

Matriz Espalhamento (S)

Parte 2

SEL 369 Micro-ondas/SEL5900 Circuitos de Alta
Frequência

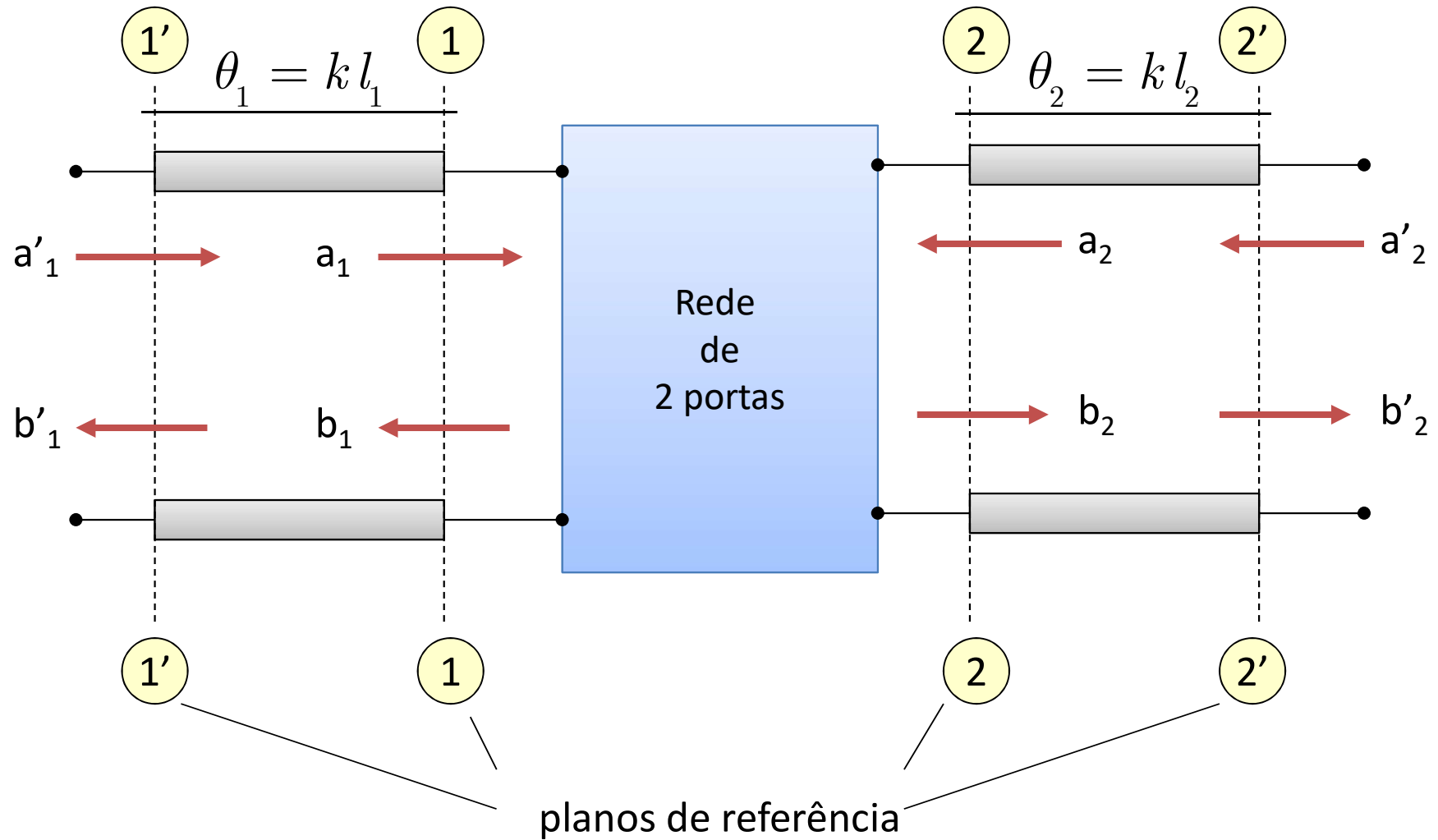
Amílcar Careli César
Departamento de Engenharia Elétrica da EESC-USP

Atenção!



