《电路》 总复习

- 知识点
- 例题
- 作业题

课 程 知 识 点

第1章 电路模型和电路定律
第2章 电阻电路的等效变换
第3章 电阻电路的一般分析
第4章 电路定理
第5章 含有运算放大器的电阻电路

第6章 储能元件
第7章 动态电路的分析
第14章 线性动态电路的复频域分析

第8章 相量法
第9章 正弦稳态电路的分析
第10章 电路的频率响应
第11章 含有耦合电感的电路
第12章 三相电路

第13章 非正弦周期电流电路
第15章 电路方程的矩阵形式
第16章 二端口网络

第1章电路模型和电路定律

1、电路的概念、作用、组成部分；
电路模型以及常用理想模型；

2、电流的定义、单位、方向、参考方向；
电压的定义、单位、方向、参考方向；
关联方向和非关联方向；
欧姆定律。功率的定义，功率正负的意义。
电路吸收或发出功率的判断。

3、电阻元件的定义、单位、功率；
电压源、电流源的模型以及特点；四种受控电源。

4、结点、支路、回路、网孔定义；
KCL、KVL内容、数学表达式，扩展应用。

电压、电流的参考方向

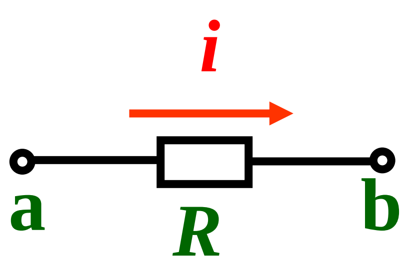
(1) 参考方向

在分析与计算电路时，对电量任意假定的方向。

(2) 参考方向的表示方法

电流：

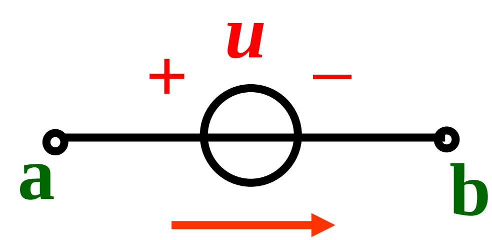
- 箭　标
- 双下标



i_{ab}

电压：

- 正负极性
- 箭　标
- 双下标



u_{ab}

注意：

在参考方向选定后，电流(或电压)值才有正负之分。

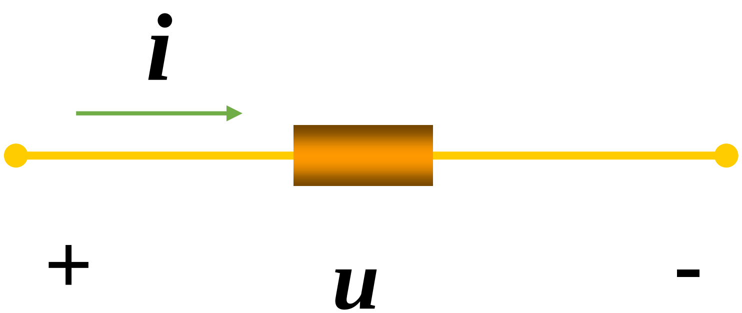
电压、电流的参考方向

(3) 实际方向与参考方向的关系

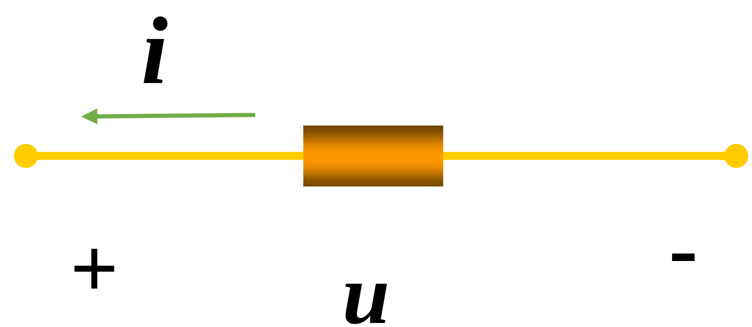
实际方向与参考方向一致，电流(或电压)值为正值；
实际方向与参考方向相反，电流(或电压)值为负值。

(4) 关联参考方向

规定：当电压极性确定后，电流由“+”指向“-”，称电压、电流为关联参考方向；否则称为非关联参考方向



关联参考方向



非关联参考方向

功率

元件或电路吸收的功率

若u、i为关联参考方向：

$P_{吸} = ui$

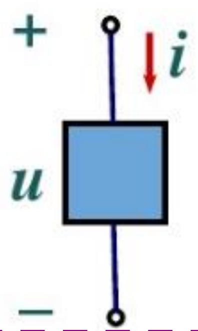
若u、i为非关联参考方向：

$P_{吸} = -ui$

→

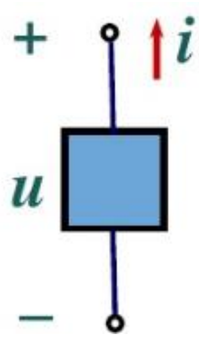
$P_{吸}>0$，实际吸收功率，负载

$P_{吸}<0$，实际发出功率，电源



例 当$u = 5V$，$i = 1A$时，$p_{吸} = ui = 5×1 = 5\ W$，$p_{吸}>0$，元件吸收5W能量。

当$u = 5V$，$i = -1A$时，$p_{吸} = ui = 5×(-1) = -5\ W$，$p_{吸}<0$，元件提供5W能量。

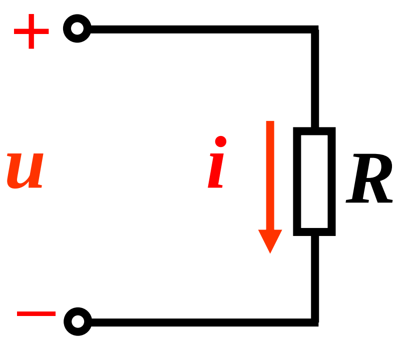


例 当$u = 5V$，$i = 1A$时，$p_{吸} = -ui = -(5×1) = -5\ W$，$p_{吸}<0$，元件提供5W能量。

当$u = 5V$，$i = -1A$时，$p = -ui = -(5×(-1)) = 5\ W$，$p_{吸}>0$，元件吸收5W能量。

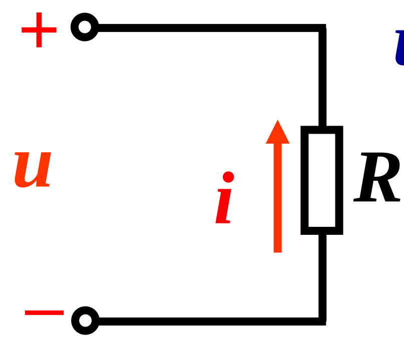
欧姆定律

u、i 关联参考方向



$u = iR$

u、i 非关联参考方向



$u = -iR$

表达式中有两套正负号：

(1) 式前的正负号由u、i 参考方向的关系确定；

(2) u、i 值本身的正负则说明实际方向与参考方向之间的关系。

通常取 u、i 为关联参考方向。

电压源与电流源

理想电压源:

(1) 内阻$R_0 = 0$

(2) 输出电压$u=u_s$（直流U_S）

(3) 输出电流由外电路决定

实际电压源：
理想电压源 u_s
与内阻 R_0 串联

理想电流源:

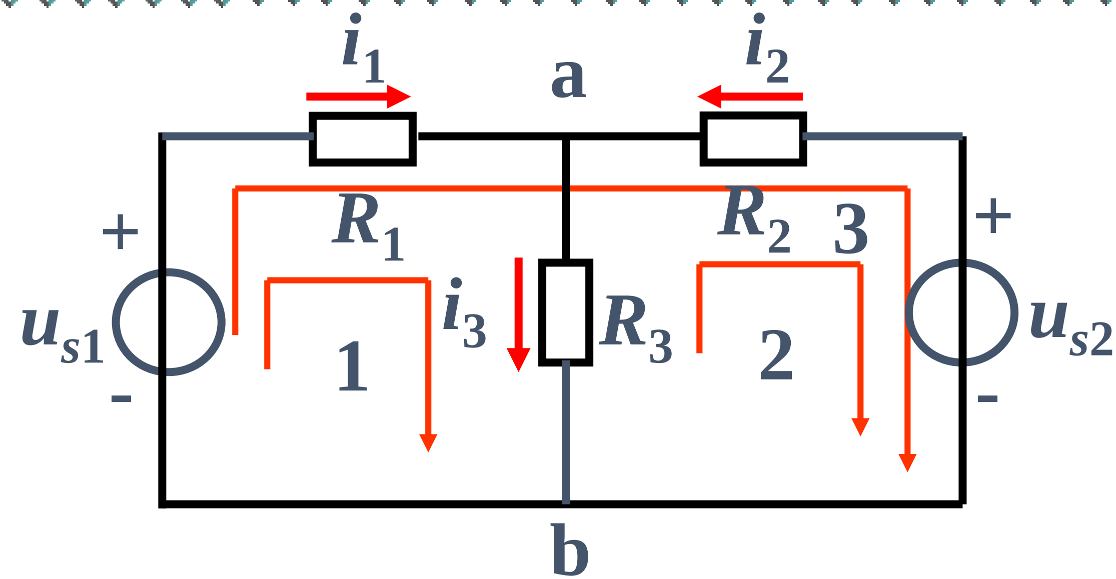
(1) 内阻$R_0 = \infty$

(2) 输出电流$i=i_s$（直流I_S）

(3) 输出电压由外电路决定

实际电流源：
理想电流源 i_S
与内阻 R_0 并联

基尔霍夫定律



支路： 电路中流过同一电流的电路分支。

一条支路流过一个电流，称为支路电流。

结点： 三条或三条以上支路的联接点。

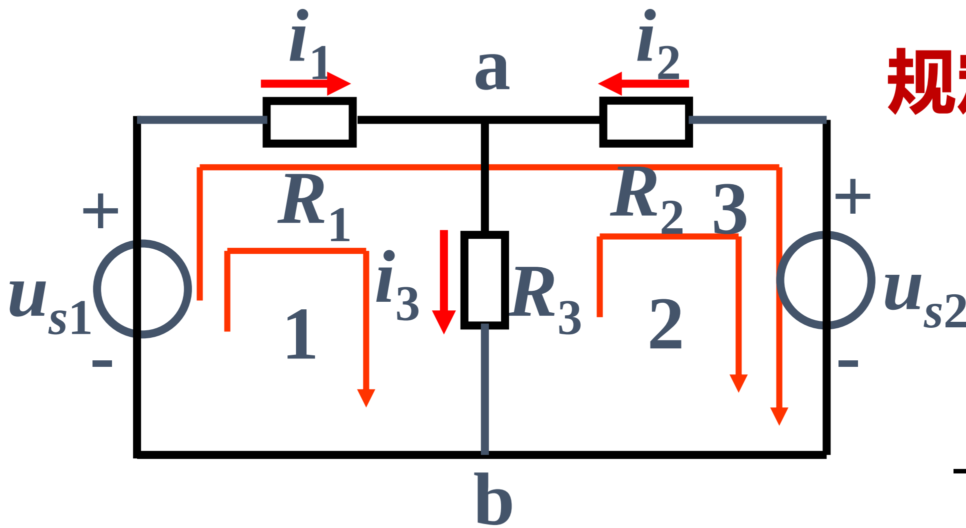
回路： 由支路组成的闭合路径。

网孔： 内部不含支路的回路。

基尔霍夫电流定律(KCL定律)

1．定律

对任一结点，在任一时刻，流入（或流出）该结点的所有支路电流的代数和为零。即：$\sum i = 0$



规定：流出 “+”，流入 “–”

或：$\sum i_{入} = \sum i_{出}$

对结点 a：

$-i_1 - i_2 + i_3 = 0$ 或 $i_1 + i_2 = i_3$

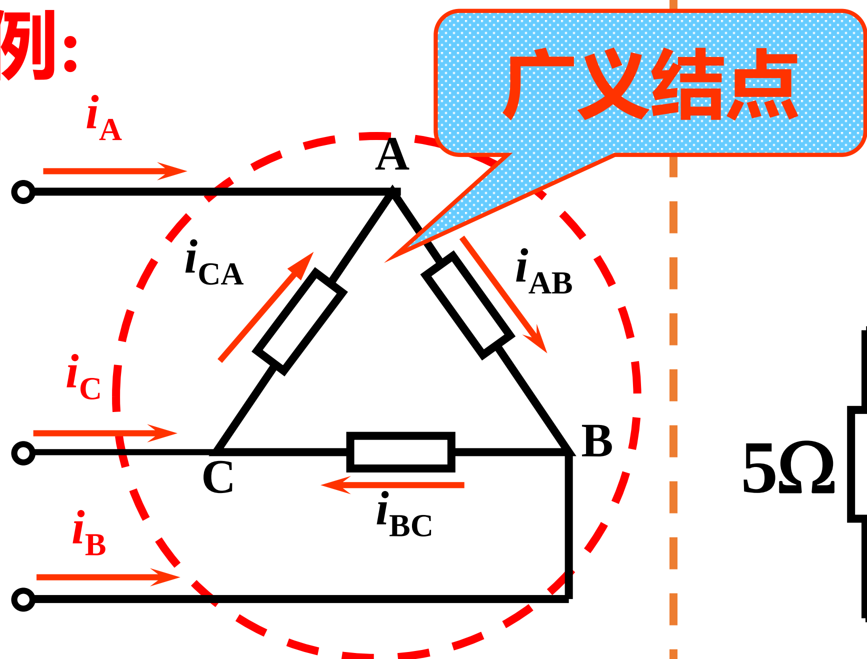
基尔霍夫电流定律（KCL）反映了电路中任一结点处各支路电流间相互制约的关系。

基尔霍夫电流定律(KCL定律)

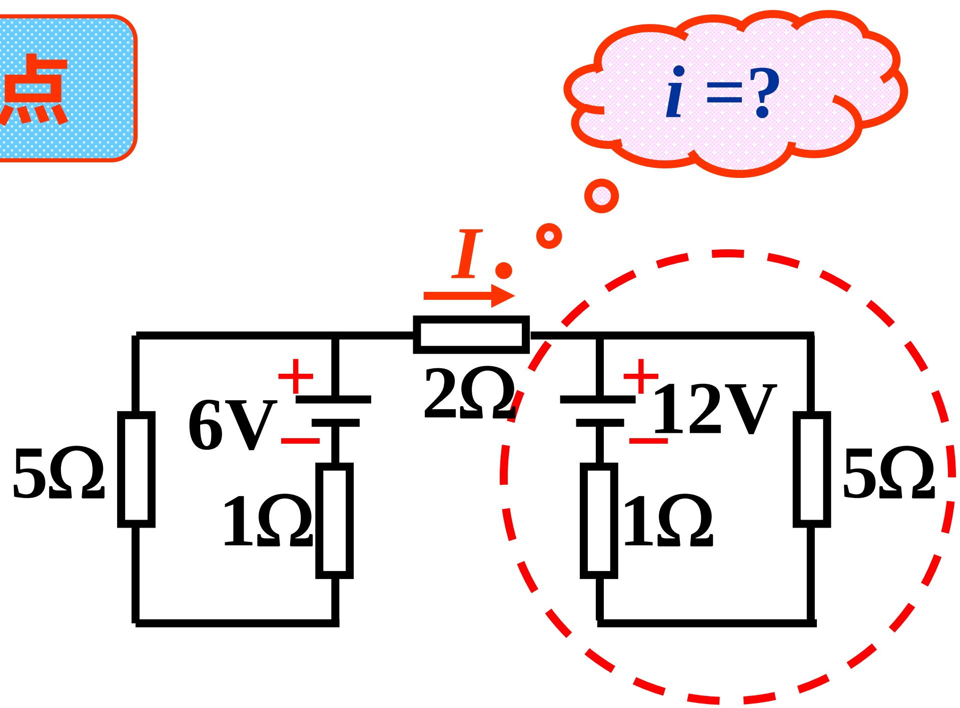
2．推广

KCL可以推广应用于包围部分电路的任一假设的闭合面。

例:



$$i_A + i_B + i_C = 0$$



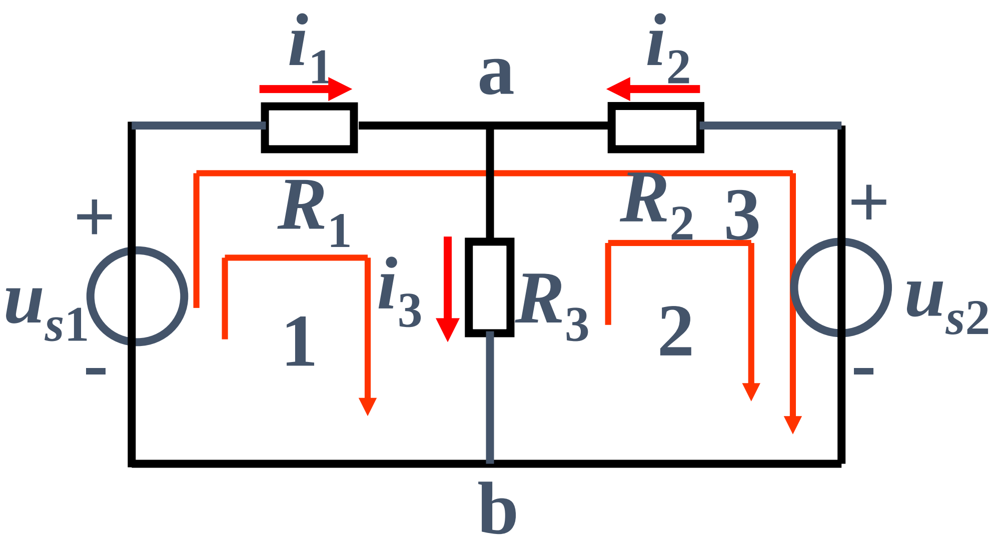
$i = 0$

基尔霍夫电压定律（KVL定律)

