《电子线路分析与设计》

第八讲：双口网络分析

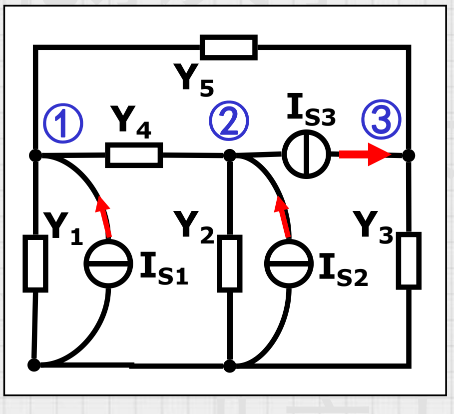
胡薇薇

2023. 10. 11

北京大学

节点电压法—规律在哪里?

复习



Y_{ii}　与节点i相连的所有支路导纳的总和(自导纳>0)

Y_{ij}　节点i和j之间所有支路导纳总和的负值(互导纳<0)

当网络中不含受控源时Y是对称矩阵：$Y_{ji}=Y_{ij}$

$$\begin{array}{c} ①\rightarrow \\ ②\rightarrow \\ ③\rightarrow \end{array}\begin{pmatrix} Y_1+Y_4+Y_5 & -Y_4 & -Y_5 \\ -Y_4 & Y_2+Y_4 & 0 \\ -Y_5 & 0 & Y_3+Y_5 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} I_{S1} \\ I_{S2}-I_{S3} \\ I_{S3} \end{pmatrix}$$

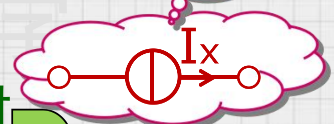
I_S　是流入节点i的电流源的代数和

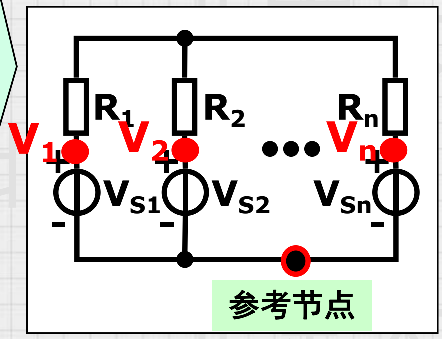
节点电压法—含电压源支路的处理

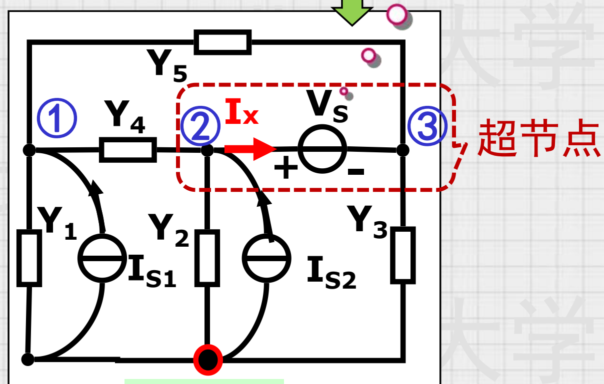
复习

1. 等效法：戴文宁源电路→诺顿源电路
   (缺点：改变了原电路结构)
2. 虚节点电压法
   →当电压源和参考节点相连时
3. 假设支路电流法
   →当电压源不和参考节点相连时

置换定理

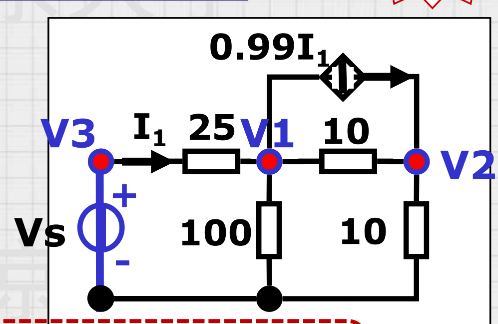






节点电压法—含受控源的处理（同理回路电流法）

复习



先将受控源看成独立源写矩阵

1. 写矩阵

2. 用已知量和节点电压表示受控源

$I_1 = (V_3 - V_1)/25$

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{100}+\frac{1}{25}+\frac{1}{10} & -\frac{1}{10} & -\frac{1}{25} \\ -0.1 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.99I_1 \\ 0.99I_1 \\ V_s \end{pmatrix}$$

3. 整理矩阵…

含受控源的网络中 $Y_{ji} \neq Y_{ij}$ 是非对称矩阵

节点分析： 用关联矩阵描述网络结构

复习

关联矩阵的元素

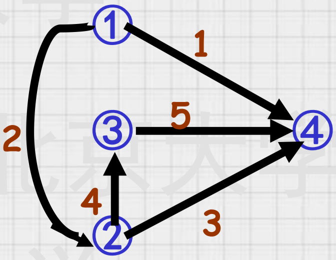
a_{ij} = 1→节点i与支路j关联, 且支路j的方向背离节点i.

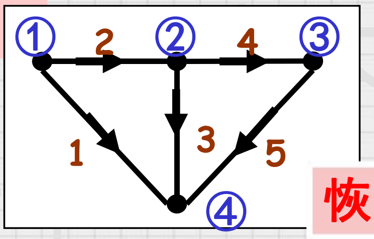
-1→节点i与支路j关联, 且支路j的方向指向节点i.

0→节点i与支路j不关联.

$$
\begin{array}{c}
\begin{array}{c} \\ ① \\ ② \\ ③ \end{array}
\begin{array}{c}
\begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\
\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{pmatrix}
\end{array}
\begin{array}{c} \\ \begin{pmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_5 \end{pmatrix} \end{array}
\begin{array}{c} \\ = 0 \end{array}
\end{array}
$$

