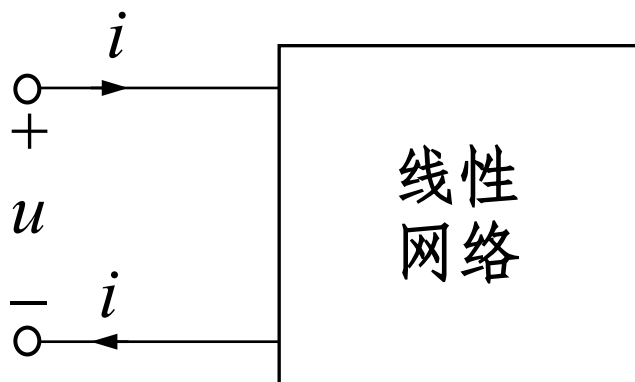


第五章 端口网络和S参数

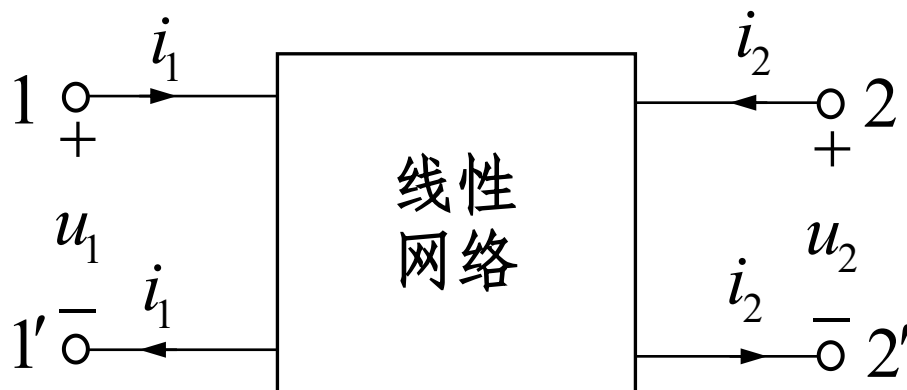
- 基本定义
 - 阻抗参量
 - 导纳参量
 - 混合参量
 - 转移参量
- 互联网络
 - 网络的串联
 - 网络的并联
 - 级联网络
- 散射参量

5.1 基本定义:

从端子1流入方框的电流等于从端子1'流出的电流，从端子2流入方框的电流等于从端子2'流出的电流，这种四端网络称为双端口网络，简称双端口网络。这两对端子1、1'和2、2'分别称为输入、输出端口。



(a) 单端口网络

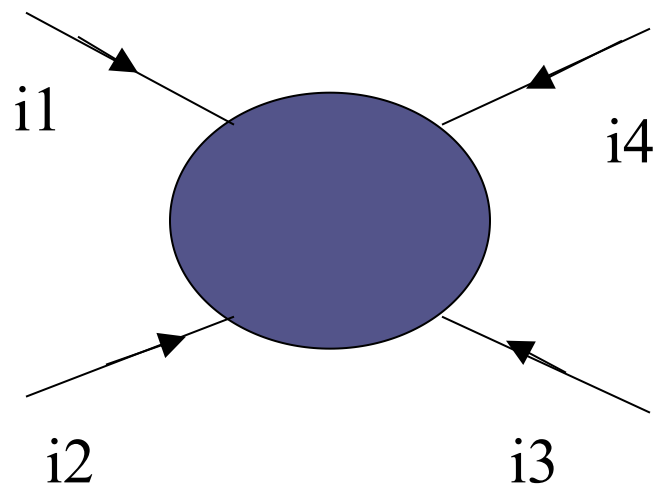


(b) 双端口网络

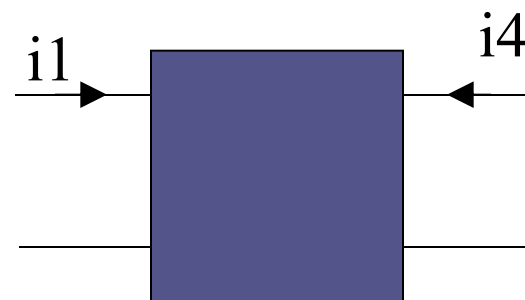
四端网络



双端口网络



$$i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 0$$



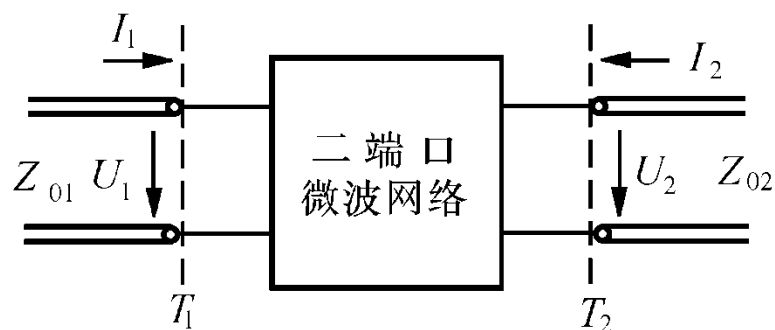
$$i_1 = -i_2 ; i_3 = -i_4$$

(KCL: 基尔霍夫电流定律)

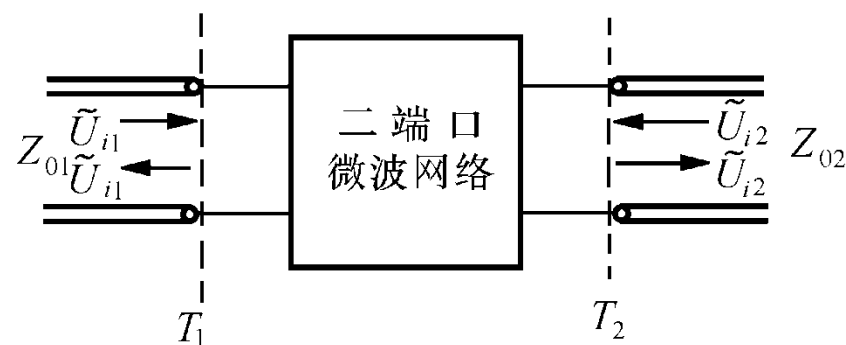
在各种微波网络中，双端口网络是最基本的。例如：衰减器、移相器、阻抗变换器和滤波器等均属于二端口微波网络。

表征二端口微波网络特性的参量可以分为两大类：

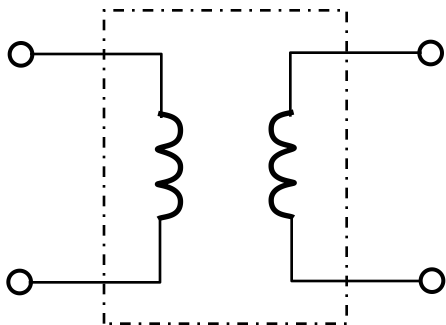
- 一、反映网络参考面上电压与电流之间关系的参量
- 二、反映网络参考面上入射波电压与反射波电压之间关系的参量。



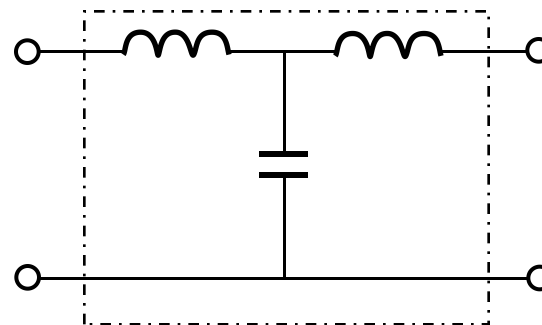
(a)