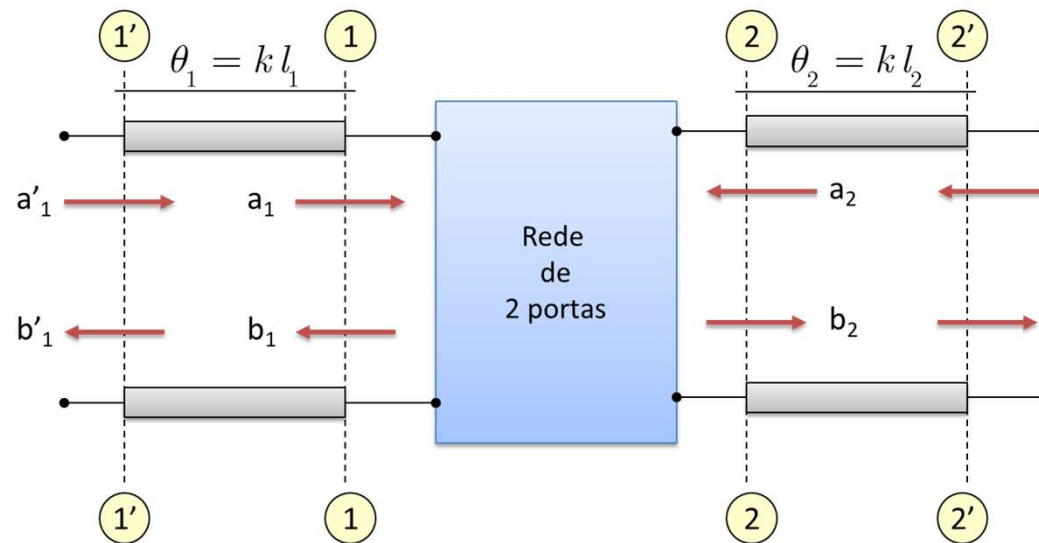
- ✓ Este material didático é planejado para servir de apoio às aulas de **SEL-369 Micro-ondas**, oferecida aos alunos regularmente matriculados no curso de engenharia elétrica/eletrônica e **SEL-5900 Circuitos de Alta Frequência**, oferecida aos alunos regularmente matriculados no curso de pós-graduação em engenharia elétrica.
- ✓ Não são permitidas a reprodução e/ou comercialização do material.
- ✓ solicitar autorização ao docente para qualquer tipo de uso distinto daquele para o qual foi planejado.

