1.5 网络分析

网络类型：

- 线性网络和非线性网络
- 时变网络和时不变网络
- 阻性网络和动态网络
- 互易网络和非互易网络
- 对称网络和非对称网络
- 有源网络和无源网络
- 有损网络和无损网络
- 双向网络和单向网络

1.线性和非线性网络：

线性网络的参量都是与电压电流无关的常数
满足叠加性和均匀性的网络为线性网络，不满足叠加性或均匀性的网络为非线性网络
线性网络的网络参量是线性系数参量，**一般用矩阵形态表述**
PS：对于动态网络（线性微分方程）也可以使用拉普拉斯变换等方法转换为矩阵形式

2.时变和时不变网络：

网络参量为常量的是时不变网络，网络参量随着时间变换且改变与电压电流是独立的（不是受电压电流控制的）为时变网络。
PS：所以可以知道两者不是严格对立的，网络参量只受电压电流控制的是非线性网路。

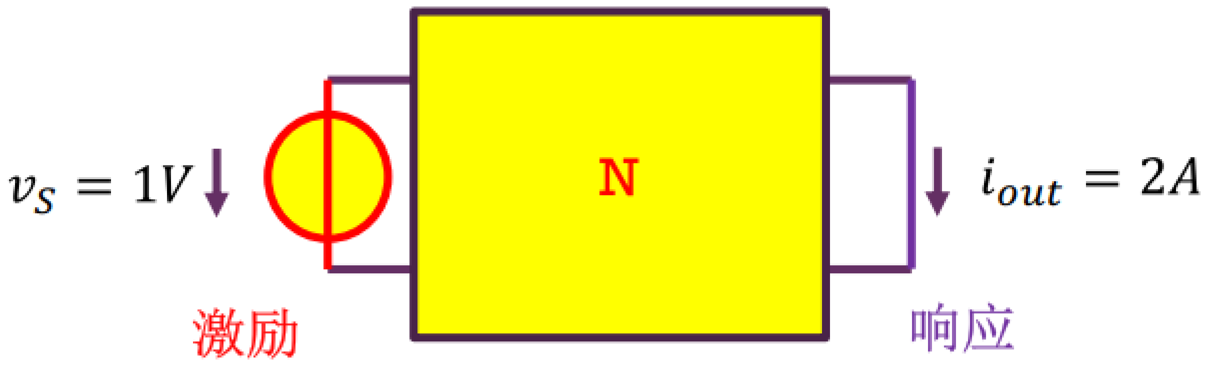
3.阻性网络和动态网络：

如果网络端口电压和端口电流之间的关系用代数方程可以完全描述，则为阻性网络

- 如果是线性代数方程，则为线性阻性网络
- 如果线性代数方程的矩阵参量为常数，则为线性时不变阻性网络
  如果网络端口电压和端口电流之间的关系需微分方程方可完全描述，则为动态网络
  PS:线性时不变动态网络多在相量域（频域）分析，常系数线性微分方程可转化为复数线性代数方程，网络参量矩阵为复数矩阵（A班下学期内容）

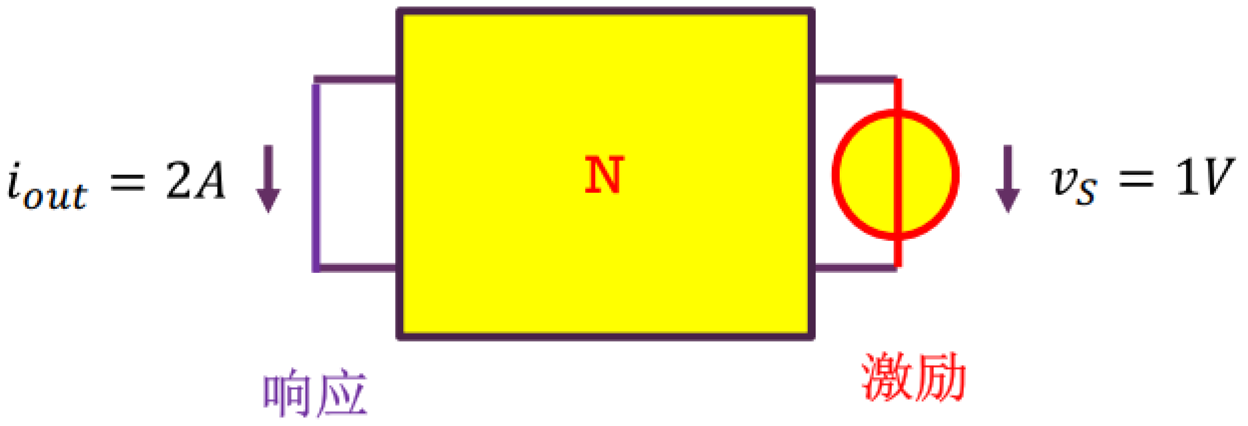
4.互易网络和非互易网络：

激励和响应位置可以互换的网络是互易网络，激励和响应位置不能互换的网络是非互易网络（互易网络一般是针对线性网络定义的）
互易定理：线性二端口网络互易，则$z_{12}=z_{21}$，$y_{12}=y_{21}$，$h_{12}=-h_{21}$，$g_{12}=-g_{21}$
也等价于$\Delta_T=AD-BC=1, \Delta_t=ad-bc=1$
互易的含义：