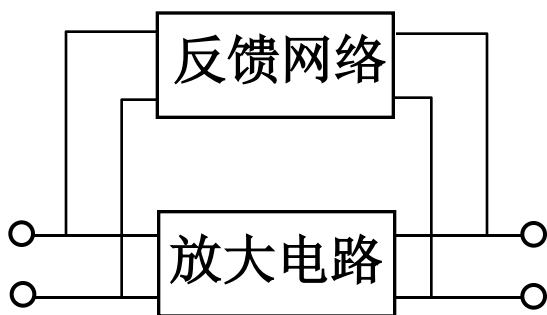
(b)



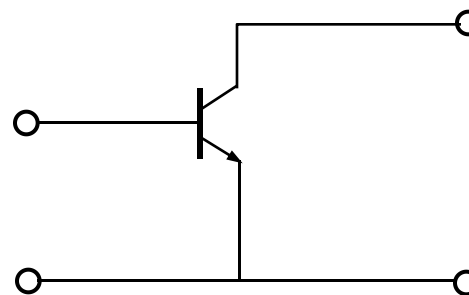
(a)



(b)

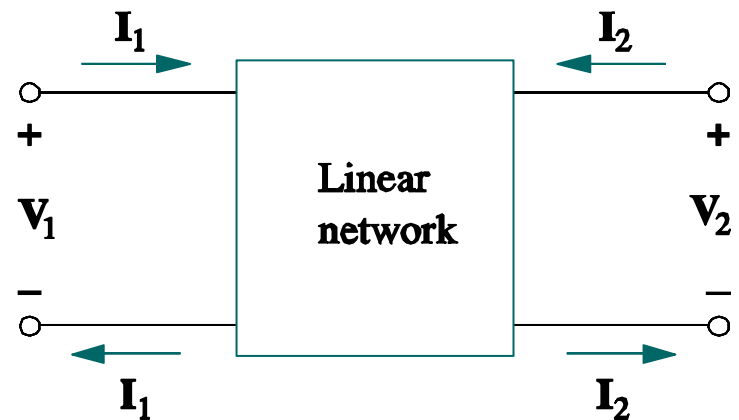
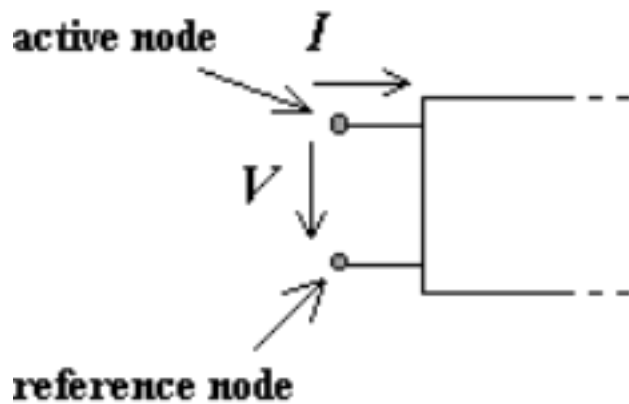


(c)



(d)

二端口网络举例



$$V_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2$$

$$V_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2$$

$$I_1 = y_{11}V_1 + y_{12}V_2$$

$$I_2 = y_{21}V_1 + y_{22}V_2$$

$$V_1 = AV_2 - BI_2$$

$$I_1 = CV_2 - DI_2$$

$$V_2 = aV_1 - bI_1$$

$$I_2 = cV_1 - dI_1$$

$$V_1 = h_{11}I_1 + h_{12}V_2$$

$$I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}V_2$$

$$I_1 = g_{11}V_1 + g_{12}I_2$$

$$V_2 = g_{21}V_1 + g_{22}I_2$$

线性网络

5.1.1 开路阻抗参量

阻抗参量 (Z 参量) 被定义为:

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \end{pmatrix}.$$

阻抗矩阵 Z

$$V_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2$$

$$V_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2$$

$$\begin{cases} V_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2 + V_{oc1} \\ V_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2 + V_{oc2} \end{cases}$$

$$z_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{I_2=0}$$

端口2开路时, 端口1的输入阻抗

$$z_{12} = \left. \frac{V_1}{I_2} \right|_{I_1=0}$$

端口1到端口2的转移阻抗 (端口1开路)

$$z_{21} = \left. \frac{V_2}{I_1} \right|_{I_2=0}$$

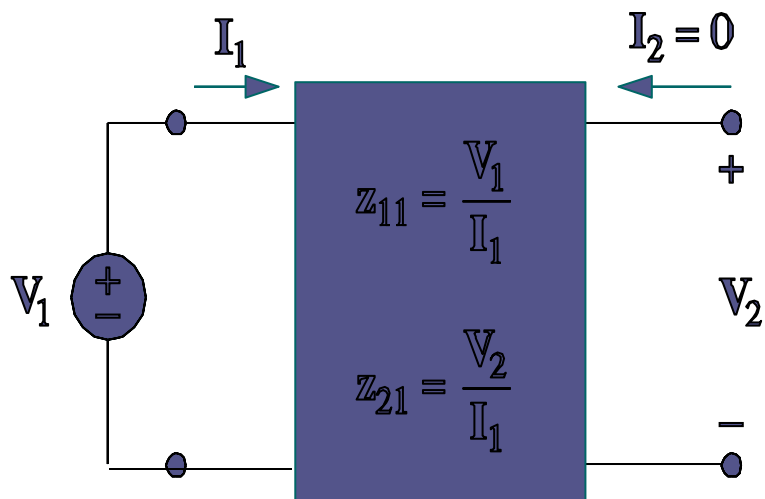
端口2到端口1的转移阻抗 (端口2开路)

$$z_{22} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{I_1=0}$$

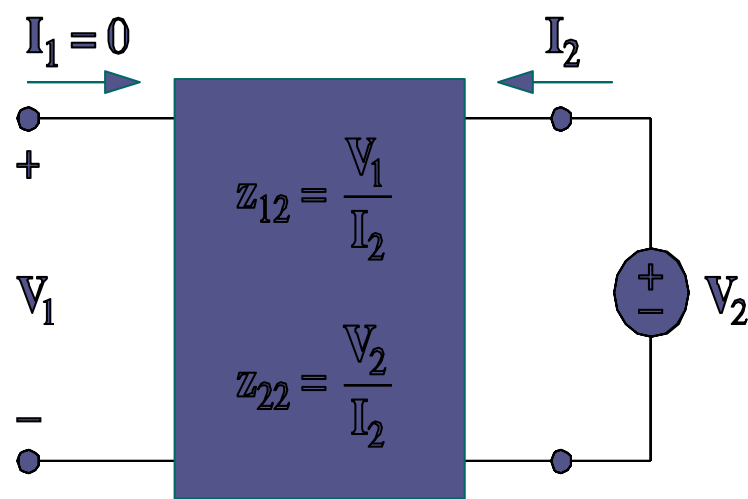
端口1开路时, 端口2的输出阻抗

如何求Z参量?