1．定律

对任一回路，在任一时刻，沿该回路绕行方向，所有支路电压的代数和为零 。即： $\sum u=0$

规定：与回路绕行方向一致为“+”，相反为“–”



对回路1：

$$i_1R_1+i_3R_3-u_{s1}=0$$

对回路2：

$$-i_2R_2+u_{s2}-i_3R_3=0$$

基尔霍夫电压定律（KVL） 反映了电路中任一回路中各段电压间相互制约的关系。

基尔霍夫电压定律（KVL定律)

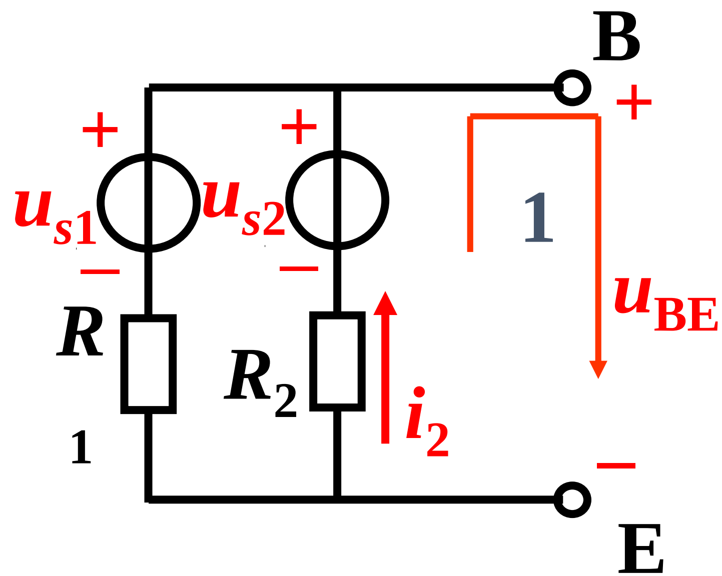
2．推广

KVL可以推广应用于不完全闭合回路（假想回路）

对回路1：

$$\sum u = 0$$

$$i_2 R_2 - u_{s2} + u_{BE} = 0$$



注意：

1．列方程前标注回路绕行方向

2．应用 $\sum u = 0$列方程时，项前符号的确定

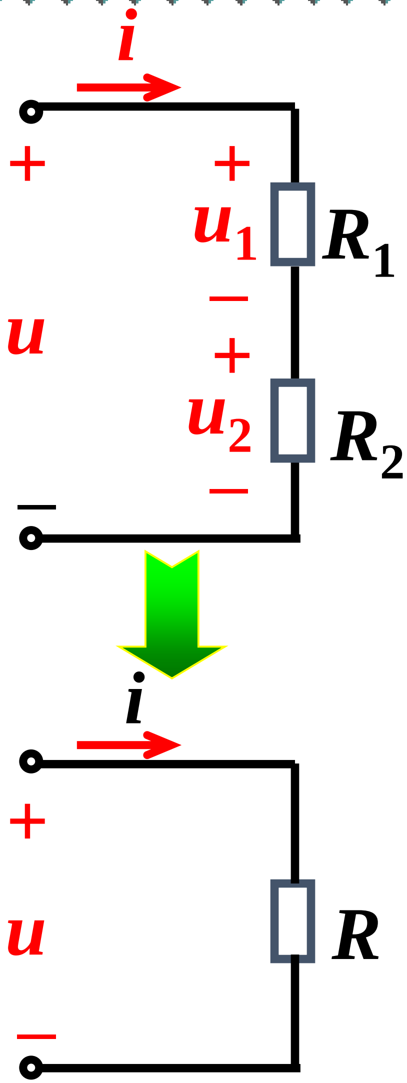
第2章电阻电路的等效变换

1、电阻串联和并联等效计算以及特点。
注意：等效是对外等效，对内不等效。

2、实际电源等效变换条件以及应用。

3、输入电阻的计算。

电阻的串联



特点:

(1)各电阻一个接一个地顺序相联;

(2)各电阻中通过同一电流;

(3)等效电阻等于各电阻之和;

$$R = R_1 + R_2$$

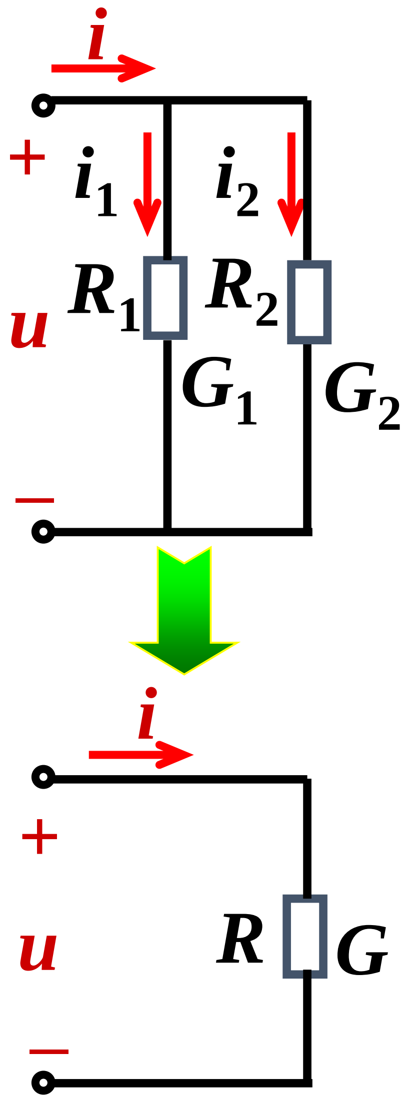
(4)串联电阻上电压的分配与电阻成正比。

两电阻串联时的分压公式:

$$u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u \qquad u_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u$$

应用： 降压、限流、调节电压等。

电阻的并联



特点:

(1)各电阻联接在两个公共的端子之间;

(2)各电阻两端的电压相同;

(3)等效电阻的倒数等于各电阻倒数之和;

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$$ 或 $$G=G_1+G_2$$

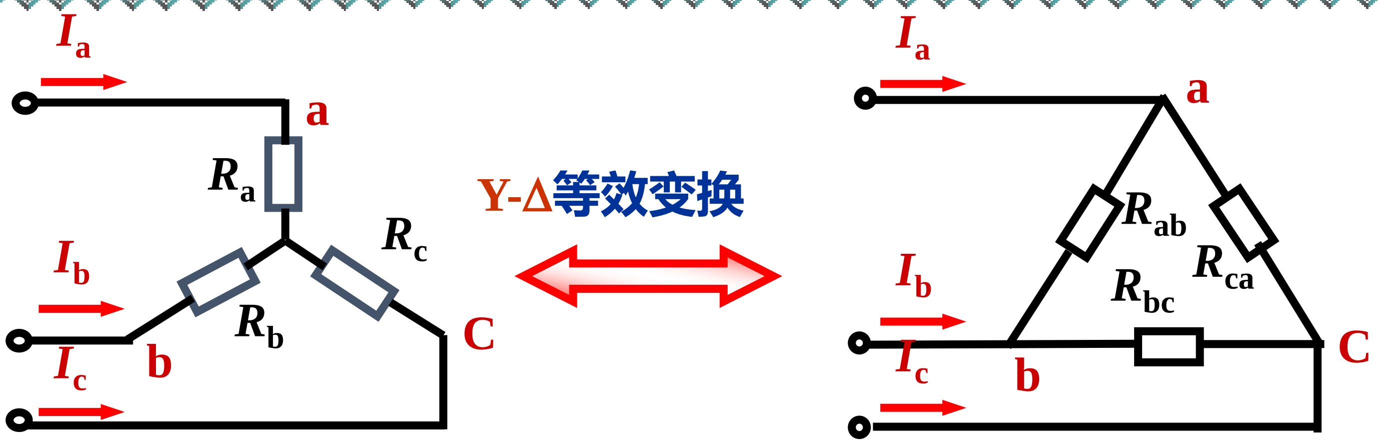
(4)并联电阻上电流的分配与电导成正比（与电阻成反比）。

两电阻并联时的分流公式:

$$i_1=\frac{G_1}{G_1+G_2}i=\frac{R_2}{R_1+R_2}i \qquad i_2=\frac{G_2}{G_1+G_2}i=\frac{R_1}{R_1+R_2}i$$