$$④ \quad -1 \quad 0 \quad -1 \quad 0 \quad -1$$





出+入−

恢复是唯一的！

第八章：双口网络

§8-1 双口网络参量定义与联接

§8-2 Z参量、Y参量、H参量、G参量、A参量

§8-3 有端接的双口网络

输入阻抗、输出阻抗、传递函数

§双口网络分析推广应用…

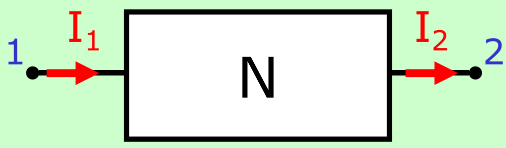
1。运放电路分析（第10章）

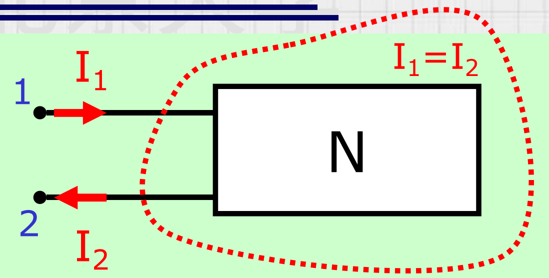
2。三极管电路分析（第10章）

3。分布参数电路分析（传输线 第9章）

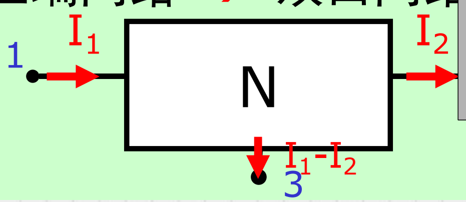
8-1-双口网络定义

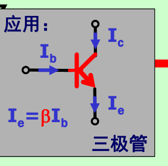
二端网络 = 单口网络

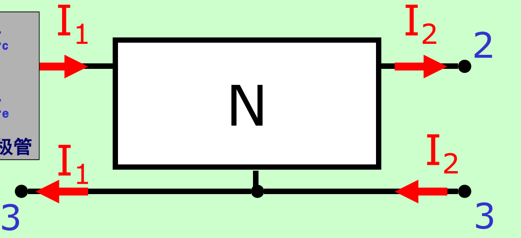




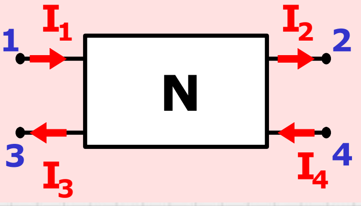
三端网络 → 双口网络

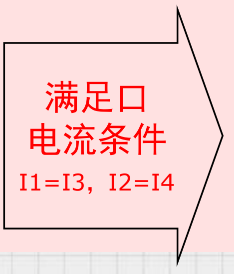




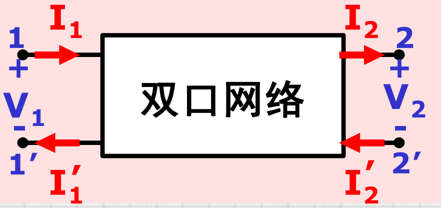


四端网络





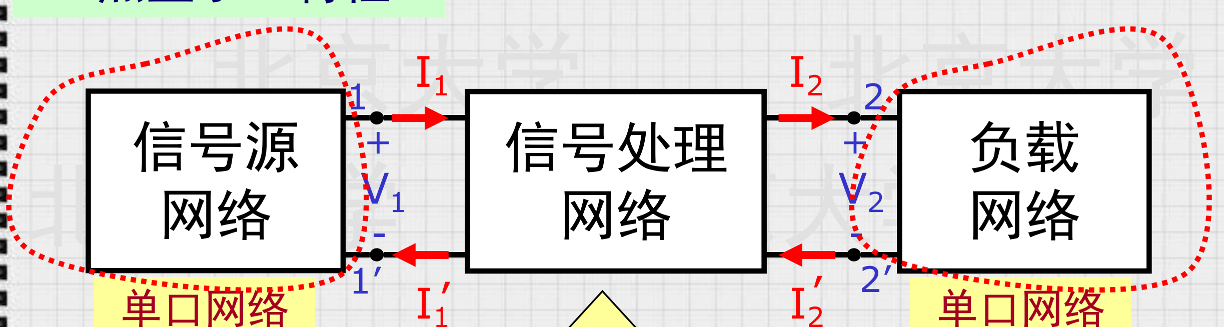
双口网络



8-1-双口网络分析

***

1. “黑盒子”特性

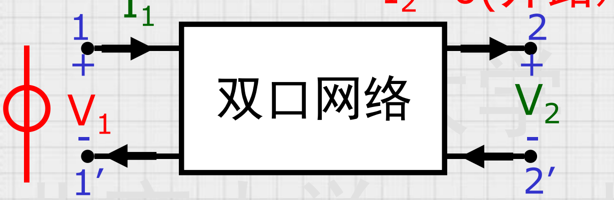


双口网络
口电流条件:
$I_1=I_1'$, $I_2=I_2'$

双口网络分析方法：
网络的特性可以用口电压/电流的关系方程(2个)描述。
可以不关心网络内部的电特性。

8-1-双口网络参量定义

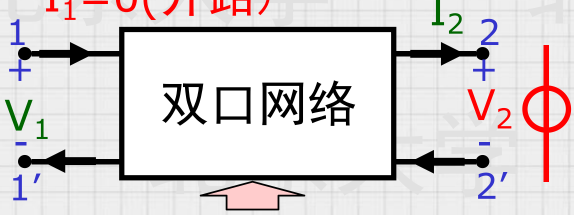
$V_1 = ?\ I_1 + ?\ I_2$
$V_2 = ?\ I_1 + ?\ I_2$
可能吗？



V_1 →可以测得 I_1， V_2

$Z_{11} = V_1/I_1\big|_{I_2=0}$

$Z_{21} = V_2/I_1\big|_{I_2=0}$



V_2 →可以测得 I_2， V_1

$Z_{12} = V_1/I_2\big|_{I_1=0}$

$Z_{22} = V_2/I_2\big|_{I_1=0}$

只用4个参数完美表达了
这个无论内部有多么复杂的
双口网络

令人兴奋的关系式产生了

有没有觉得这种表达曾经见过…

Z参量

$$\begin{cases} V_1 = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 \\ V_2 = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 \end{cases}$$

8-1-双口网络参量

双口网络的变量包括：V_1，I_1，V_2，I_2

其中一对做为自变量，则另一对为因变量，于是

四个变量，可以写出6种关系式 ⇨

8-1-双口网络参量定义

Z参量

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

Y参量

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

H参量

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

G参量

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

A参量　T参量

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

A′参量　T′参量

$$\begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a'_{11} & a'_{12} \\ a'_{21} & a'_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix}$$

8-1 双口网络参量定义-分析1

***

查转换表

分析1：同一个双口网络可以用不同参量来表示

Z参量　$Z=Y^{-1}$　**Y参量**

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

H参量　$H=G^{-1}$　**G参量**

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_1 \\ V_2 \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} I_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

A参量（T参量）

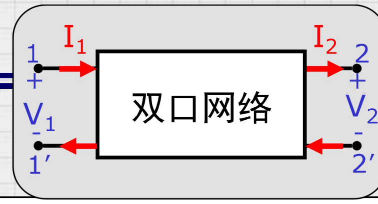
$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

A′参量（T′参量）

$$\begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a'_{11} & a'_{12} \\ a'_{21} & a'_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix}$$

举例由Z推导H…作业

8-1-双口网络参量定义



A参量

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

A′参量

$$\begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a'_{11} & a'_{12} \\ a'_{21} & a'_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix}$$

T参量

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

T′参量

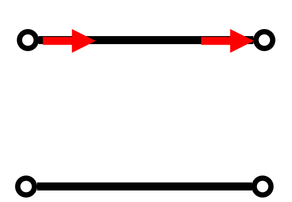
$$\begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix}$$

8-1 双口网络参量定义-分析2

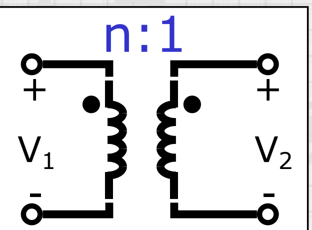
***

分析2：并非所有参量都可表示某一个双口网络

举例：**(简单双口网络)**



$V_2 = V_1, I_2 = I_1$



$V_2 : V_1 = n:1$

$V_1 = ?\ I_1 + ?\ I_2$
$V_2 = ?\ I_1 + ?\ I_2$
可能吗？

没有Z、Y参量

Z参量

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

Y参量

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

H参量

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

G参量

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

A参量　T参量

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

A′参量　T′参量

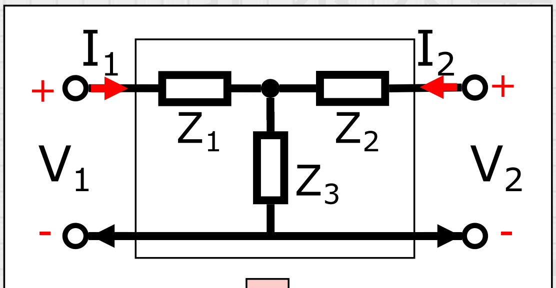
$$\begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a'_{11} & a'_{12} \\ a'_{21} & a'_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix}$$

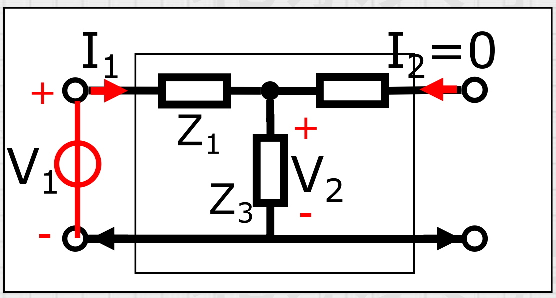
8-1 双口网络参量定义-分析3

***

分析3：双口网络参量计算方法：置零与非置零

例：求 T 形双口网络的Z参量





$$Z_{11}=V_1/I_1\big|_{I_2=0}=Z_1+Z_3$$

$$Z_{21}=V_2/I_1\big|_{I_2=0}=Z_3$$

Z参量：

$$\begin{cases}V_1=Z_{11}I_1+Z_{12}I_2\\ V_2=Z_{21}I_1+Z_{22}I_2\end{cases}$$

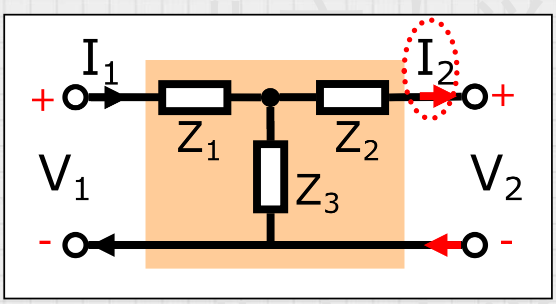
$$Z_{11}=V_1/I_1\big|_{I_2=0}$$
$$Z_{12}=V_1/I_2\big|_{I_1=0}$$
$$Z_{21}=V_2/I_1\big|_{I_2=0}$$
$$Z_{22}=V_2/I_2\big|_{I_1=0}$$

置零同单口定理的计算方法，2种计算方法…

8-1 双口网络参量定义-分析4

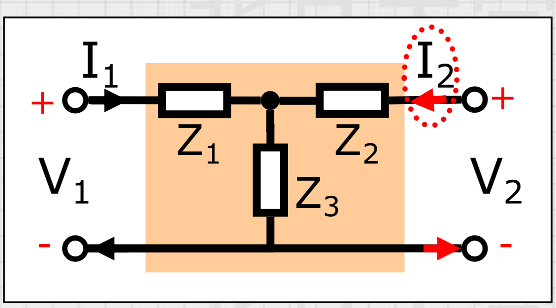
***

分析4：双口网络参量与双口的参考方向一一对应



$$\begin{cases}V_1=Z_{11}I_1+Z_{12}I_2\\ V_2=Z_{21}I_1+Z_{22}I_2\end{cases}$$

$$Z=\begin{pmatrix}Z_1+Z_3 & -Z_3\\ Z_3 & -(Z_2+Z_3)\end{pmatrix}$$



$$\begin{cases}V_1=Z_{11}I_1+Z_{12}I_2\\ V_2=Z_{21}I_1+Z_{22}I_2\end{cases}$$

$$Z=\begin{pmatrix}Z_1+Z_3 & Z_3\\ Z_3 & (Z_2+Z_3)\end{pmatrix}$$

用支路要标参考方向来比喻----

8-1-双口网络参量定义

分析4：双口网络参量与双口的参考方

Z参量

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

Y参量

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

H参量

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

G参量

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

8-1 双口网络参量定义-分析4

***

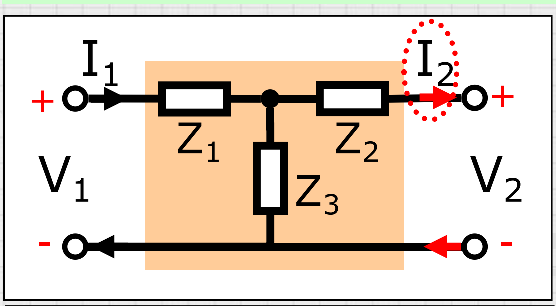
Z参量 $\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$

