

# Módulo II – Linhas de Transmissão

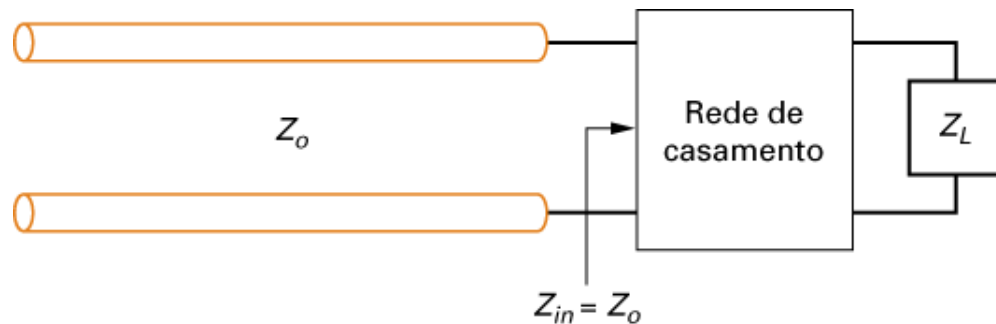
## Carta de Smith Casamento de Impedância



# Casamento de impedância

A máxima transferência de potência à carga em uma LT sem perdas é obtida quando a impedância de entrada da LT  $Z_{in}$  é igual à impedância característica  $Z_0$ .

$$Z_{in} = Z_0$$



Técnicas utilizadas para obter casamento de impedância:

- Transformador de quarto de onda,
- Acoplador de *stub* simples,
- Acoplador de elementos concentrados,
- Transformador de multi-seção.

# Transformador de quarto de onda

Se a impedância da carga for real ( $Z_L = R_L$ ), então uma rede de casamento de quarto de onda pode ser utilizada.

Consideremos uma linha sem perdas com impedância  $Z_S$ , terminada com uma carga resistiva  $R_L$ . Temos que

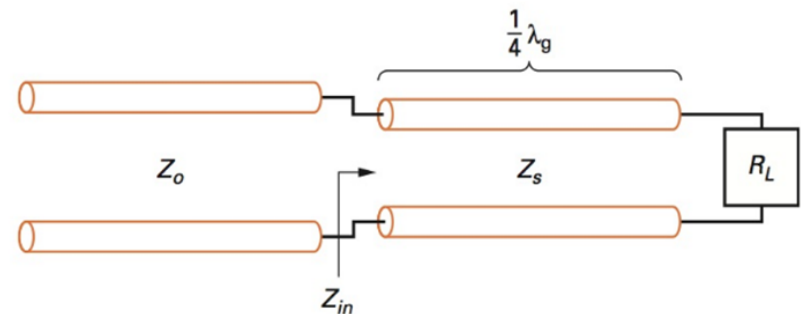
$$Z_{in} = Z_S \frac{R_L + jZ_S \tan(\beta l)}{Z_S + jR_L \tan(\beta l)}$$

Para uma LT com tamanho  $l = \lambda/4$ , temos  $\beta l = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) l = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \left(\frac{\lambda}{4}\right) = \frac{\pi}{2}$ ,

$\tan \beta l = \infty$ , portanto,  $Z_{in} = \frac{Z_S^2}{R_L}$ .

Dado que buscamos  $Z_{in} = Z_0$ ,

$$Z_{in} = \frac{Z_S^2}{R_L} = Z_0 \longrightarrow Z_S = \sqrt{Z_0 R_L}$$



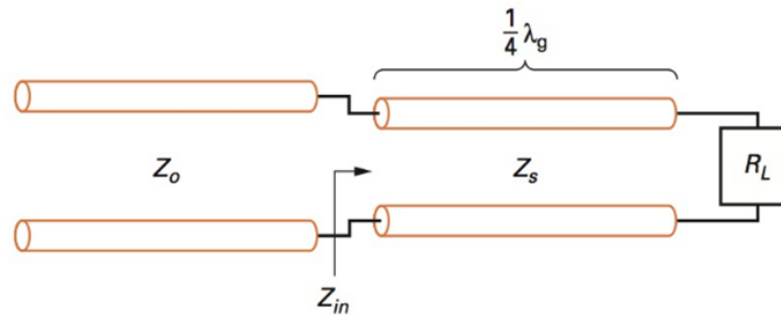
Transformador de quarto de onda.

$Z_S$  é a impedância característica do transformador de quarto de onda

# Transformador de quarto de onda

Por exemplo, se uma carga de  $120\Omega$  deve ser casada a uma linha de  $75\Omega$ , o transformador de quarto de onda deve ter uma impedância característica de aproximadamente  $95\Omega$ , conforme

$$Z_s = \sqrt{Z_0 R_L} = \sqrt{75 \cdot 120} = 94,86\Omega$$

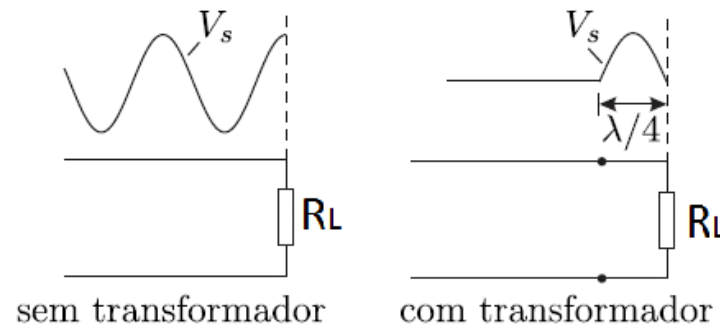


Transformador de quarto de onda.

# Transformador de quarto de onda

As configurações de ondas estacionárias para o fasor de tensão são:

- Sem o transformador de impedância temos a presença da onda estacionária, em função do descasamento.



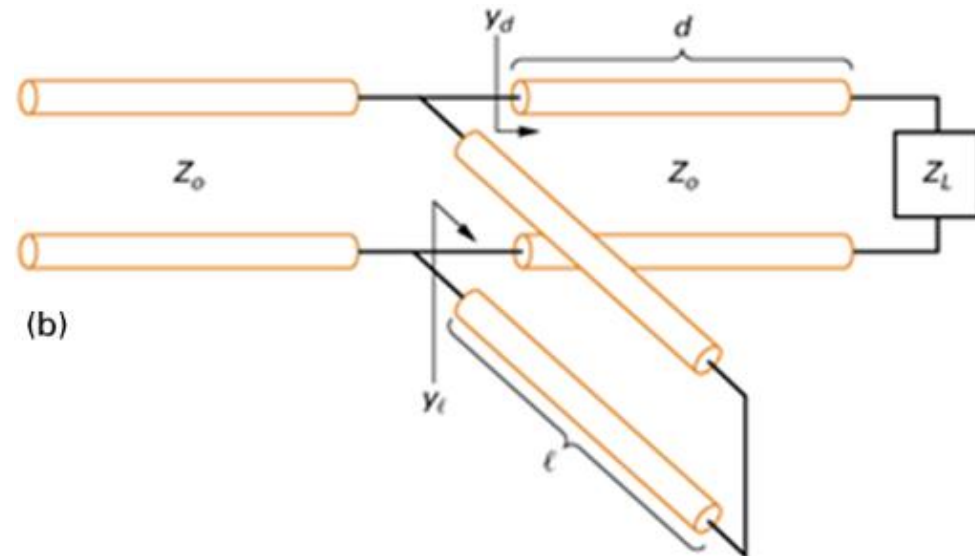
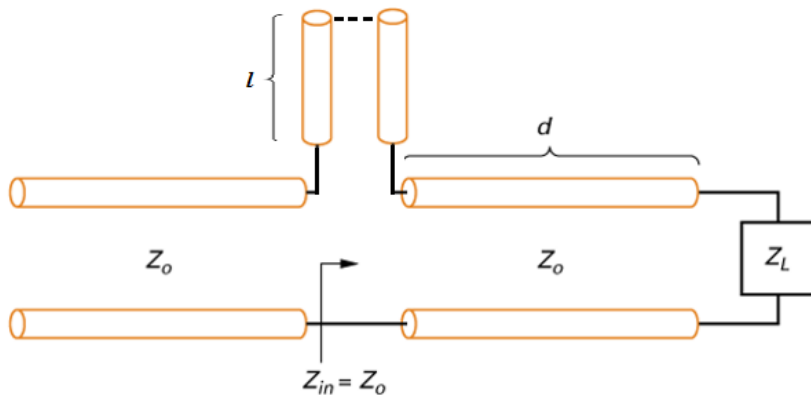
- Com o transformador de impedância de tamanho  $\lambda/4$ , como o transformador coloca uma impedância que é igual à impedância da linha, a linha é casada, não existindo mais a onda estacionária, apenas no trecho de  $\lambda/4$  (entre o transformador e a carga).