应用: 分流、调节电流等。

电阻的Y-△变换



电阻Y形联结　　　　电阻Δ形联结

$$R_{ab}=\frac{R_aR_b+R_bR_c+R_cR_a}{R_c}$$

$$R_{bc}=\frac{R_aR_b+R_bR_c+R_cR_a}{R_a}$$

$$R_{ca}=\frac{R_aR_b+R_bR_c+R_cR_a}{R_b}$$

$$R_a=\frac{R_{ab}R_{ca}}{R_{ab}+R_{bc}+R_{ca}}$$

$$R_b=\frac{R_{bc}R_{ab}}{R_{ab}+R_{bc}+R_{ca}}$$

$$R_c=\frac{R_{ca}R_{bc}}{R_{ab}+R_{bc}+R_{ca}}$$

Y——Δ：若 $R_a=R_b=R_c=R_Y$ 时，有 $R_{ab}=R_{bc}=R_{ca}=R_\Delta=3R_Y$

Δ——Y：若 $R_{ab}=R_{bc}=R_{ca}=R_\Delta$ 时，有 $R_a=R_b=R_c=R_Y=R_\Delta/3$

电源的等效变换化简电路

(1) 与恒压源并联的元件对外电路不起作用，可去掉；

(2) 与恒流源串联的元件对外电路不起作用，可去掉。

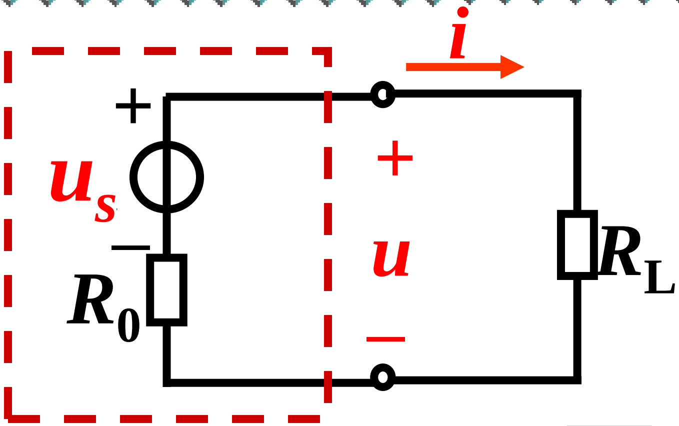
(3) 恒压源串联可以合并为一个，注意极性。

(4) 恒流源并联可以合并为一个，注意方向。

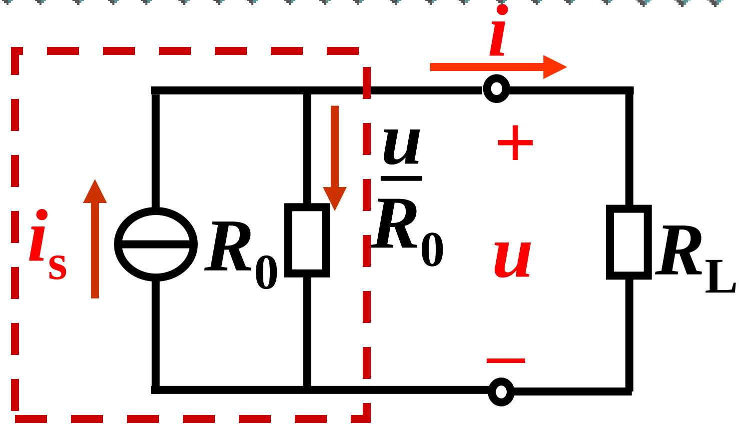
(5) 恒流源不能串联，除非大小相等、方向相同；

恒压源不能并联，除非大小相等、极性相同。

电源两种模型之间的等效变换



电压源



电流源

由图a：

$u = u_s - iR_0$

由图b：$i = i_s - \dfrac{u}{R_0}$

等效变换条件: $\begin{cases} u_s = i_s R_0 \\ i_S = \dfrac{u_s}{R_0} \end{cases}$

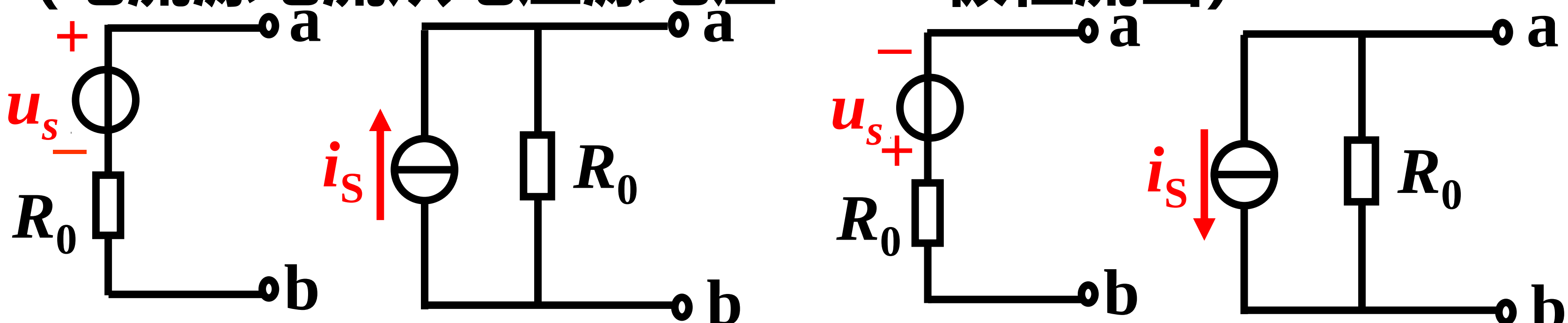
(1) 理想电压源与理想电流源之间无等效关系。

电源两种模型之间的等效变换

(2) 电压源和电流源的等效关系只对外电路而言，对电源内部则是不等效的。

例：当$R_L = \infty$时，电压源的内阻 R_0 中不损耗功率，而电流源的内阻 R_0 中则损耗功率。

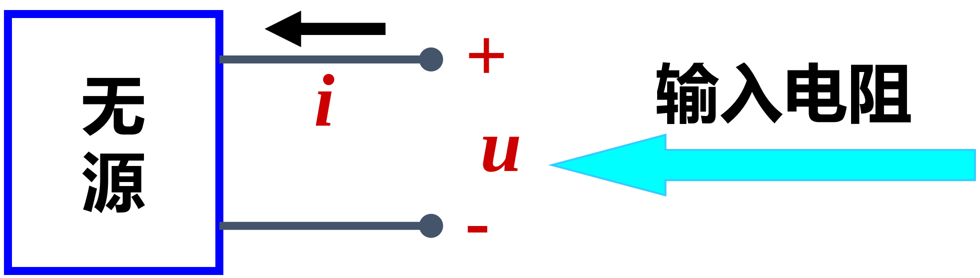
(3) 等效变换时，两电源的参考方向要一一对应。(电流源电流从电压源电压“+”极性流出)



(4) 受控电压源与电阻的串联组合及受控电流源与电导的并联组合也可进行等效变换，但注意在变换过程中**保存控制量所在的支路**，不要把它消掉。

输入电阻

1. 定义



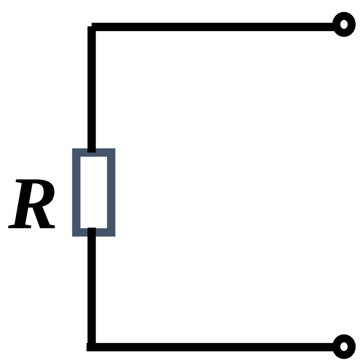
$$R_{in} = \frac{u}{i}$$

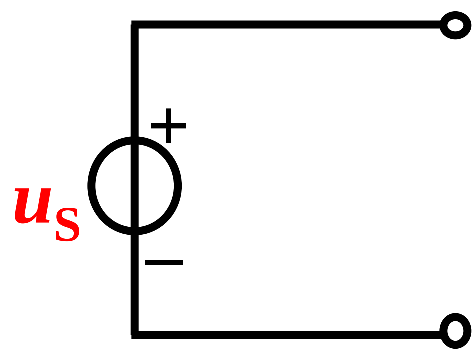
2. 计算方法

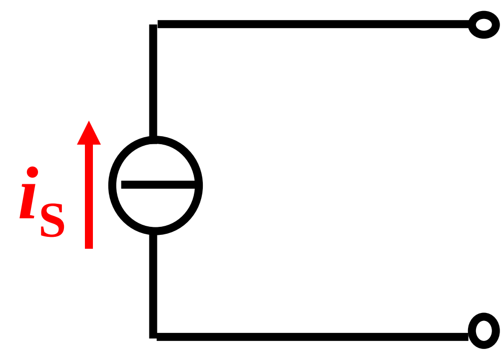
（1）如果一端口内部仅含电阻，则应用电阻的串、 并联和Δ—Y变换等方法求它的等效电阻；

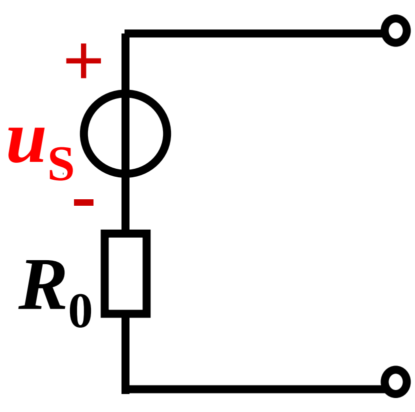
（2）对含有受控源和电阻的两端电路，用电压、电流法求输入电阻，即在端口加电压源，求得电流，或在端口加电流源，求得电压，得其比值。