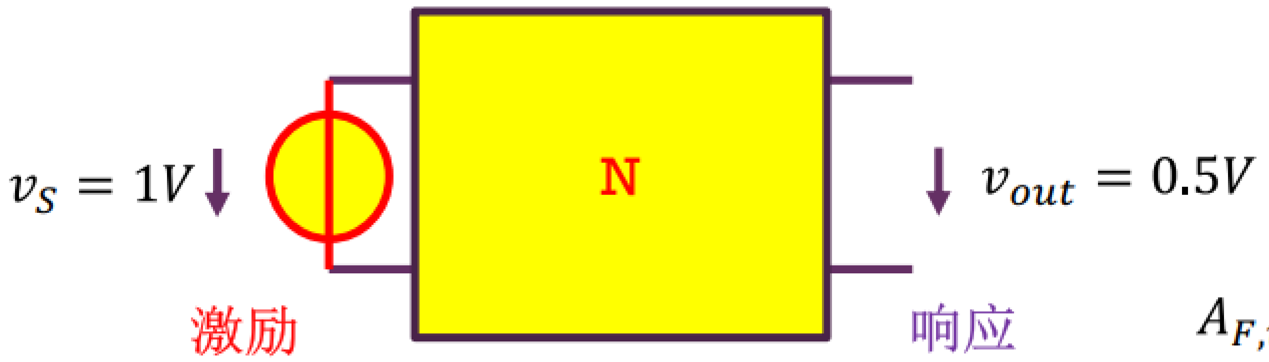
$y_{21} = -2S$

$y_{12} = y_{21}$



$y_{12} = -2S$

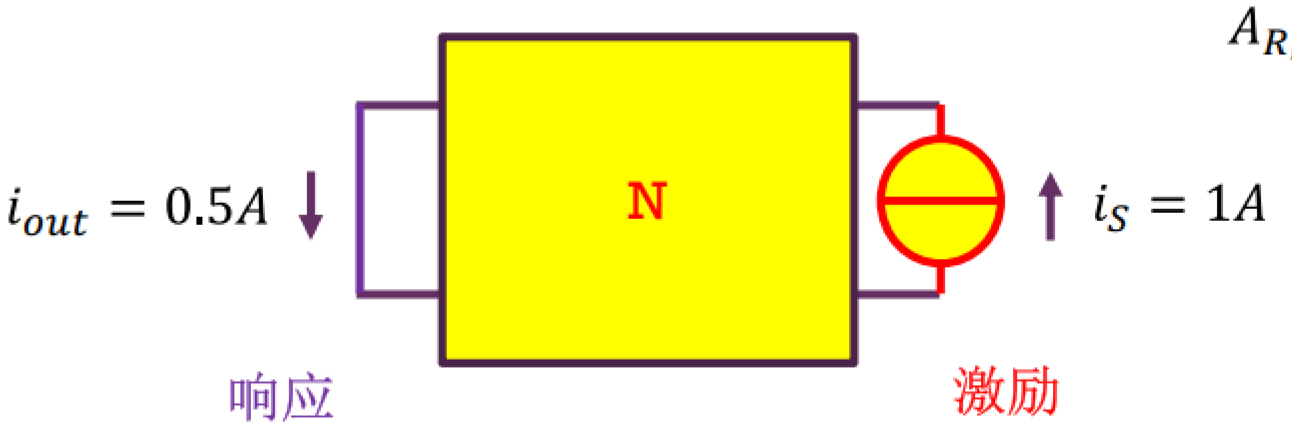
$z_{12} = z_{21}$



$A_{F,v0} = g_{21} = 0.5$

$g_{21} = -g_{12}$

$A_{R,i0} = -g_{12} = 0.5$



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

哪些是互易网络?

时域：由线性时不变电阻、电容（无初始电压）、电感（无初始电流）、传输线等互易元件构成的网络是互易网络
频域：由线性时不变电阻、电容、电感、传输线等互易元件构成的网络是互易网络

5.对称网络和非对称网络：

当二端口网络对两个端口看入其端口电压电流关系毫无差别时，则是对称网络。如果从两个端口看存在可区分的差别，则为非对称网络。
对称网络一定是互易网络，反之不一定。

6.有源网络和无源网络：

如果其端口总吸收功率恒不小于0，则无源；
如果存在某种端口负载条件，使得其端口总吸收功率小于0的情况可以出现，则有源。
有源性有三种类型：
1.独立源有源性；
2.负阻有源性；$P = z/y/g/h, P_{11} < 0 \quad or \quad P_{22} < 0$
3.受控源有源性：$(P_{12} + P_{21})^2 > 4P_{12}P_{21}$ 增益足够高，除了抵偿内部损耗外，还可向外输出额外电能
负阻有源性和受控源有源性可被用来实现**放大器**（本学期）、**振荡器**（下学期）

7.无损网络和有损网络：

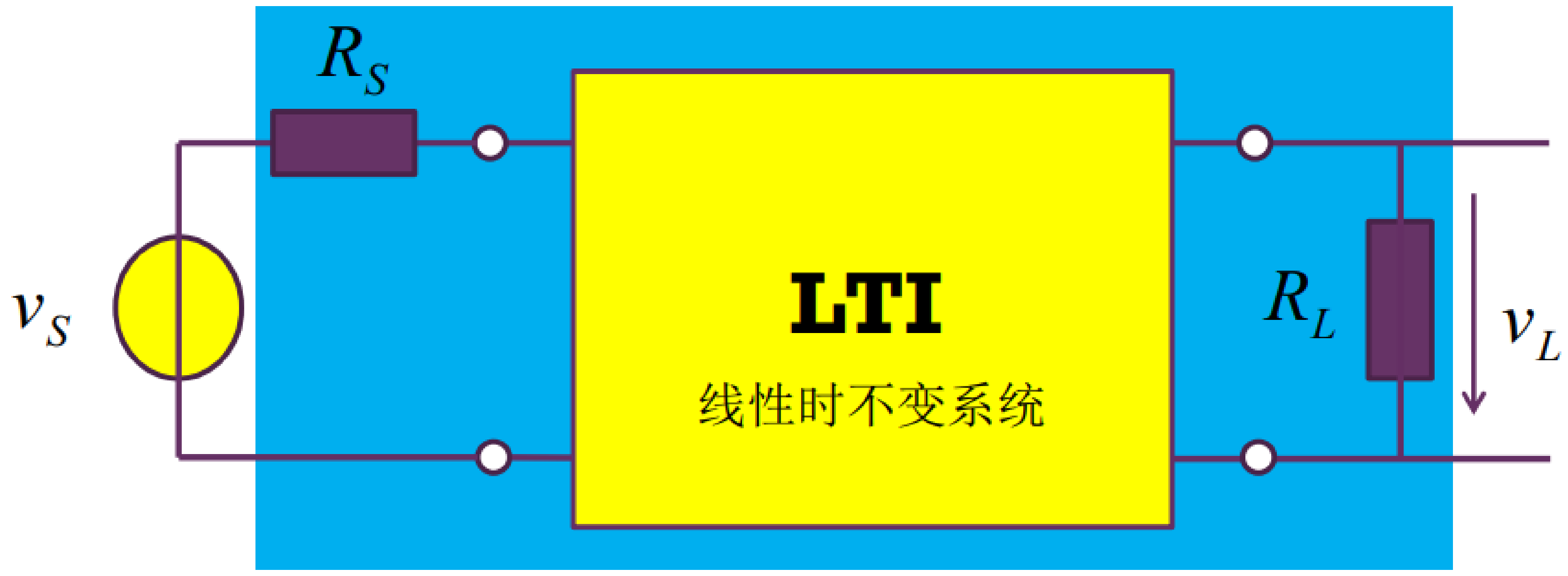
无损网络首先要保证P_{11}, P_{22}等全为0，其次还要$P_{12}=-P_{21}$