(a) 先求 z_{11} 和 z_{21} , (b) 再求 z_{12} 和 z_{22}



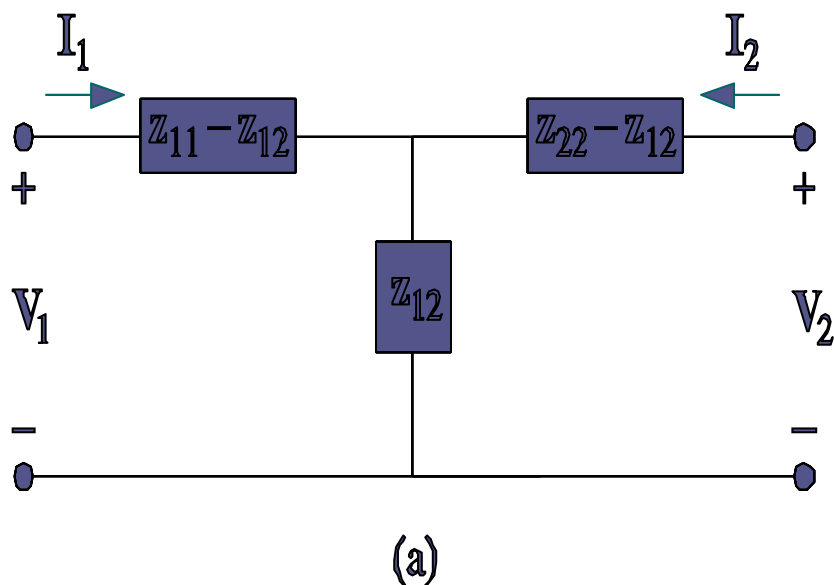
(a)



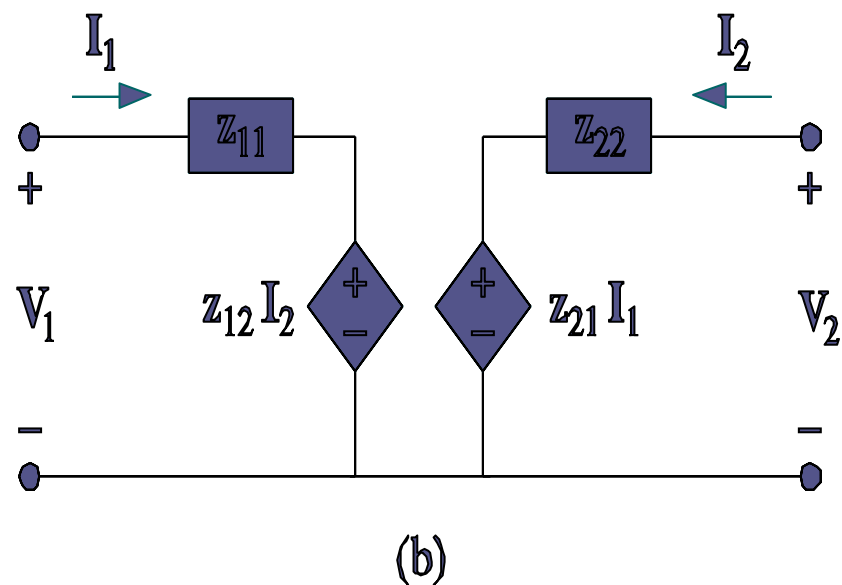
(b)

(a) T 型等效电路 (for reciprocal case only),

(b) 一般等效电路



无源线性二端口网络（不含受控源）



含受控源的二端口网络

5.1.2 短路导纳参量

导纳参量 (Y 参量) 被定义为

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix}$$

$$I_1 = y_{11}V_1 + y_{12}V_2$$

$$I_2 = y_{21}V_1 + y_{22}V_2$$

导纳参量 Y

$$\begin{cases} I_1 = y_{11}V_1 + y_{12}V_2 + I_{sc1} \\ I_2 = y_{21}V_1 + y_{22}V_2 + I_{sc2} \end{cases}$$

$$y_{11} = \left. \frac{I_1}{V_1} \right|_{V_2=0}$$

端口2短路时，端口1的输入导纳

$$y_{12} = \left. \frac{I_1}{V_2} \right|_{V_1=0}$$

端口1短路时，端口1到端口2的输入导纳

$$y_{21} = \left. \frac{I_2}{V_1} \right|_{V_2=0}$$

端口2短路时，端口2到端口1的输入导纳

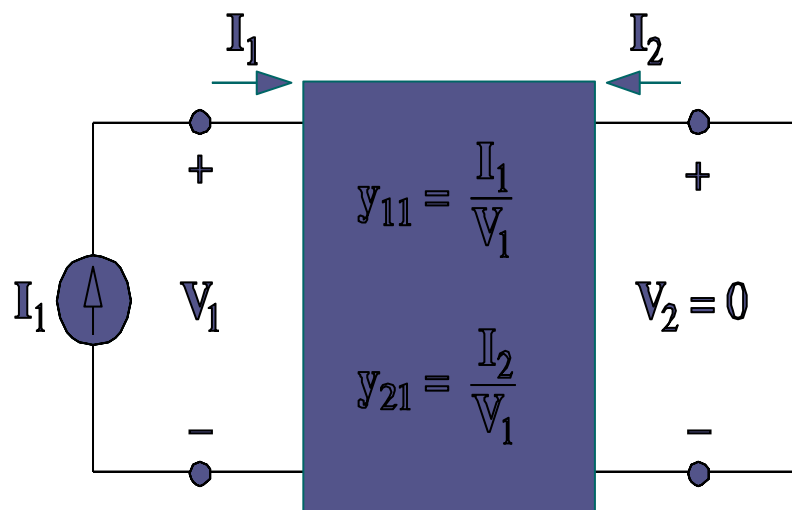
$$y_{22} = \left. \frac{I_2}{V_2} \right|_{V_1=0}$$

端口1短路时，端口2的输入导纳

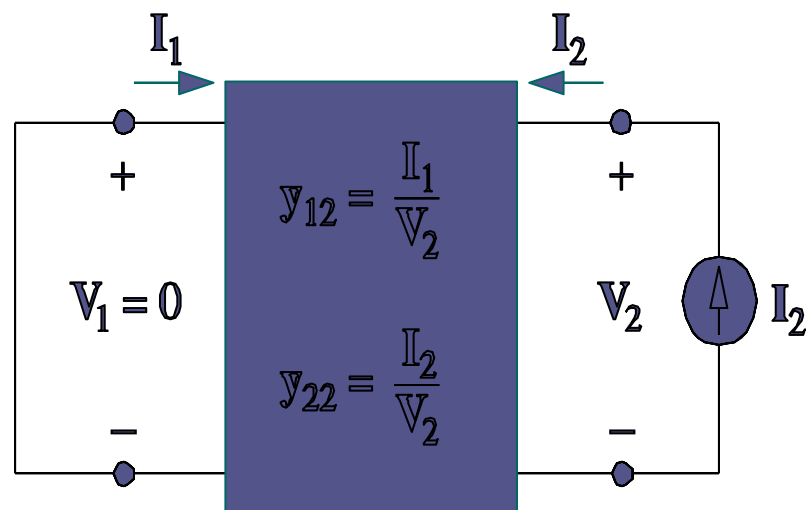
如何求Y参量?

(a)先求 y_{11} 和 y_{21}

(b)再求 y_{12} 和 y_{22} .