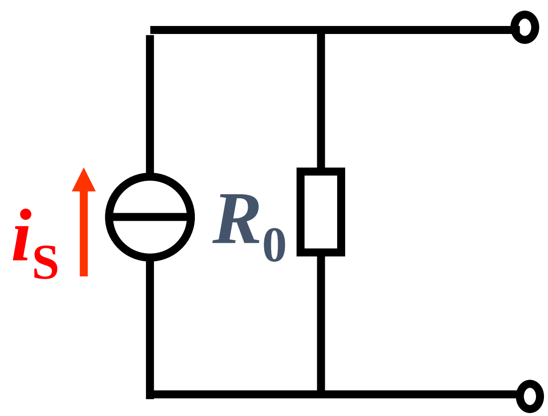
单口网络的最简形式











第3章 电阻电路的一般分析

1、 KCL、KVL的独立方程数

2、 支路电流法

3、 网孔电流法

4、 回路电流法

5、 结点电压法

KCL、KVL的独立方程数

分析电路结构:

1. b条支路，n个结点，（n - 1）个独立结点。

2. （n - 1）个独立KCL方程。

3. b -（n - 1）个独立KVL方程。

支路电流法

支路电流法：以支路电流为未知量，应用KCL、KVL，结合VCR，列方程组求解。

支路电流法的解题步骤：

1. 在图中标出各支路电流的参考方向，对选定的回路标出回路绕行方向。
2. 对 (n - 1)个独立结点列KCL方程。
3. 对b - (n - 1) 个独立回路列KVL方程。(通常可取网孔列出)。
4. 联立求解 b 个方程，求出各支路电流。

网孔电流法

网孔电流法：以网孔电流为未知量，对网孔列KVL方程求解电路的方法。网孔数$m=b-(n-1)$

网孔电流方程通式：

$$R_{11}i_{m1}+R_{12}i_{m2}+\cdots+R_{1m}i_{mm}=u_{s11}$$
$$R_{21}i_{m1}+R_{22}i_{m2}+\cdots+R_{2m}i_{mm}=u_{s22}$$
$$\vdots$$
$$R_{m1}i_{m1}+R_{m2}i_{m2}+\cdots+R_{mm}i_{mm}=u_{smm}$$

R_{ii}：网孔i的自阻，恒为“+”

R_{ij}：网孔j对网孔i的互阻，两网孔电流同向经过互阻取“+”，反向取“-”

u_{sii}：网孔i的电源电压之和，电源电压与网孔绕向一致为“-”，相反为“+”

网孔电流法

网孔电流法的解题步骤:

1. 选定网孔电流并标出其绕行方向。
   (一般同顺时针或同逆时针，此时互阻必为“-”，自阻总为“+”）
2. 按通式列m个网孔电流方程。
3. 解方程组，得到m个网孔电流。
4. 利用网孔电流与支路电流的关系，求支路电流。

特殊情况处理:

1. 电路中含有电流源：先设出电流源电压，再补充电流源电流与网孔电流的关系方程;
2. 电路中含有受控源：先将受控源视为独立源，再补充受控源的控制量与网孔电流的关系方程。

回路电流法

回路电流法：以回路电流为未知量，对回路列KVL方程求解电路的方法。独立回路数$l=b-(n-1)$

回路电流方程通式：

$$\begin{cases} R_{11}i_{l1}+R_{12}i_{l2}+\ldots+R_{1l}\,i_{ll}=u_{Sl1} \\ R_{21}i_{l1}+R_{22}i_{l2}+\ldots+R_{2l}\,i_{ll}=u_{Sl2} \\ \quad\cdots \\ R_{l1}i_{l1}+R_{l2}i_{l2}+\ldots+R_{ll}\,i_{ll}=u_{Sll} \end{cases}$$

R_{ii}：回路i的自阻，恒为“+”

R_{ij}：回路j对回路i的互阻，两回路电流同向经过互阻取“+”，反向取“-”

u_{sii}：回路i的电源电压之和，电源电压与回路绕向一致为“-”，相反为“+”

回路电流法

回路电流法的解题步骤:

1. 选定回路电流并标出其绕行方向。

独立回路选取
- 选网孔作为独立回路
- 选择数，每添加一条连枝构成一条基本回路
- 每增加一条新回路至少包含一天新支路

2. 按通式列l个回路电流方程。

3. 解方程组，得到l个回路电流。

特殊情况处理:

1. 电路中含有电流源：先设出电流源电压，再补充电流源电流与回路电流的关系方程；

2. 电路中含有受控源：先将受控源视为独立源，再补充受控源的控制量与回路电流的关系方程。

结点电压法

结点电压的概念：任选电路中某一结点为零电位参考点，其它各结点对参考点的电压，称为结点电压

结点电压的参考方向从结点指向参考结点。

结点电压法：以结点电压为未知量，列方程求解。

结点电压法解题步骤：

1. 任选结点为参考结点，标出其余结点的结点电压

u_{n1}、 u_{n2}……u_{nn-1}

2. 按通式列n-1个独立结点的结点电压方程

$$
\begin{aligned}
G_{11}u_{n1}+G_{12}u_{n2}+\cdots+G_{1n-1}u_{nn-1}&=i_{s11}\\
G_{21}u_{n1}+G_{22}u_{n2}+\cdots+G_{2n-1}u_{nn-1}&=i_{s22}\\
&\vdots\\
G_{n-11}u_{n1}+G_{n-12}u_{n2}+\cdots+G_{n-1n-1}u_{nn-1}&=i_{sn-1n-1}
\end{aligned}
$$

G_{ii}：自导，恒为“+”

G_{ij}：互导，恒为“-”

i_{sii}：流入结点*i*的电源电流之和，流入为“+”，流出为“-”

结点电压法

3. 解方程组，得到n-1个结点电压

特殊情况处理:

1.电路中含有无伴电压源：法一：设出电压源电流，补充电压源电压与结点电压关系；法二：以无伴电压源负极性对应结点为参考结点，则正极性对应节结点的结点电压已知，为电压源电压。

2. 电路中含有有伴电压源：利用电源等效变换，将电压源与电阻串联等效为电流源与电阻并联。

3. 电路中含有受控源：先将受控源视为独立源，再补充受控源的控制量与结点电压的关系方程。

4.电流源支路串联电阻在列结点方程时不起作用。

三种方法比较

	KCL方程	KVL方程	方程总数
支路法	n-1	b-(n-1)	b
回路法	0	b-(n-1)	b-(n-1)
结点法	n-1	0	n-1

1. 支路电流法是电路分析中最基本的方法之一， 但支路数较多时，所需方程的个数较多，求解不方便。
2. 回路电流法（包含网孔电流法）适用于结点数较多，网孔数较少的电 路，或电路中电压源较多时。
3. 结点电压法适用于支路数较多，结点数较少的电路，或电路中电流源较多时。

