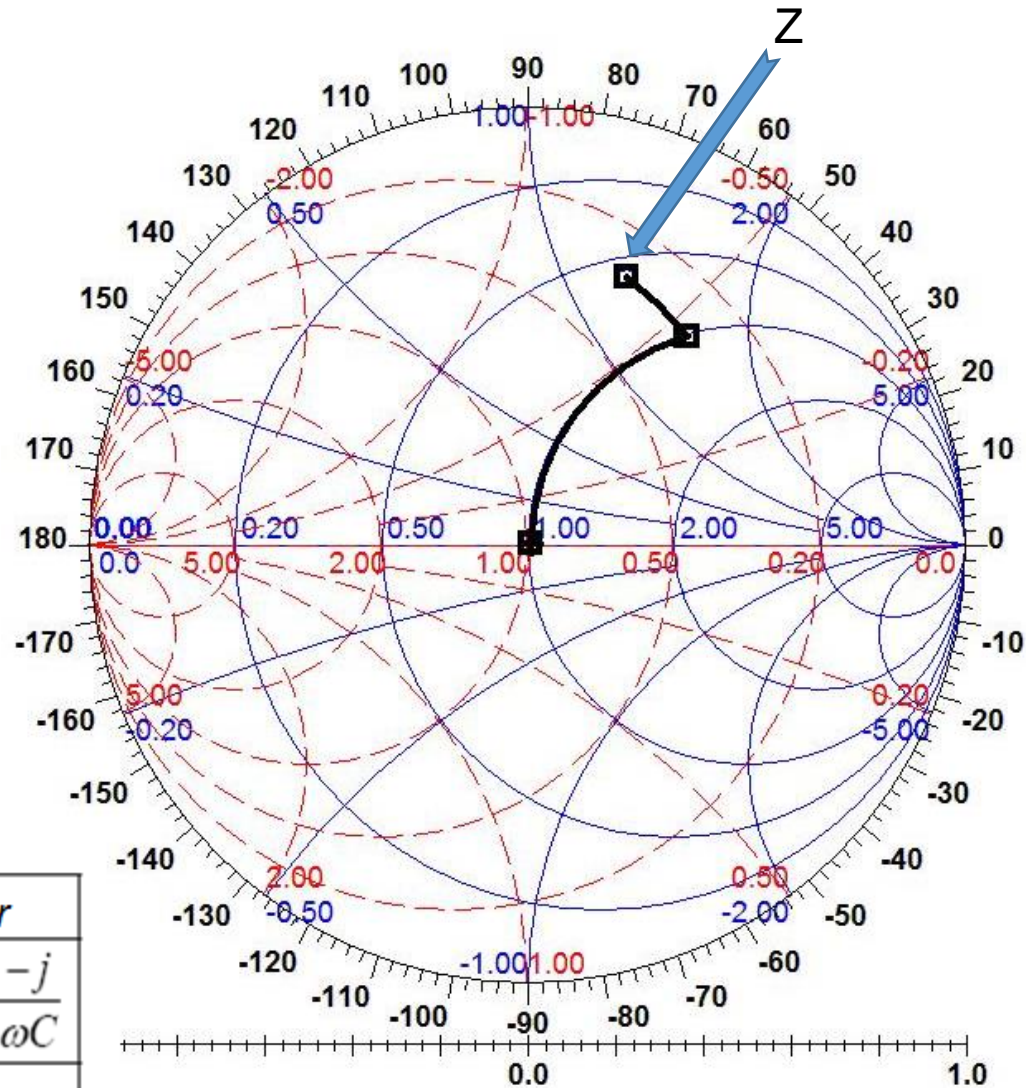


- As Reatâncias jX e as susceptâncias jB podem ser:
 - Elementos reativos sem perdas (ideais)
 - Elementos reativos com perdas (reais)
 - Linhas de transmissão
 - Combinação de elementos concentrados e distribuídos

Qual é o procedimento?

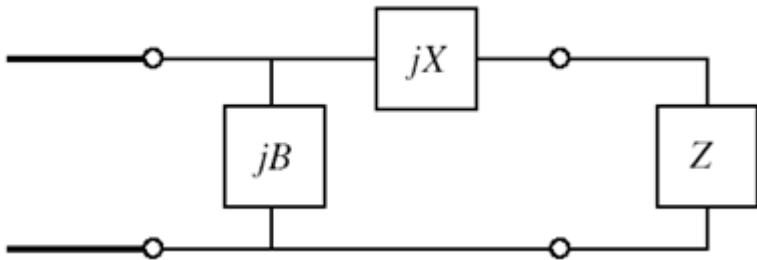


- Ajustar B para que a parte real de Z seja igual a Z_0 (Buscar o círculo de resistência constante igual a Z_0).
- Ajustar X para anular a parte imaginária resultante. (Buscar o centro da Carta de Smith).
- Esta solução não será possível se $R < Z_0$.

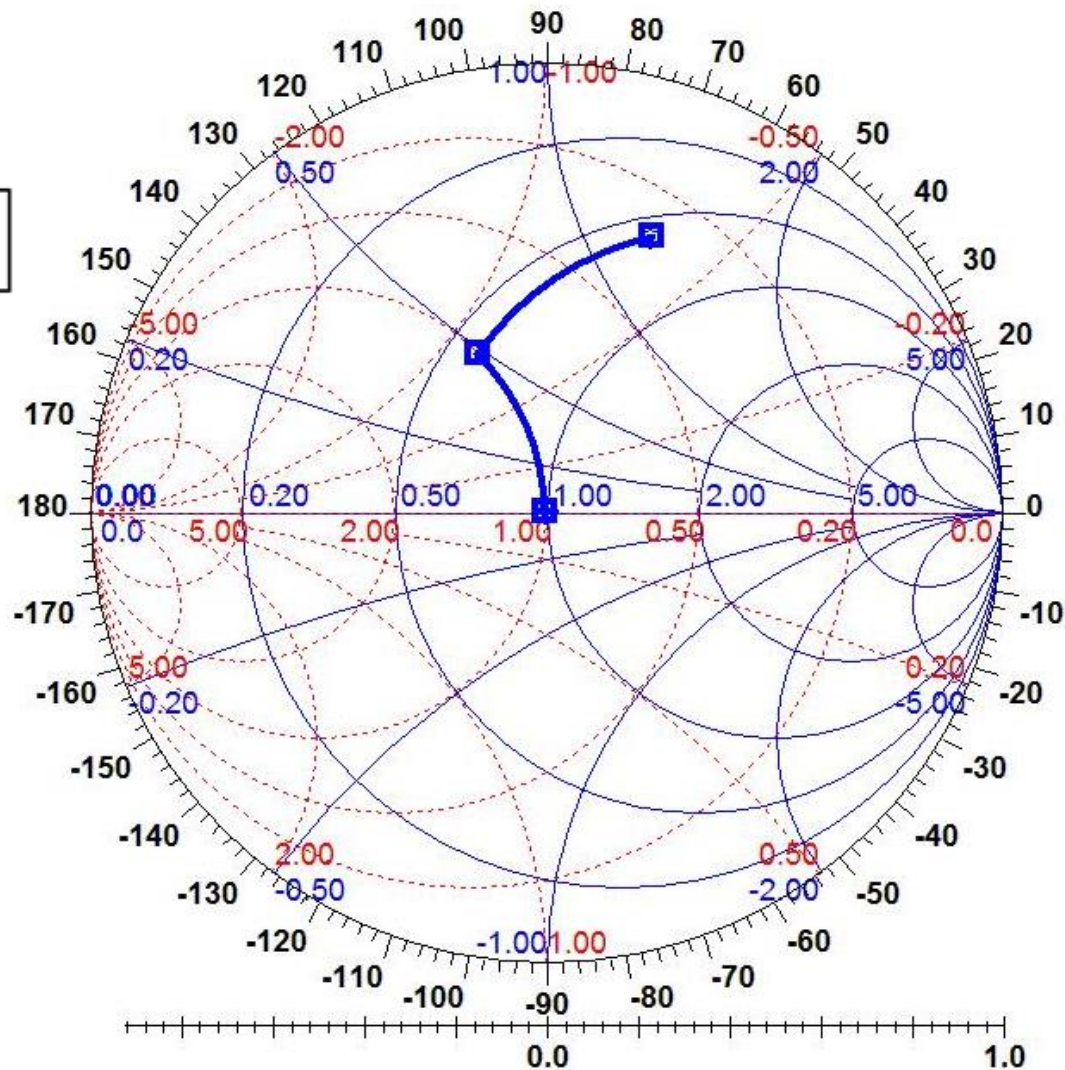


	Indutor	Capacitor
Impedância	$Z_{ind} = j\omega L$	$Z_c = \frac{1}{j\omega C} = \frac{-j}{\omega C}$
Admitância	$Y_{ind} = \frac{1}{j\omega L} = \frac{-j}{\omega L}$	$Y_c = j\omega C$

Qual é o procedimento?