É importante ressaltar que, como o transformador é calculado para um comprimento de onda específico, pequenas variações na frequência de operação podem acarretar no descasamento da linha.

# Casamento de impedância com a carta de Smith

- O objetivo da rede de casamento é fazer a **impedância de entrada da rede de casamento  $Z_{in}$  ser igual à  $Z_0$** .
- Isso pode ser obtido através da **inserção de um elemento reativo apropriado ( $\mp j$ )**.
- O elemento pode ser inserido em série ou em paralelo.

Impedância:  $Z = R + jX$   
R: Resistência; X: Reatância



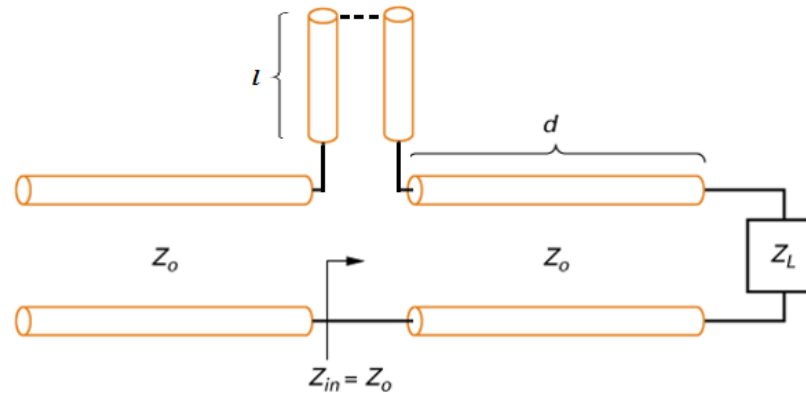
Admitância:  $Y = G + jB$   
G: Condutância; B: Susceptância

# Casamento de impedância com a carta de Smith

- Como vimos anteriormente, **elementos reativos podem ser construídos através de uma LT de tamanho apropriado, terminada em curto-circuito ou circuito aberto.**
- A impedância de entrada de uma LT sem perdas terminada em **curto-circuito** é sempre uma reatância pura, dada por  $Z_{in} = jZ_0 \operatorname{tg}(\beta l)$  (uma impedância puramente reativa, já que  $Z = R + jX$ , com  $R = 0$ , ou seja, na entrada da linha só aparece uma reatância).
- A impedância de entrada de uma LT sem perdas terminada em **circuito aberto** também é sempre uma reatância pura, dada por  $Z_{in} = -jZ_0 \operatorname{cot}(\beta l)$ .
- Dependendo do comprimento da linha, estas reatâncias podem aparecer indutivas ( $+j$ ) ou capacitivas ( $-j$ ), o que é usado para gerar indutores e capacitores em micro-ondas.

# Casamento de impedância com a carta de Smith

O acoplador com *stub* simples consiste no uso de uma LT em circuito aberto ou curto circuito, posicionada a uma distância  $d$  da carga, com tamanho  $l$ , de modo a **cancelar a parte reativa da impedância de entrada da LT**.



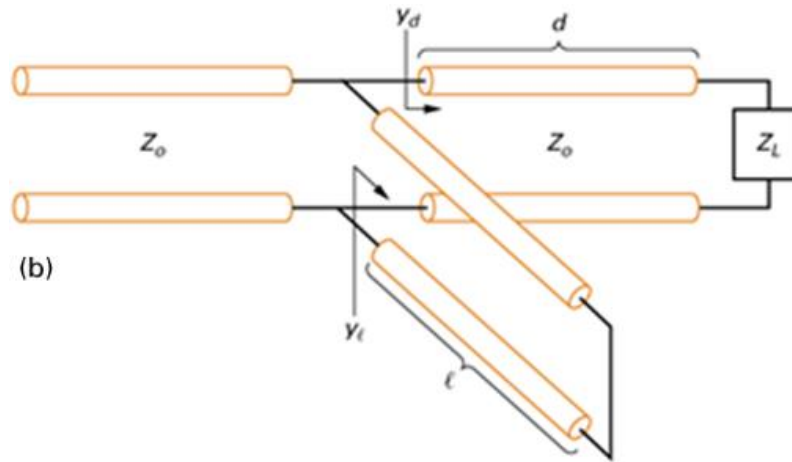
Note que a impedância de entrada da LT é dada por  $Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$  e, para que se obtenha o casamento de impedâncias, o acoplador com *stub* deve ser determinado de tal forma que tenhamos  $-jX_{in}$  na entrada, para cancelar com  $jX_{in}$ , de forma que resulte apenas  $R_{in}$ .

O tamanho  $l$  da LT tem que ser tal que a parte real  $R_{in}$  seja igual a  $Z_0$ .



# Casamento de impedância com a carta de Smith

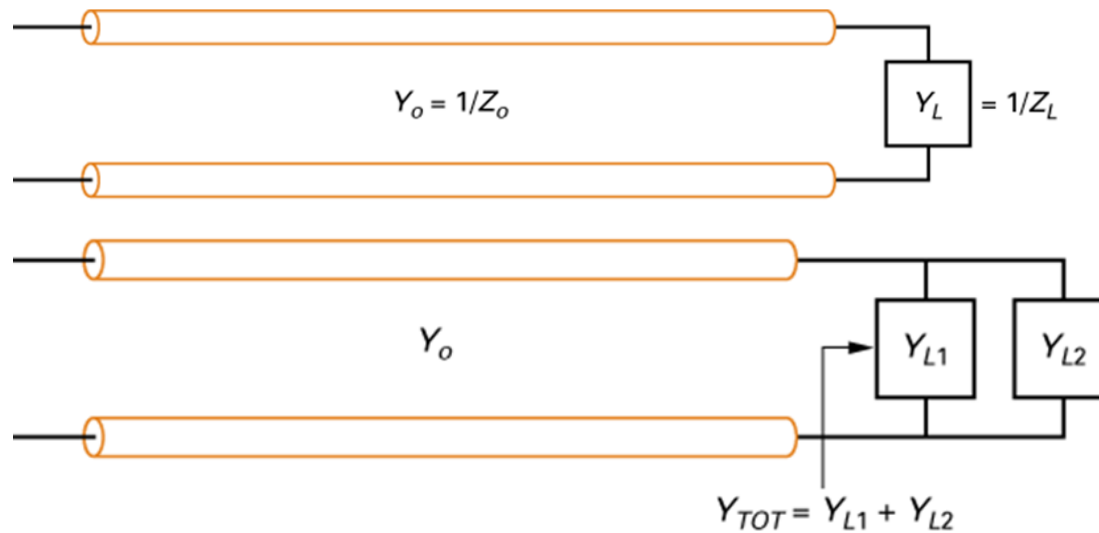
O acoplador com *stub* simples consiste no uso de uma LT em circuito aberto ou curto circuito, posicionada a uma distância  $d$  da carga, com tamanho  $l$ , de modo a **cancelar a parte reativa da impedância de entrada da LT**.



Note que a admitância de entrada da LT ( $Y_{in} = 1/Z_{in}$ ) é dada por  $Y_{in} = G_{in} + jB_{in}$  e, para que se obtenha o casamento de impedâncias, o acoplador com stub deve ser determinado de tal forma que tenhamos  $-jB_{in}$  na entrada, para cancelar com  $jB_{in}$ , de forma que resulte apenas  $G_{in}$ , sendo  $G_{in} = 1/Z_0$ .

# Acoplador de Stub Simples

- Para fins de casamento de impedância em circuitos de micro-ondas e RF, o elemento reativo (*stub*) é comumente adicionado em paralelo à LT.
- Com elementos em paralelo, é mais fácil trabalhar com a admitância.
- A admitância é o inverso da impedância, e permite a adição direta dos elementos em paralelo.