第4章 电路定理

1. 齐次定理：只有一个电源作用的线性电路中，各支路的电压或电流和电源成正比。若电源激励增加 n 倍，各电流也会增加 n 倍。

2. 叠加定理

3. 戴维宁、诺顿定理、

最大功率传输定理

叠加定理

叠加原理：在线性电路中，任一条支路的电流或电压，都可以看成是电路中各个独立电源分别单独作用时，在该支路上产生的电流或电压的代数和。

注意事项：

1.叠加原理**只适用于线性电路**，非线性电路不适用。

2. 线性电路的电流或电压可叠加，**功率不能叠加。**

3.**受控源**不能作为独立源对待，叠加时受控源不动。

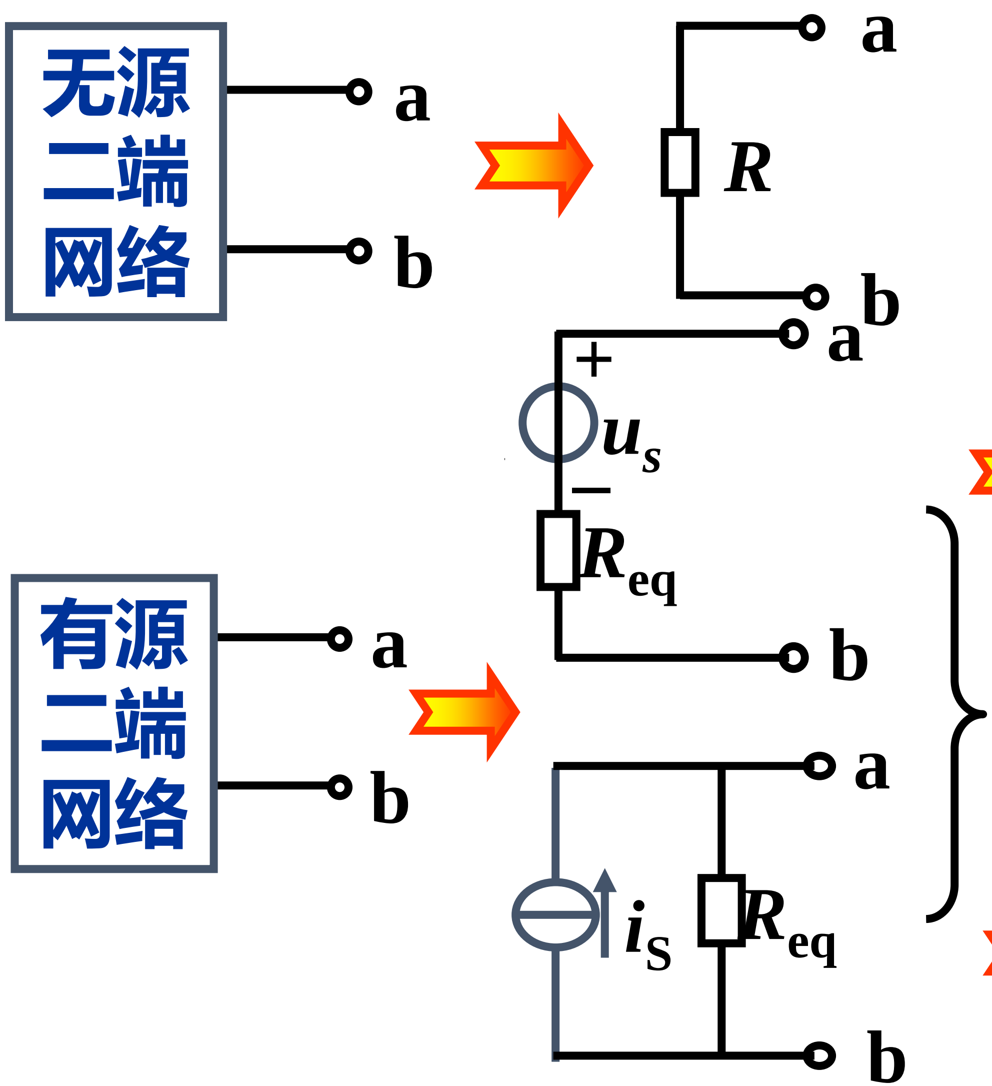
4.**不作用电源**的处理：

电压源视为 短路，电流源视为 开路 。

5.解题时要标明各支路电流、电压的参考方向。

若分电流、分电压与原电路中电流、电压的参考方向相反时，叠加时相应项前要带负号。

戴维宁定理与诺顿定理



无源二端网络可化简为一个电阻

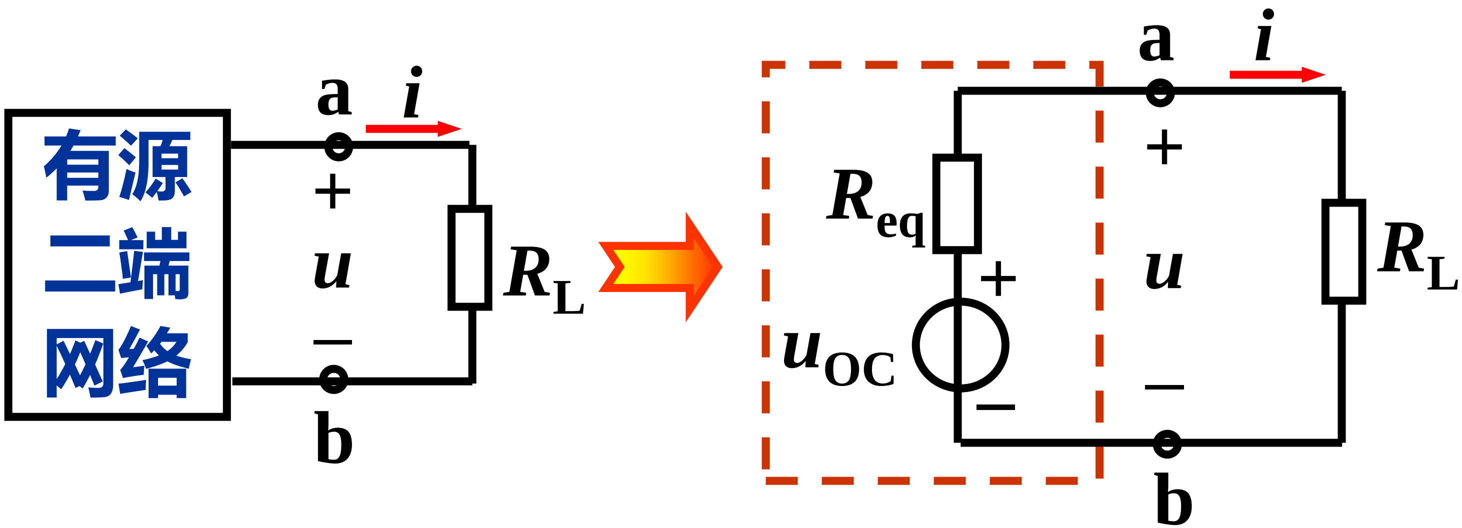
电压源（戴维宁定理）

有源二端网络可化简为一个电源

电流源（诺顿定理）

戴维宁定理

任何线性含源单口网络，对外电路而言，都可以用一个电压源和电阻 串联的支路来等效代替。



电压源的电压等于含源单口网络的开路电压u_{OC}，即将负载断开后 a 、b两端之间的电压。

求解方法：列u_{OC}不完全闭合回路的KVL方程。

戴维宁定理

电压源的电阻等于含源单口网络中所有电源均除去（理想电压源短路，理想电流源开路）后所得到的无源单口网络 **a 、b两端之间的等效电阻。**

求解方法：

1、电阻的串并联化简（先除源）（不含受控源）

2、开路短路法（不除源）

线性含源单口网络的开路电压u_{OC}

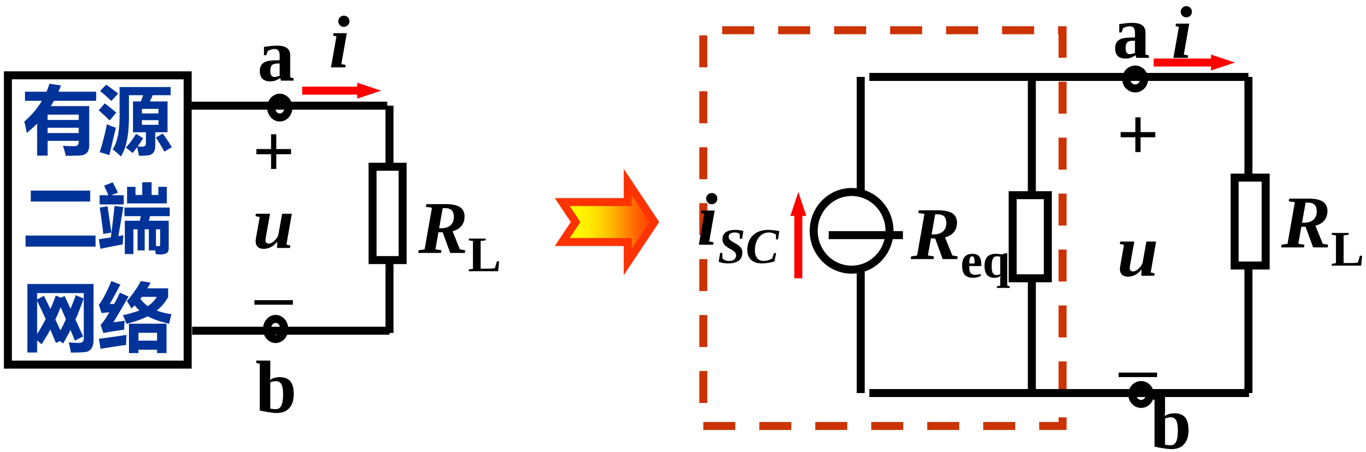
线性含源单口网络的短路电流i_{sc}

$$R_{eq} = \frac{u_{OC}}{i_{SC}}$$

3、外加电源法（先除源） $R_{eq} = \dfrac{u}{i}$

诺顿定理

任何线性含源单口网络，对外电路而言，都可以用一个电流源和电阻 并联的支路来等效代替。

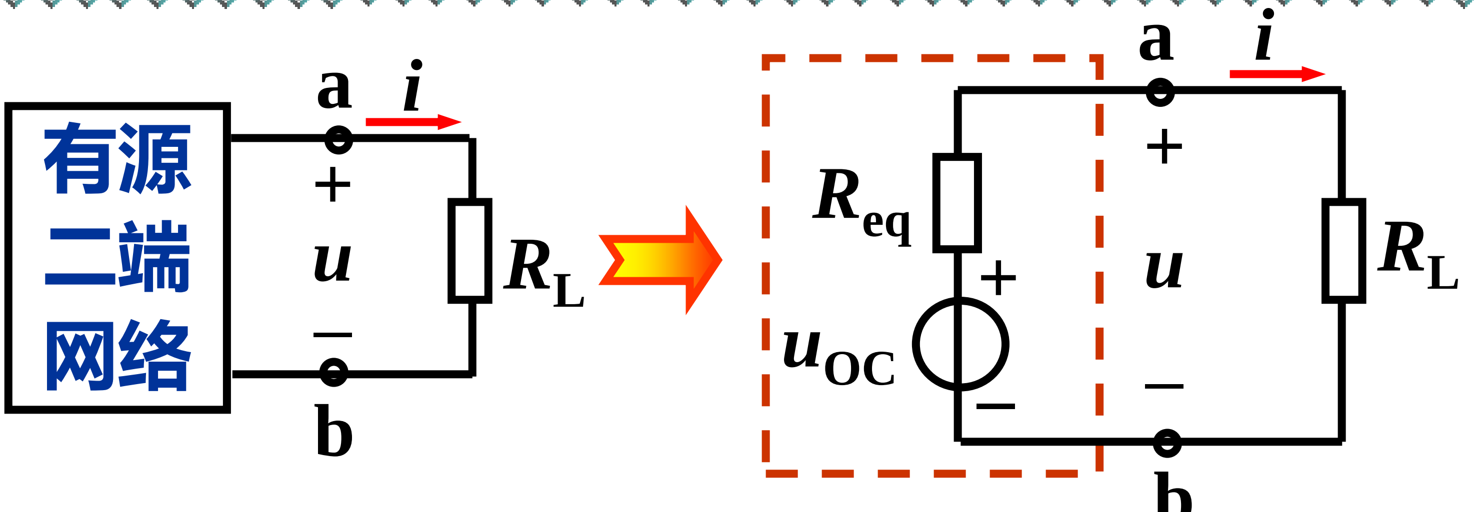


电流源的电流 就是有源二端网络的短路电流i_{SC}，即将a b两端短接后其中的电流。列相关节点的KCL方程。

电流源的电阻R_{eq}等于有源二端网络中所有电源均除去（理想电压源短路，理想电流源开路）后所得到的无源二端网络 a 、b两端之间的等效电阻。

求解方法与戴维宁等效电阻一样。

最大功率传输定理（结合戴维宁、诺顿定理）



当负载电阻R_L与戴维宁或诺顿等效电阻相等时，负载获得最大功率P_{max}。

当 $R_L = R_{eq}$时

负载有P_{max}

戴维宁等效电路 $$P_{max} = \frac{u_{OC}^2}{4R_{eq}}$$

诺顿等效电路 $$P_{max} = \frac{i_{SC}^2 R_{eq}}{4}$$

第5章含有运算放大器的电阻电路

利用节点电压法分析

理想运放特性——虚短和虚断

虚短： $u_+=u_-$

虚断： $i_+=i_-=0$

第6章储能元件

关联参考方向下

电阻——耗能元件 $u = iR$

电感——储能元件 $u = L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$

电容——储能元件 $i = C\dfrac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}$

储能元件在任一时刻的储能