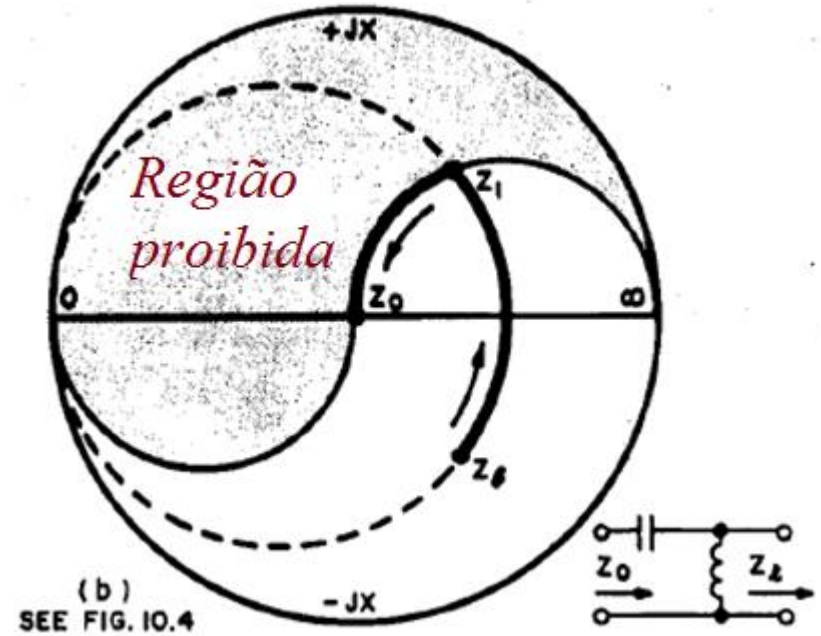
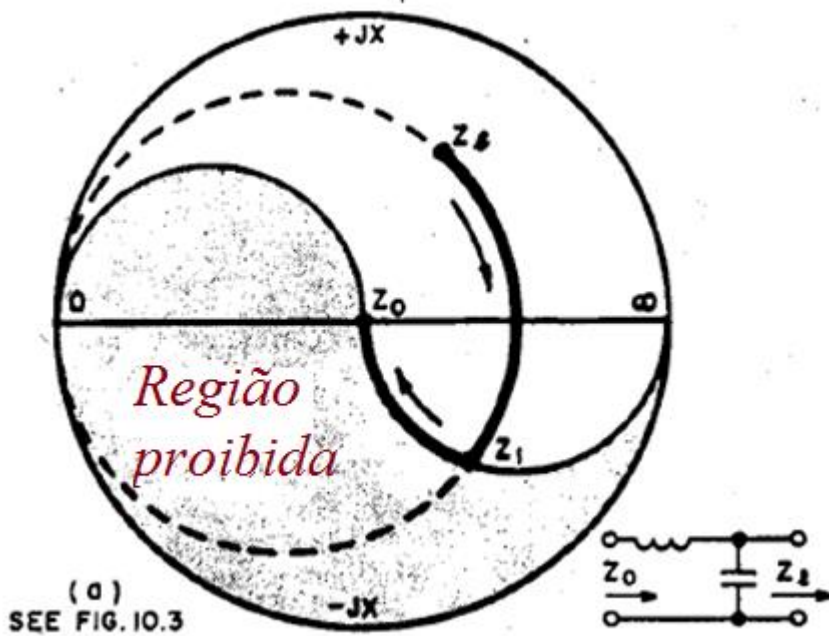


- Ajustar X para que a parte real de Y seja igual a Y_0 (Buscar o círculo de condutância constante igual a Y_0).
- Ajustar B para anular a parte imaginária resultante. (Buscar o centro da Carta de Smith).
- Esta solução não será possível somente se $R > Z_0$.

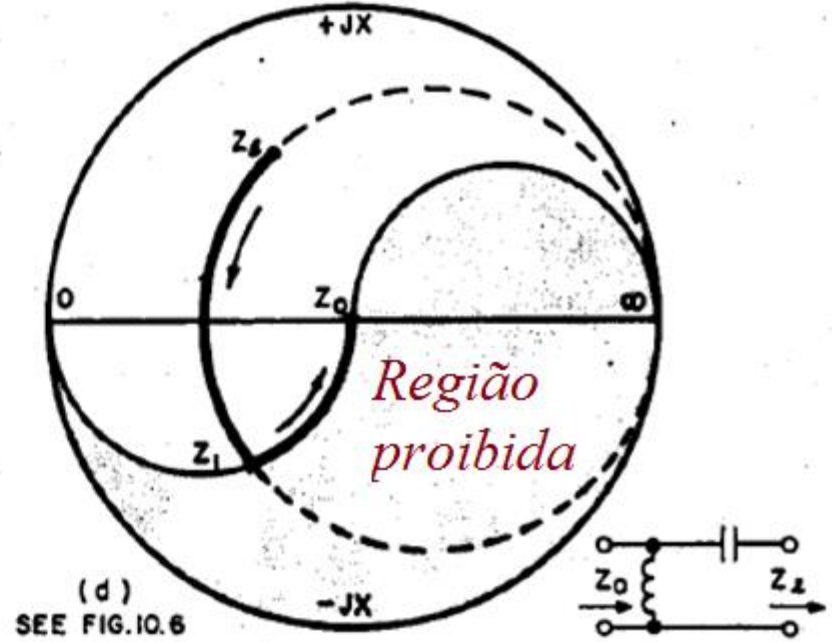
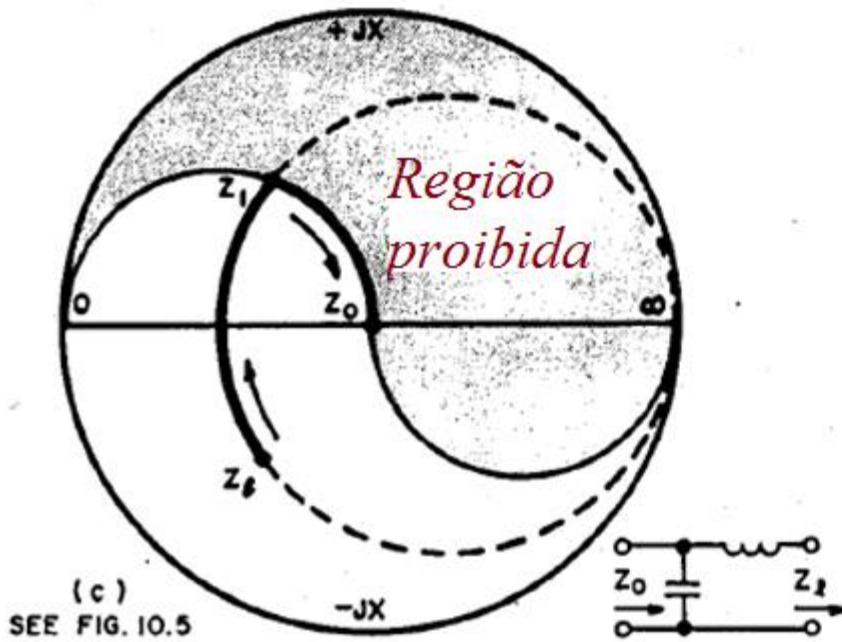


Redes de casamento em "L"

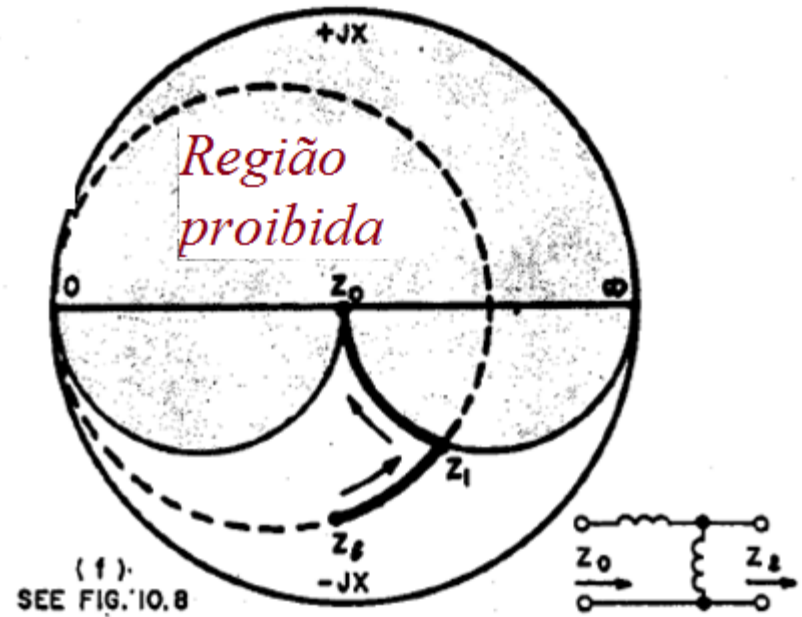
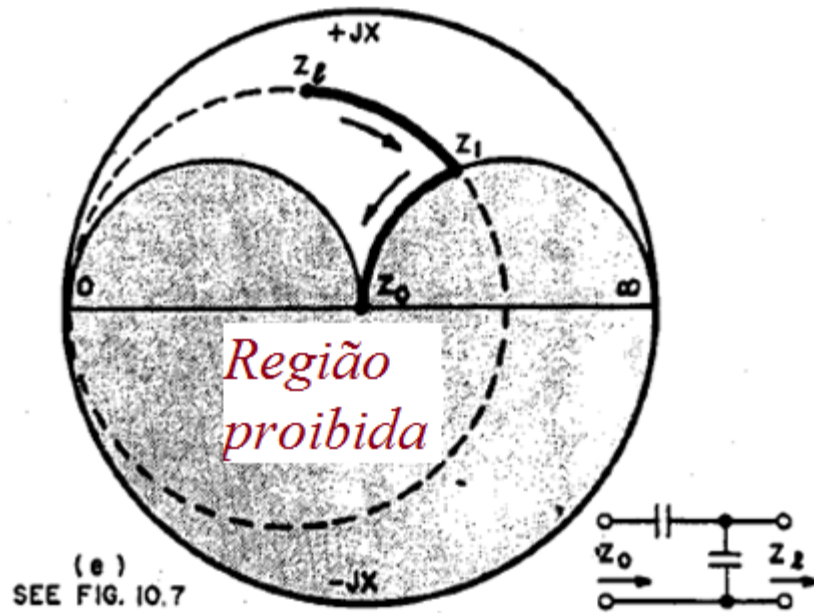
São 8 combinações de indutores e capacitores possíveis:



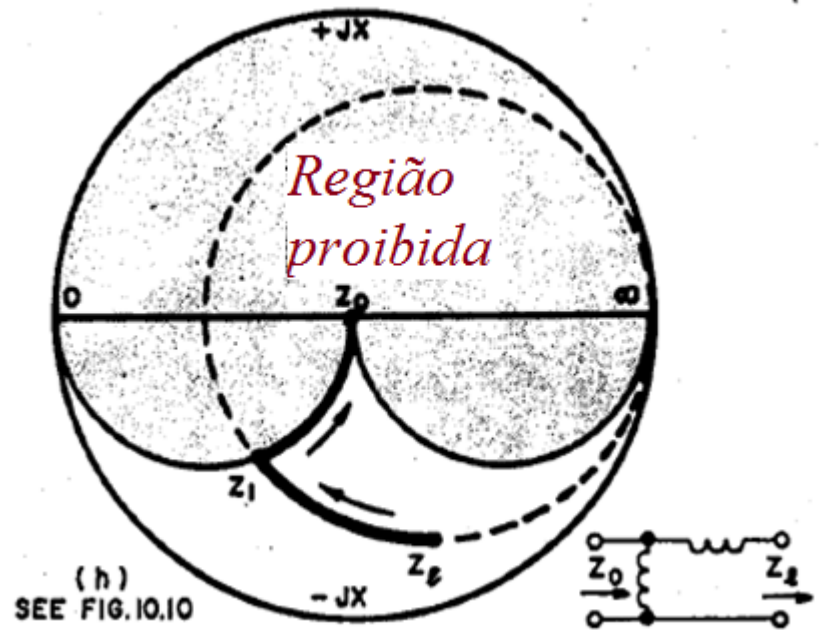
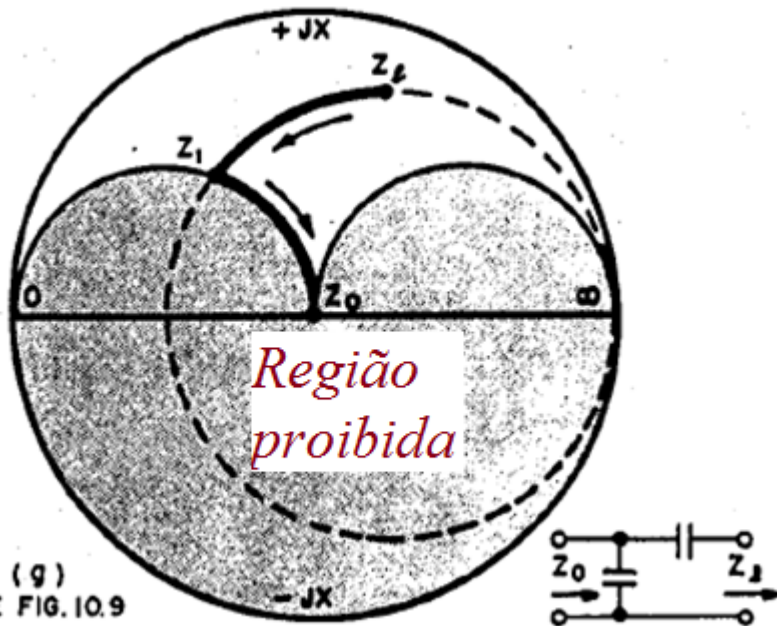
Redes de casamento em "L"



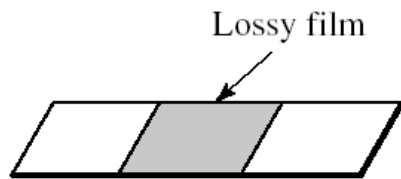
Redes de casamento em "L"



Redes de casamento em "L"



Elementos discretos utilizados em circuitos de microondas nas redes em "L"

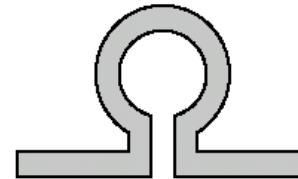


Planar resistor

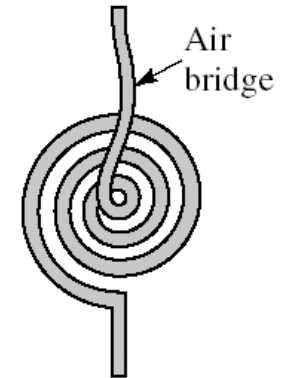
Lossy film



Chip resistor



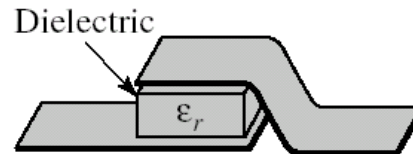
Loop inductor



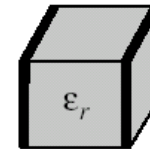
Spiral inductor



Interdigital gap capacitor

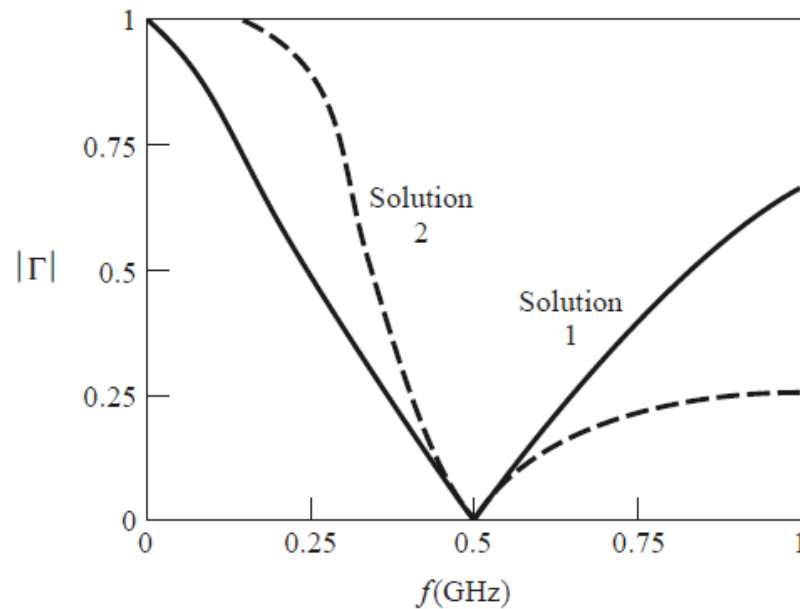
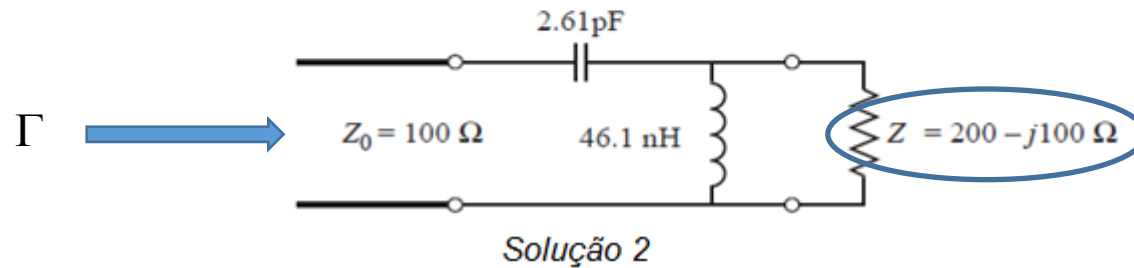
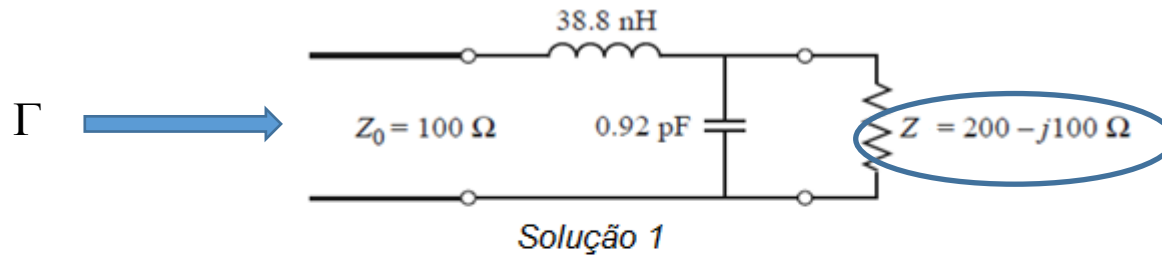


Metal-insulator-metal capacitor



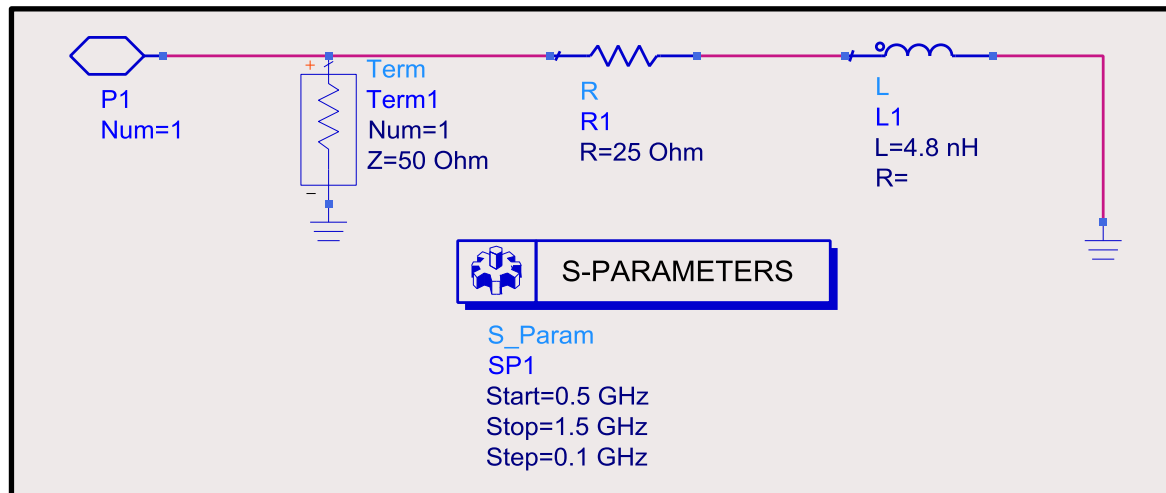
Chip capacitor

Exemplo: Rede de Casamento em 500 MHz



Exercício 1

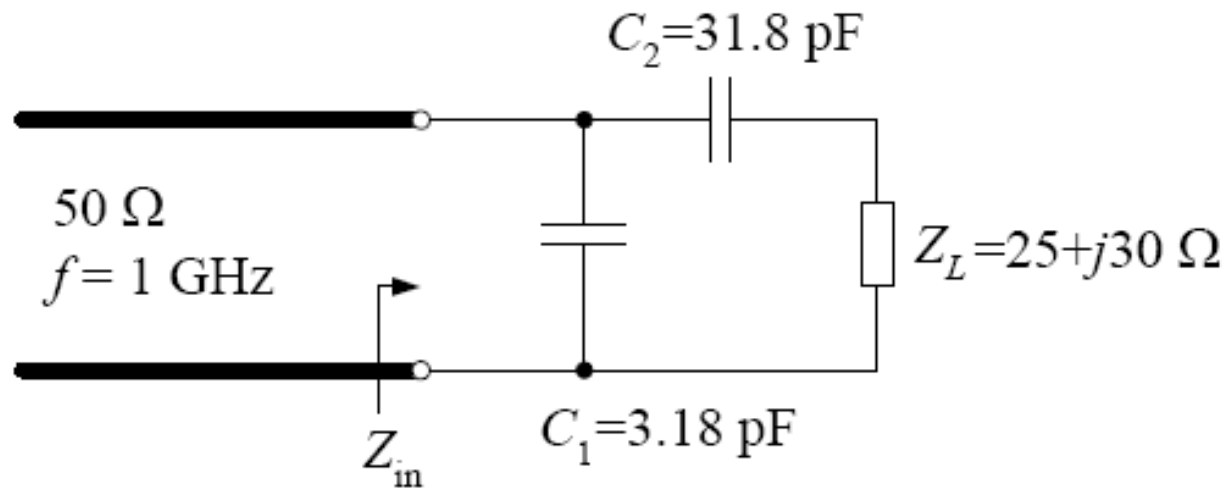
- Projete uma rede em “L” para casar uma carga $Z_L=(25+j30)\Omega$ com uma linha de $50\ \Omega$ na frequência de 1GHz.
- Considere que o circuito é :
 - R-L serie
 - $R = 25\ \Omega$ e $L = 4,8\ nH$