Deslocamento do plano de referência-1

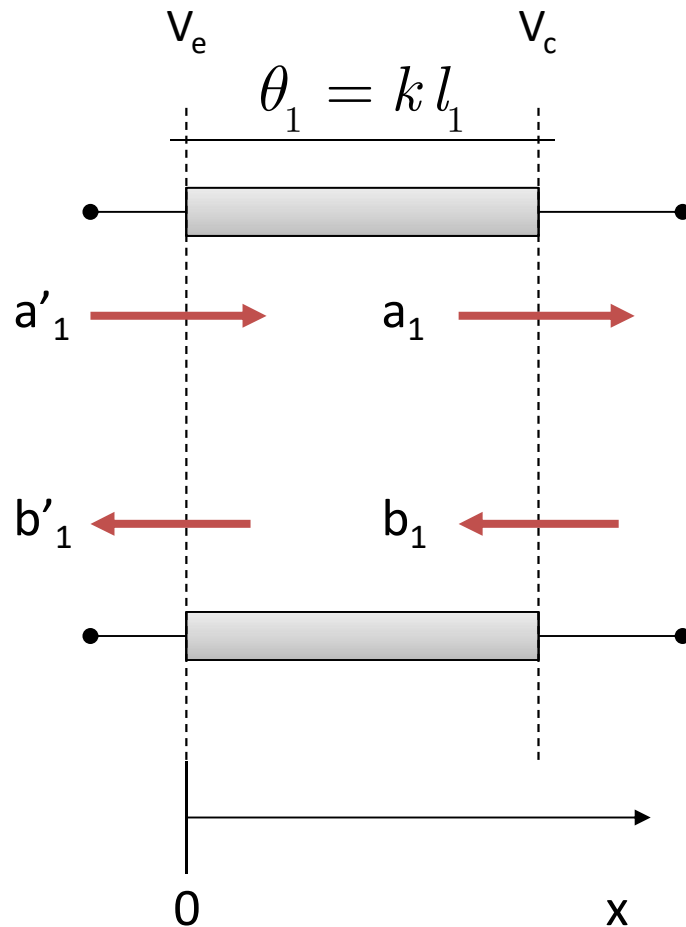


Deslocamento do plano de referência-2

- ✓ Nas medidas dos parâmetros S os planos onde foram realizadas devem ser especificadas
- ✓ No caso, deseja-se determinar os parâmetros S nos planos de referência 1e 2
- ✓ Eles podem ser obtidos a partir das medidas realizadas em 1' e 2'
- ✓ Assim , mede-se S' e determina-se S