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

H参量 $\begin{pmatrix} V_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_1 \\ V_2 \end{pmatrix}$

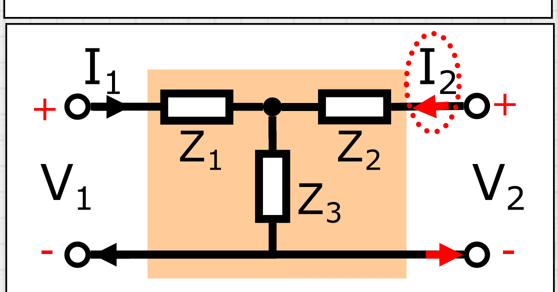
G参量 $\begin{pmatrix} I_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$

分析4：双口网络参量与双口的参考方向一一对应



$$Z = \begin{pmatrix} Z_1 + Z_3 & -Z_3 \\ Z_3 & -(Z_2 + Z_3) \end{pmatrix}$$

不相等



$$Z = \begin{pmatrix} Z_1 + Z_3 & Z_3 \\ Z_3 & (Z_2 + Z_3) \end{pmatrix}$$

8-1-双口网络参量定义

分析4：双口网络参量与双口的参考方

A参量 T参量

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

A′参量 T′参量

$$\begin{pmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a'_{11} & a'_{12} \\ a'_{21} & a'_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix}$$

A参量 T参量

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

A′参量 T′参量

$$\begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a'_{11} & a'_{12} \\ a'_{21} & a'_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix}$$

8-1-双口网络参量定

***

分析4：双口网络参量 …一一对应

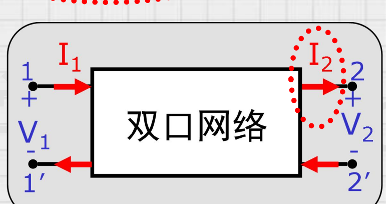
A参量 T参量

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

A′参量 T′参量

$$\begin{pmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a'_{11} & a'_{12} \\ a'_{21} & a'_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix}$$

相等



A参量 T参量

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

A′参量 T′参量

$$\begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a'_{11} & a'_{12} \\ a'_{21} & a'_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix}$$

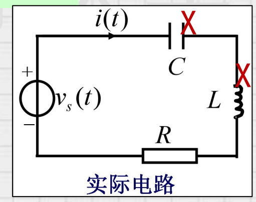
双口网络分析方法
建立在线性网络等效概念的基础之上

分析5：双口网络参量的三种表达形式（了解）

$$\begin{cases} \mathbf{V_1} = \mathbf{Z_{11}I_1} + \mathbf{Z_{12}I_2} \\ \mathbf{V_2} = \mathbf{Z_{21}I_1} + \mathbf{Z_{22}I_2} \end{cases}$$

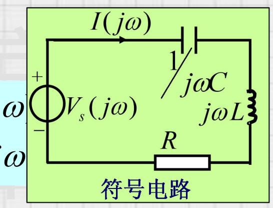
时域形式（静态电路）：

$$\begin{cases} v_1(t) = R_{11}i_1(t) + R_{12}i_2(t) \\ v_2(t) = R_{21}i_1(t) + R_{22}i_2(t) \end{cases}$$



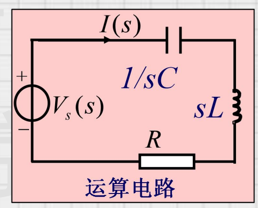
频域形式（符号电路）：

$$\begin{cases} \mathbf{V_1}(j\omega) = \mathbf{Z_{11}}(j\omega)\mathbf{I_1}(j\omega) + \mathbf{Z_{12}}(j\omega)\mathbf{I_2}(j\omega \\ \mathbf{V_2}(j\omega) = \mathbf{Z_{21}}(j\omega)\mathbf{I_1}(j\omega) + \mathbf{Z_{22}}(j\omega)\mathbf{I_2}(j\omega \end{cases}$$



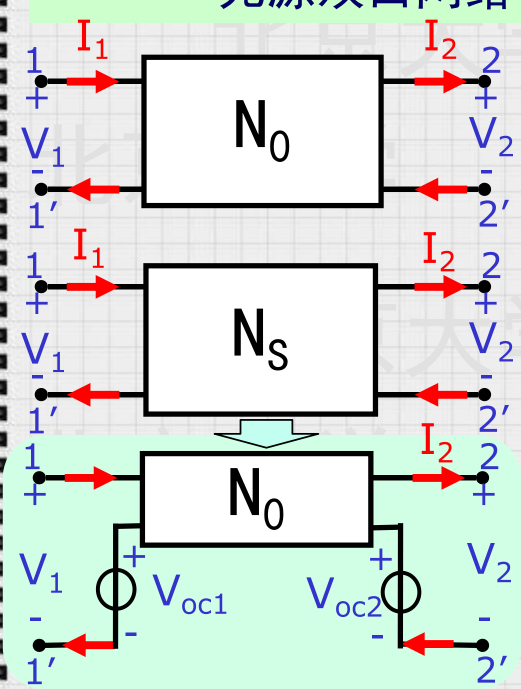
复频域形式（运算电路）：

$$\begin{cases} \mathbf{V_1}(s) = \mathbf{Z_{11}}(s)\mathbf{I_1}(s) + \mathbf{Z_{12}}(s)\mathbf{I_2}(s) \\ \mathbf{V_2}(s) = \mathbf{Z_{21}}(s)\mathbf{I_1}(s) + \mathbf{Z_{22}}(s)\mathbf{I_2}(s) \end{cases}$$

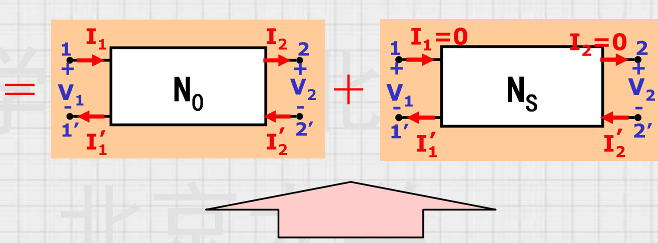


8-1 双口网络参量定义-分析6

分析6：含源双口网络可以分解为 无源双口网络与独立源网络的叠加（了解）



$$\begin{cases} \mathbf{V_1} = \mathbf{Z_{11}I_1} + \mathbf{Z_{12}I_2} \\ \mathbf{V_2} = \mathbf{Z_{21}I_1} + \mathbf{Z_{22}I_2} \end{cases}$$



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

举一个简单例子

第八章：双口网络

§8-1 双口网络参量与联接

§8-2 Z参量、Y参量、H参量、G参量、A参量

§8-3 有端接的双口网络

输入阻抗，输出阻抗， 传递函数

§双口网络分析推广应用...

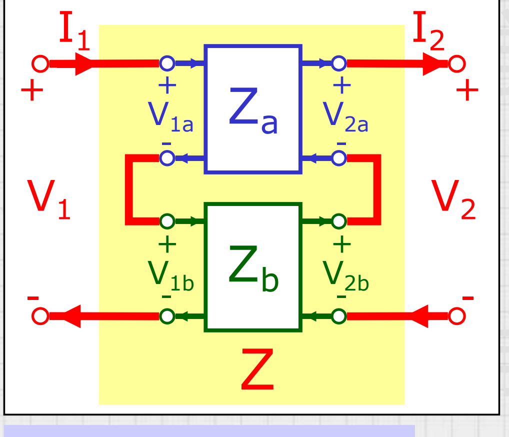
1。运放电路分析

2。三极管电路分析

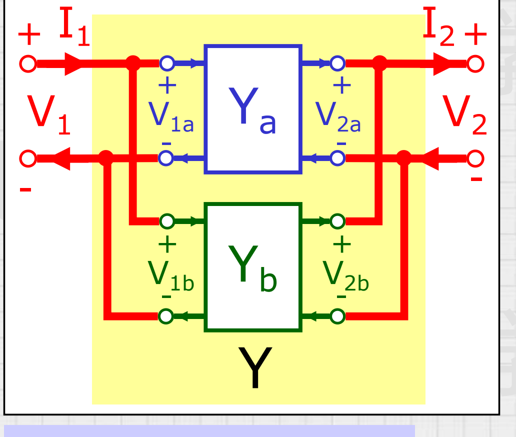
3。分布参数电路分析

8-1-双口网络的联接（复合双口）

(1)串联 $V_1=V_{1a}+V_{1b}$



(2)并联 $I_1=I_{1a}+I_{1b}$

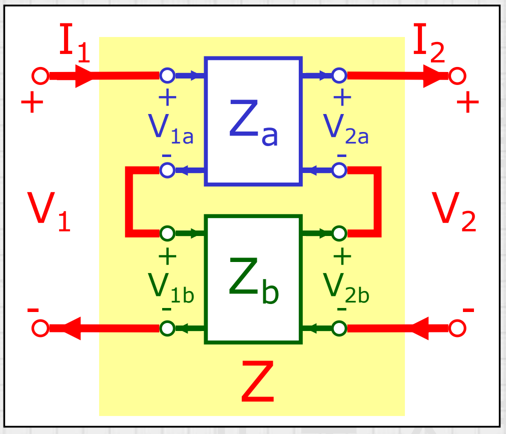


$$\mathbf{Z}=\mathbf{Z}_a+\mathbf{Z}_b$$

$$\mathbf{Y}=\mathbf{Y}_a+\mathbf{Y}_b$$

当Z_a和Z_b已知时，可以给Z的分析带来方便。

8-1-双口网络的联接(复合双口)