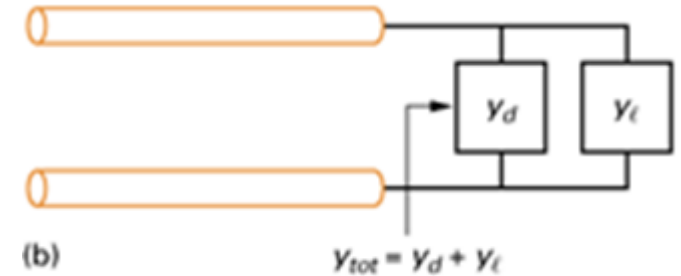
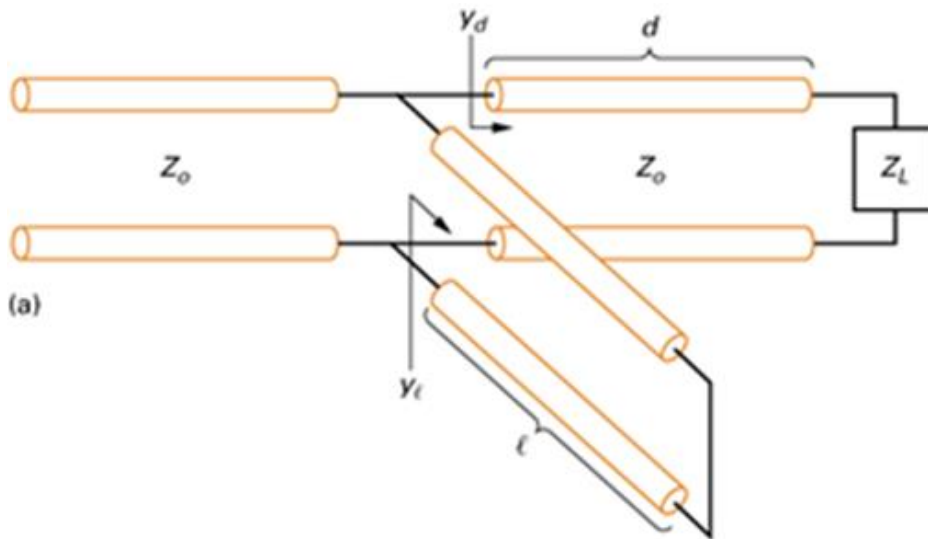
Impedância:  $Z = R + jX$   
R: Resistência; X: Reatância

Admitância:  $Y = G + jB$   
G: Condutância; B: Susceptância

# Acoplador de Stub Simples

- Realizar o casamento de impedância utilizando *stub* em paralelo, consiste em definir a distância  $d$  equivalente à seção da linha de transmissão onde será inserido o elemento reativo (*stub* de tamanho  $l$ ).
- A admitância vista na entrada do acoplador é dada por

$$Y_{Total} = Y_d + Y_l$$

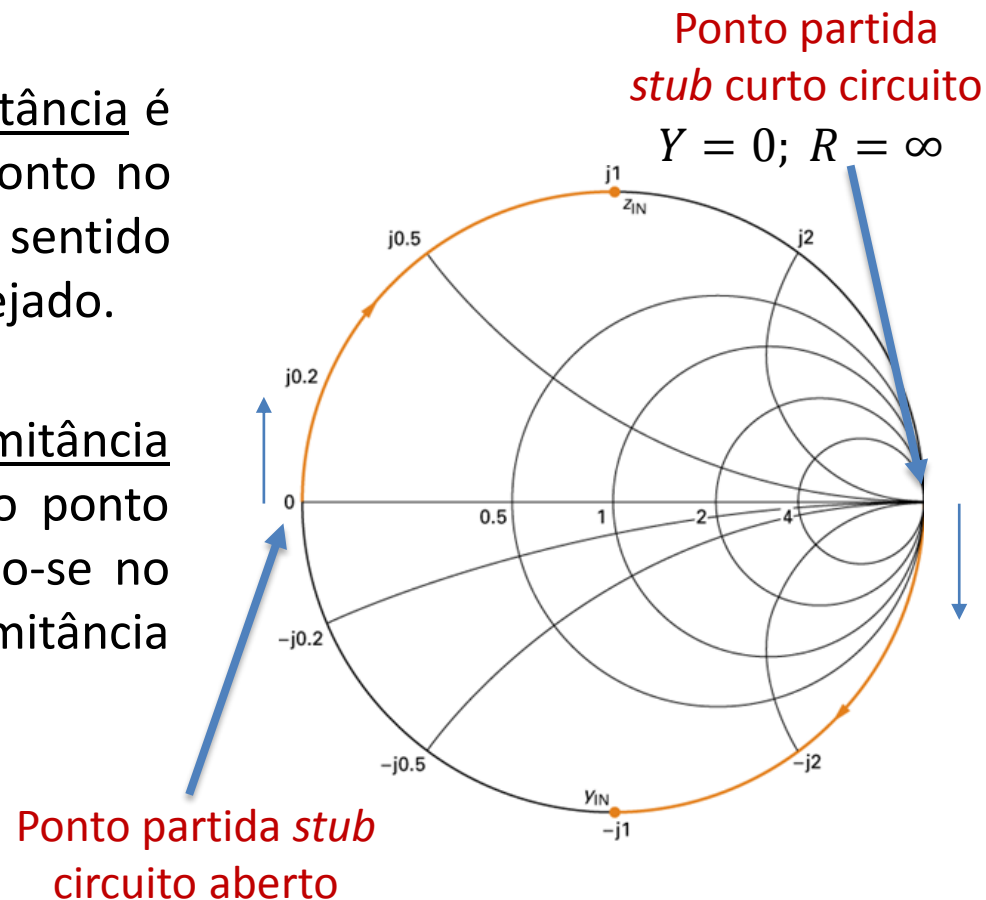


# Acoplador de Stub Simples

- Uma LT em curto ou circuito aberto possui círculo de coeficiente de reflexão constante na periferia da Carta de Smith ( $z = 0 \mp jx$ ).
- A seleção apropriada do comprimento  $l$  da LT nos permite escolher qualquer valor de reatância que queiramos, seja capacitiva ou indutiva.

Para um *stub* em **curto circuito**, a admitância é determinada começando a partir do ponto no **lado direito da carta**, deslocando-se no sentido horário, até o ponto de admitância desejado.

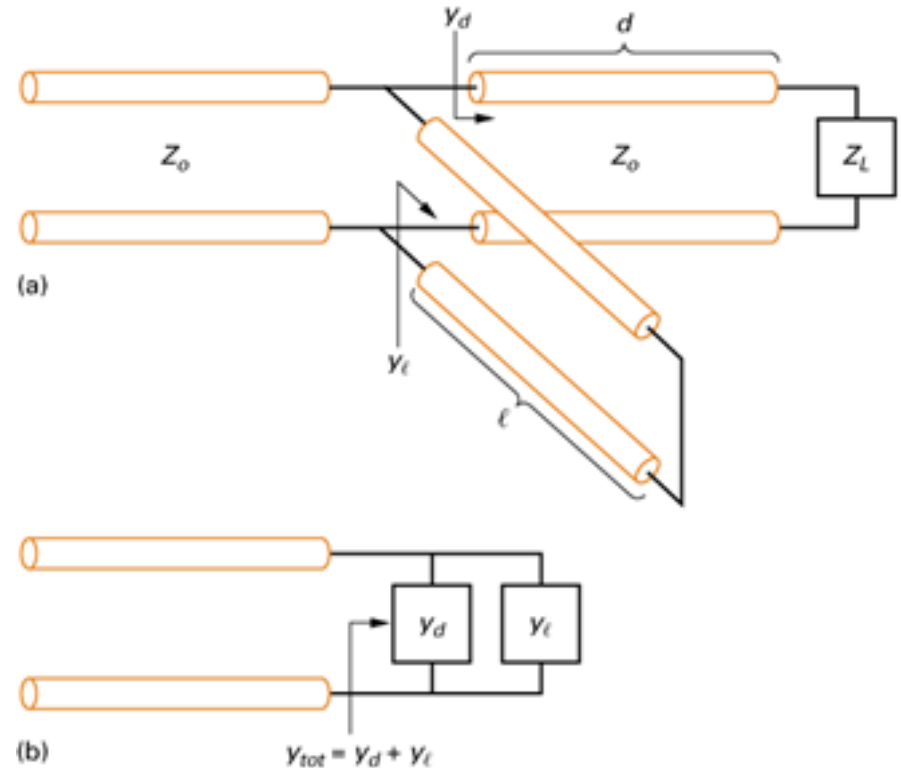
Para um *stub* em **circuito aberto**, a admitância é determinada começando a partir do ponto no **lado esquerdo da carta**, deslocando-se no sentido horário, até o ponto de admitância desejado.



# Acoplador de Stub Simples - Exemplo

Construa uma rede de casamento com stub paralelo em curto circuito para uma linha de  $50\Omega$ , terminada com uma carga  $Z_L = 20 - j55\Omega$ .