Exercício 1

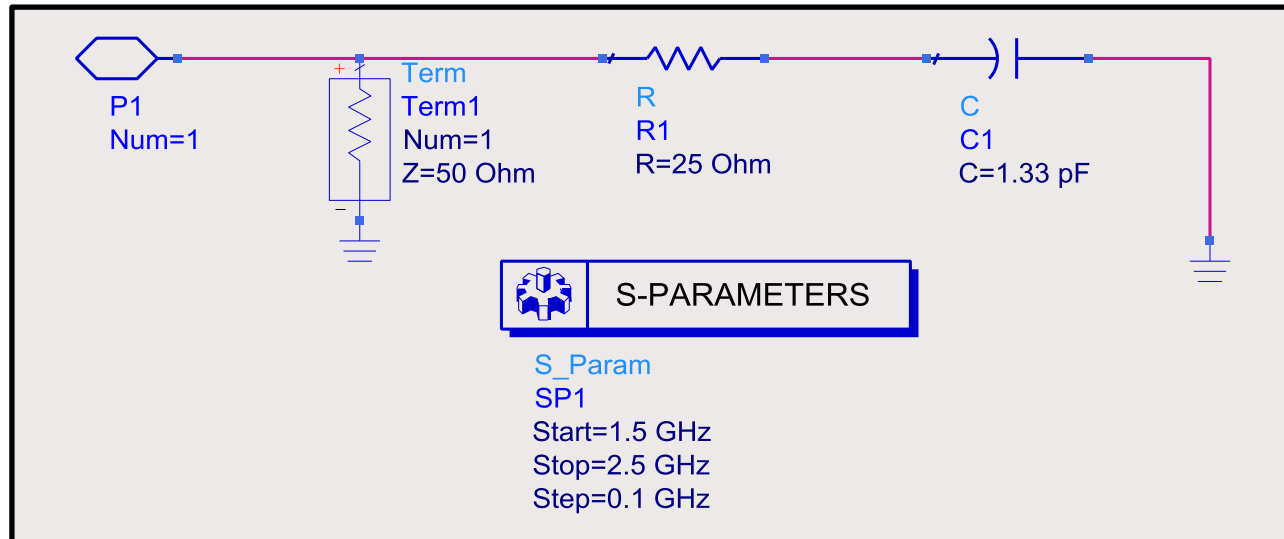
Projete uma rede em “L” para casar uma carga $Z_L=(25+j30)\Omega$ com uma linha de 50Ω na frequência de 1GHz .

Resposta:



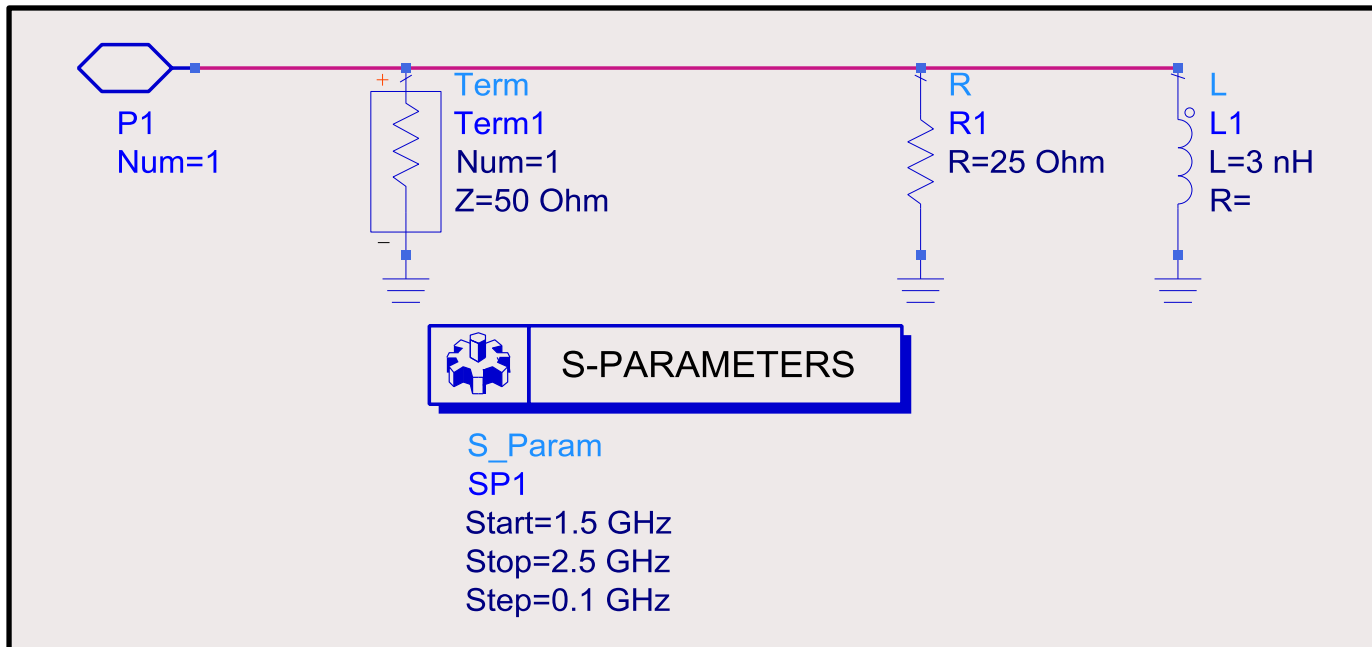
Exercício 2

- Projete uma rede em “L” para casar a carga $Z_L=(25-j60)\Omega$ com uma linha de $50\ \Omega$ na frequência de 2 GHz, utilizando uma rede diferente daquela encontrada no exercício anterior.
- Considere que o circuito é :
 - R-C série
 - $R = 25\ \Omega$ e $L = 1.33\ \text{pF}$



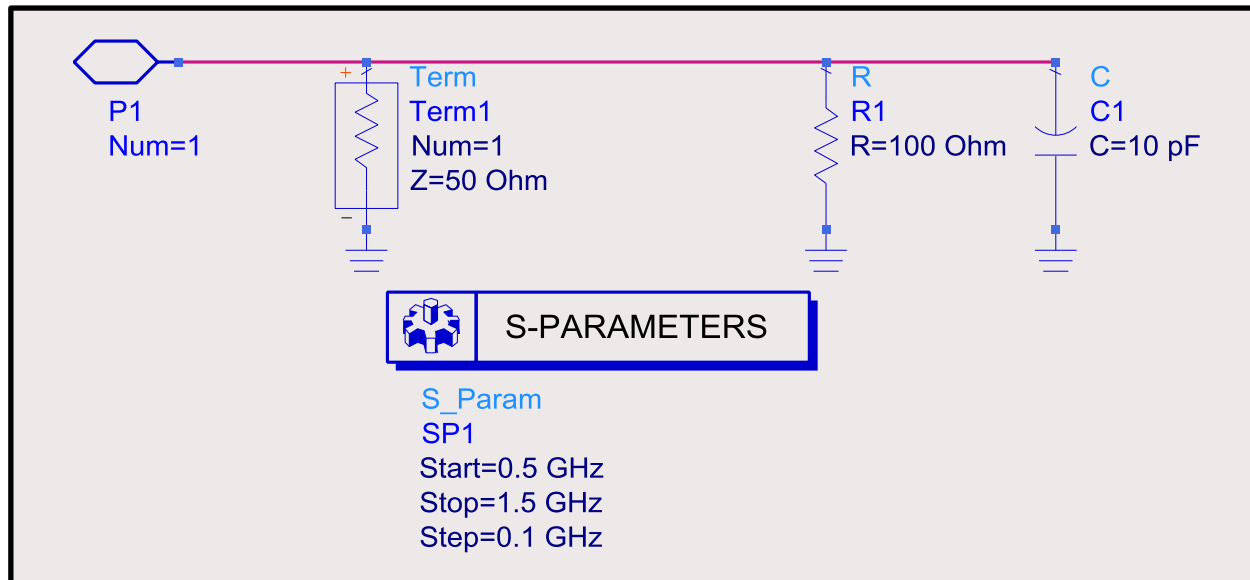
Exercício 3

- Projete uma rede em “L” para casar a carga Z_L com uma linha de 50Ω na frequência de 2 GHz. Considere que o circuito é :
 - R-L paralelo
 - $R = 25 \Omega$ e $L = 3 \text{ nH}$