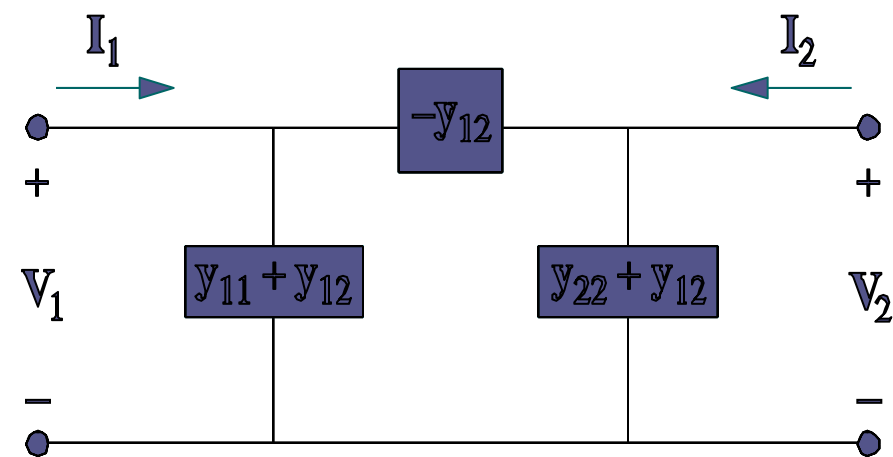
(a)



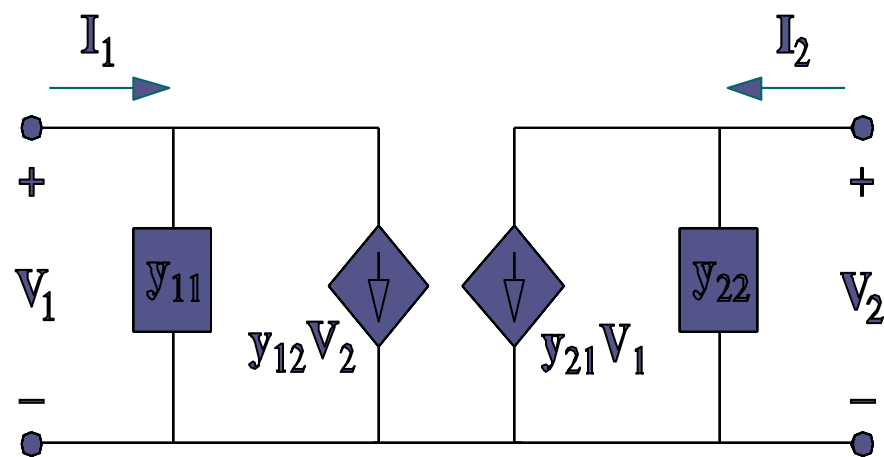
(b)

(a) π 型等效电路 (for reciprocal case only)

(b) 一般等效电路



(a)



(b)

无源线性二端口网络（不含受控源）

含受控源的二端口网络

Z参量和Y参量之间的关系

阻抗矩阵与导纳矩阵互为逆阵 $[Z] = [Y]^{-1}$

例子:

z 参量



y 参量

$$V_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2$$

$$V_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2$$

$$I_1 = y_{11}V_1 + y_{12}V_2$$

$$I_2 = y_{21}V_1 + y_{22}V_2$$

$$\therefore y_{11} = \frac{z_{22}}{\Delta z}, \quad y_{12} = -\frac{z_{12}}{\Delta z},$$

$$y_{21} = -\frac{z_{21}}{\Delta z}, \quad y_{22} = \frac{z_{11}}{\Delta z}$$

where

$$\Delta z = z_{11}z_{22} - z_{12}z_{21}$$

5.1.3 混合参量

混合参量 (h 参量) 被定义为

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ i_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_1 \\ v_2 \end{pmatrix}.$$

$$V_1 = h_{11}I_1 + h_{12}V_2$$

$$I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}V_2$$

混合参量 h

$$h_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{V_2=0}$$

端口2短路时，端口1的输入阻抗

$$h_{12} = \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{I_1=0}$$

端口1开路时，电压反馈系数

$$h_{21} = \left. \frac{I_2}{I_1} \right|_{V_2=0}$$

端口2短路时，小信号电流增益

$$h_{22} = \left. \frac{I_2}{V_2} \right|_{I_1=0}$$

端口1开路时，输出导纳

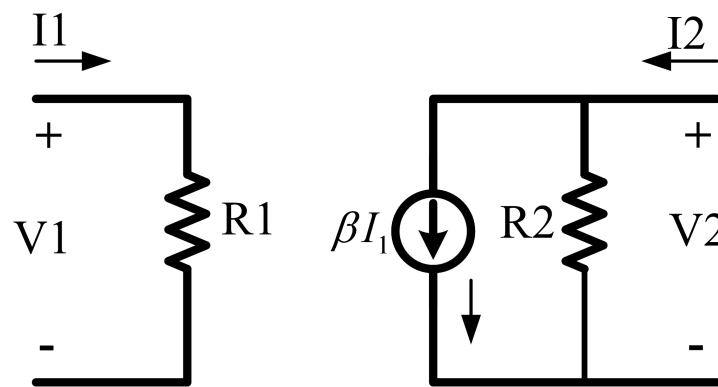
晶体管的小信号工作条件下的简化等效电路

$$h_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{V_2=0} = R_1, \text{ 输入阻抗}$$

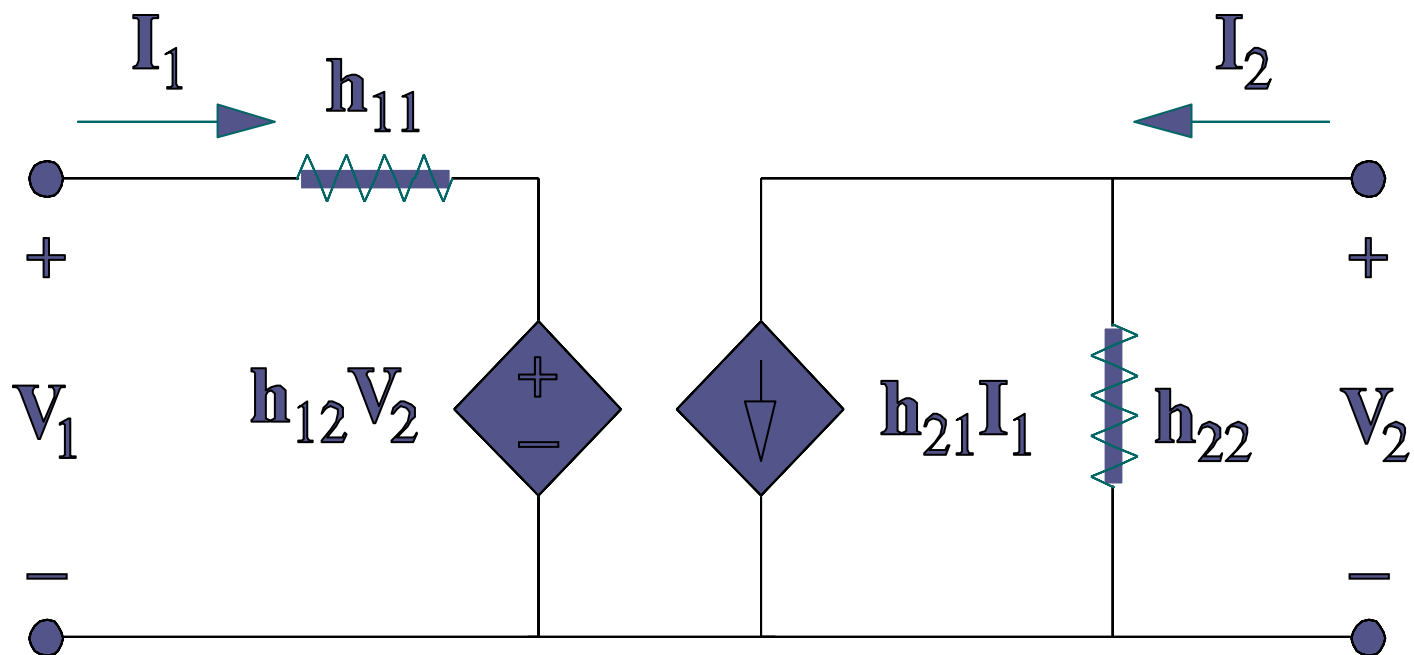
$$h_{12} = \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{I_1=0} = 0, \text{ 电压反馈系数}$$