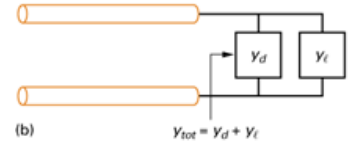
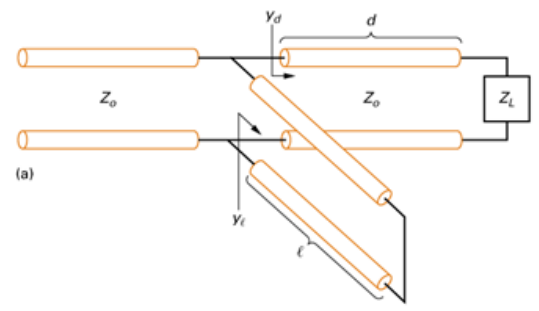
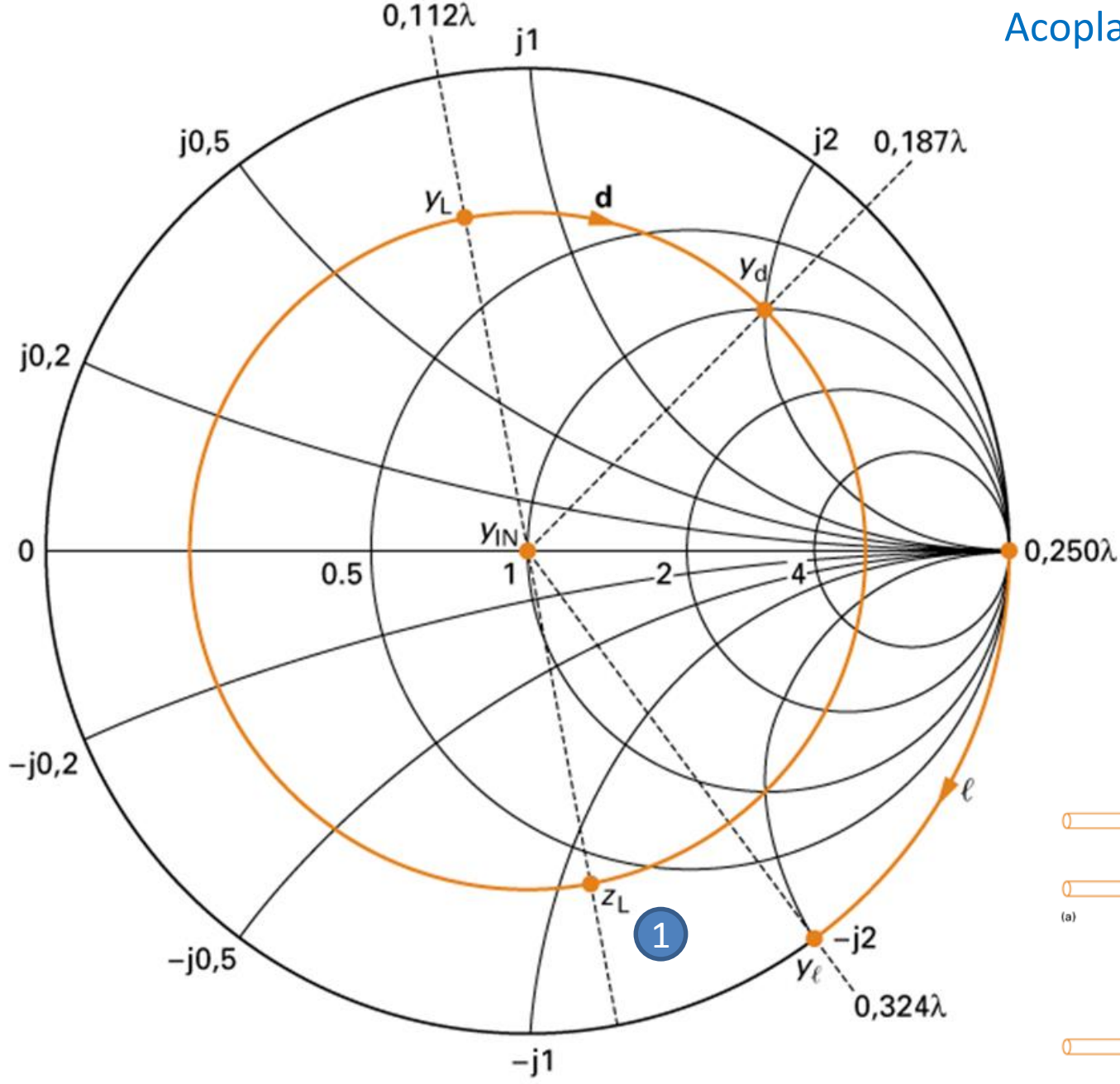
- 1) Calcular a impedância normalizada.
- 2) Utilizando a carta de Smith, definir a distância  $d$ .
- 3) Utilizando a carta de Smith, definir o tamanho  $l$ .



- 1 Identificar na CS o ponto da impedância de carga normalizada  $z_L$ .

# Acoplador de Stub Simples

$$z_L = 0,4 - j1,1$$

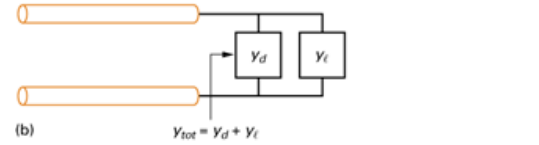
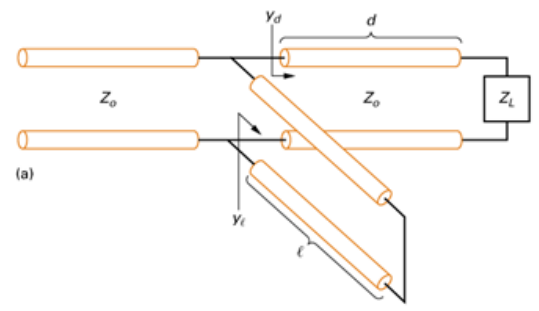
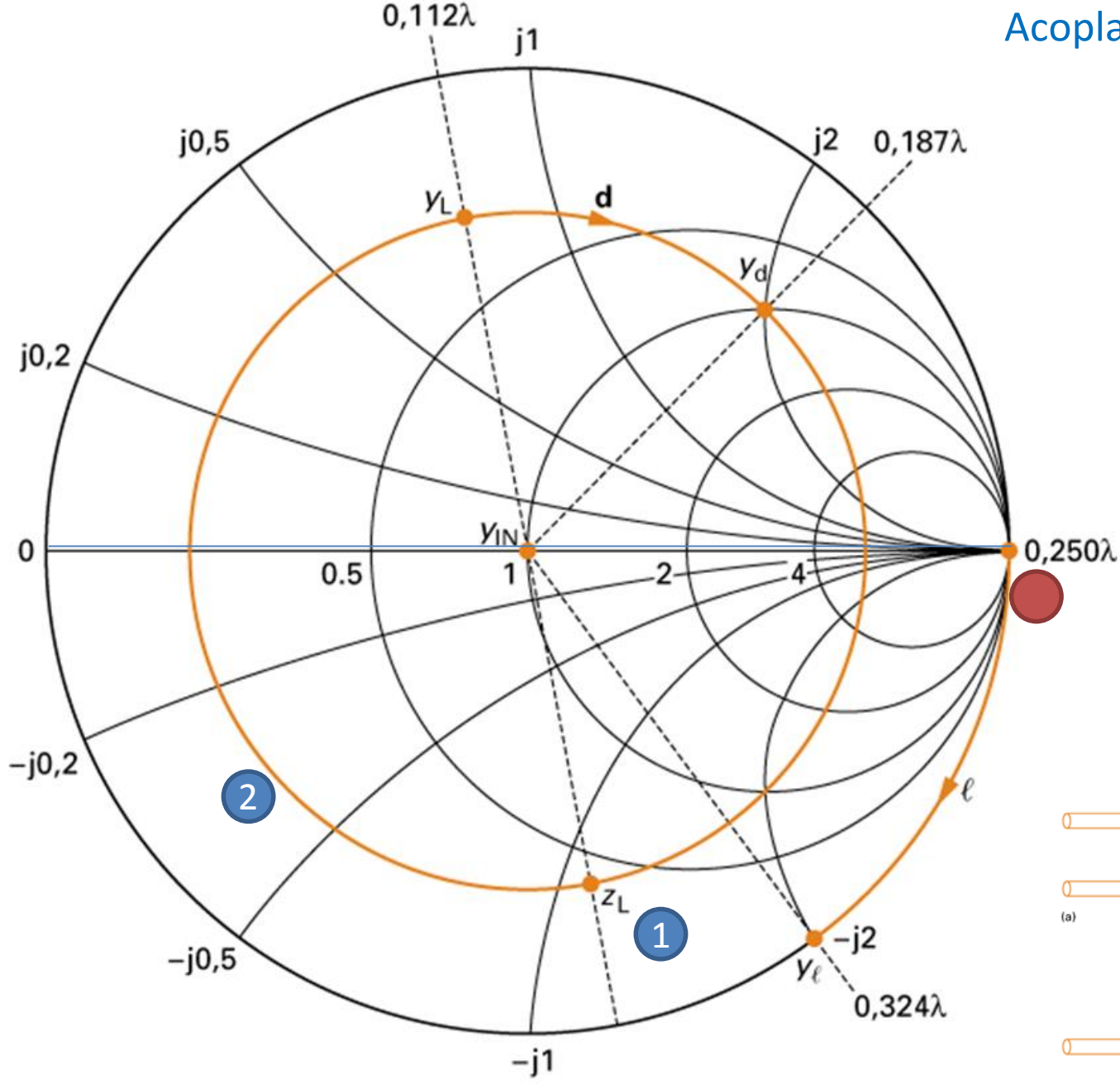


- 1 Identificar o ponto da impedância de carga normalizada  $z_L$ .
- 2 Traçar o círculo do módulo do coeficiente de reflexão constante.