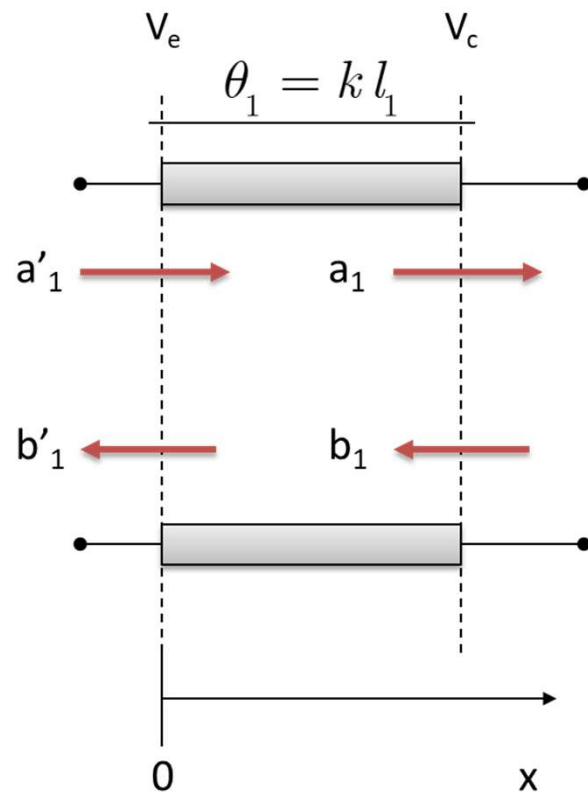
Deslocamento do plano de referência-3



$$V_i(x) = V_i \exp(-jkx) \text{ incidente}$$

$$V_r(x) = V_r \exp(+jkx) \text{ refletida}$$

Deslocamento do plano de referência-4



$$V_e(x=0) = V_i + V_r$$

$$V_c(x=l_1) = V_i \exp(-jkl_1) + V_r \exp(+jkl_1)$$

definindo

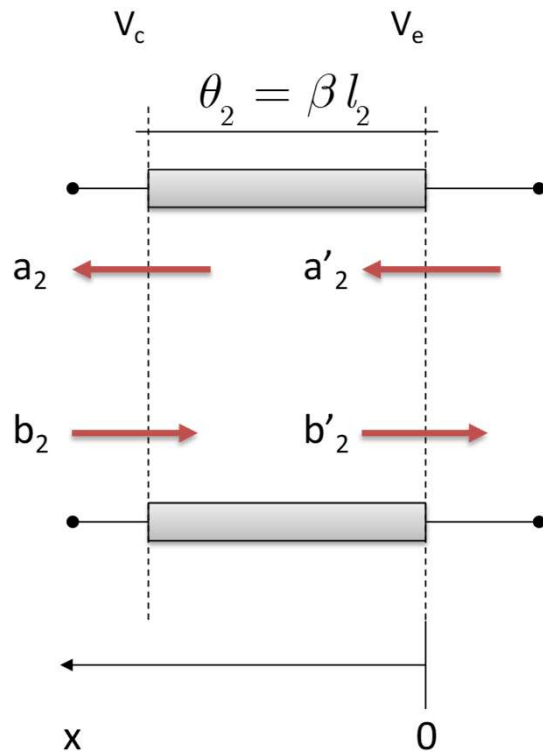
$$a_1 = \frac{V_i}{\sqrt{Z_0}} \exp(-jkl_1); \quad b_1 = \frac{V_r}{\sqrt{Z_0}} \exp(+jkl_1)$$

$$a'_1 = \frac{V_i}{\sqrt{Z_0}}; \quad b'_1 = \frac{V_r}{\sqrt{Z_0}}$$

resulta em

$$a_1 = a'_1 \exp(-jkl_1); \quad b_1 = b'_1 \exp(+jkl_1)$$

Deslocamento do plano de referência-5



$$V_e = V_e(x=0) = V_i + V_r$$

$$V_c = V_c(x=l_2) = V_i \exp(-jkl_2) + V_r \exp(+jkl_2)$$

definindo

$$a_2 = \frac{V_i}{\sqrt{Z_0}} \exp(-jkl_2); b_2 = \frac{V_r}{\sqrt{Z_0}} \exp(+jkl_2)$$

$$a'_2 = \frac{V_i}{\sqrt{Z_0}}; b'_2 = \frac{V_r}{\sqrt{Z_0}}$$

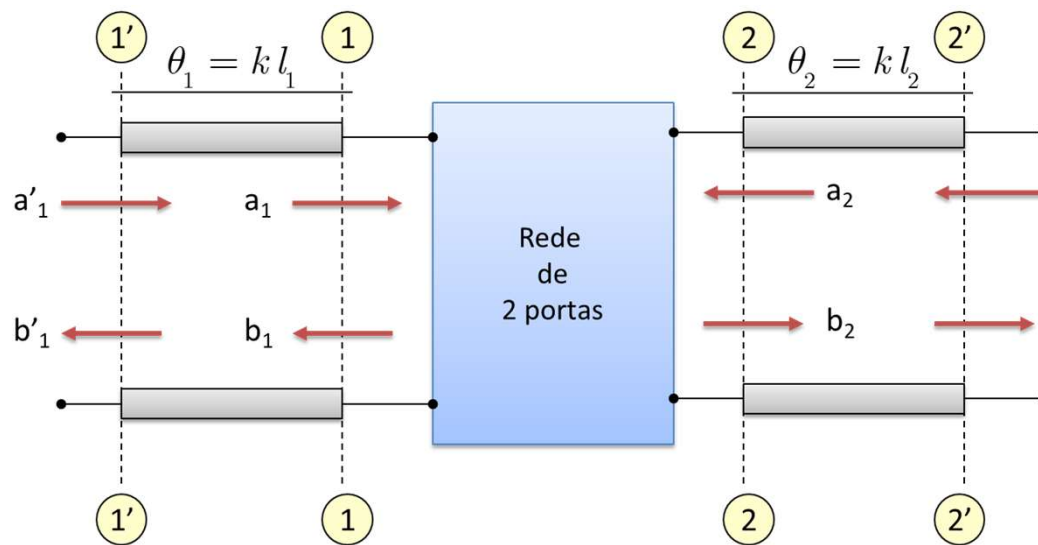
resulta em

$$a_2 = a'_2 \exp(-jkl_2); b_2 = b'_2 \exp(+jkl_2)$$

Deslocamento do plano de referência-6

$$a_1 = a'_1 \exp(-jkl_1) ; b_1 = b'_1 \exp(+jkl_1)$$

$$a_2 = a'_2 \exp(-jkl_2) ; b_2 = b'_2 \exp(+jkl_2)$$



Deslocamento do plano de referência-7

$$\begin{pmatrix} b'_1 \\ b'_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S'_{11} & S'_{12} \\ S'_{21} & S'_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a'_1 \\ a'_2 \end{pmatrix}$$