纯由 传输线， 理想开关、电容、电感、 构成的网络无损；理想变压器、理想回旋器、理想环行器无损

无损网络可以用来实现**阻抗变换功能**（**最大功率传输匹配**）、**能量转换功能**（理论上100%的能量转换效率）

8.双向网络和单向网络

传递函数Transfer Function：



$$H=\frac{v_L}{v_S}$$

输入/输出阻抗/导纳的计算：

$$y_{in}=y_{11}-\frac{y_{12}y_{21}}{y_{22}+G_L} \qquad y_{out}=y_{22}-\frac{y_{21}y_{12}}{y_{11}+G_S}$$

阻抗变换网络一定是双向网络

$$y_{12}y_{21}\neq 0$$

$$z_{in}=z_{11}-\frac{z_{12}z_{21}}{z_{22}+R_L} \qquad z_{out}=z_{22}-\frac{z_{21}z_{12}}{z_{11}+R_S}$$

$$z_{12}z_{21}\neq 0$$

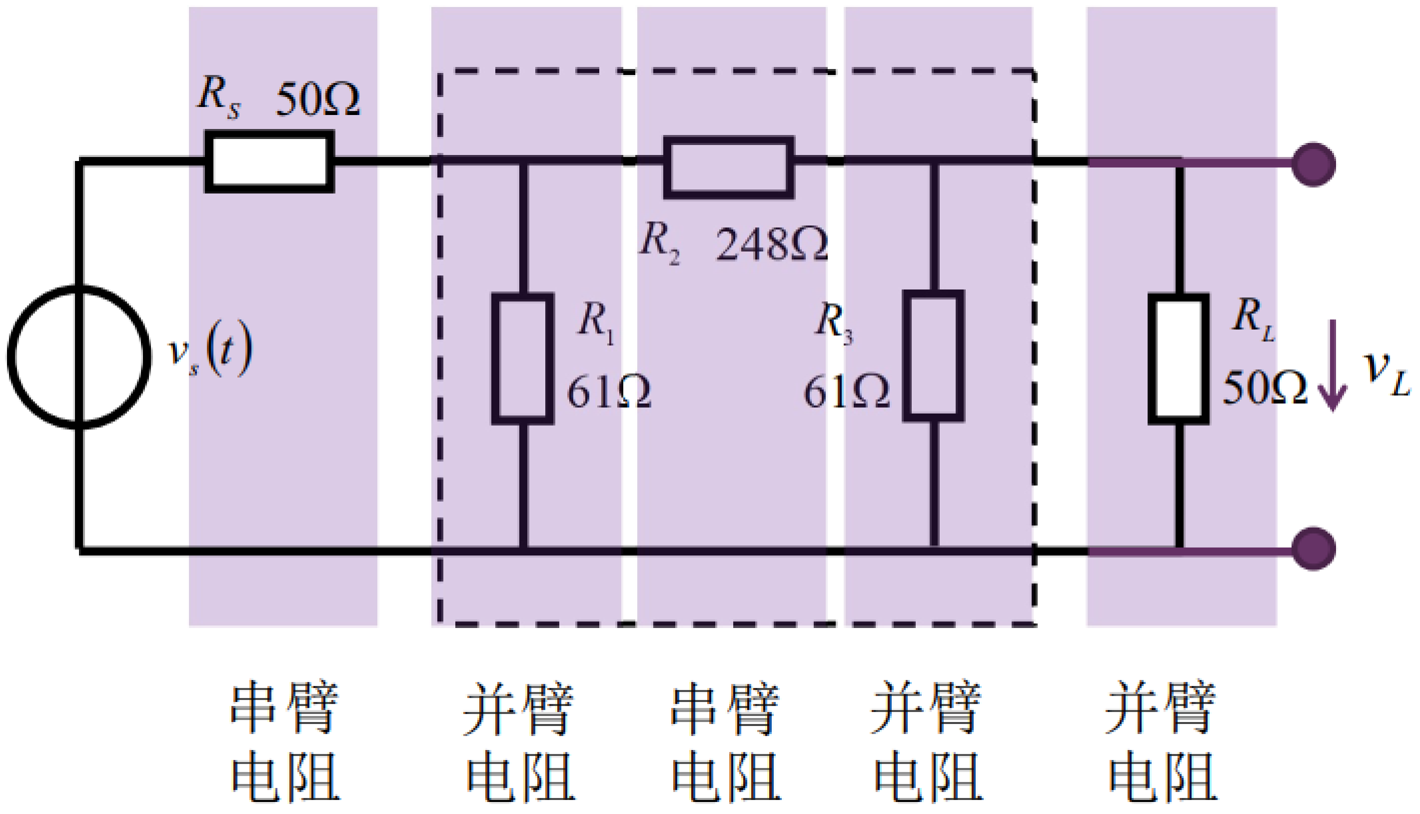
$$z_{in}=h_{11}-\frac{h_{12}h_{21}}{h_{22}+G_L} \qquad y_{out}=h_{22}-\frac{h_{21}h_{12}}{h_{11}+R_S}$$

$$h_{12}h_{21}\neq 0$$

$$g_{12}g_{21}\neq 0$$

$$y_{in}=g_{11}-\frac{g_{12}g_{21}}{g_{22}+R_L} \qquad z_{out}=g_{22}-\frac{g_{21}g_{12}}{g_{11}+G_S}$$