$$h_{21} = \left. \frac{I_2}{I_1} \right|_{V_2=0} = \beta, \text{ 小信号电流增益}$$

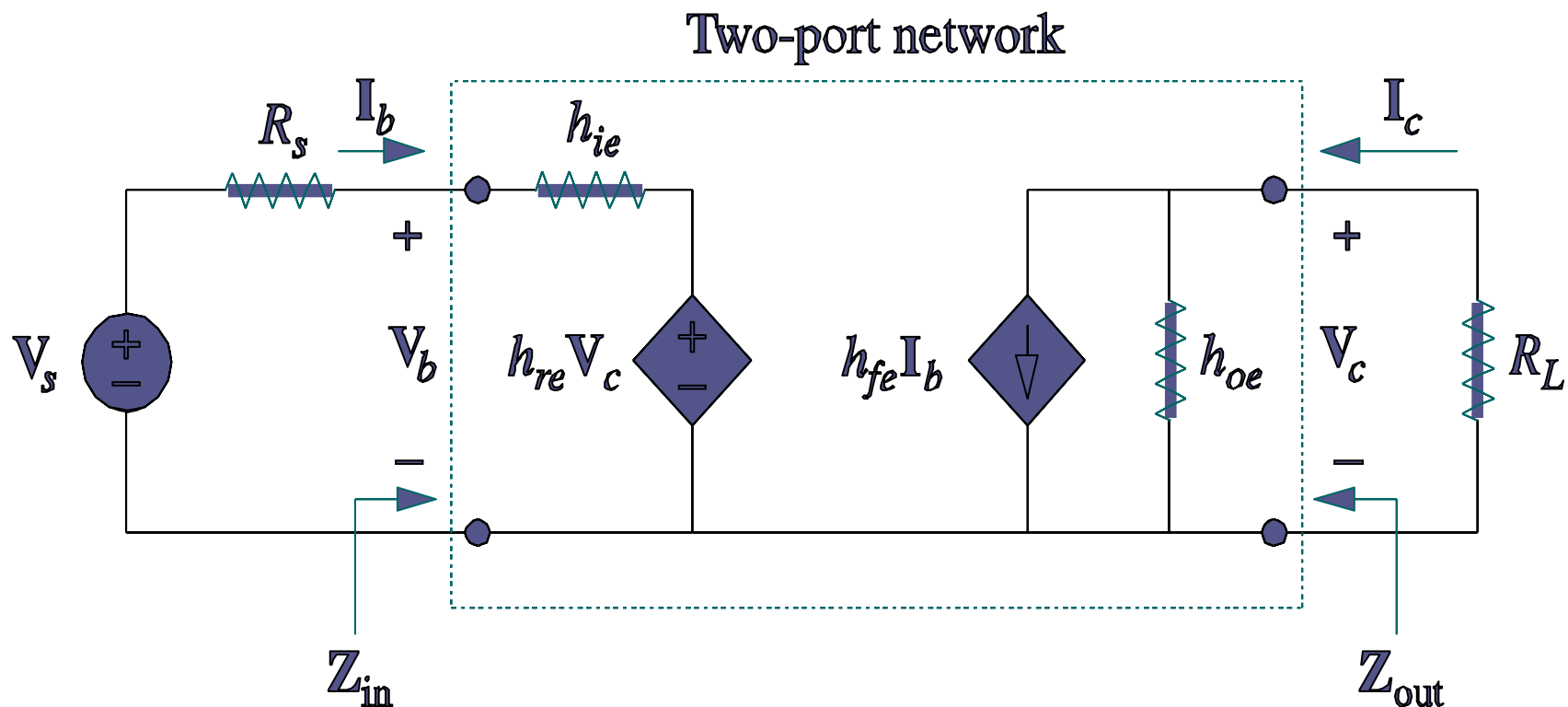
$$h_{22} = \left. \frac{I_2}{V_2} \right|_{I_1=0} = \frac{1}{R_2}, \text{ 输出导纳}$$



两端口网络的h参量等效网络



带源电阻和负载阻抗的晶体管放大器h参数等效电路



5.1.4 转移参量

转移参量（传输参量、 T 参量）被定义为

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{pmatrix}$$

$$V_1 = a_{11}V_2 - a_{12}I_2$$

$$I_1 = a_{21}V_2 - a_{22}I_2$$

*Transmission
matrix T*

$$A = \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{I_2=0}$$

端口2开路时，电压转移参数，量纲为1

$$B = -\left. \frac{V_1}{I_2} \right|_{V_2=0}$$

端口2短路时，负转移阻抗（短路转移阻抗）

$$C = \left. \frac{I_1}{V_2} \right|_{I_2=0}$$

端口2开路时，开路转移导纳

$$D = -\left. \frac{I_1}{I_2} \right|_{V_2=0}$$

端口2短路时，电流转移参数，量纲为1

5.1.5 互易（Reciprocal）网络

----- 线性，无源网络（不包含任何电流源和电压源）

1.互易二端口网络:一个无源线性网络，若单一电压源激励 V_S 作用下产生的响应为电流 I_0 ，则当激励和响应互换位置时，该激励所产生的响应不变；若单一电流源激励 I_S 作用下产生的响应为电压 U_0 ，则当激励和响应互换位置时，该激励所产生的响应不变。

$$z_{12} = z_{21}$$

$$y_{12} = y_{21}$$

$$h_{12} = -h_{21}$$

$$\Delta T = AD - BC = 1$$

对称（Symmetric）网络

2.对称二端口网络: 当把输入端和输出端互相对换位置后与外电路连接时，其外部特性不会有任何变化。也就是说，这种二端口网络从任一端口看进去，它的电气特性是一样的。因而成为电气上是对称的，简称为对称二端口。