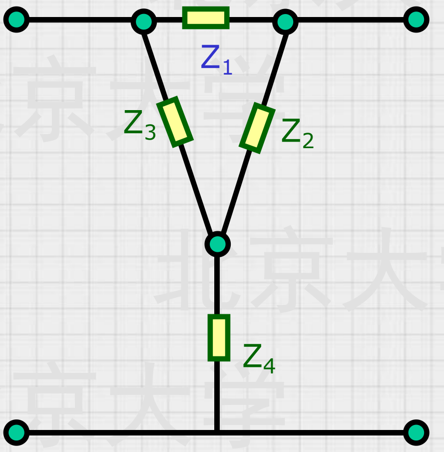


$$\mathbf{Z}=\mathbf{Z}_a+\mathbf{Z}_b$$

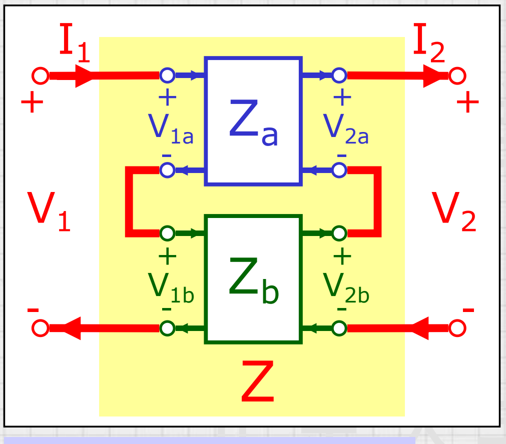
定义为串联

(1)串联

例:



8-1-双口网络的联接(复合双口)

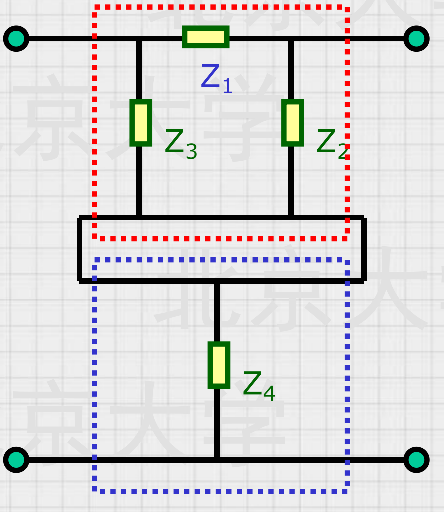


$$\mathbf{Z}=\mathbf{Z}_a+\mathbf{Z}_b$$

定义为串联

(1)串联

例:

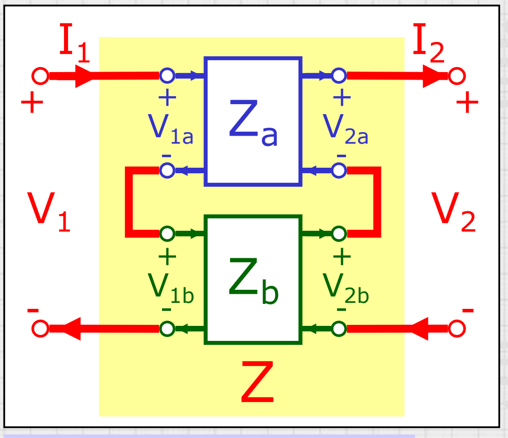


大双口:)=小双口:)+小双口:)

8-1-双口网络的联接(复合双口)

$$\begin{cases} I_1 = I_{1a入} = I_{1a出} = I_{1b入} = I_{1b出} \\ I_2 = I_{2a入} = I_{2a出} = I_{2b入} = I_{2b出} \end{cases}$$

(1)串联—证明:



$$\begin{cases} V_1 = V_{1a} + V_{1b} \\ V_2 = V_{2a} + V_{2b} \end{cases} \qquad \begin{cases} I_1 = I_{1a} = I_{1b} \\ I_2 = I_{2a} = I_{2b} \end{cases}$$

口电流条件

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{1a} \\ V_{2a} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_{1b} \\ V_{2b} \end{pmatrix}$$

$$= Z_a \begin{pmatrix} I_{1a} \\ I_{2a} \end{pmatrix} + Z_b \begin{pmatrix} I_{1b} \\ I_{2b} \end{pmatrix}$$

$$= (Z_a + Z_b) \cdot \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = Z \cdot \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

$$Z \overset{?}{=} Z_a + Z_b$$

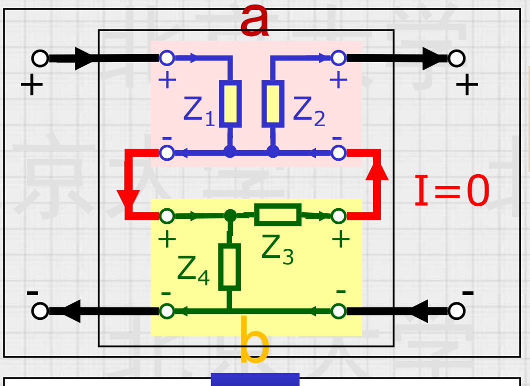
定义为串联

串联公式成立的条件是满足口电流条件

8-1-双口网络的联接(复合双口)

(1)串联的有效性

例:

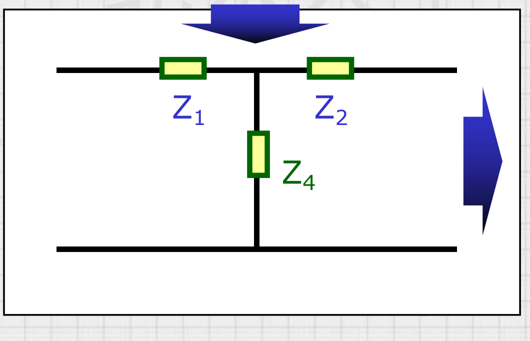


口电流条件:

$$\begin{cases} I_1 = I_{1a入} \neq I_{1a出} = I_{1b入} \neq I_{1b出} \\ I_2 = I_{2a入} = I_{2a出} = I_{2b入} = I_{2b出} \end{cases}$$

串联无效!

Z≠Za+Zb



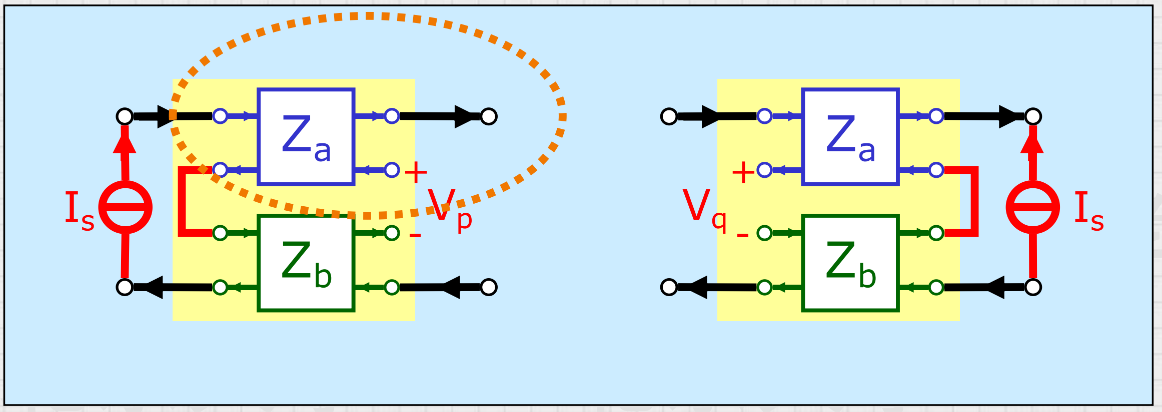
Z存在但不等于Za+Zb

8-1-双口网络的联接(复合双口)

(1)串联的有效性

判定方法:

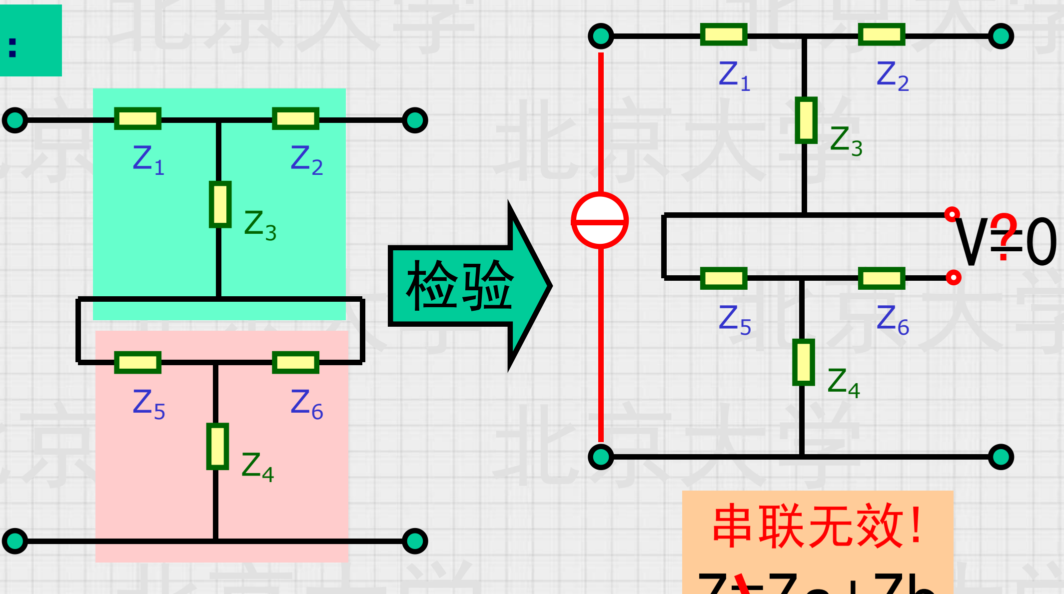
若$V_p=V_q=0$，则串联有效



8-1-双口网络的联接(复合双口)

(1)串联的有效性

例:



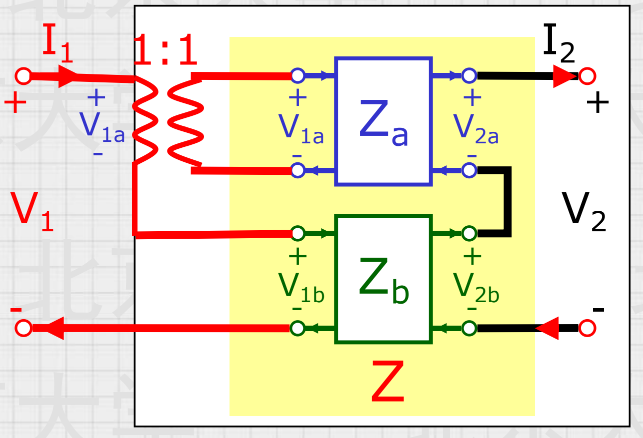
串联无效!

$Z \neq Z_a+Z_b$

8-1-双口网络的联接(复合双口)

(1)串联的有效性

Always!

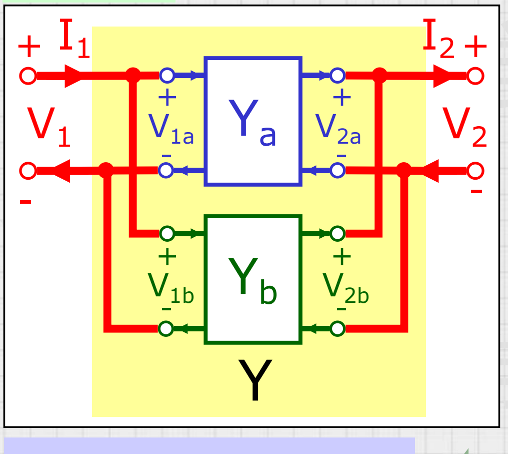


串联有效

Z=Za+Zb

8-1-双口网络的联接(复合双口)

(2)并联



$$\begin{cases} \mathbf{V}_1 = \mathbf{V}_{1a} = \mathbf{V}_{1b} \\ \mathbf{V}_2 = \mathbf{V}_{2a} = \mathbf{V}_{2b} \end{cases} \quad \begin{cases} \mathbf{I}_1 = \mathbf{I}_{1a} + \mathbf{I}_{1b} \\ \mathbf{I}_2 = \mathbf{I}_{2a} + \mathbf{I}_{2b} \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{I}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{I}_{1a} \\ \mathbf{I}_{2a} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{I}_{1b} \\ \mathbf{I}_{2b} \end{pmatrix}$$

$$= \mathbf{Y}_a \begin{pmatrix} \mathbf{V}_{1a} \\ \mathbf{V}_{2a} \end{pmatrix} + \mathbf{Y}_b \begin{pmatrix} \mathbf{V}_{1b} \\ \mathbf{V}_{2b} \end{pmatrix}$$

$$= (\mathbf{Y}_a + \mathbf{Y}_b) \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{V}_2 \end{pmatrix} = \mathbf{Y} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{V}_1 \\ \mathbf{V}_2 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{Y}_a + \mathbf{Y}_b$$

等号成立条件

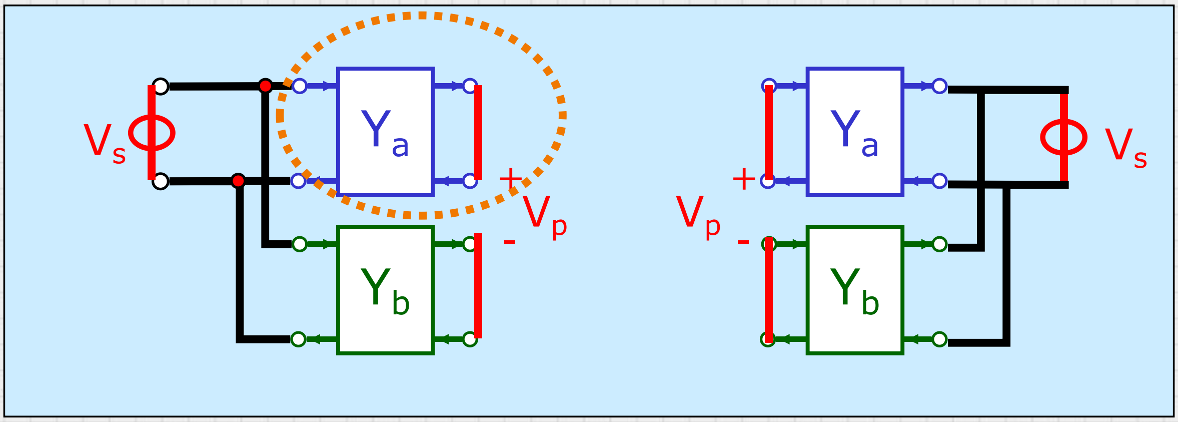
满足口电流条件:

$$\begin{cases} \mathbf{I}_{1a入} = \mathbf{I}_{1a出}, \quad \mathbf{I}_{2a入} = \mathbf{I}_{2a出} \\ \mathbf{I}_{1b入} = \mathbf{I}_{1b出}, \quad \mathbf{I}_{2b入} = \mathbf{I}_{2b出} \end{cases}$$

8-1-双口网络的联接(复合双口)

(1)并联的有效性

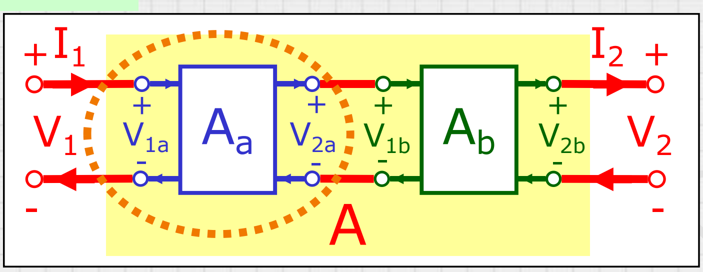
判定方法： 若$V_p=V_q=0$，则并联有效



8-1-双口网络的联接(复合双口)

***

(5)链联



联接的有效性判断：Always!

$$\begin{cases} I_1 = I_{1a} \\ V_1 = V_{1a} \end{cases} \quad \begin{cases} I_{1b} = I_{2a} \\ V_{1b} = V_{2a} \end{cases} \quad \begin{cases} I_{2b} = I_2 \\ V_{2b} = V_2 \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = A_a \cdot \begin{pmatrix} V_{2a} \\ I_{2a} \end{pmatrix} = A_a \cdot A_b \cdot \begin{pmatrix} V_{2b} \\ I_{2b} \end{pmatrix}$$

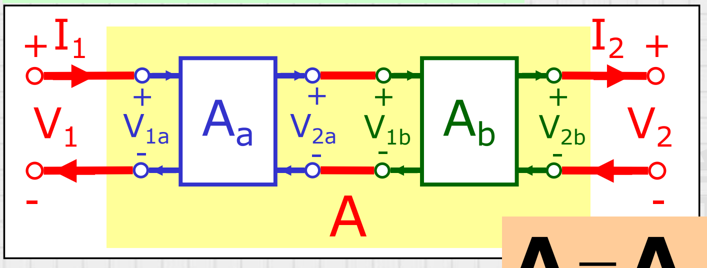
$$= A_a A_b \cdot \begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix} = A \cdot \begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

$$A = A_a \cdot A_b$$

等号总是成立!!!

8-1-双口网络的联接(复合双口) ***

(5)链联—不满足交换律



$$A = A_a \cdot A_b \neq A_b \cdot A_a$$

$$A_a \cdot A_b = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11}b_{11}+a_{12}b_{21} & a_{11}b_{12}+a_{12}b_{22} \\ a_{21}b_{11}+a_{22}b_{21} & a_{21}b_{12}+a_{22}b_{22} \end{pmatrix}$$

$$A_b \cdot A_a = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{11}a_{11}+b_{12}a_{21} & b_{11}a_{12}+b_{12}a_{22} \\ b_{21}a_{11}+b_{22}a_{21} & b_{21}a_{12}+b_{22}a_{22} \end{pmatrix}$$

$a_{12}b_{21} \neq b_{12}a_{21}$ $a_{21}b_{11}+a_{22}b_{21} \neq b_{21}a_{11}+b_{22}a_{21}$

第八章：双口网络

§ 8-1 双口网络参量与联接

§ 8-2 Z参量、Y参量、H参量、G参量、A参量

§ 8-3 有端接的双口网络

输入阻抗，输出阻抗， 传递函数

§ 双口网络分析推广应用...