电感 $W_{\mathrm{L}}(t) = \dfrac{1}{2}Li^2(t)$ **电容** $W_{\mathrm{C}}(t) = \dfrac{1}{2}Cu^2(t)$

第7章动态电路的分析

在直流电源激励的情况下，一阶线性电路微分方程解的通用表达式：

$$\boxed{f(t)=f(\infty)+[f(0_+)-f(\infty)]e^{-t/\tau}}$$

$f(t)$：代表一阶电路中任一电压、电流函数

$$\begin{cases} f(0_+)\text{ -- 初始值} \\ f(\infty)\text{ -- 稳态值} \\ \tau\text{ -- 时间常数} \end{cases}$$

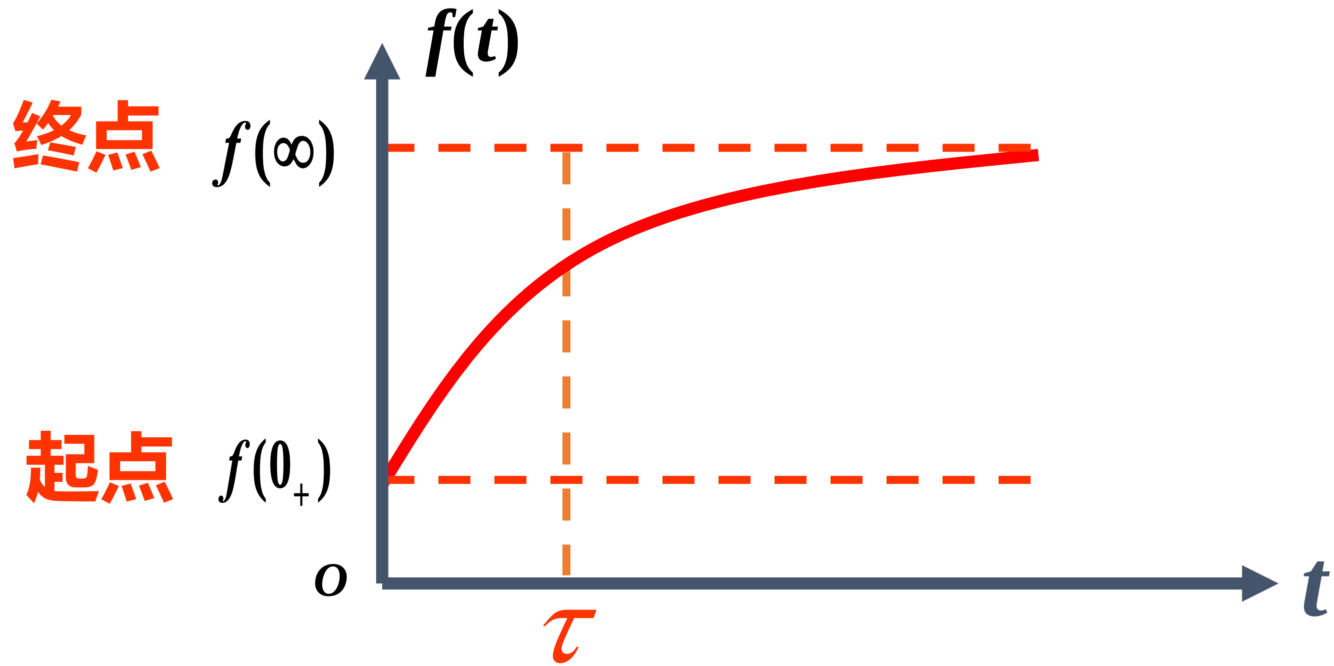
(三要素)

三要素法求解一阶电路的要点

(1) 求初始值、稳态值、时间常数；

(2) 将求得的三要素结果代入一阶电路通用表达式；

(3) 画出暂态电路电压、电流随时间变化的曲线。



响应中“三要素”的确定

(1) 初始值$f(0_+)$的计算

1) 由$t=0_-$电路求 $u_C(0_-)$、$i_L(0_-)$

2) 根据换路定则求出 $\begin{cases} u_C(0_+) = u_C(0_-) \\ i_L(0_+) = i_L(0_-) \end{cases}$

3) 由$t=0_+$时的电路，求所需其它各量的 $u(0_+)$或$i(0_+)$

在换路瞬间 $t=(0_+)$ 的等效电路中

(1) 若$u_C(0_-) = U_0 \neq 0$，电容元件用恒压源代替，其值等于U_0；若 $u_C(0_-) = 0$，电容元件视为短路。

(2) 若 $i_L(0_-) = I_0 \neq 0$，电感元件用恒流源代替，其值等于I_0，若$i_L(0_-) = 0$，电感元件视为开路。

响应中“三要素”的确定

(2) 稳态值 $f(\infty)$ 的计算

求换路后电路再次达到稳态的电压和电流，其中电容 C 视为开路, 电感L视为短路，即求解直流电阻电路中的电压和电流。

(3) 时间常数τ的计算

对于一阶RC电路 $\tau = R_0 C$

对于一阶RL电路 $\tau = \dfrac{L}{R_0}$

R_0为换路后的电路除去电源（电压源短路，电流源开路）和储能元件后，在储能元件两端所求得的无源二端网络的等效电阻。

阶跃响应和冲激响应

- 阶跃响应：激励为阶跃函数时，电路中产生的零状态响应。（阶跃函数在电路中模拟开关动作）
- 冲激响应：激励为冲激函数时，电路中产生的零状态响应。（相当于初始状态引起的零输入相应）

二阶电路

(1)二阶电路含二个独立储能元件，是用二阶常微分方程所描述的电路。

(2)二阶电路的性质取决于特征根，特征根取 决于电路结构和参数，与激励和初值无关。

$$p = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$$

$\delta > \omega_0$ 过阻尼，非振荡放电　　$u_c = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}$

$\delta = \omega_0$ 临界阻尼，非振荡放电　　$u_c = A_1 e^{-\delta t} + A_2 t e^{-\delta t}$

$\delta < \omega_0$ 欠阻尼，振荡放电　　$u_c = A e^{-\delta t} \sin(\omega t + \beta)$

(3)求二阶电路全响应的步骤

(a)列写t >0+电路的微分方程　(b)求通解　(c)求特解

(d)全响应=强制分量+自由分量

(e)由初值 $\left.\begin{array}{l} f(0^+) \\ \dfrac{df}{dt}(0^+) \end{array}\right\}$ 定常数