$$a_1 = a'_1 \exp(-jkl_1); \quad b_1 = b'_1 \exp(+jkl_1)$$
$$a_2 = a'_2 \exp(-jkl_2); \quad b_2 = b'_2 \exp(+jkl_2)$$

$$\begin{pmatrix} b_1 e^{-j\theta_1} \\ b_2 e^{-j\theta_2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S'_{11} & S'_{12} \\ S'_{21} & S'_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 e^{j\theta_1} \\ a_2 e^{j\theta_2} \end{pmatrix}$$

$$\theta_1 = kl_1; \quad \theta_2 = kl_2$$

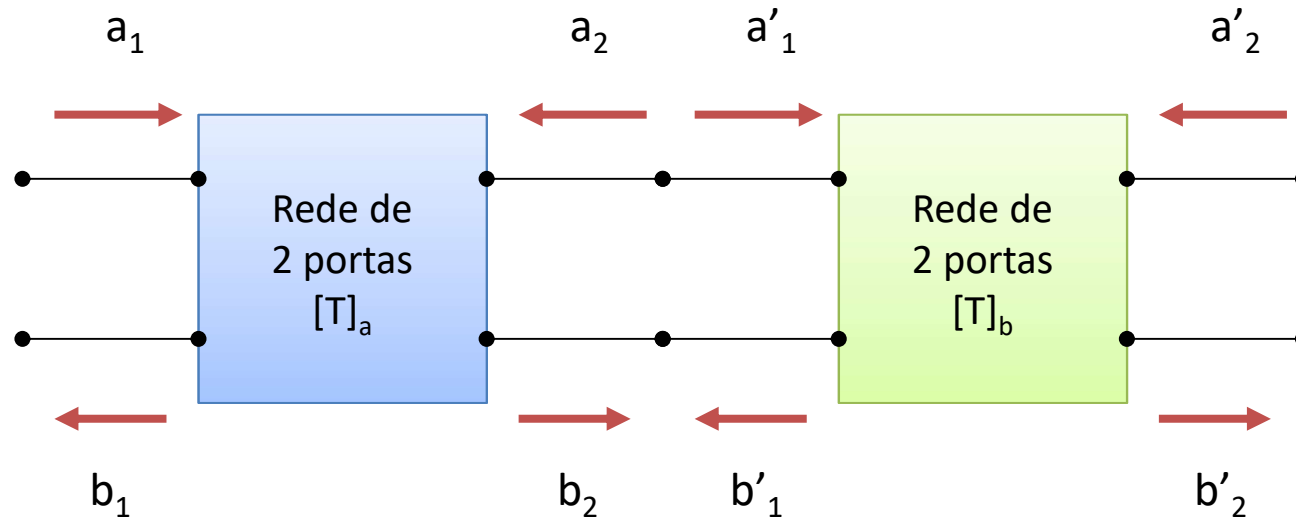
Deslocamento do plano de referência-8

$$\begin{pmatrix} b_1 e^{-j\theta_1} \\ b_2 e^{-j\theta_2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S'_{11} & S'_{12} \\ S'_{21} & S'_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 e^{j\theta_1} \\ a_2 e^{j\theta_2} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S'_{11} e^{j2\theta_1} & S'_{12} e^{j(\theta_1+\theta_2)} \\ S'_{21} e^{j(\theta_1+\theta_2)} & S'_{22} e^{j2\theta_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$$

$$\theta_1 = kl_1 ; \theta_2 = kl_2$$

Conexão em cascata-1



temos

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$$

procuramos

$$\begin{pmatrix} a_1 \\ b_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_2 \\ a_2 \end{pmatrix}$$