$$Z_{11} = Z_{22}, Z_{12} = Z_{21}$$

$$Y_{11} = Y_{22}, Y_{12} = Y_{21}$$

$$\Delta h = h_{11}h_{22} - h_{12}h_{21} = 1$$

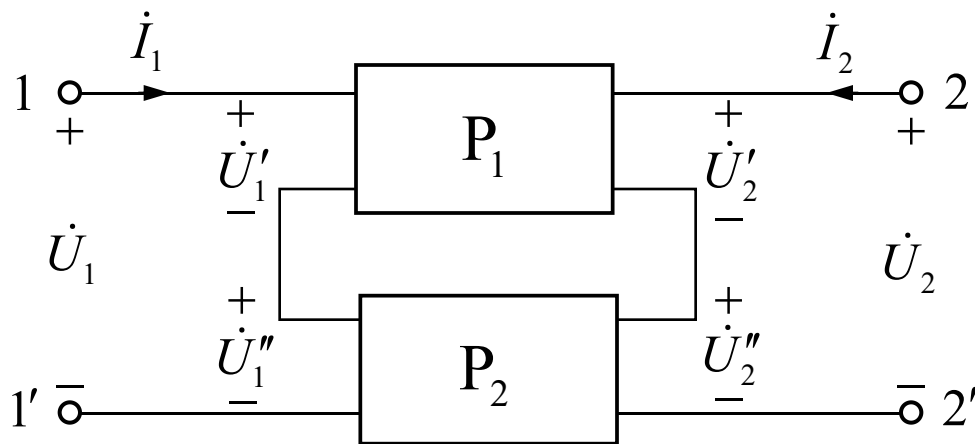
$$A = D$$

5.2 互联网络

网络的串联

新二端口网络的阻抗矩阵为

$$[Z] = [Z]_1 + [Z]_2$$



n 个二端口网络相串联，则串联后新二端口网络的阻抗矩阵为

二端口网络的串联

$$[Z] = [Z]_1 + [Z]_2 + \cdots + [Z]_n$$

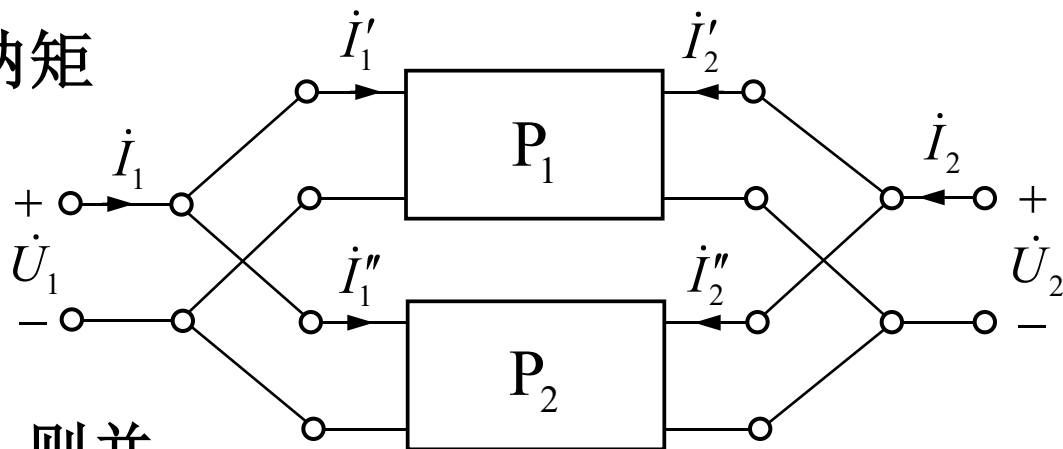
网络的并联

组合后新二端口网络的导纳矩阵为

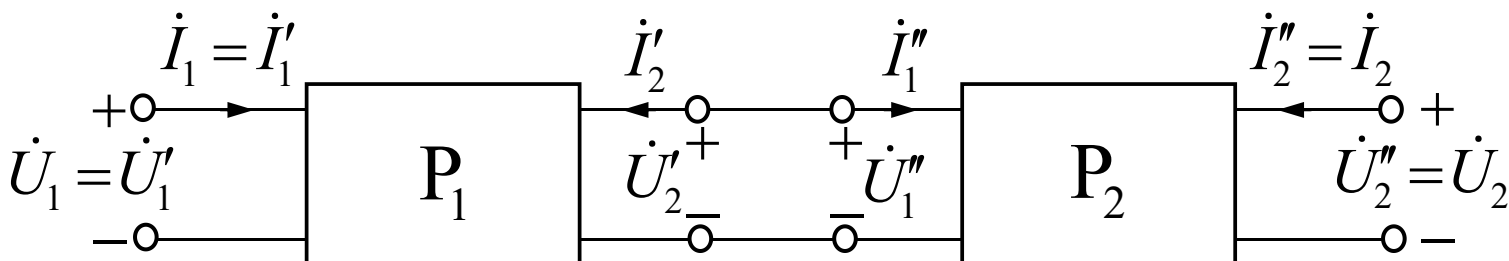
$$[Y] = [Y]_1 + [Y]_2$$

若有 n 个二端口网络相并联，则并联后新二端口网络的导纳矩阵为

$$[Y] = [Y]_1 + [Y]_2 + \cdots + [Y]_n$$



级联网络（ABCD参量特别适合于描述级联网络）



设 T 参数分别为

$$\mathbf{T}' = \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix}, \quad \mathbf{T}'' = \begin{bmatrix} A'' & B'' \\ C'' & D'' \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1' \\ \dot{I}_1' \end{bmatrix} = \mathbf{T}' \begin{bmatrix} \dot{U}_2' \\ -\dot{I}_2' \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} \dot{U}_1'' \\ \dot{I}_1'' \end{bmatrix} = \mathbf{T}'' \begin{bmatrix} \dot{U}_2'' \\ -\dot{I}_2'' \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_1' \\ \dot{I}_1' \end{bmatrix} = \mathbf{T}' \begin{bmatrix} \dot{U}_2' \\ -\dot{I}_2' \end{bmatrix} = \mathbf{T}' \begin{bmatrix} \dot{U}_1'' \\ \dot{I}_1'' \end{bmatrix} = \mathbf{T}' \mathbf{T}'' \begin{bmatrix} \dot{U}_2'' \\ -\dot{I}_2'' \end{bmatrix} = \mathbf{T}' \mathbf{T}'' \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ -\dot{I}_2 \end{bmatrix} = \mathbf{T} \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ -\dot{I}_2 \end{bmatrix}$$

于是可得

$$\mathbf{T} = \mathbf{T}'\mathbf{T}'' = \begin{bmatrix} A'A'' + B'C'' & A'B'' + B'D'' \\ C'A'' + D'C'' & C'B'' + D'D'' \end{bmatrix}$$

若有 n 个二端口网络相级联，则级联后新二端口网络的转移矩阵为

$$[\mathbf{A}] = [\mathbf{A}]_1 [\mathbf{A}]_2 \cdots [\mathbf{A}]_n$$

级联后新二端口网络的传输矩阵为

$$[\mathbf{T}] = [\mathbf{T}]_1 [\mathbf{T}]_2 \cdots [\mathbf{T}]_n$$

两端口网络表示总结

低频网络参数



阻抗矩阵

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

导纳矩阵

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

混合矩阵

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

转移矩阵

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_2 \\ -i_2 \end{bmatrix}$$

表 4.1 三种网络矩阵的相互转换公式

网络参量	以 y 参量表示	以 z 参量表示	以 a 参量表示
$\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{z_{22}}{ \bar{z} } & -\frac{z_{12}}{ \bar{z} } \\ -\frac{z_{21}}{ \bar{z} } & \frac{z_{11}}{ \bar{z} } \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{d}{b} & -\frac{ad-bc}{b} \\ -\frac{1}{b} & \frac{a}{b} \end{bmatrix}$
$\begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{y_{22}}{ \bar{y} } & -\frac{y_{12}}{ \bar{y} } \\ -\frac{y_{21}}{ \bar{y} } & \frac{y_{11}}{ \bar{y} } \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{a}{c} & \frac{ad-bc}{c} \\ \frac{1}{c} & \frac{d}{c} \end{bmatrix}$
$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$	$-\begin{bmatrix} \frac{y_{22}}{y_{21}} & \frac{1}{y_{21}} \\ \frac{ \bar{y} }{y_{21}} & \frac{y_{11}}{y_{21}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{z_{11}}{z_{21}} & \frac{ \bar{z} }{z_{21}} \\ \frac{1}{z_{21}} & \frac{z_{22}}{z_{21}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$