1。运放电路分析
2。三极管电路分析
3。分布参数电路分析

***

关注问题：

☞ **各双口网络参量的：**

→**物理描述**（定义）

→**特性**（与众不同之处）

→**等效电路**（高效化简电路）

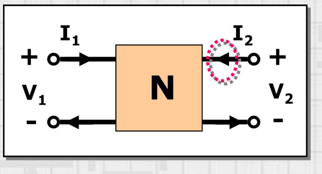
→**互易条件**（网络特性的参量体现）

***

8-2 双口网络参量及其等效电路

1. Z参量：（a）物理描述 　　开路阻抗参量

$$\begin{cases} V_1 = Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2 \\ V_2 = Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2 \end{cases}$$



$Z_{11} = V_1/I_1\big|_{I_2=0}$ 　出口开路时入口的驱动点阻抗

$Z_{12} = V_1/I_2\big|_{I_1=0}$ 　入口开路时反向转移阻抗

$Z_{21} = V_2/I_1\big|_{I_2=0}$ 　出口开路时正向转移阻抗

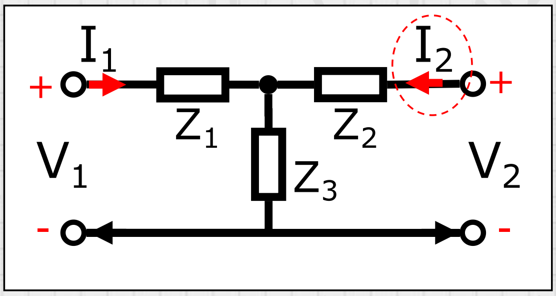
$Z_{22} = V_2/I_2\big|_{I_1=0}$ 　入口开路时出口的驱动点阻抗

双口网络（黑盒子）参量的测量获取方法

输入阻抗与输出阻抗。。。Z11？Z22？

8-2 双口网络参量及其等效电路

例：求 T 形双口网络的Z参量



$$Z_{11}=V_1/I_1\big|_{I_2=0}=Z_1+Z_3$$

$$Z_{12}=V_1/I_2\big|_{I_1=0}=Z_3$$

$$Z_{21}=V_2/I_1\big|_{I_2=0}=Z_3$$

$$Z_{22}=V_2/I_2\big|_{I_1=0}=(Z_2+Z_3)$$

$$Z=\begin{pmatrix} Z_1+Z_3 & Z_3 \\ Z_3 & (Z_2+Z_3) \end{pmatrix}$$

普通双口网络参量：4个独立分量

互易双口网络参量：3个独立分量

对称双口网络参量：2个独立分量

现象分析：

互易网络： $\Rightarrow$ $Z_{12}=Z_{21}$

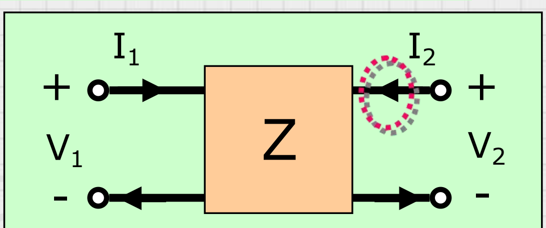
对称网络：$Z_1=Z_2$ $\Rightarrow$ $Z_{11}=Z_{22}$　$Z_{12}=Z_{21}$

独立数

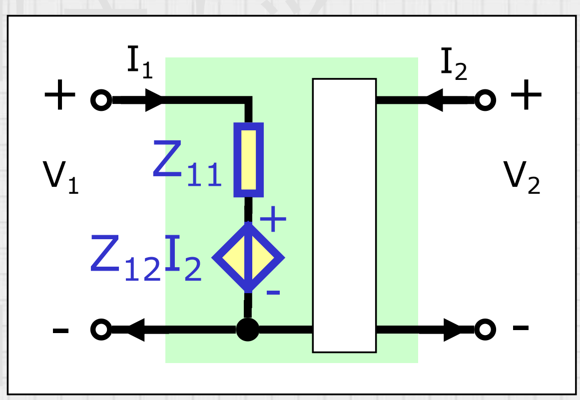
8-2 双口网络参量及其等效电路

***

1. Z参量(b)等效电路



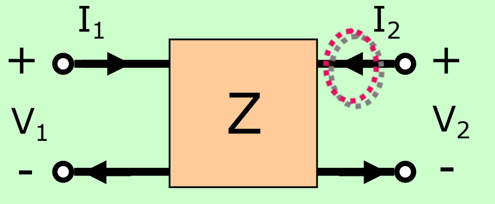
$$\begin{cases} V_1=Z_{11}I_1+Z_{12}I_2 \\ V_2=Z_{21}I_1+Z_{22}I_2 \end{cases}$$



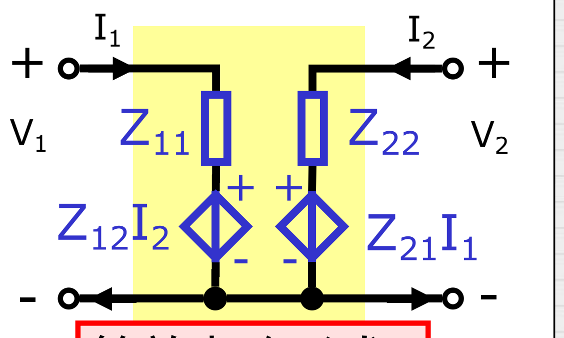
8-2 双口网络参量及其等效电路

***

1. Z参量(b)等效电路



$$\begin{cases} \mathbf{V_1 = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2} \\ \mathbf{V_2 = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2} \end{cases}$$



等效电路形式1

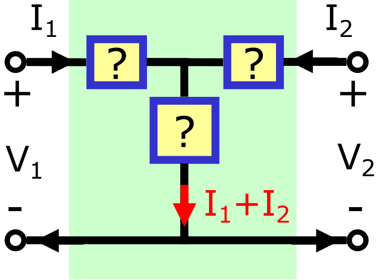
画一下另外一个电流方向的等效电路。。。

8-2 双口网络参量及其等效电路

***

1. Z参量：(b)等效电路

如果希望形式为：

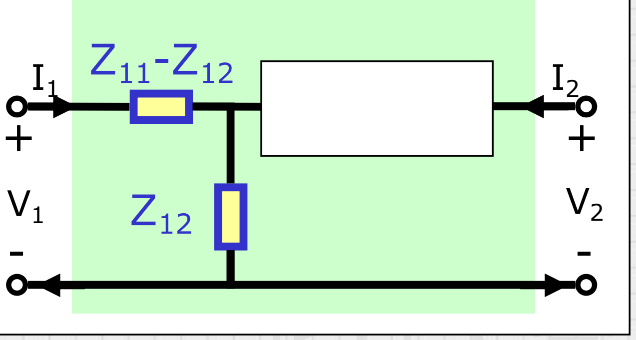


(I_1+I_2)

$$\begin{cases} \mathbf{V_1 = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2} \\ \mathbf{V_2 = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2} \end{cases}$$

$$\mathbf{V_1 = (Z_{11} - Z_{12})I_1 + Z_{12}(I_1 + I_2)}$$

$$\mathbf{V_2 = Z_{12}(I_1 + I_2) + (Z_{22} - Z_{12})I_2 + (Z_{21} - Z_{12})I_1}$$



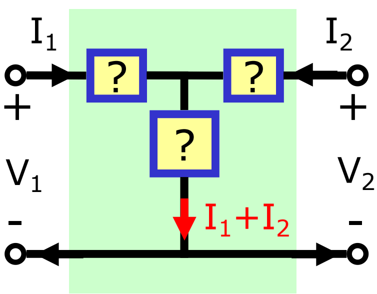
8-2 双口网络参量及其等效电路

***

1. Z参量：(b)等效电路

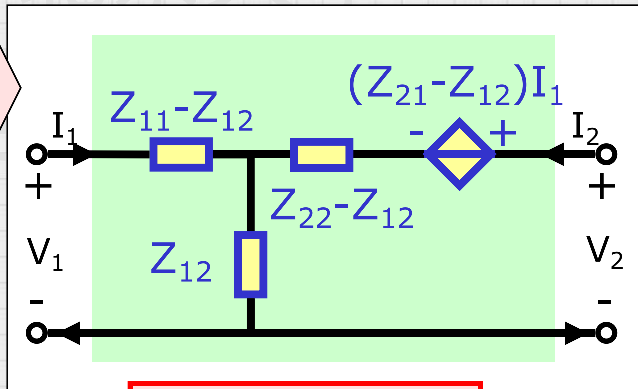
$$\begin{cases} V_1 = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 \\ V_2 = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 \end{cases}$$