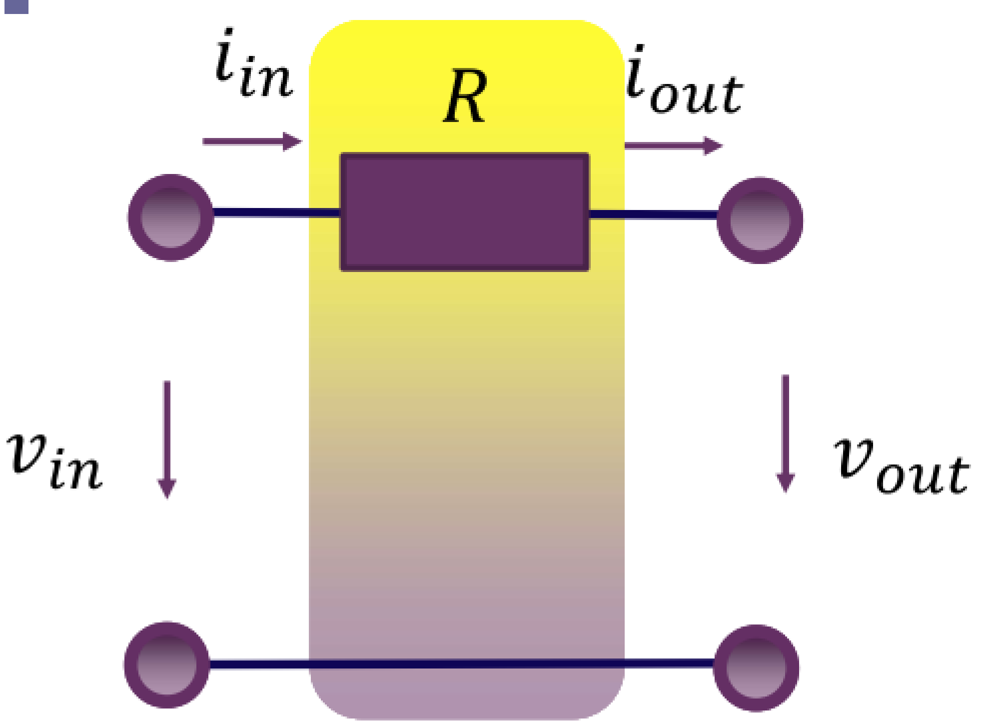
ABCD参量适合梯形网络传递函数求取：



$$H(s)=\frac{v_L}{v_S}=A_{v0}=\frac{1}{A}$$

$$\begin{bmatrix}A & B\\ C & D\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}A & B\\ C & D\end{bmatrix}_{R_S}\begin{bmatrix}A & B\\ C & D\end{bmatrix}_{R_1}\begin{bmatrix}A & B\\ C & D\end{bmatrix}_{R_2}\begin{bmatrix}A & B\\ C & D\end{bmatrix}_{R_3||R_L}$$

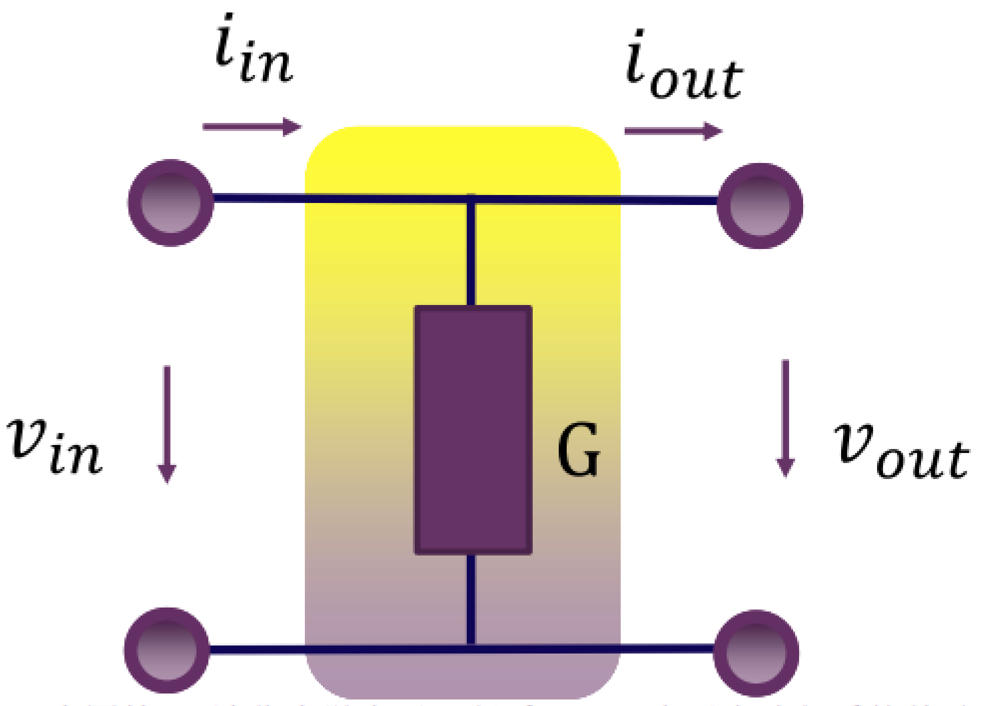
串臂阻抗与并臂导纳的传输参量很简单



$$i_{in}=i_{out}$$

$$v_{in}=Ri_{in}+v_{out}$$

$$\begin{bmatrix}v_{in}\\ i_{in}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1 & R\\ 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}v_{out}\\ i_{out}\end{bmatrix}$$



$$v_{in}=v_{out}$$

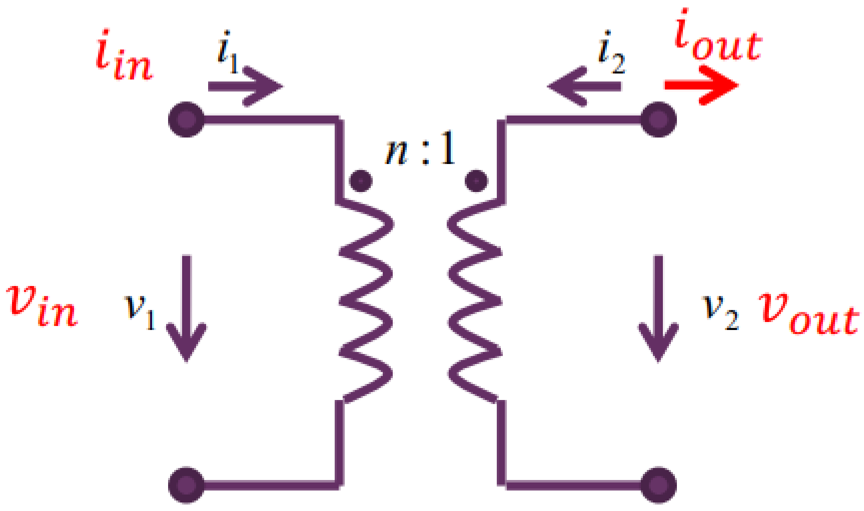
$$i_{in}=Gv_{in}+i_{out}$$

$$\begin{bmatrix}v_{in}\\ i_{in}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1 & 0\\ G & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}v_{out}\\ i_{out}\end{bmatrix}$$

典型网络：

1.变压器

变压器可以实现两个端口之间电压（及电流）的比例变换
理想变压器是无损器件。



n变压比

理想变压器端口描述方程
理想变压器元件约束条件

$$v_1 = nv_2 \qquad v_{out} = \frac{1}{n} v_{in}$$

$$i_1 = -\frac{1}{n} i_2 \qquad i_{out} = n i_{in}$$

$$p_{out} = v_{out} i_{out} = v_{in} i_{in} = p_{in}$$

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & 0 \\ 0 & \frac{1}{n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_2 \\ -i_2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{ABCD} = \begin{bmatrix} n & 0 \\ 0 & \frac{1}{n} \end{bmatrix}$$