# Acoplador de Stub Simples

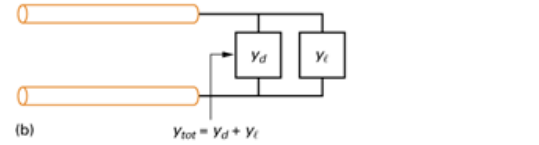
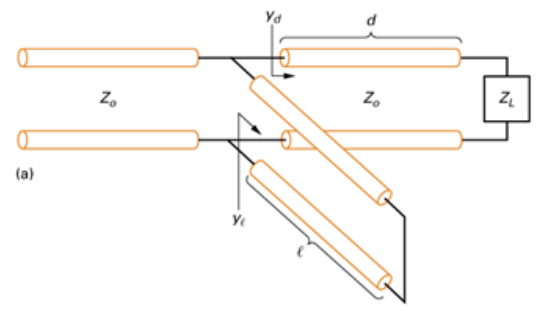
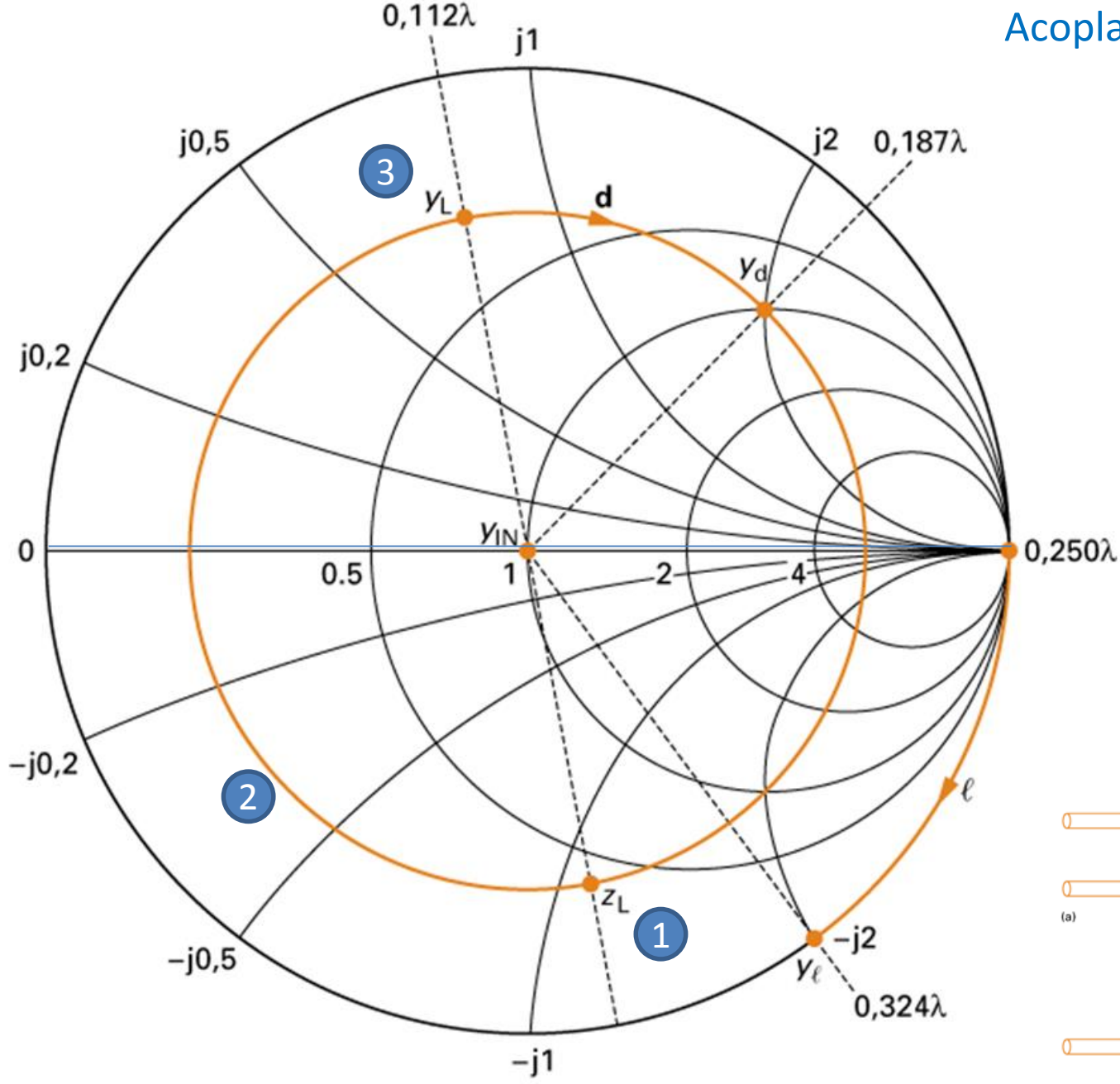
$$z_L = 0,4 - j1,1$$



- 1 Identificar o ponto da impedância de carga normalizada  $z_L$ .
- 2 Traçar o círculo do módulo do coeficiente de reflexão constante.
- 3 Transformar impedância em admitância. Para os passos seguintes, vamos considerar a carta de Smith como carta de admitância.

# Acoplador de Stub Simples

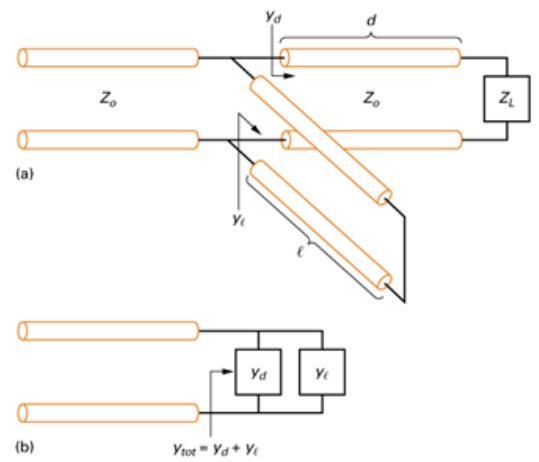
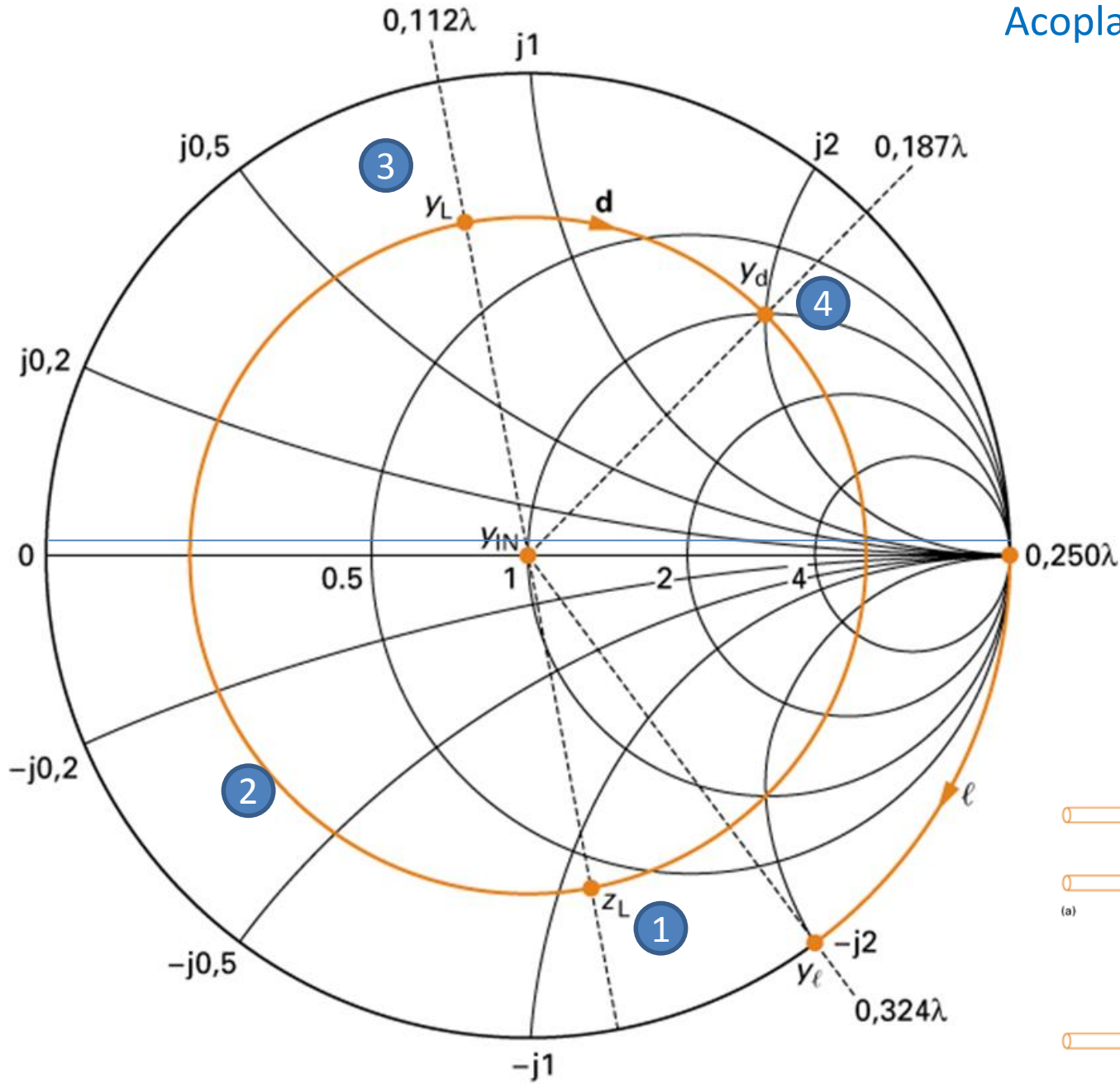
$$z_L = 0,4 - j1,1$$