如果希望形式为：



$$V_1 = (Z_{11} - Z_{12})I_1 + Z_{12}(I_1 + I_2)$$

$$V_2 = Z_{12}(I_1 + I_2) + (Z_{22} - Z_{12})I_2 + (Z_{21} - Z_{12})I_1$$



等效电路形式2

8-2 双口网络参量及其等效电路

***

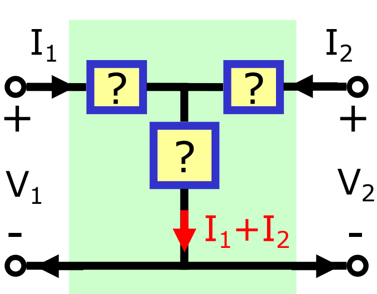
1. Z参量：(b)等效电路

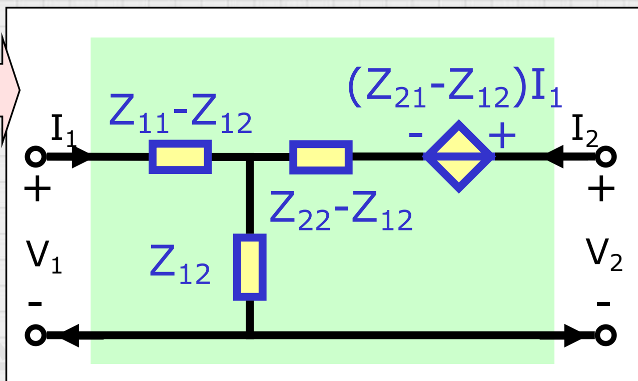
重要推论：

如果是互易网络 ⇒ $Z_{12}=Z_{21}$

如果是对称网络 ⇒ $Z_{12}=Z_{21}$，$Z_{11}=Z_{22}$

如果希望形式为：





等效电路形式2

等效电路告诉我们：

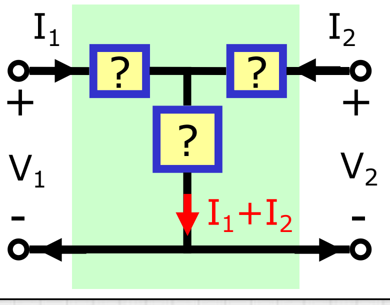
多么复杂的双口网络，都可以用简单元件组成的T形电路来等效！

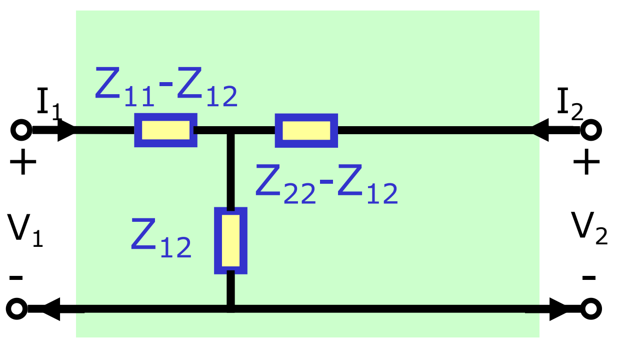
8-2 双口网络参量及其等效电路

***

1. Z参量：(c) 互易双口等效电路

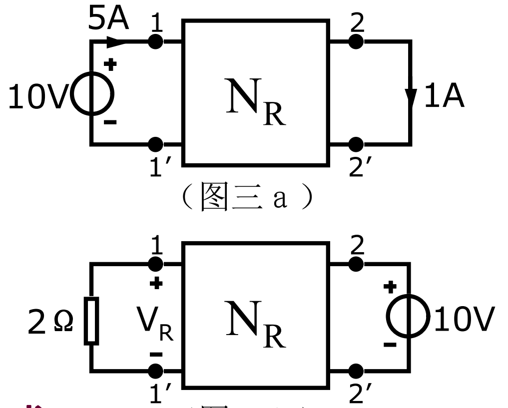
如果希望形式为：





等效电路形式2

互易定理—举例

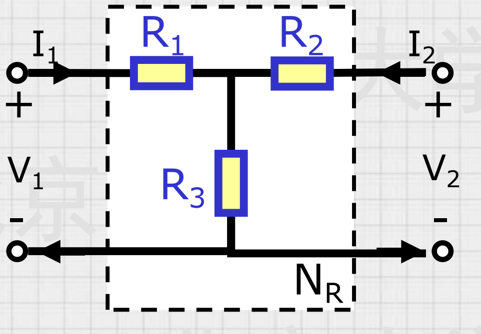


（图三 a）

求V_R =?

（图三 b）

解法5：双口网络Z参量



图a：

$$\mathbf{R_2} = 4\mathbf{R_3}$$

$$\mathbf{R_1} + \frac{4}{5}\mathbf{R_3} = 2\Omega$$

图b：

$$\mathbf{V_R} = \mathbf{2\ V/2} = \mathbf{1\ V}$$

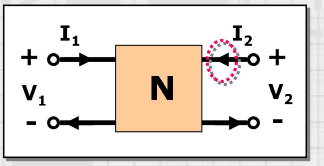
6-2 双口网络参量及其等效电路

***

2. Y参量：(a) 物理描述

短路导纳参量

$$\begin{cases} I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 \\ I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 \end{cases}$$

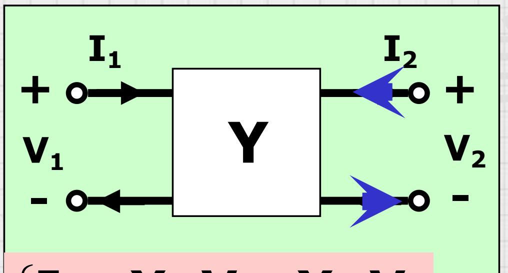


$Y_{11} = I_1/V_1\big\|_{V_2=0}$	出口短路时入口的驱动点导纳
$Y_{12} = I_1/V_2\big\|_{V_1=0}$	入口短路时反向转移导纳
$Y_{21} = I_2/V_1\big\|_{V_2=0}$	出口短路时正向转移导纳
$Y_{22} = I_2/V_2\big\|_{V_1=0}$	入口短路时出口的驱动点导纳

6-2 双口网络参量及其等效电路

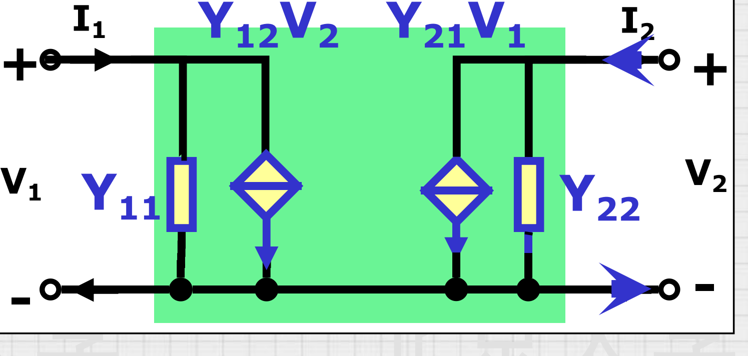
***

2. Y参量：(b) 等效电路



$$\begin{cases} I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 \\ I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 \end{cases}$$

等效电路形式1



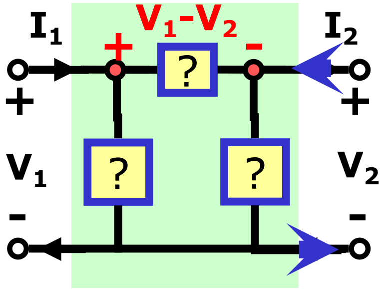
6-2 双口网络参量及其等效电路

***

2. Y参量：(b) π形等效电路

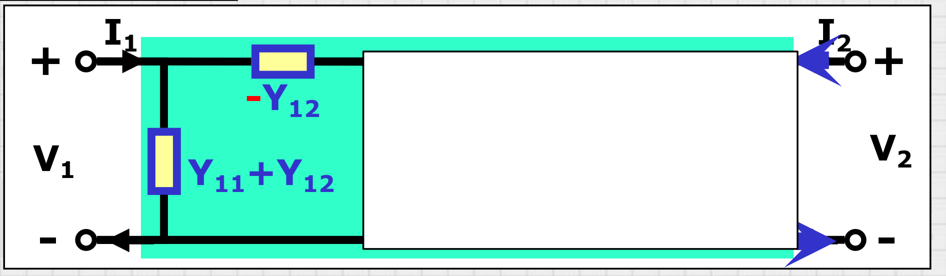
(V_1-V_2)