PS：电流从端口1同名端流入，从端口2同名端流出（同名端就是图上的两个点）

等效电路

$$\mathbf{ABCD} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & 0 \\ 0 & \frac{1}{n} \end{bmatrix} \qquad \Delta_T = AD - BC = 1$$

互易网络

$$\mathbf{abcd} = \frac{1}{\Delta_T} \begin{bmatrix} D & B \\ C & A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{n} & 0 \\ 0 & n \end{bmatrix}$$

双向网络

$$\mathbf{z} = \frac{1}{C} \begin{bmatrix} A & \Delta_T \\ 1 & D \end{bmatrix}$$

无法用**z**参量表述

$$\mathbf{y} = \frac{1}{B} \begin{bmatrix} D & -\Delta_T \\ -1 & A \end{bmatrix}$$

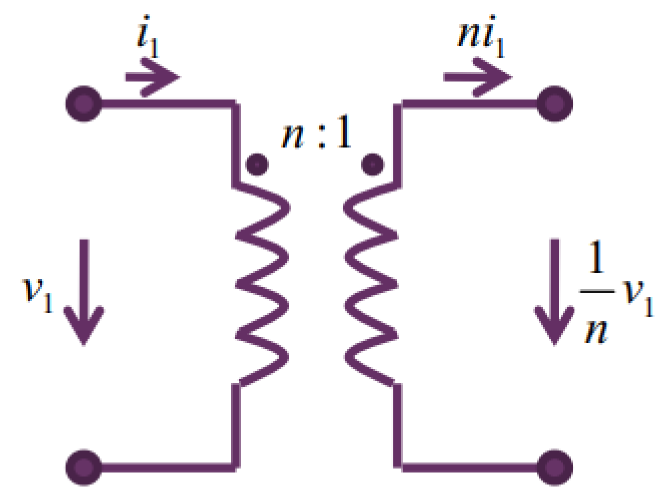
无法用**y**参量表述

$$\mathbf{h} = \frac{1}{D} \begin{bmatrix} B & \Delta_T \\ -1 & C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & n \\ -n & 0 \end{bmatrix}$$

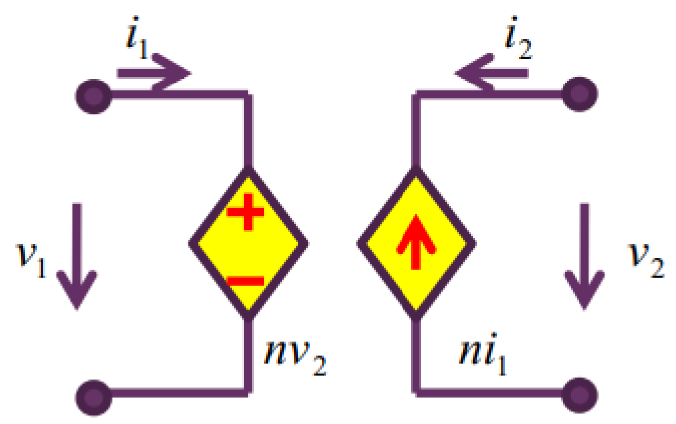
h参量可表述

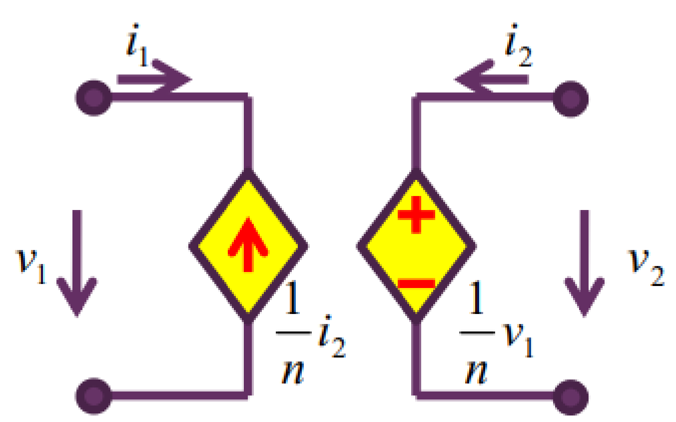
$$\mathbf{g} = \frac{1}{A} \begin{bmatrix} C & -\Delta_T \\ 1 & B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{n} \\ \frac{1}{n} & 0 \end{bmatrix}$$