- 1 Identificar o ponto da impedância de carga normalizada  $z_L$ .
- 2 Traçar o círculo do módulo do coeficiente de reflexão constante.
- 3 Transformar impedância em admitância. Para os passos seguintes, vamos considerar a carta de Smith como carta de admitância.
- 4 Mover-se no sentido horário ao longo do círculo de  $|\Gamma|$  constante, até interceptar o círculo  $1 + jb$ , onde a condutância normalizada é unitária. Verificar o valor da susceptância  $b$  neste ponto.

# Acoplador de Stub Simples

$$z_L = 0,4 - j1,1$$

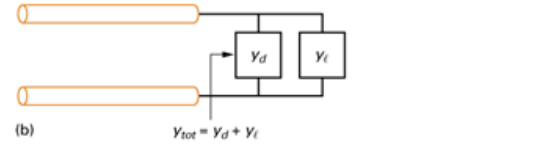
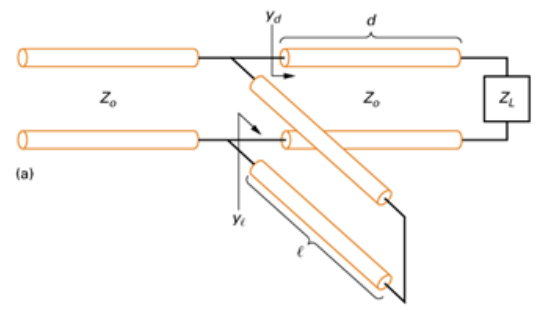
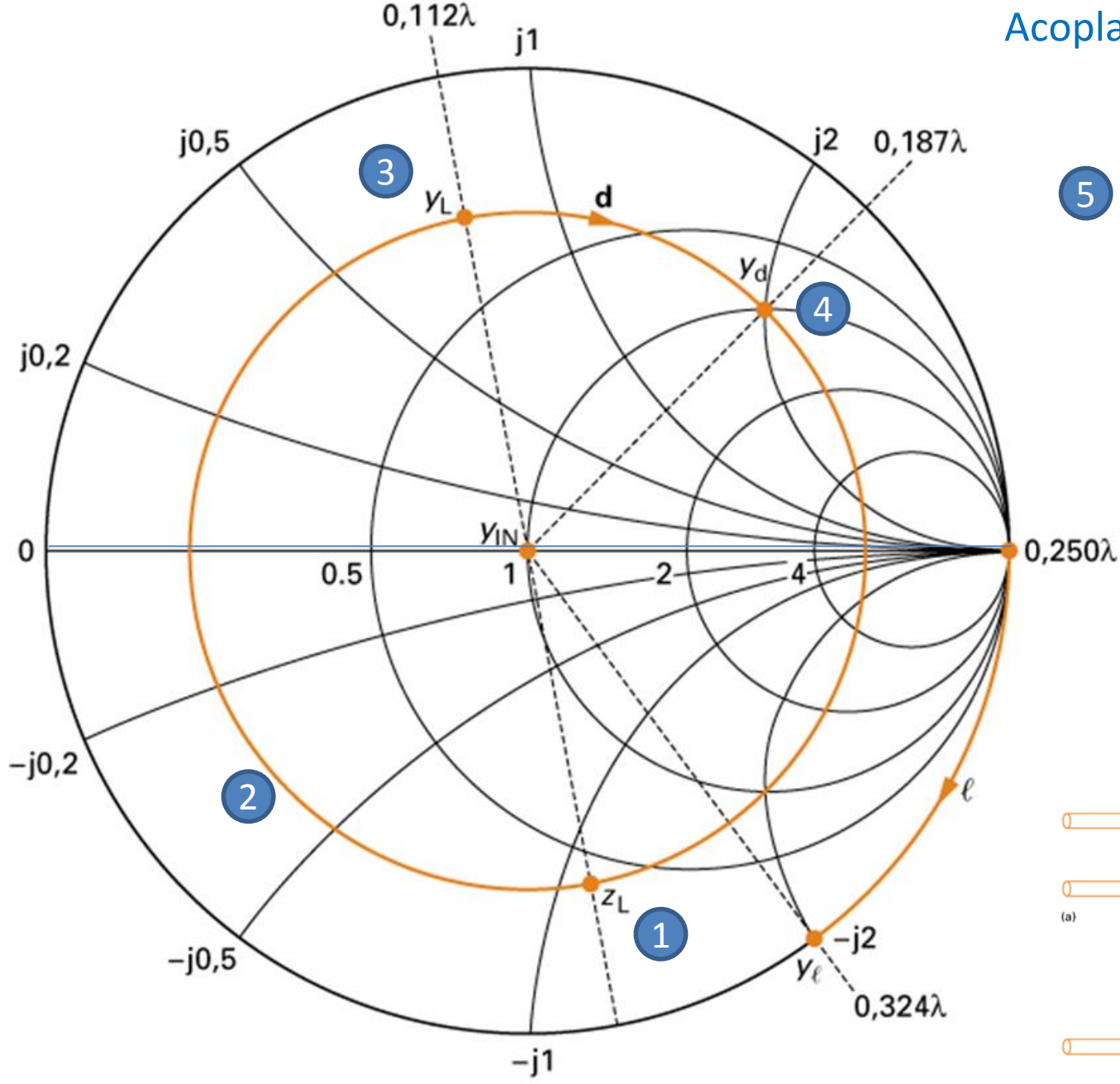


- 1 Identificar o ponto da impedância de carga normalizada  $z_L$ .
- 2 Traçar o círculo do módulo do coeficiente de reflexão constante.
- 3 Transformar impedância em admitância. Para os passos seguintes, vamos considerar a carta de Smith como carta de admitância.
- 4 Mover-se no sentido horário ao longo do círculo de  $|\Gamma|$  constante, até interceptar o círculo  $1 + jb$ , onde a condutância normalizada é unitária. Verificar o valor da susceptância  $b$  neste ponto.
- 5 Determinar a distância  $d$  entre a carga e o *stub*, calculando a distância entre a admitância na carga e o ponto onde a condutância normalizada é unitária, obtido no item 4.