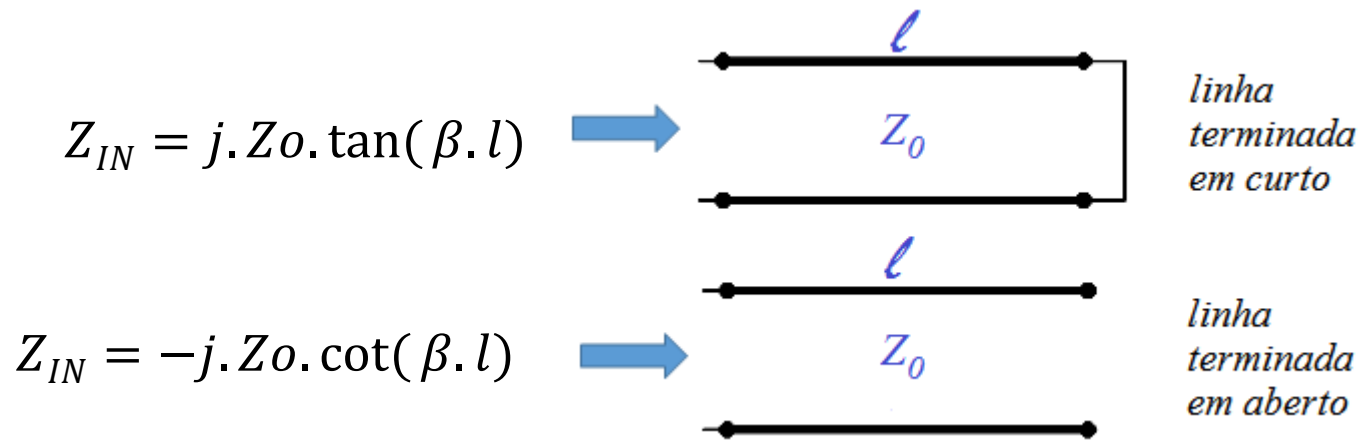
Exercício 4

- Projete uma rede em “L” para casar a carga Z_L com uma linha de 50Ω na frequência de 1 GHz. Considere que o circuito é :
 - R-C paralelo
 - $R = 100 \Omega$ e $L = 10 \text{ pF}$



Relembrando: Tocos de linha de transmissão

Tocos são trechos de linhas de transmissão terminadas em curto circuito ou em circuito aberto cujas impedâncias de entrada são puramente reativas.