g参量可表述



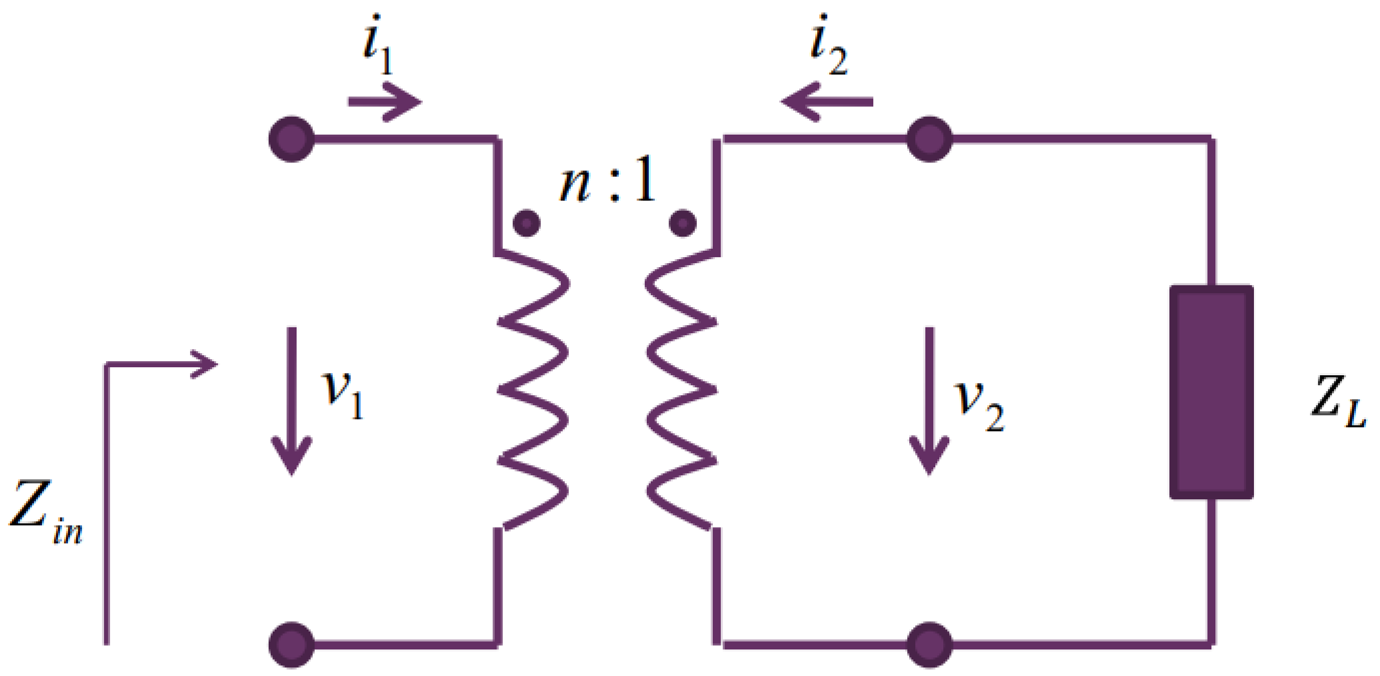
习惯于采用变压器符号描述
一般不用其等效电路





注意理想变压器是一个互易网络

1. 阻抗变换功能:

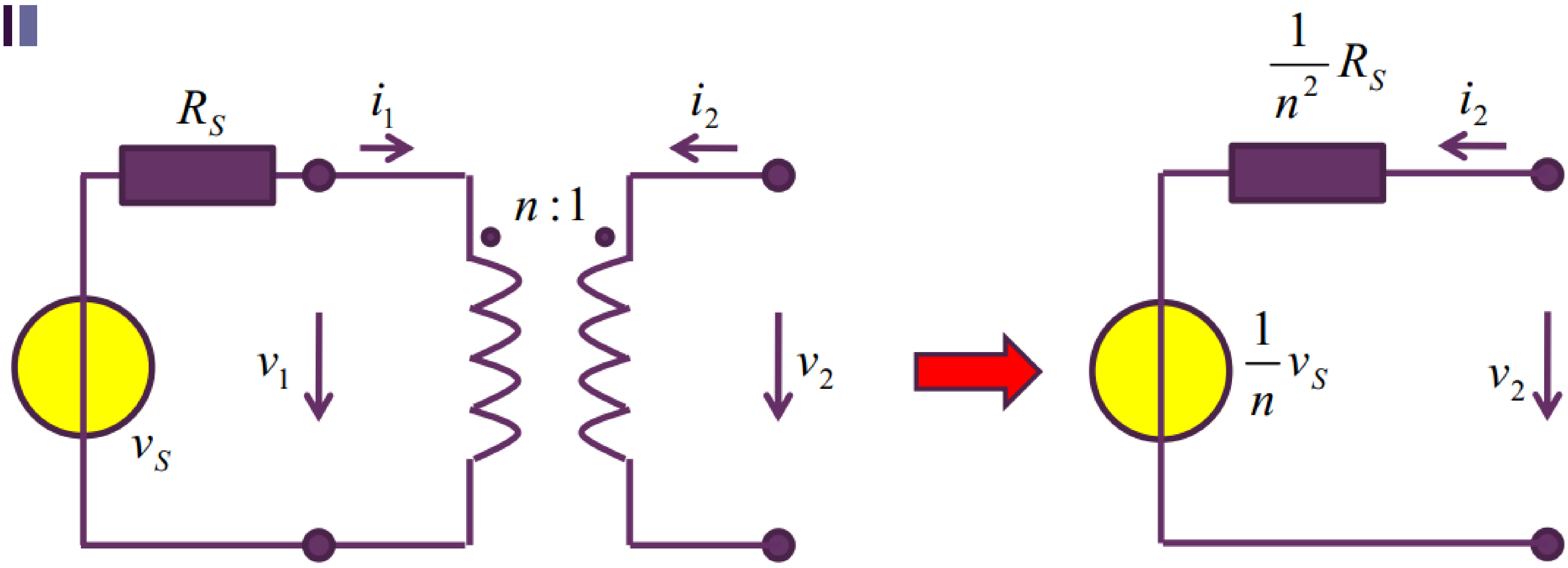


$$v_1 = nv_2$$

$$i_1 = -\frac{1}{n}i_2$$

$$z_{in} = \frac{v_1}{i_1} = \frac{nv_2}{-\frac{i_2}{n}} = n^2\frac{v_2}{-i_2} = n^2 Z_L$$

2. 源变换功能:

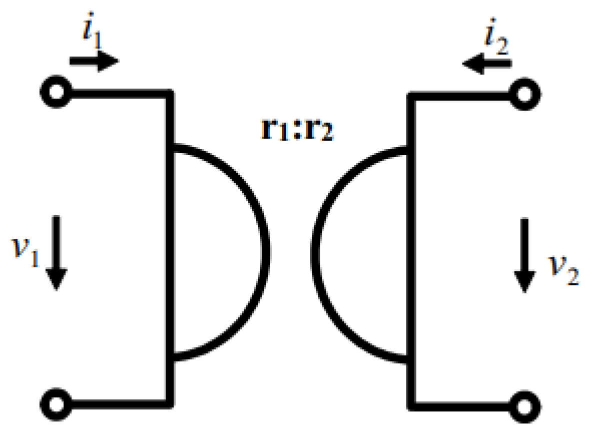


$$v_1 = nv_2; \quad i_1 = -\frac{1}{n}i_2$$

$$v_2 = \frac{1}{n}v_1 = \frac{1}{n}(v_S - i_1 R_S) = \frac{1}{n}\left(v_S + \frac{1}{n}i_2 R_S\right) = \frac{v_S}{n} + \frac{R_S}{n^2}i_2$$

源变换后，由于变压器无损，源的能力不会变：额定功率相等

2. 回旋器:



$$v_1 = -r_1 i_2$$

$$v_2 = r_2 i_1$$

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -r_1 \\ r_2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{P_\Sigma = v_1 i_1 + v_2 i_2 = -r_1 i_2 i_1 + r_2 i_1 i_2 = (r_2 - r_1) i_1 i_2}$$

只要$\boldsymbol{r_2 \neq r_1}$， $\boldsymbol{P_\Sigma}$就存在小于**0**的可能性，此类回旋器是有源网络

当$\boldsymbol{r_2 = r_1 = r}$时， $\boldsymbol{P_\Sigma}$恒等于**0**，这种回旋器是无损网络（无源网络），称之为理想回旋器

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} 0 & -r_{m1} \\ r_{m2} & 0 \end{bmatrix}$$