# Acoplador de Stub Simples

$$z_L = 0,4 - j1,1$$

5  $d = 0,187\lambda - 0,112\lambda$   
 $d = 0,075\lambda$





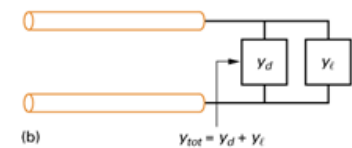
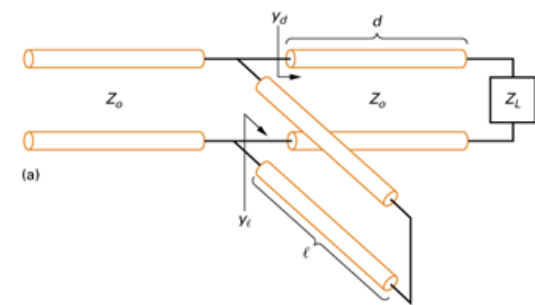
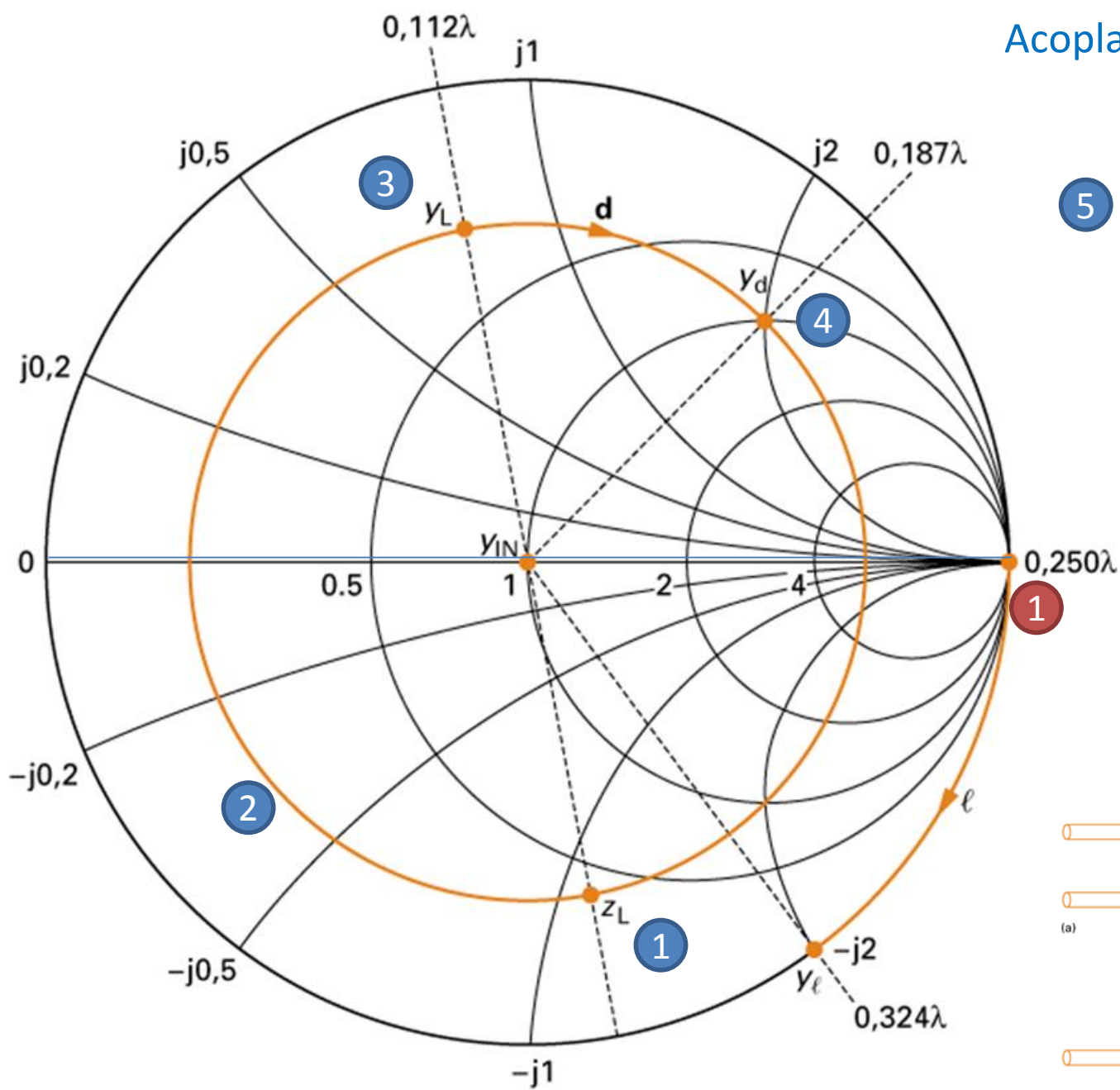
- 1 Identificar o ponto da impedância de carga normalizada  $z_L$ .
  - 2 Traçar o círculo do módulo do coeficiente de reflexão constante.
  - 3 Transformar impedância em admitância. Para os passos seguintes, vamos considerar a carta de Smith como carta de admitância.
  - 4 Mover-se no sentido horário ao longo do círculo de  $|\Gamma|$  constante, até interceptar o círculo  $1 + jb$ , onde a condutância normalizada é unitária. Verificar o valor da susceptância  $b$  neste ponto.
  - 5 Determinar a distância  $d$  entre carga e o *stub*, calculando a distância entre a admitância na carga e o ponto onde a condutância normalizada é unitária, obtido no item 4.
- 1 Identificar o ponto de partida do *stub* (curto circuito  $y = \infty$  ou circuito aberto  $y = 0$ ).



# Acoplador de Stub Simples

$$z_L = 0,4 - j1,1$$

5  $d = 0,187\lambda - 0,112\lambda$   
 $d = 0,075\lambda$

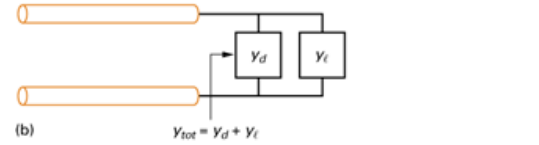
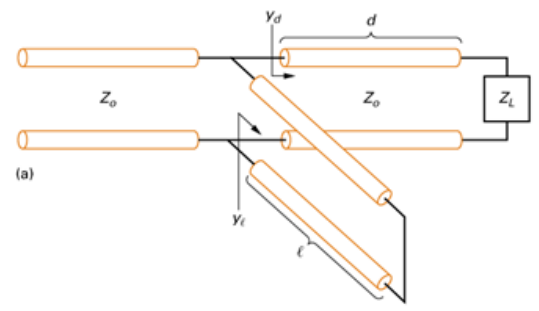
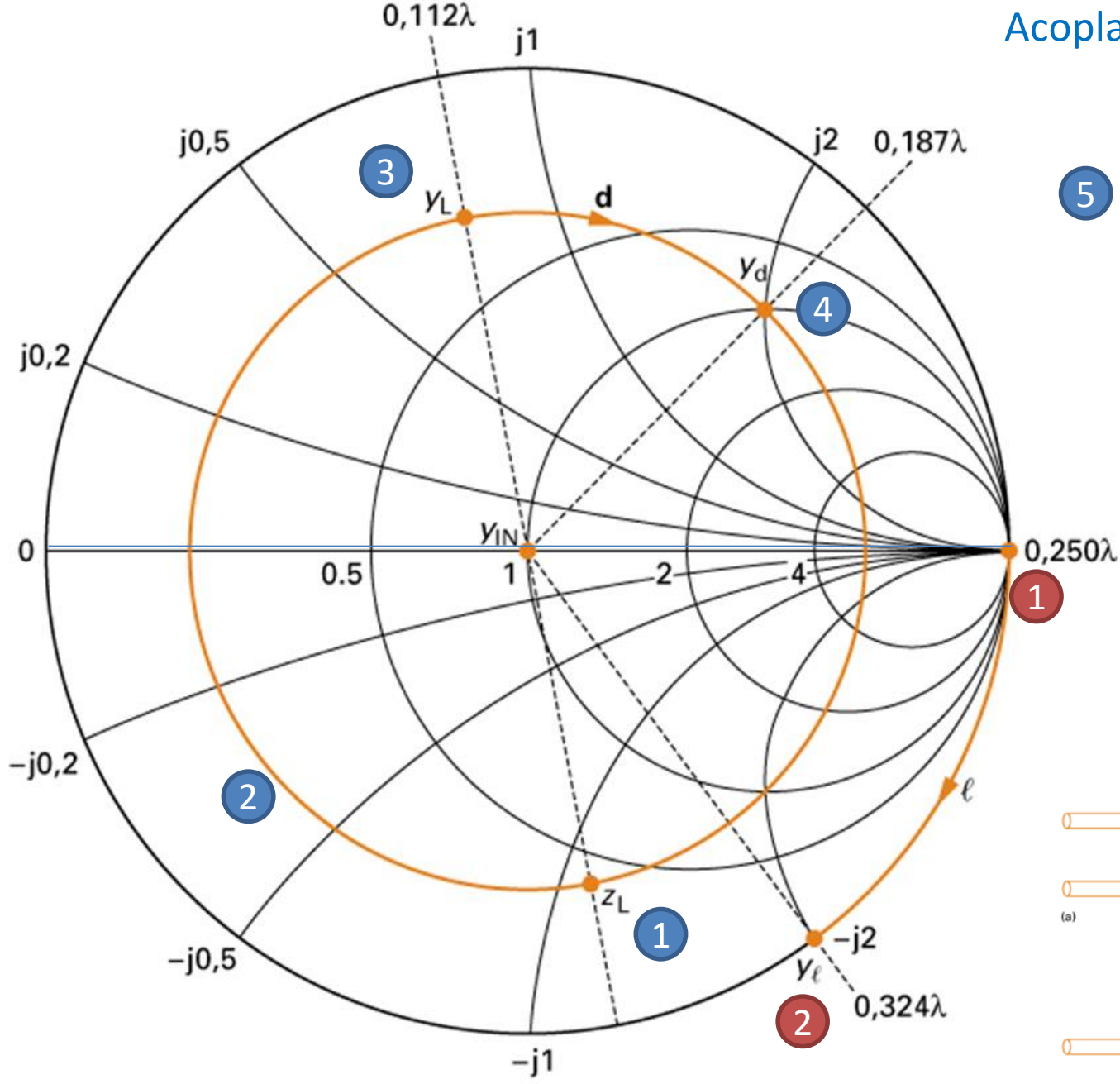