[T]: matriz transmissão

Conexão em cascata-2

A transformação é realizada por meio de

$$\begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{S_{21}} & -\frac{S_{22}}{S_{21}} \\ \frac{S_{11}}{S_{21}} & S_{12} - \frac{S_{11} S_{22}}{S_{21}} \end{pmatrix}$$

A transformação inversa é realizada por meio de

$$\begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{T_{21}}{T_{11}} & T_{22} - \frac{T_{21} T_{12}}{T_{11}} \\ \frac{1}{T_{11}} & -\frac{T_{12}}{T_{11}} \end{pmatrix}$$

A matriz transmissão da associação é $\begin{pmatrix} a_1 \\ b_1 \end{pmatrix} = [T]_a [T]_b \begin{pmatrix} b_2' \\ a_2' \end{pmatrix}$

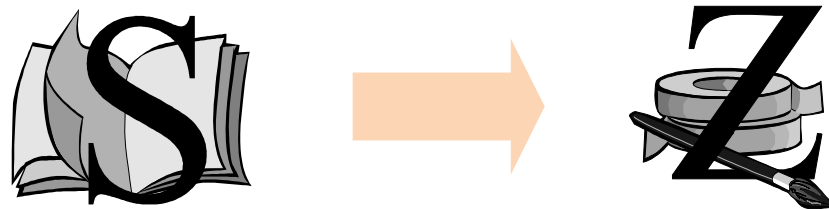
Conversão de parâmetros

Os parâmetros S poderão ser convertidos para qualquer outro tipo, tais como z, y, h ou ABCD .

Como exemplo, os parâmetros Z de uma rede poderão ser obtidos a partir de S pela transformação matricial:

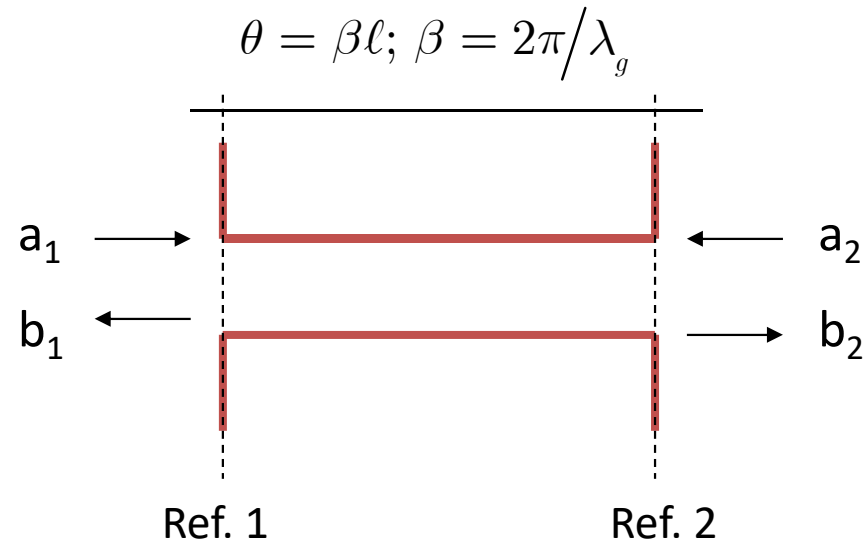
$$[Z] = [Z_0] \left([1] + [S] \right) \left([1] - [S] \right)^{-1}$$

onde $[1]$ é a matriz identidade



Obtenção da matriz S: exemplo-1

Trecho de guia
de onda
sem perdas



Excitação em cada porta, cargas casadas

Na porta 2 $a_2 = 0, b_1 = 0 \rightarrow S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} = 0$

Na porta 1 $a_1 = 0, b_2 = 0 \rightarrow S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} = 0$