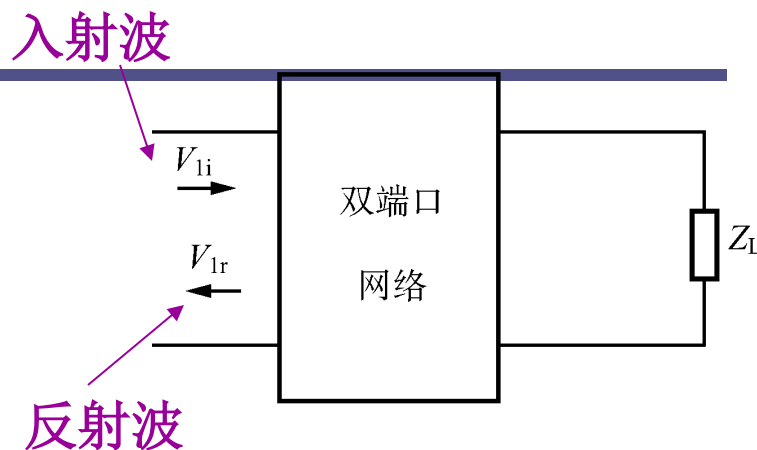
4.1 中, $|\bar{z}| = z_{11}z_{22} - z_{12}z_{21}$, $|\bar{y}| = y_{11}y_{22} - y_{12}y_{21}$ 。

5.3 散射参量（S参数）

- 实际射频系统的特性不能采用终端开路、短路的测量方法。
- 原因：高频情况下
 - 短路：导线本身存在电感，且高频时非常大；
 - 开路：在终端形成负载电容；
 - 电波传播时，反射系数模为1，可能造成振荡，损坏器件；
- 散射参量表达的是电压波，用入射电压波和反射电压波的方式定义网络的输入、输出关系。

对 S 参数的理解:

- ① 线性网络的端口参数，
不必知道网络内部结构
- ② 基于端口的入射波和反射波之间关系的参数
- ③ 不同的频率、不同的工作条件数值不同
- ④ 适用与射频和微波频段



反射系数 Γ 的定义

$$\Gamma = \frac{\text{反射电压波}}{\text{入射电压波}}$$

电压驻波比的定义

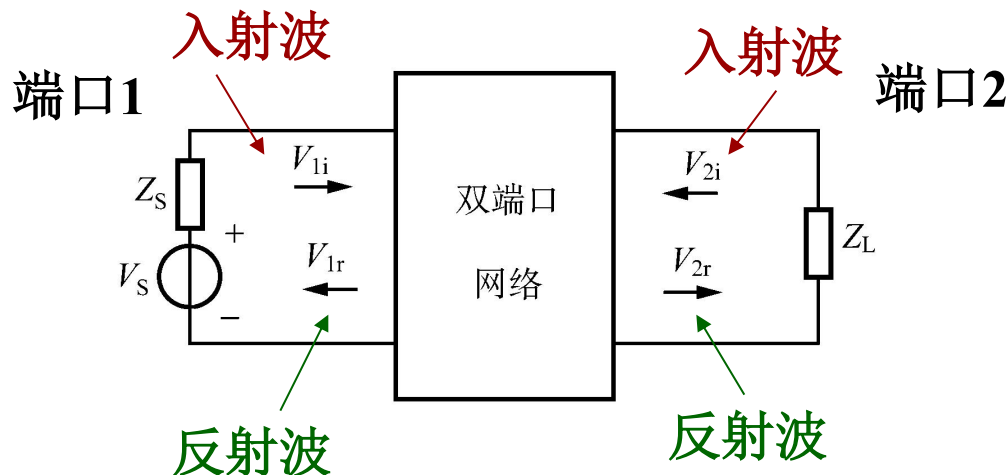
$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

5.3.1. S参数定义

S 参数方程

$$\begin{cases} V_{1r} = S_{11}V_{1i} + S_{12}V_{2i} \\ V_{2r} = S_{21}V_{1i} + S_{22}V_{2i} \end{cases}$$

方程的含义?



反射电压 V_{1r} 由以下两部分组成:

- 端口1的入射波 V_{1i} 在端口1的反射 $\rightarrow S_{11}$
- 端口2的入射波 V_{2i} 经过网络的反向传输 $\rightarrow S_{12}$

反射电压 V_{2r} 由以下两部分组成:

- 端口2的入射波 V_{2i} 在端口2的反射 $\rightarrow S_{22}$
- 端口1的入射波 V_{1i} 经过网络的正向传输 $\rightarrow S_{21}$

S参数的定义

$$S_{11} = \left. \frac{V_{1r}}{V_{1i}} \right|_{V_{2i}=0}$$

当 $V_{2i} = 0$ 时,

输入口1的反射波电压
输入口1的入射波电压

输出端口2与负载匹配时, 输入口1的反射系数

$$S_{22} = \left. \frac{V_{2r}}{V_{2i}} \right|_{V_{1i}=0}$$

是当输入口1匹配时, 输出口2的反射系数

$$S_{21} = \left. \frac{V_{2r}}{V_{1i}} \right|_{V_{2i}=0}$$

是当输出端口2匹配时, 输入向输出的正向传输

$$S_{12} = \left. \frac{V_{1r}}{V_{2i}} \right|_{V_{1i}=0}$$

是当输入口1匹配时, 输出向输入的反向传输

强调: S 参数均是在特定条件 (端口匹配) 下测得的网络参数

可见, $[S]$ 矩阵的各参数是建立在端口接匹配负载基础上的反射系数或传输系数。这样利用网络输入输出端口的参考面上接匹配负载即可测得散射矩阵的各个参量。

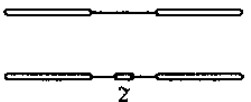
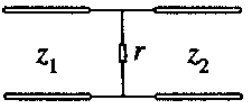
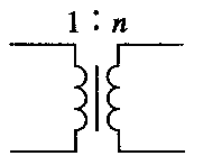
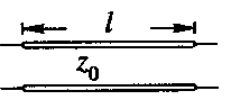
对于互易网络: $S_{12}=S_{21}$

对于对称网络: $S_{11}=S_{22}$ $S_{12}=S_{21}$

5.3.2. 散射参量与其它参量之间的相互转换

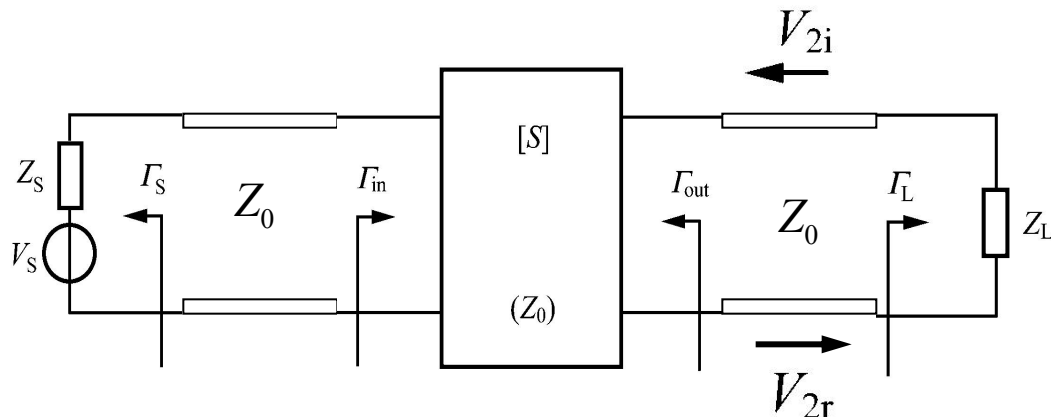
与其它四种参量一样, 散射参量用以描述网络端口之间的输入输出关系, 因此对同一双端口网络一定存在着相互转换的关系。由于 $[S]$ 矩阵是定义在归一化入射波电压和电流基础上, 因此与其它参量的归一化值之间转换比较容易。