非互易

$$v_1 = -r_{m1} i_2$$

$$v_2 = r_{m2} i_1$$

$$i_1 = g_{m2} v_2$$

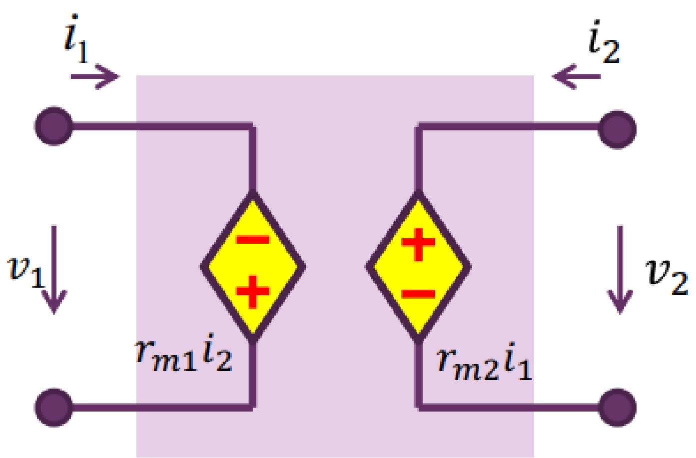
$$i_2 = -g_{m1} v_1$$

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} 0 & g_{m2} \\ -g_{m1} & 0 \end{bmatrix}$$

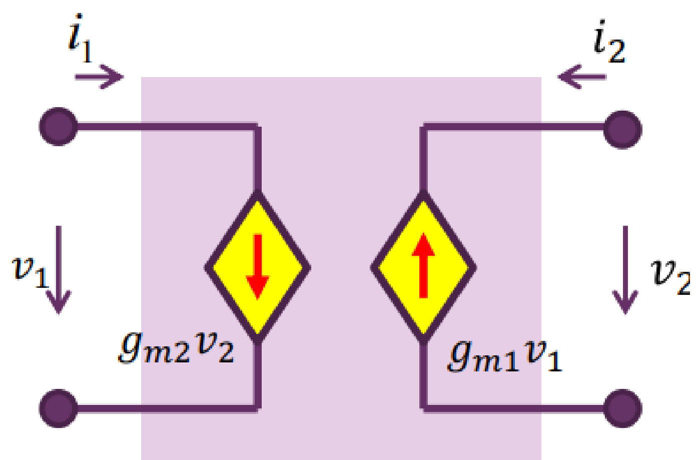
h、**g**参量不存在

$$\mathbf{ABCD} = \begin{bmatrix} 0 & r_{m1} \\ g_{m2} & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{abcd} = \begin{bmatrix} 0 & -r_{m2} \\ -g_{m1} & 0 \end{bmatrix}$$



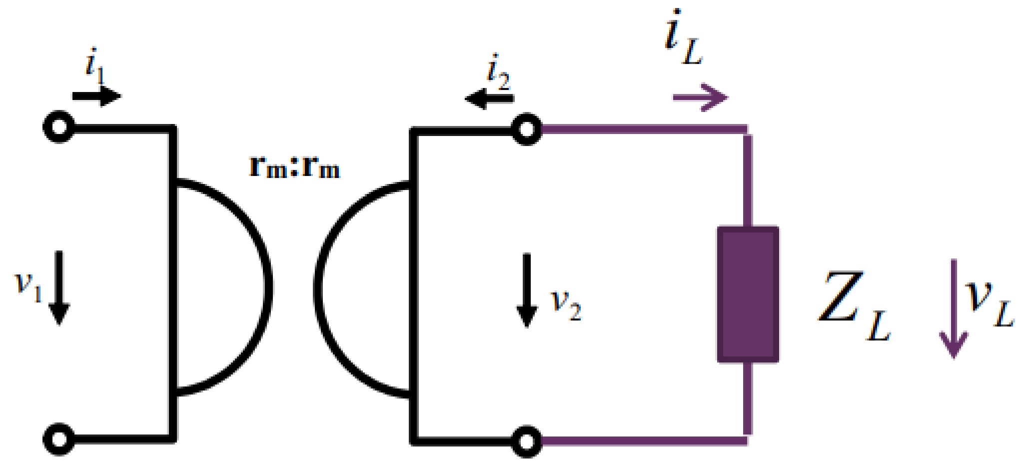
z参量等效电路



y参量等效电路

回旋器是双向网络

对偶变换：



$$v_1 = -r_m i_2 \qquad v_2 = r_m i_1$$

$$f(v_L, i_L) = 0$$

$$f(v_2, -i_2) = 0$$

$$f(r_m i_1, g_m v_1) = 0$$

$f(v_L, i_L) = 0$ 端口2负载元件约束关系

$\updownarrow \ \updownarrow$ 对偶变换：电压电流互换位置

$f(r_m i_1, g_m v_1) = 0$ 端口1等效负载元件约束关系

理想回旋器具有对偶变换能力：

端口2负载元件约束关系 $f(v_L, i_L) = 0$

对偶变换
元件约束电压电流互换位置

端口1等效负载元件约束关系 $f(r_m i_1, g_m v_1) = 0$

端口2	端口1
开路 $i_L = 0$ $f(v_L, i_L) = 0 \cdot v_L + 1 \cdot i_L = 0$	$v_1 = 0$ 短路 $f(r_m i_1, g_m v_1) = 0 \cdot r_m i_1 + 1 \cdot g_m v_1 = 0$
恒压源 $v_L = V_{S0}$ $f(v_L, i_L) = 1 \cdot v_L + 0 \cdot i_L - V_{S0} = 0$	$i_1 = g_m V_{S0} = I_{S0}$ 恒流源 $f(r_m i_1, g_m v_1) = 1 \cdot r_m i_1 + 0 \cdot g_m v_1 - V_{S0} = 0$
电感 $v_L = L\dfrac{di_L}{dt}$ $f(v_L, i_L) = v_L - L\dfrac{di_L}{dt} = 0$	$i_1 = g_m^2 L \dfrac{dv_1}{dt} = C\dfrac{dv_1}{dt}$ 电容 $f(r_m i_1, g_m v_1) = r_m i_1 - L\dfrac{dg_m v_1}{dt} = 0$
RLC串联 $v_L = Ri_L + L\dfrac{di_L}{dt} + \dfrac{1}{C}\int i_L dt$ $f(v_L, i_L) = v_L - \left(Ri_L + L\dfrac{di_L}{dt} + \dfrac{1}{C}\int i_L dt\right) = 0$	**GCL**并联 **RLC**并联 $i_1 = Rg_m^2 v_1 + g_m^2 L\dfrac{dv_1}{dt} + \dfrac{1}{r_m^2 C}\int v_1 dt = G_1 v_1 + C_1\dfrac{dv_1}{dt} + \dfrac{1}{L_1}\int v_1 dt$ $f(r_m i_1, g_m v_1) = r_m i_1 - \left(Rg_m v_1 + L\dfrac{dg_m v_1}{dt} + \dfrac{1}{C}\int g_m v_1 dt\right) = 0$