Obtenção da matriz S: exemplo-2

como o guia é recíproco, $S_{12} = S_{21}$

excitação na porta 1 e carga casadas nas portas 1 e 2:

$$a_1 \neq 0, a_2 = 0 \rightarrow b_1 = 0, b_2 = a_1 e^{-j\theta} \rightarrow S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} = e^{-j\theta}$$

e

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & e^{-j\theta} \\ e^{-j\theta} & 0 \end{bmatrix}$$

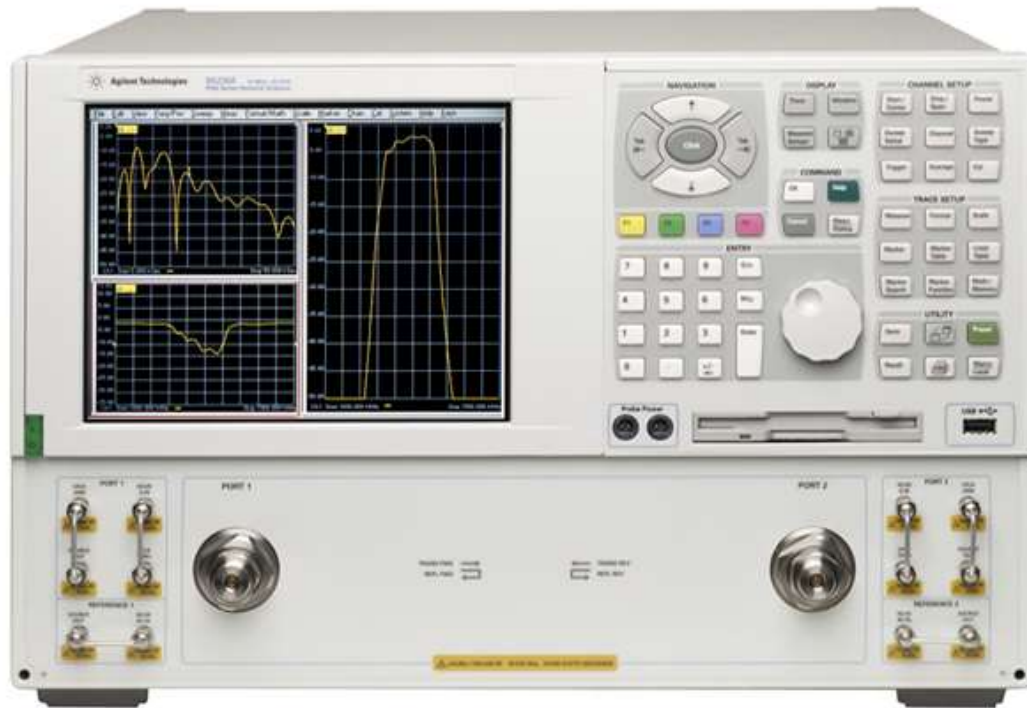
Um trecho de guia é um defasador recíproco.

Se Ref_1 e Ref_2 forem escolhidos tal que $\theta = n 2\pi$, $n = 0, 1, 2, \dots$

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

EQUIPAMENTOS

Analizador de redes (Agilent)-1



PNA Series Microwave Network Analysers

300 kHz to 110 GHz. Antenna test, frequency offset (for mixers), balanced, time domain, TRL calibration, IMD, harmonic and pulsed-RF measurements

www.agilent.com

Analizador de redes (Agilent)-2



Calibrate from 10 MHz to 67 GHz with 1601 points in less than 9 seconds and achieve the same performance as a mechanical calibration!

One easy connection versus several complicated connections



PNA Series Microwave Network Analysers

300 kHz to 110 GHz. Antenna test, frequency offset (for mixers), balanced, time domain, TRL calibration, IMD, harmonic and pulsed-RF measurements

www.agilent.com

Analizador de redes (Agilent)-3



**Optional jumpers make
the PNA even more flexible**

PNA Series Microwave Network Analysers

300 kHz to 110 GHz. Antenna test, frequency offset (for mixers), balanced, time domain, TRL calibration, IMD, harmonic and pulsed-RF measurements

www.agilent.com