- 1 Identificar o ponto da impedância de carga normalizada  $z_L$ .
  - 2 Traçar o círculo do módulo do coeficiente de reflexão constante.
  - 3 Transformar impedância em admitância. Para os passos seguintes, vamos considerar a carta de Smith como carta de admitância.
  - 4 Mover-se no sentido horário ao longo do círculo de  $|\Gamma|$  constante, até interceptar o círculo  $1 + jb$ , onde a condutância normalizada é unitária. Verificar o valor da susceptância  $b$  neste ponto.
  - 5 Determinar a distância  $d$  entre carga e o *stub*, calculando a distância entre a admitância na carga e o ponto onde a condutância normalizada é unitária, obtido no item 4.
- 1 Identificar o ponto de partida do *stub* (curto circuito  $y = \infty$  ou circuito aberto  $y = 0$ ).
  - 2 Se mover do ponto de partida do *stub* pela periferia da carta ( $g = 0$ ), na direção do gerador, até encontrar o valor da susceptância definida em 4, com sinal inverso.

# Acoplador de Stub Simples

$$z_L = 0,4 - j1,1$$

5  $d = 0,187\lambda - 0,112\lambda$   
 $d = 0,075\lambda$



- 1 Identificar o ponto da impedância de carga normalizada  $z_L$ .
  - 2 Traçar o círculo do módulo do coeficiente de reflexão constante.
  - 3 Transformar impedância em admitância. Para os passos seguintes, vamos considerar a carta de Smith como carta de admitância.
  - 4 Mover-se no sentido horário ao longo do círculo de  $|\Gamma|$  constante, até interceptar o círculo  $1 + jb$ , onde a condutância normalizada é unitária. Verificar o valor da susceptância  $b$  neste ponto.
  - 5 Determinar a distância  $d$  entre carga e o *stub*, calculando a distância entre a admitância na carga e o ponto onde a condutância normalizada é unitária, obtido no item 4.
- 1 Identificar o ponto de partida do *stub* (curto circuito  $y = \infty$  ou circuito aberto  $y = 0$ ).
  - 2 Se mover do ponto de partida do *stub* pela periferia da carta ( $g = 0$ ), na direção do gerador, até encontrar o valor da susceptância definida em 4, com sinal inverso.
  - 3 Calcular o tamanho do *stub*.

# Acoplador de Stub Simples

$$z_L = 0,4 - j1,1$$

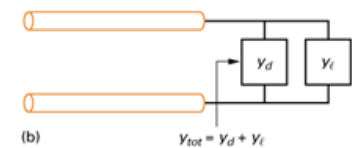
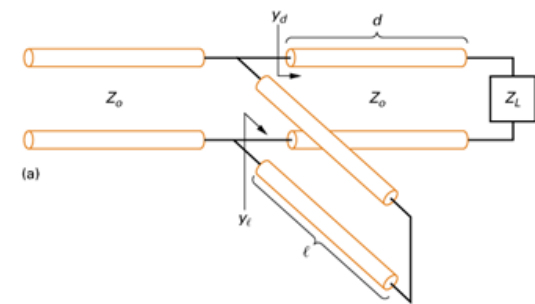
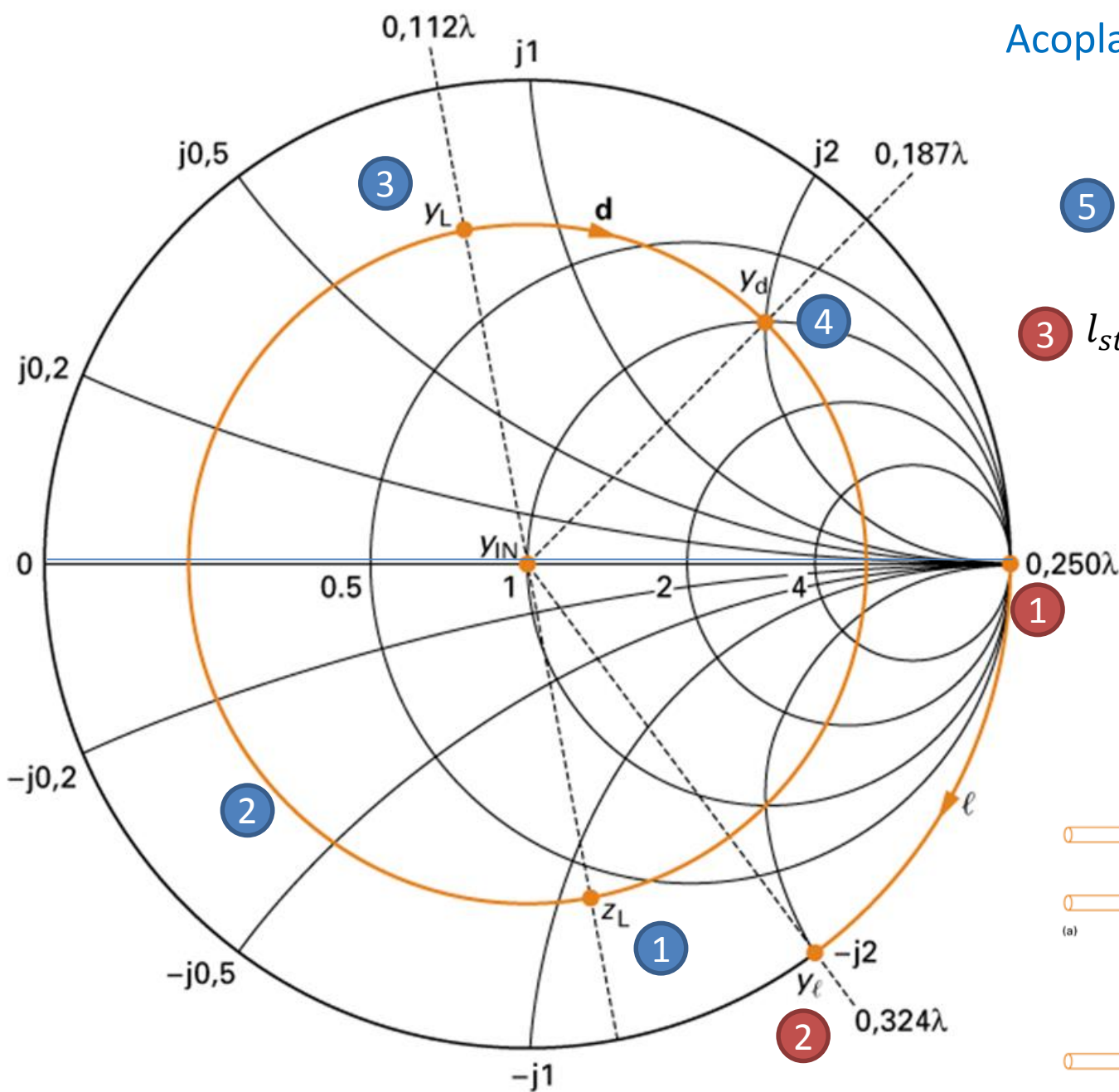
5  $d = 0,187\lambda - 0,112\lambda$   
 $d = 0,075\lambda$

3  $l_{stub} = 0,324\lambda - 0,250\lambda$   
 $l_{stub} = 0,074\lambda$

$$Y_{Total} = Y_d + Y_l$$

$$Y_{Total} = 1 + j2 - j2$$

$$Y_{Total} = 1$$



# Procedimento generalizado para a construção de uma rede de casamento por stub

1. Localizar a impedância de carga normalizada,  $z_L$ .
2. Traçar o círculo de  $|\Gamma|$  constante e utilizá-lo para localizar  $y_L$ .
3. A partir de  $y_L$ , mover-se no sentido horário ao longo do círculo de  $|\Gamma|$  constante, até uma interseção com o círculo  $1 \pm jb$ . Para esse ponto, a impedância vista para toda a linha é  $y_d = 1 \pm jb$ . A distância percorrida é determinada utilizando a escala de comprimentos de onda em direção ao gerador e representa o comprimento  $d$  da linha.
4. Caso um *stub* paralelo em curto seja empregado, considerar que sua admitância normalizada esteja posicionada na periferia da carta em  $0.250 \lambda_g$  na escala de comprimentos de onda em direção ao gerador, ou em  $\infty + j\infty$  na carta de admitância. Mover-se no sentido horário ao longo da periferia da carta, até  $0 \mp jb$ . A distância percorrida é o comprimento do *stub* ( $l$ ), e a admitância normalizada vista no *stub* é, portanto,  $y_l = \mp jb$ .