如果希望形式为：



$$\begin{cases} I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 \\ I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 \end{cases}$$

$$I_1 = (Y_{12} + Y_{11})V_1 - Y_{12}(V_1 - V_2)$$

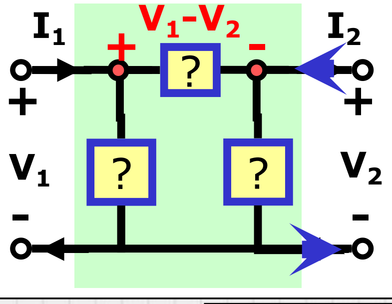


6-2 双口网络参量及其等效电路

***

2. Y参量：(b) π形等效电路

如果希望形式为：

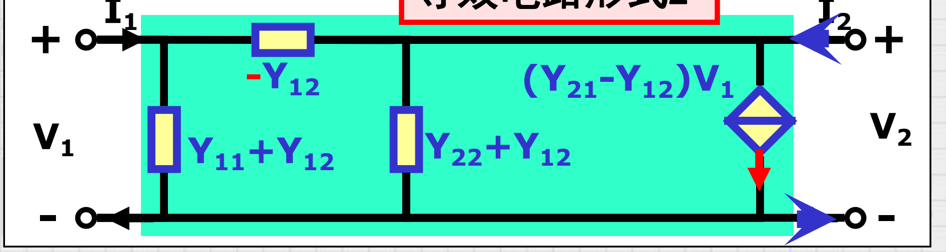


$$\begin{cases} I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 \\ I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 \end{cases}$$

$$I_1 = (Y_{12} + Y_{11})V_1 - Y_{12}(V_1 - V_2)$$

$$I_2 = -Y_{12}(V_2 - V_1) + (Y_{22} + Y_{12})V_2 + (Y_{21} - Y_{12})V_1$$

等效电路形式2



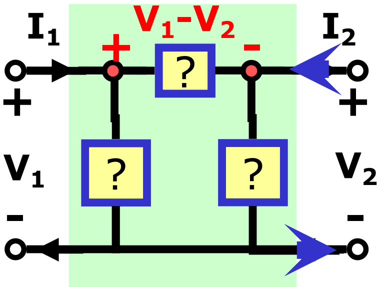
6-2 双口网络参量及其等效电路

***

2. Y参量：(b) π形等效电路

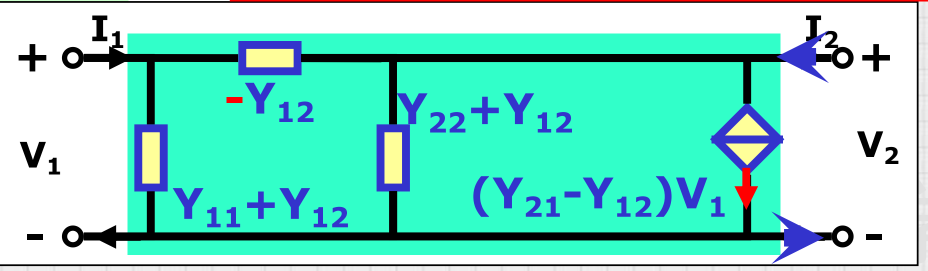
如果希望形式为：

$$\begin{cases} I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 \\ I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 \end{cases}$$



小结：

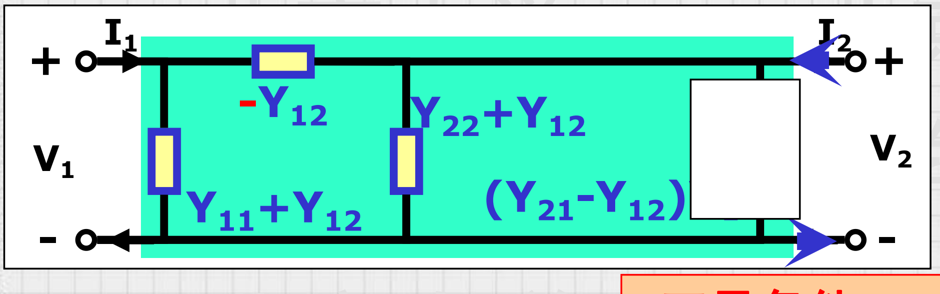
复杂的线性无源双口网络可以用Z参量等效为简单的T形等效电路、或用Y参量等效为简单的π形等效电路.



6-2 双口网络参量及其等效电路

***

2. Y参量：(c) 互易双口等效电路



互易条件：$Y_{12}=Y_{21}$

普通双口网络参量：4个独立分量

互易双口网络参量：3个独立分量

对称双口网络参量：2个独立分量

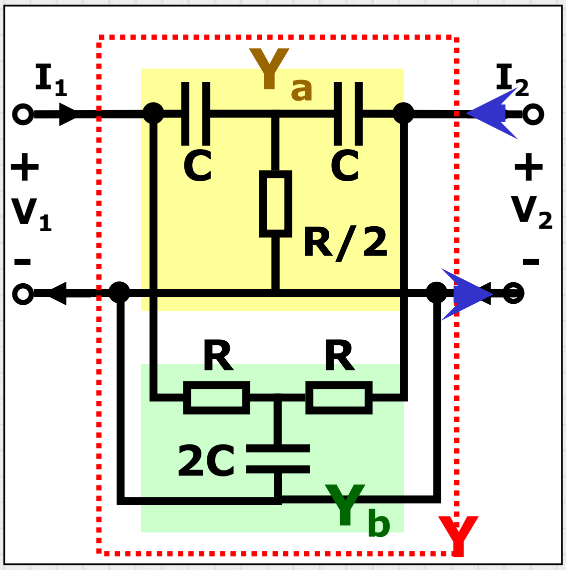
$$\begin{cases} I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 \\ I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 \end{cases}$$

$Y_{12}=Y_{21}$

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

6-2 双口网络参量及其等效电路

2. Y参量：例：求双T桥滤波器的电压传递函数



$$H(j\omega)=\frac{V_2}{V_1}\bigg|_{I_2=0}$$

电路特点:

可分解成两个互易且对称的网络Y_a和Y_b，且具有并联形式

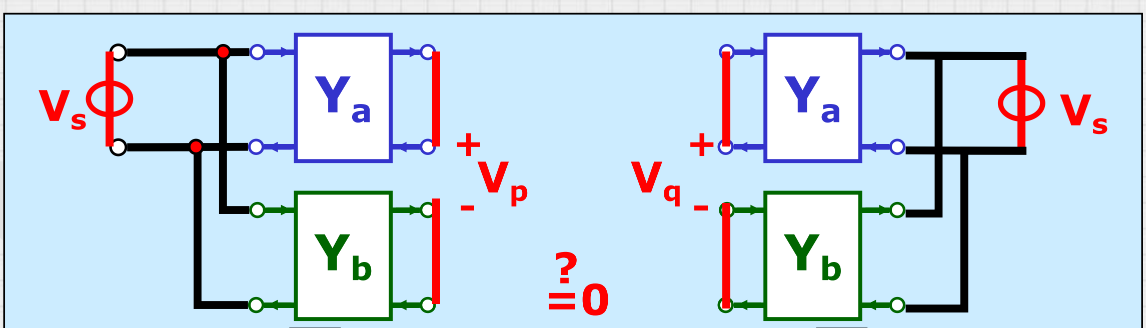
$$H(j\omega)=\frac{V_2}{V_1}\bigg|_{I_2=0}=\frac{-y_{21}}{y_{22}}\overset{?}{=}-\frac{y_{21a}+y_{21b}}{y_{22a}+y_{22b}}$$

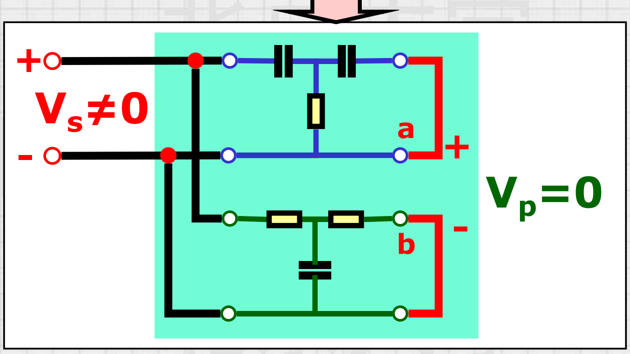
$$\begin{cases} I_1=Y_{11}V_1+Y_{12}V_2 \\ I_2=Y_{21}V_1+Y_{22}V_2 \end{cases}$$

$$Y\overset{?}{=}Y_a+Y_b$$

6-2 双口网络参量及其等效电路

判断并联有效性:





同理可得:$V_q=0$

6-2 双口网络参量及其等效电路

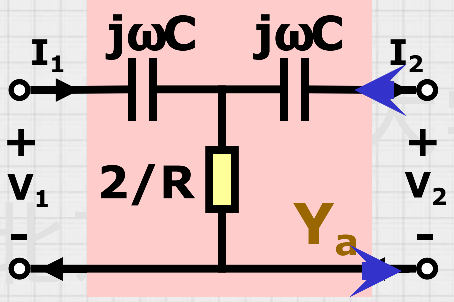
- 因此复合双口网络的

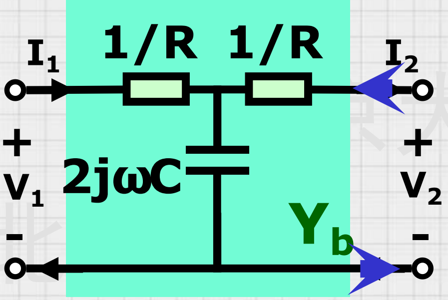
$$\mathbf{Y} = \mathbf{Y}_a + \mathbf{Y}_b$$

- 下面可以单独计算Y_a和Y_b

- 规范结构的Y可以简单查表获得

6-2 双口网络参量及其等效电路





$$Y_a = \begin{pmatrix} j\omega C(\frac{2}{R} + j\omega C) & \omega^2 C^2 \\ \omega^2 C^2 & j\omega C(\frac{2}{R} + j\omega C) \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{\frac{2}{R} + j\omega C}$$

- 同理可以计算出Y_b
- 最后 $H(j\omega) = -\dfrac{y_{21a} + y_{21b}}{y_{22a} + y_{22b}} = \ldots$

6-2 双口网络参量及其等效电路

$$|H(j\omega)|=|1-(\omega/\omega_0)^2|/\sqrt{[1-(\omega/\omega_0)^2]^2+16(\omega/\omega_0)^2}$$