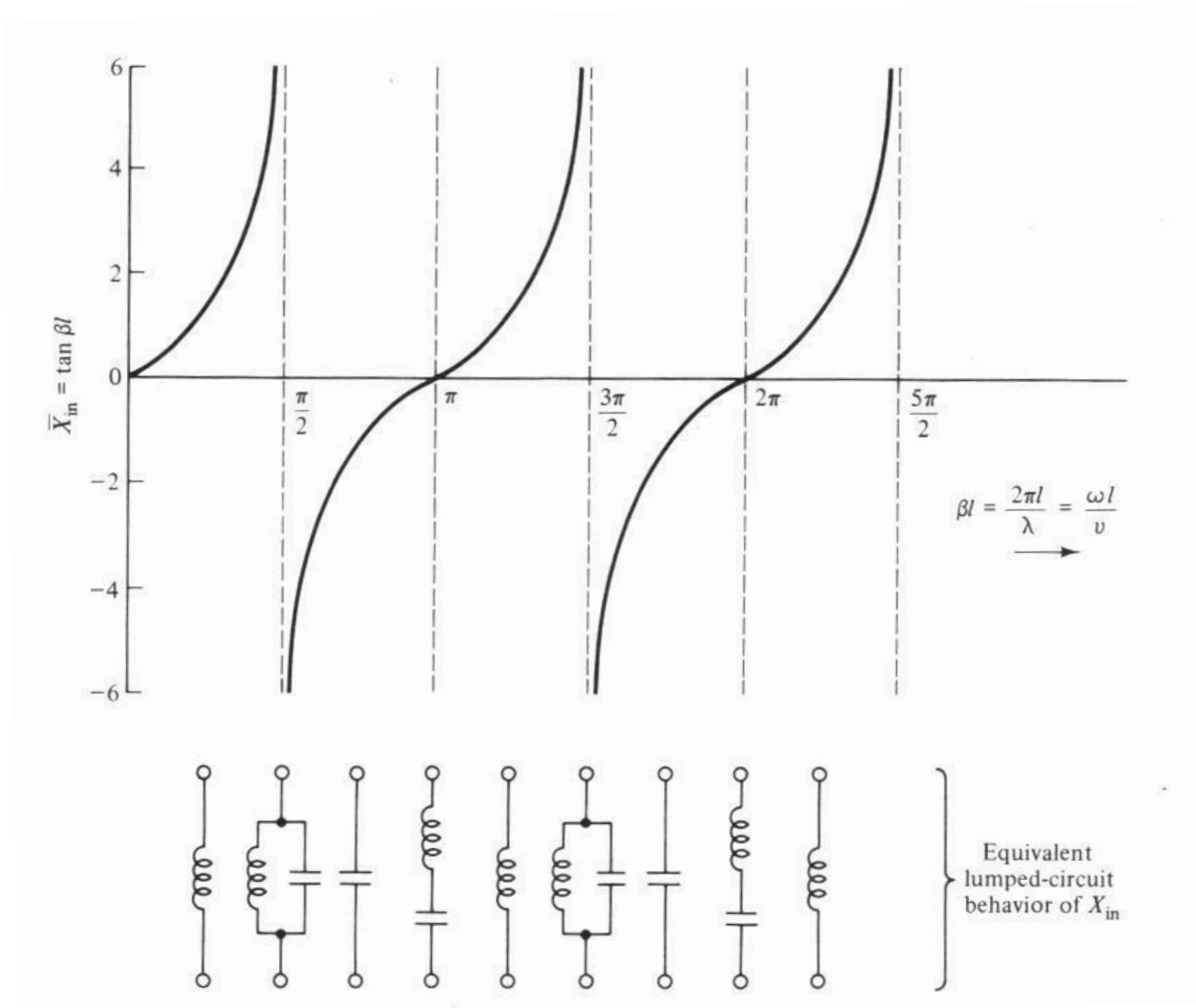
Onde: l é Comprimento físico da linha

$\beta \cdot l$ é Comprimento elétrico da linha em rad

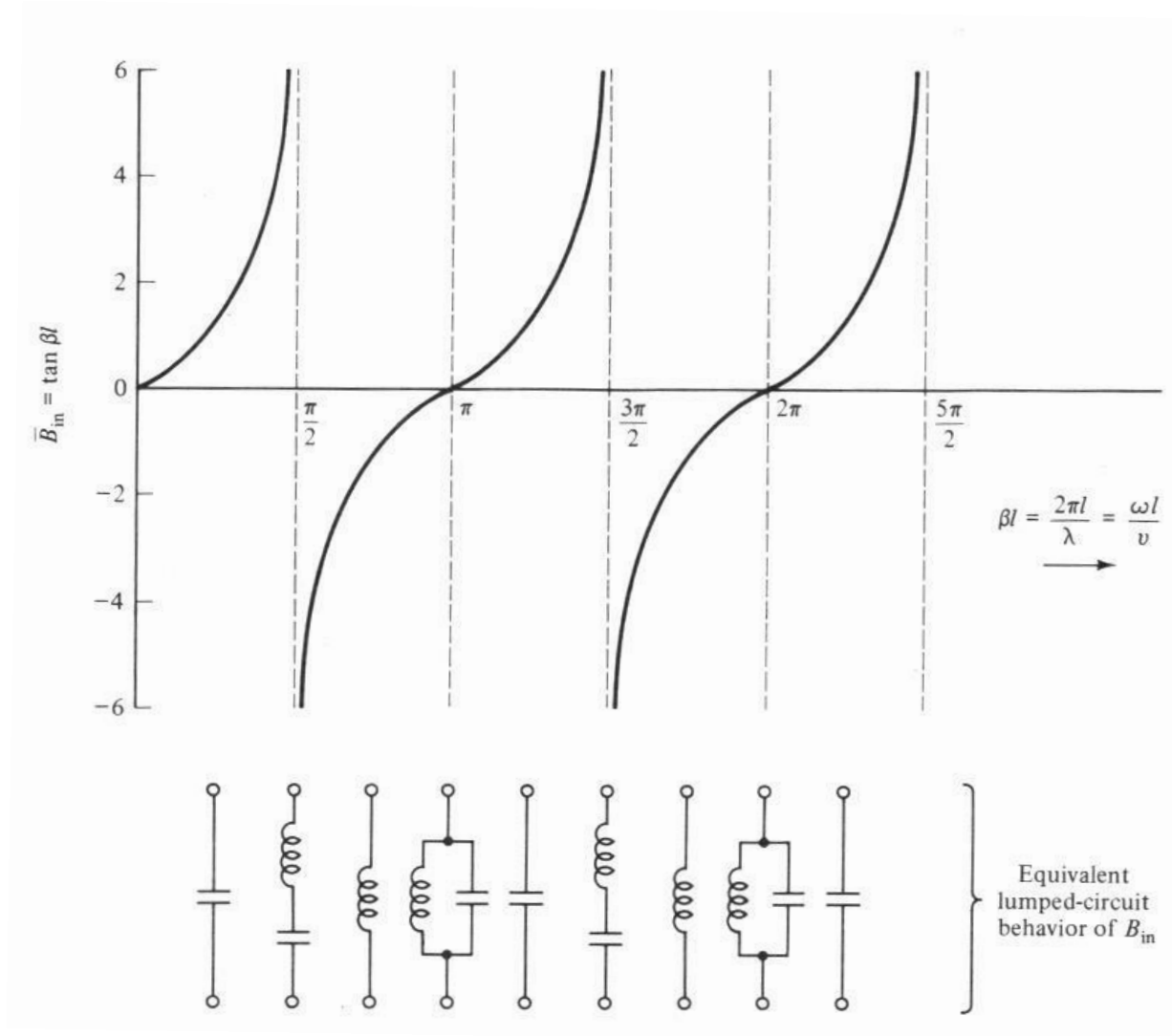
β é a constante de fase em rad/m

$$\beta = 2 \cdot \pi / \lambda$$

Reatância Normalizada do Toco (*Stub*) em curto



Susceptância Normalizada do Toco (*Stub*) em aberto



Equivalência entre elementos concentrados e distribuídos

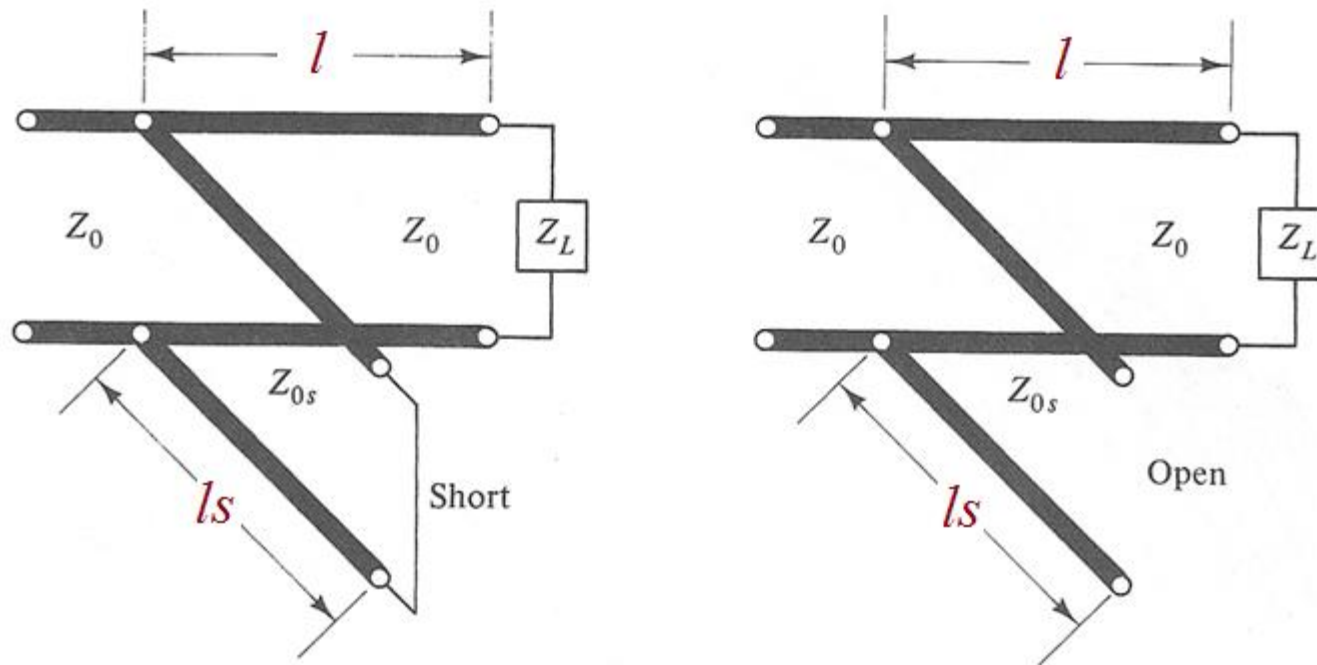
Capacitor paralelo \Leftrightarrow Toco em aberto paralelo, com $\ell < \lambda/4$

Indutor paralelo \Leftrightarrow Toco em curto paralelo, com $\ell < \lambda/4$

Indutor série \Leftrightarrow Linha em série de alta impedância

Capacitor série \Leftrightarrow Não há solução

Redes de casamento com toco simples em paralelo

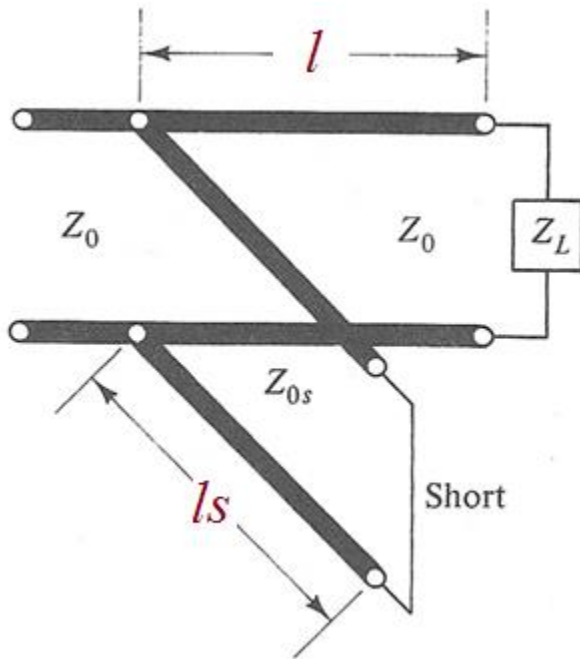


Parâmetros a serem determinados:

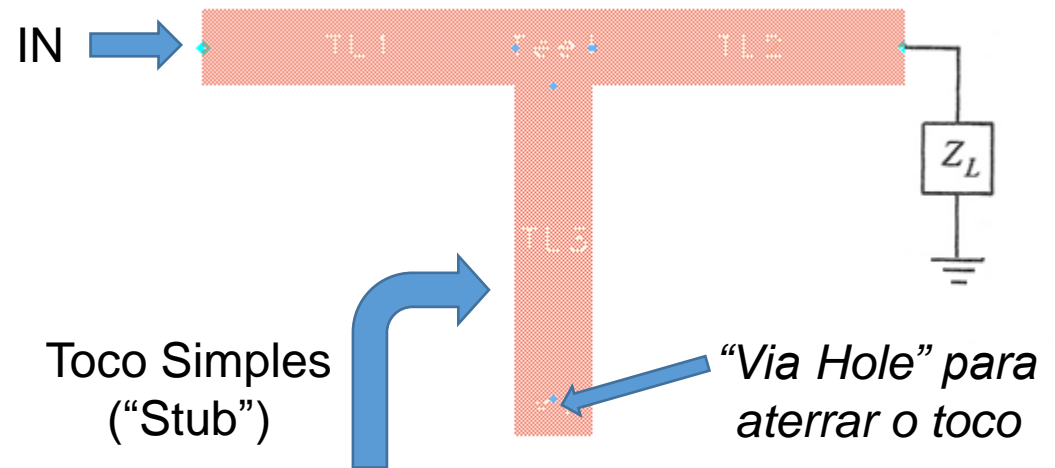
- Localização do toco (comprimento l)
- Comprimento do toco (comprimento l_s)

Redes de casamento com toco simples em paralelo

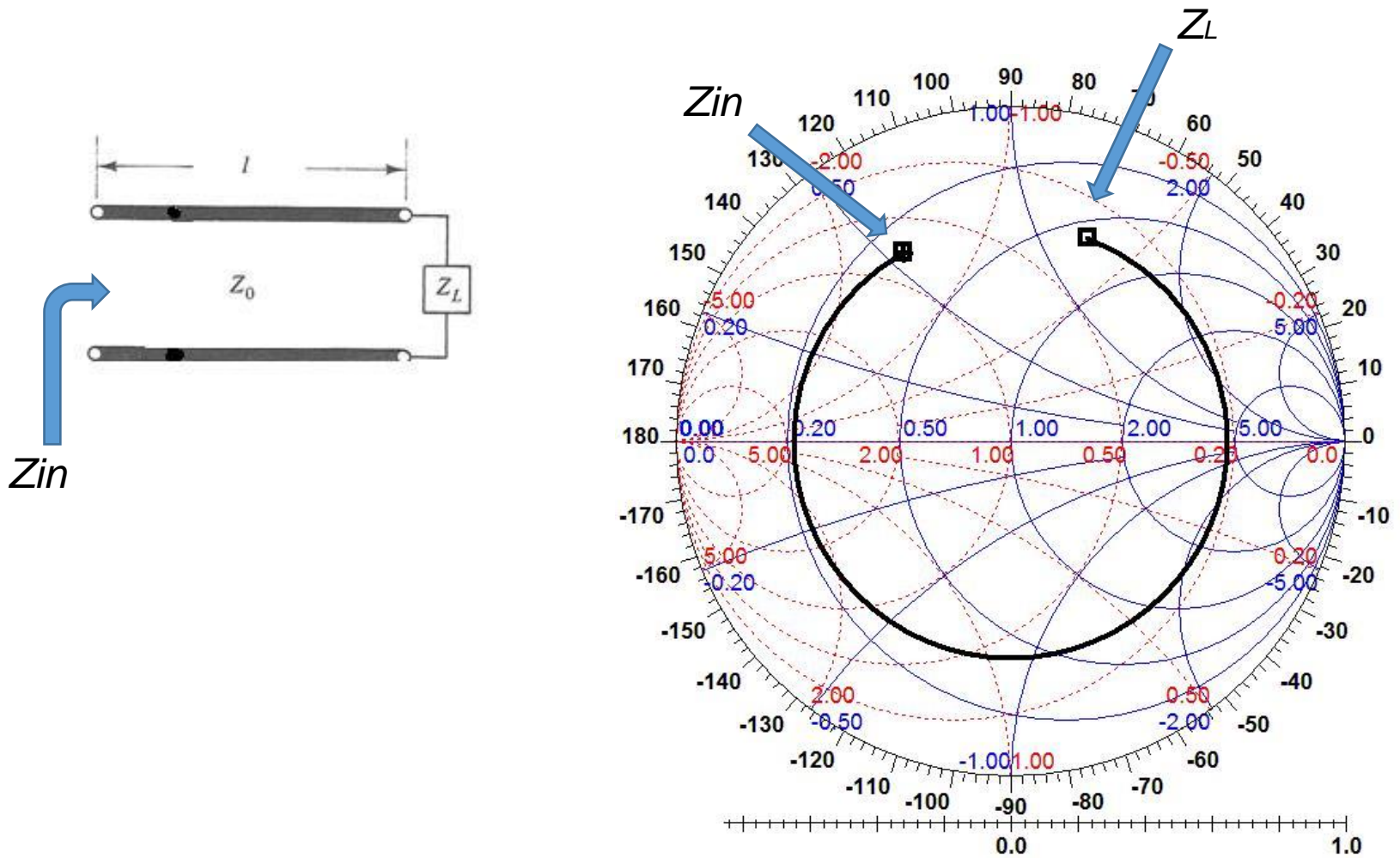
Esquema elétrico



Construído com "Microstrip"