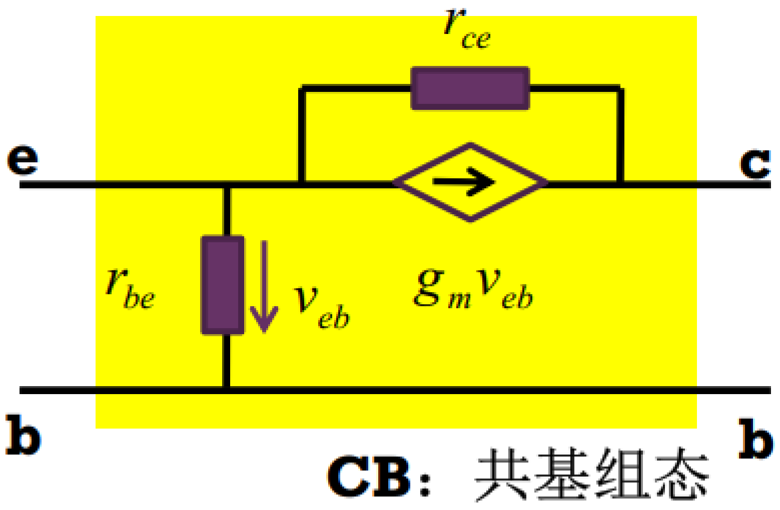
对偶变换

- 回旋器可实现对偶变换
  - 短路变开路，开路变短路
  - 恒压源变恒流源，恒流源变恒压源
  - 电容变电感，电感变电容
    - 集成滤波器典型设计方案
  - 并联变串联，串联变并联
    - 串联RLC变并联GCL（并联RLC）
    - 戴维南电压源变诺顿电流源
  - N型负导变S型负阻，S型负阻变N型负导（N型负阻）
  - …

PS：而变压器是一个同属性变换

做题总结：

选择某一个网络参量之后求取传递函数一定要转换未和矩阵相乘的那个向量，这样会化简会简单的多。比如：



求出g参量：

$$\begin{bmatrix} g_{be} & -1 \\ g_m r_{ce}+1 & r_{be} \end{bmatrix}$$

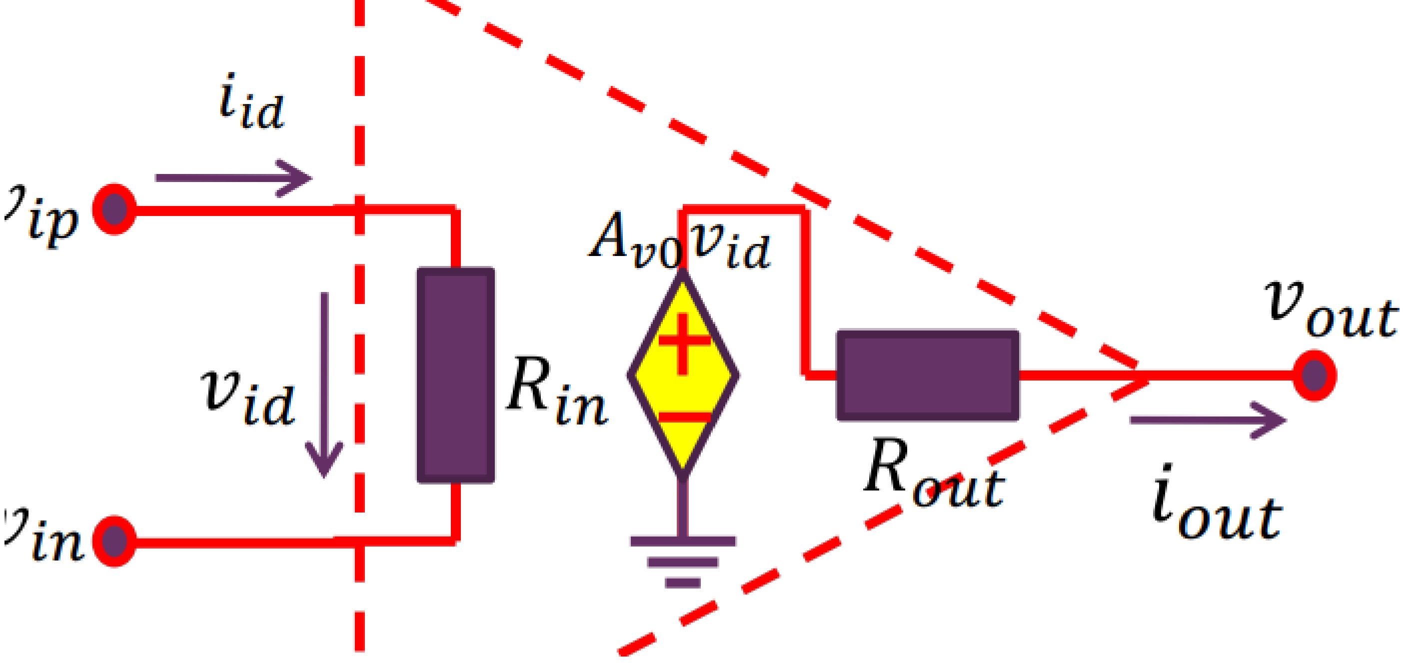
所以有

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (v_S - v_1)/R_S \\ -i_2 R_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{be} & -1 \\ g_m r_{ce}+1 & r_{be} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

然后接触i_2就可以求出$v_2 = -i_2 R_L$ 进而得到$H_v = v_2/v_s$

PS：我更建议考试前**直接推出用一般形式的参量表达传递函数的式子**。

除了这个方法，还有用回路电流法求出一般结果，然后让R_s, R_L趋于特殊值（比如0或∞）但是这个只适用于整个电路图连通的情况（不能包含等效后的分离结构）比如下图



特征阻抗：

$Z_{01}, Z_{02}, ..., Z_{0n}$是n端口网络的n个特征阻抗，当且仅当其他n-1个端口都接各自的特征阻抗时，第i个端口的看入阻抗刚好为Z_0i
对于二端口网络而言：
$Z_{01} = \sqrt{Z_{11} \cdot (Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21})/Z_{22}} = \sqrt{Z_{11}/y_{11}} = \sqrt{Z_{in,short}Z_{in,open}}$
$Z_{02} = \sqrt{Z_{out,short}/Z_{out,open}}$
即Z_{01}在端口2分别短路和开路条件下得到的端口1看入电阻的几何平均，Z_{02}类似。