表 4.2 常用几种双端口网络的参量表示

名称	电路图	$[A]$ 矩阵	$[S]$ 矩阵	$[T]$ 矩阵	备注
串联 阻抗		$\begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{\bar{Z}}{2+\bar{Z}} & \frac{2}{2+\bar{Z}} \\ \frac{2}{2+\bar{Z}} & \frac{\bar{Z}}{2+\bar{Z}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1-\frac{\bar{Z}}{2} & \frac{\bar{Z}}{2} \\ -\frac{\bar{Z}}{2} & 1+\frac{\bar{Z}}{2} \end{bmatrix}$	$\bar{Z} = \frac{Z}{Z_0}$
并联 导纳		$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -\frac{\bar{Y}}{2+\bar{Y}} & \frac{2}{2+\bar{Y}} \\ \frac{2}{2+\bar{Y}} & \frac{-\bar{Y}}{2+\bar{Y}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1-\frac{\bar{Y}}{2} & -\frac{\bar{Y}}{2} \\ \frac{\bar{Y}}{2} & 1+\frac{\bar{Y}}{2} \end{bmatrix}$	$\bar{Y} = \frac{Y}{Y_0}$
理想 变压器		$\begin{bmatrix} n & 0 \\ 0 & \frac{1}{n} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{n^2-1}{1+n^2} & \frac{2n}{1+n^2} \\ \frac{2n}{1+n^2} & \frac{1-n^2}{1+n^2} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{1+n^2}{2n} & \frac{n^2-1}{2n} \\ \frac{n^2-1}{2n} & \frac{1+n^2}{2n} \end{bmatrix}$	
短截 线		$\begin{bmatrix} \cos\theta & jZ_0 \sin\theta \\ j\frac{\sin\theta}{Z_0} & \cos\theta \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & e^{-j\theta} \\ e^{-j\theta} & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} e^{-j\theta} & 0 \\ 0 & e^{j\theta} \end{bmatrix}$	$\theta = \frac{2\pi l}{\lambda_g}$

5.3.3. 反射系数与 S 参数的关系

问题:当输出端口不匹配时，输入端口的反射系数如何？



在输出端口：

对网络是入射波— V_{2i} —对负载 Z_L 是反射波

对网络是反射波— V_{2r} —对负载 Z_L 是入射波

定义四个反射系数

负载端

$$\Gamma_L = \frac{V_{2i}}{V_{2r}}$$

输出端

$$\Gamma_{out} = \frac{V_{2r}}{V_{2i}}$$

输入端

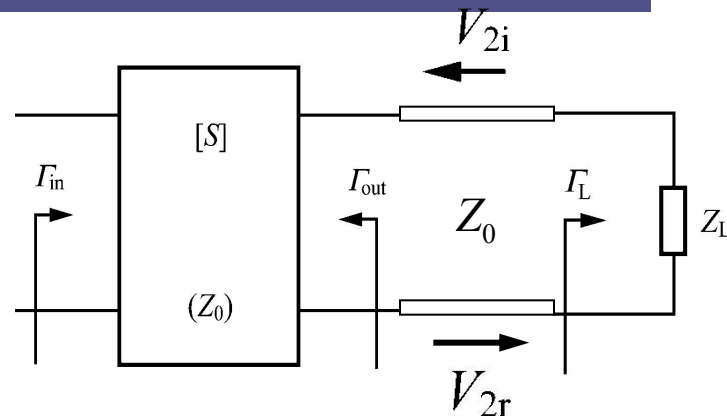
$$\Gamma_{in} = \frac{V_{1r}}{V_{1i}}$$

源端

$$\Gamma_S = \frac{V_{1i}}{V_{1r}}$$

S 参数方程

$$\begin{cases} V_{1r} = S_{11}V_{1i} + S_{12}V_{2i} \\ V_{2r} = S_{21}V_{1i} + S_{22}V_{2i} \end{cases}$$



根据负载反射系数定义，有 $V_{2i} = \Gamma_L V_{2r}$

将此式代入双端口网络的S参数方程，消去方程组中的 V_{2r}

输入端反射系数 $\Gamma_{in} = \frac{V_{1r}}{V_{1i}} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L}$

输出端反射系数 $\Gamma_{out} = \frac{V_{2r}}{V_{2i}} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S}$

对网络反射系数的理解

输入端反射系数 $\Gamma_{in} = \frac{V_{1r}}{V_{1i}} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L}$

① 不仅与网络S参数有关

② 还与网络所接负载有关 （条件 $S_{12} \neq 0$ ）

当**负载端匹配**，即 $\Gamma_L = 0$ 时， $\longrightarrow \Gamma_{in} = S_{11}$

当 $S_{12} \neq 0$ 时，输入端反射系数不仅与网络S参数有关，还与网络所接负载有关。

输出端反射系数 $\Gamma_{out} = \frac{V_{2r}}{V_{2i}} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S}$

5.4.4. 双端口网络的输入阻抗

端口1的输入阻抗:

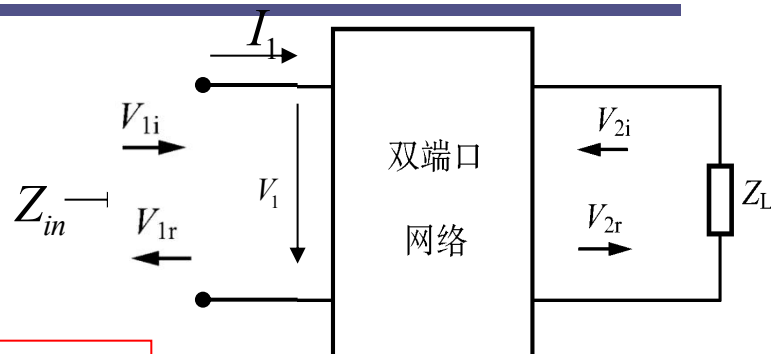
$$Z_{in} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{V_{1i} + V_{1r}}{I_{1i} - I_{1r}} = \frac{V_{1i}}{I_{1i}} \frac{1 + \frac{V_{1r}}{V_{1i}}}{1 - \frac{I_{1r}}{I_{1i}}} = Z_0 \frac{1 + \Gamma_{in}}{1 - \Gamma_{in}}$$

同时有:

$$\Gamma_{in} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}$$

结论:

- ① 同一端口的 输入阻抗和反射系数可以互相表示
- ② 反射系数表示了该端口的输入阻抗与参考阻抗 Z_0 的失配程度
- ③ 端口的电压驻波比也衡量了该端口的输入阻抗与参考阻抗的关系



The End !