Comportamento de uma Linha de Transmissão na Carta de Smith



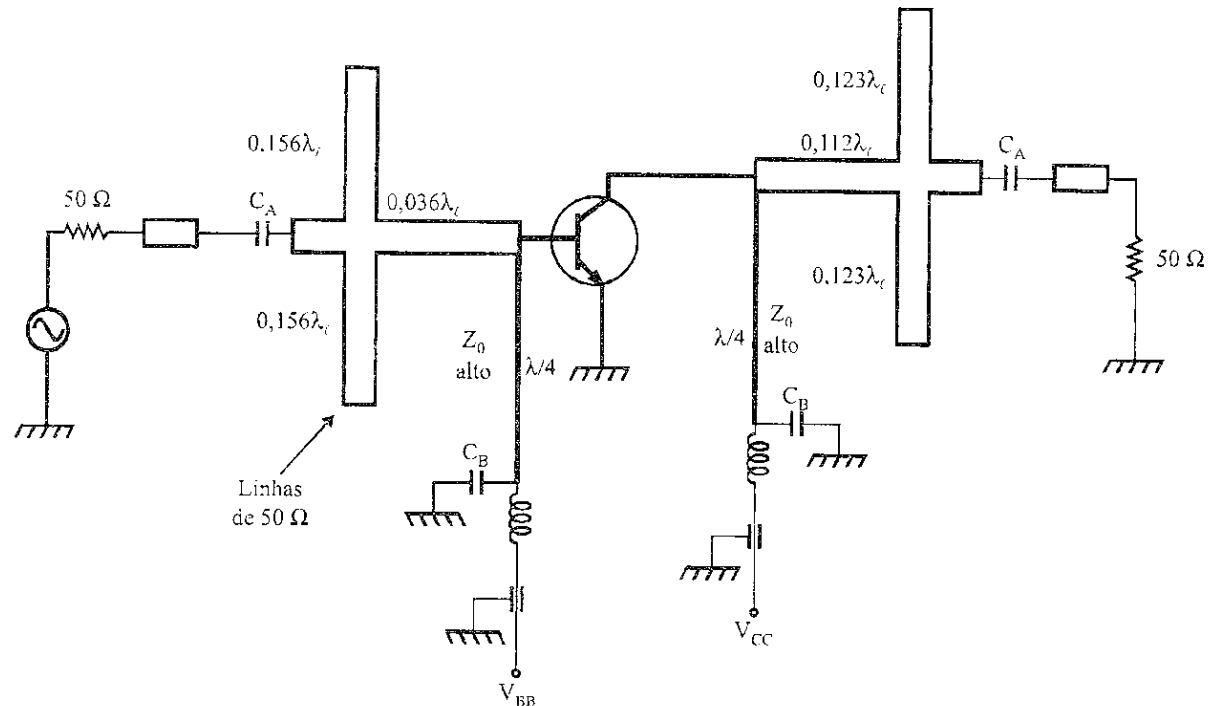
Exercício 5

Um transistor com impedância de entrada de $Z_{in}=(5+j3,5)\Omega$ e impedância de saída de $Z_{out}=(10-j15)\Omega$ em 2 GHz. Dimensione os casamentos de entrada e de saída utilizando casamento com teco simples.

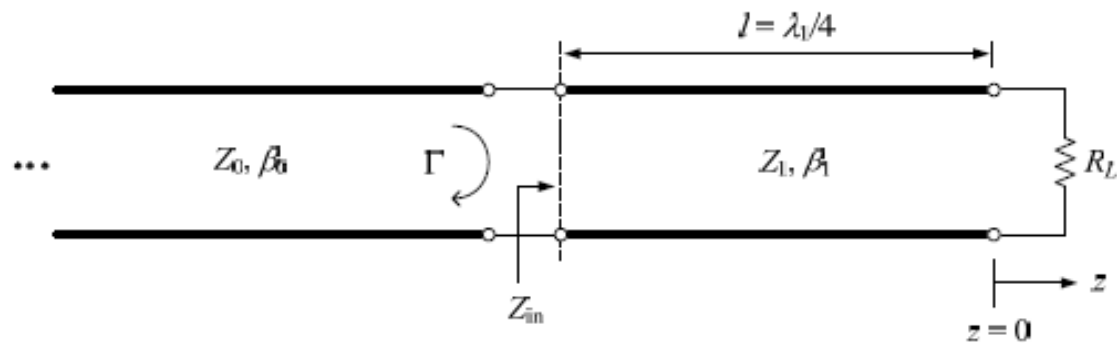
Exercício:

Um transistor com impedância de entrada de $Z_{in}=(5+j3,5)\Omega$ e impedância de saída de $Z_{out}=(10-j15)\Omega$. Dimensione os casamentos de entrada e de saída utilizando casamento com toco simples.

Resposta.

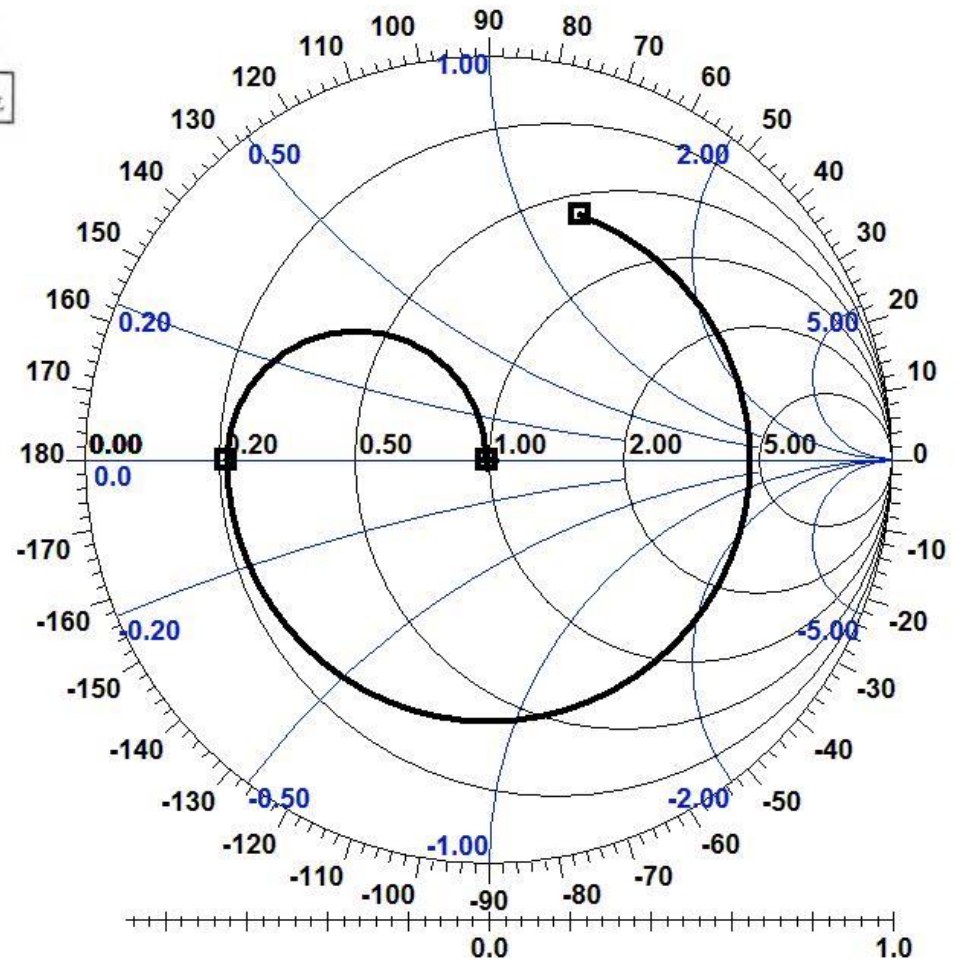
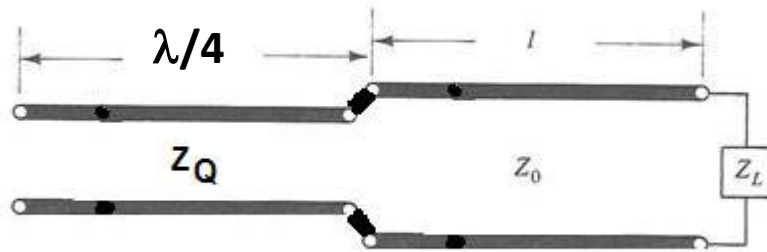


Casamento com transformador $\lambda/4$



$$Z_{in} = \frac{Z_1^2}{R_L}$$

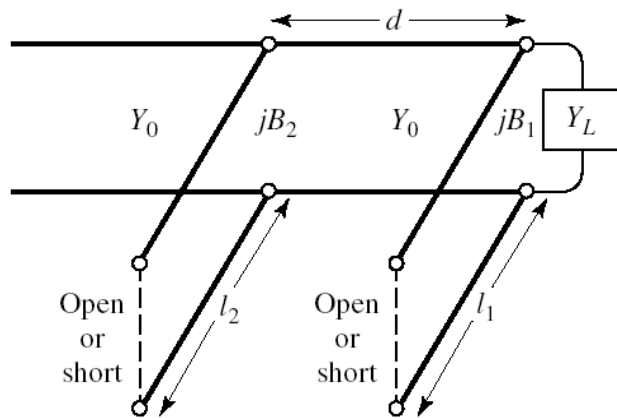
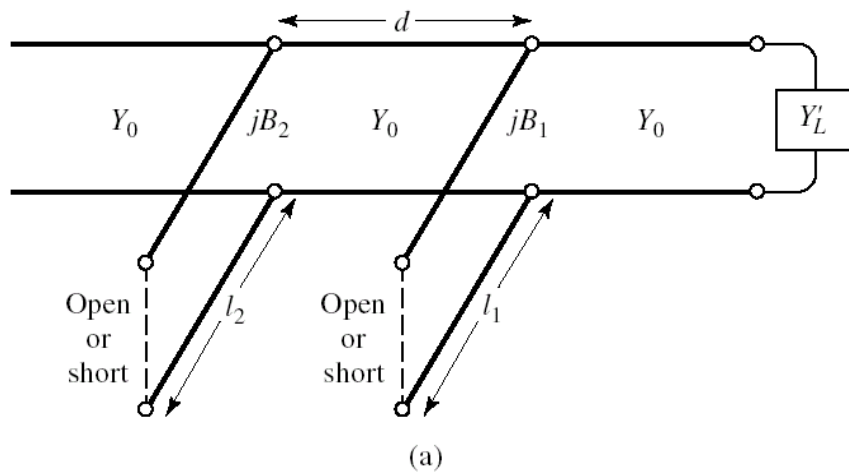
Casamento com transformador $\lambda/4$



Exercício 6

Projete novos casamentos de impedância para os exercícios 1 a 4 utilizando linhas de 50Ω e transformadores de $\lambda/4$.

Rede de Casamento com dois tocos



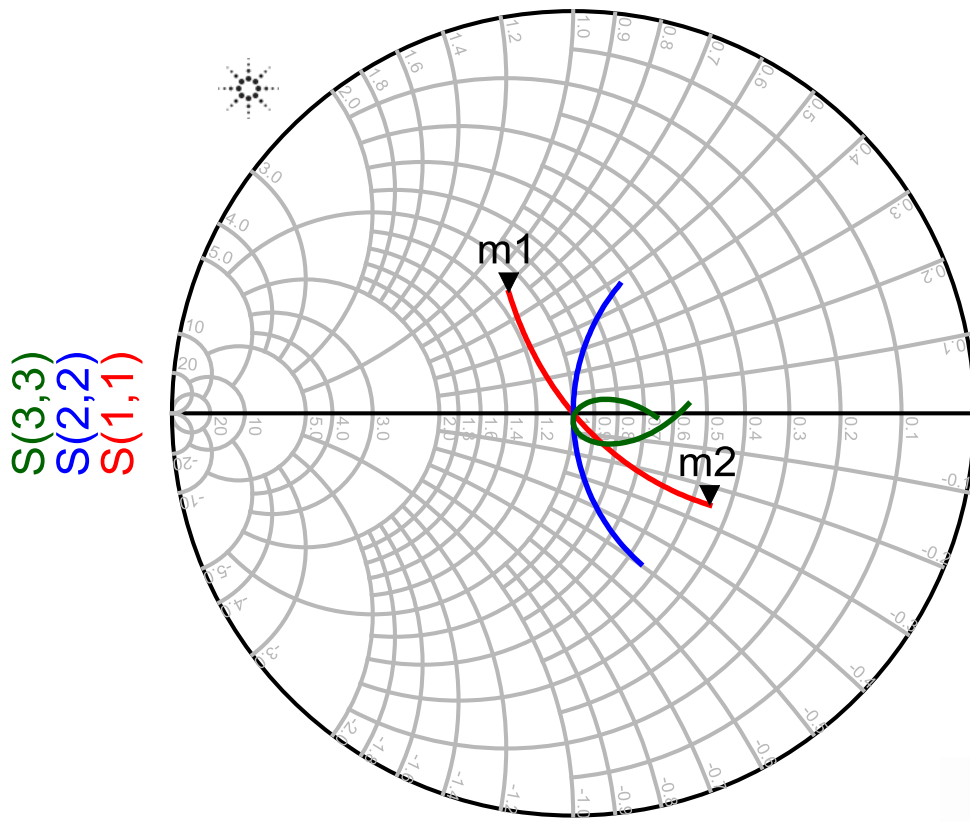
O casamento com dois tocos pode ser implementado a partir de posições fixas dos tocos ao longo da linha

Parâmetros a serem determinados:

- Comprimento do toco (distância L_1)
- Comprimento do toco (distância L_2)

Rede de Casamento banda larga

Input Reflection Coefficient



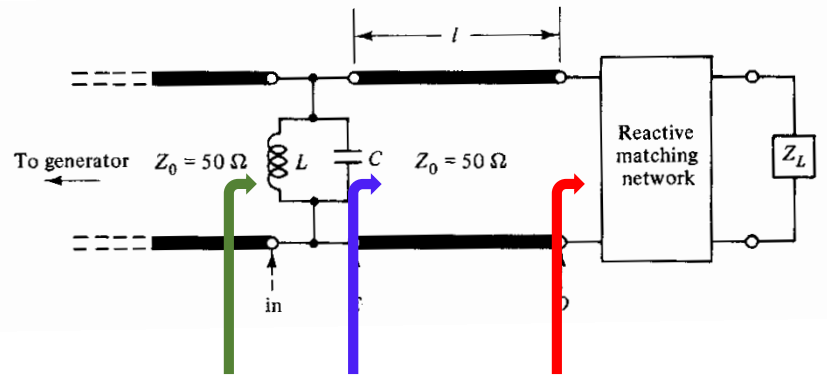
S(3,3)
S(2,2)
S(1,1)

freq (1.600GHz to 2.400GHz)

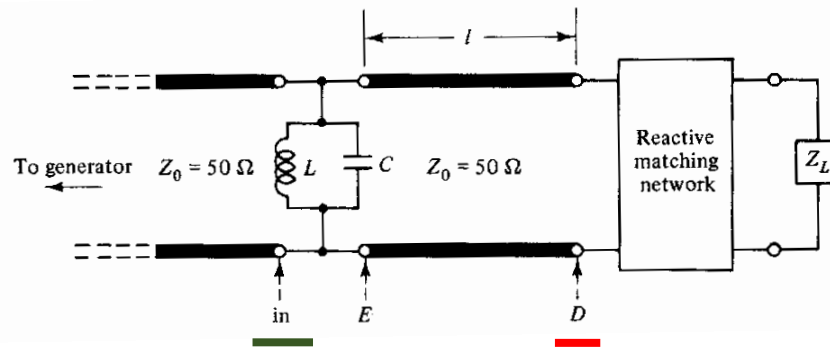
A carga Z_L é um R-C série
 $R = 25 \Omega$ e $C = 2 \text{ pF}$

m1
freq=2.400GHz
S(1,1)=0.341 / 118.082
impedance = $Z_0 * (0.615 + j0.418)$

m2
freq=1.600GHz
S(1,1)=0.410 / -33.810
impedance = $Z_0 * (1.709 - j0.936)$

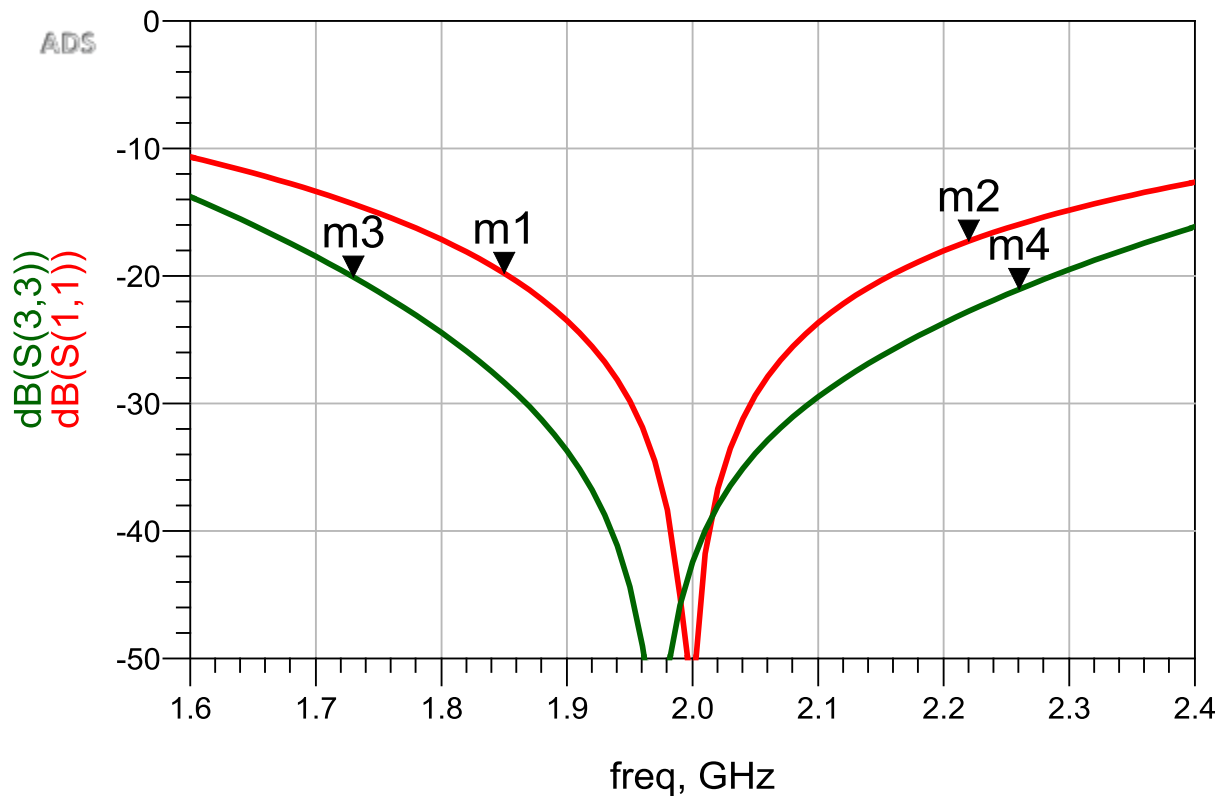


Rede de Casamento banda larga



S_{11} no ponto D

S_{33} no ponto IN



m1
freq=1.850GHz
dB(S(1,1))=-19.788

m2
freq=2.220GHz
dB(S(1,1))=-17.269

m3
freq=1.730GHz
dB(S(3,3))=-20.095

m4
freq=2.260GHz
dB(S(3,3))=-21.049

Carta de Smith - Aplicativos disponíveis

- **No site: Telestrian - RF and Wireless Design**
cgi.www.telestrian.co.uk/cgi-bin/www.telestrian.co.uk/smiths.pl
- **Smith V3.10**
www.fritz.dellsperger.net/smith.html
- **Smith Chart for Excel**
www.rfcafe.com/business/software/smith-chart-for-excel/smith-chart-for-excel.htm
- **Smith Chart – Android**
Google Play Store

Bibliografia - Livros

- **Electronic Applications of the Smith Chart**
Phillip H. Smith, McGraw Hill, 1969.
- **Microwave Engineering: Passive Circuits**
Peter A. Rizzi, Pearson, 1987.
- **Linha de Transmissão e Carta de Smith**
José Carlos Sartori, Edusp, 1999.
- **Site Microwaves101.com**
www.microwaves101.com/encyclopedias/smith-chart-basics
- **Site Amanogawa**
<http://www.amanogawa.com/archive/transmissionA.html>