第8章 相量法

1、正弦信号的周期、频率、角频率、瞬时值、振幅、有效值、相位和相位差的概念；

2、相量的定义，正弦信号的三角函数、相量和相量图的表示方法；

3、基尔霍夫定律的相量形式，各种电路元件伏安关系的相量表示形式。

4、电阻、电感、电容元件交流电路中的特点：相位关系、大小关系、相量关系。

正弦量的相量表示法

设正弦量: $u = U_{\mathrm{m}} \cos(\omega t + \psi)$

相量表示:

电压的有效值相量

$$\dot{U} = U e^{\mathrm{j}\psi} = U \angle \psi \quad \begin{cases} \text{相量的模=正弦量的有效值} \\ \text{相量辐角=正弦量的初相角} \end{cases}$$

或: 电压的幅值相量

$$\dot{U}_{\mathrm{m}} = U_{\mathrm{m}} e^{\mathrm{j}\psi} = U_{\mathrm{m}} \angle \psi \quad \begin{cases} \text{相量的模=正弦量的最大值} \\ \text{相量辐角=正弦量的初相角} \end{cases}$$

(1) 相量只是表示正弦量，而不等于正弦量。

$$i = I_{\mathrm{m}} \cos(\omega t + \psi) \overset{?}{\cancel{=}} I_{\mathrm{m}} e^{\mathrm{j}\psi} = I_{\mathrm{m}} \angle \psi$$

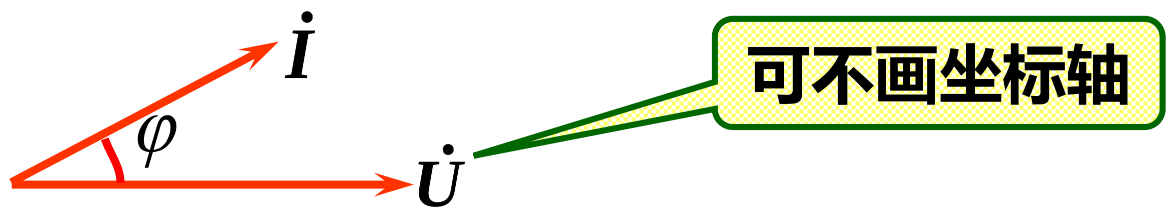
(2) 只有正弦量才能用相量表示。

正弦量的相量表示法

(3) 相量的两种表示形式

相量式： $\dot{U} = U\mathrm{e}^{\mathrm{j}\psi} = U\angle\psi = U(\cos\psi + \mathrm{j}\sin\psi)$

相量图： 把相量表示在复平面的图形



只有同频率的正弦量才能画在同一相量图上。

(4) 正弦量表示符号的说明

瞬时值—小写 （u ,i）

有效值—大写 （U , I）

最大值—大写+下标 （U_m , I_m）

相　量—大写 + “.” （$\dot{U}_\mathrm{m}$, $\dot{I}_\mathrm{m}$ – 最大值相量）

（$\dot{U}$, $\dot{I}$ – 有效值相量）

单一参数交流电路

项目 \ 参数		电阻	电感	电容
阻抗或电抗		R	$X_L = 2\pi f L$	$X_C = \dfrac{1}{2\pi f C}$
u与i的关系	基本关系	$u = iR$	$u = L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$	$i = C\dfrac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}$
	相位关系	u 与 i 同相位	U超前 i 90°	u 滞后 i 90°
	有效值	$U = IR$	$U = IX_L$	$U = IX_C$
	相量式	$\dot{U} = \dot{I}R$	$\dot{U} = \mathrm{j}X_L\dot{I}$	$\dot{U} = -\mathrm{j}X_C\dot{I}$
功率	有功功率	$P = UI = \dfrac{U^2}{R} = I^2R$	0	0
	无功功率	0	$Q = UI = I^2X_L = U^2 / X_L$	$Q = -UI = -I^2X_C = -U^2 / X_C$

第9章正弦稳态电路的分析

- 阻抗、导纳的定义，阻抗的串联和并联等效，阻抗的性质。
- 交流稳态电路的分析；相量图的画法；
- 交流电路的有功功率、无功功率、视在功率、复功率的定义以及计算。

注意：

（1）参考相量选择：一般串联电路可选电流、并联电路可选电压作为参考相量；

（2）有效值不满足KCL、KVL。

阻抗和导纳

复数形式的欧姆定律 $\dot{U}=\dot{I}Z$

阻抗

$$Z=\frac{\dot{U}}{\dot{I}}=\frac{U\angle\psi_u}{I\angle\psi_i}=|Z|\angle\phi=\frac{U}{I}\angle\psi_u-\psi_i$$

Z 的模表示 u、i 的大小关系，辐角（阻抗角）为 u、i 的相位差。

Z 是一个复数，不是相量，上面不能加点。

阻抗和导纳

RLC串联交流电路：

$$\boxed{\mathbf{Z}=|\mathbf{Z}|\angle\varphi=R+\mathrm{j}(X_L-X_C)}$$

阻抗模：$|\mathbf{Z}|=\dfrac{U}{I}=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$

阻抗角：$\varphi=\psi_u-\psi_i=\arctan\dfrac{X_L-X_C}{R}=\arctan\dfrac{\omega L-1/\omega C}{R}$

★ φ 由电路参数决定。

电路参数与电路性质的关系：

当 $X_L > X_C$ 时， $\varphi>0$， u 超前 i —— 呈感性

当 $X_L < X_C$ 时， $\varphi<0$， u 滞后 i —— 呈容性

当 $X_L = X_C$ 时， $\varphi=0$， u、i 同相 —— 呈电阻性

阻抗的串并联

阻抗串联

通式: $Z=\sum Z_k=\sum R_k+\mathrm{j}\sum X_k$

分压公式: $\dot{U}_1=\dfrac{Z_1}{Z_1+Z_2}\dot{U}$　　$\dot{U}_2=\dfrac{Z_2}{Z_1+Z_2}\dot{U}$

阻抗并联（导纳并联）

通式: $\dfrac{1}{Z}=\sum\dfrac{1}{Z_k}$ **或** $Y=\sum Y_k=\sum G_k+\mathrm{j}\sum X_k$

分流公式: $\dot{I}_1=\dfrac{Z_2}{Z_1+Z_2}\dot{I}$　　$\dot{I}_2=\dfrac{Z_1}{Z_1+Z_2}\dot{I}$

阻抗的串并联——画相量图的方法

一、选择参考相量

串联以同一个电流为参考相量，初相位设为0

并联以并联部分端电压为参考相量，初相位设为0

混联以并联部分的电压为参考相量

二、画相量图的根据

电阻电路电压与电流同相

电感电路电压超前电流90^o

电容电路电压滞后电流90^o

感性电路电压超前电流一个角度φ

容性电路电压滞后电流一个角度φ

有功功率、无功功率和视在功率

1.平均功率P (有功功率)

$$P = UI\cos\phi$$

单位：W

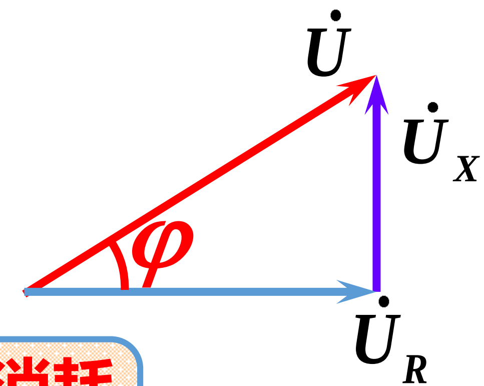
总电压　总电流　u 与 i 的相位差

$\cos\varphi$ 称为功率因数，用来衡量对电源的利用程度。

根据电压三角形可得：

$$P = UI\cos\varphi = U_R I = I^2 R$$

电阻消耗的电能



有功功率、无功功率和视在功率

2.无功功率Q

$$\boxed{Q = UI\sin\varphi}$$

单位：var

总电压　总电流　u 与 i 的相位差

RLC串 $Q = U_L I - U_C I = (U_L - U_C)I = I^2(X_L - X_C)$

电感和电容与电源之间的能量互换

3.视在功率 S

电路中总电压与总电流有效值的乘积。

$$\boxed{S = UI = |Z|I^2}$$

$$\boxed{S = \sqrt{P^2 + Q^2}}$$

单位：V·A

$S \cancel{=} P + Q$

复功率：

$$\tilde{S} = P + \mathrm{j}Q = \dot{U}\dot{I}^*$$

有功功率、无功功率和视在功率

阻抗三角形、电压三角形、功率三角形

将电压三角形的有效值同除*I*得到阻抗三角形

将电压三角形的有效值同乘*I*得到功率三角形

$$U=\sqrt{U_R^{\,2}+(U_L-U_C)^2}$$

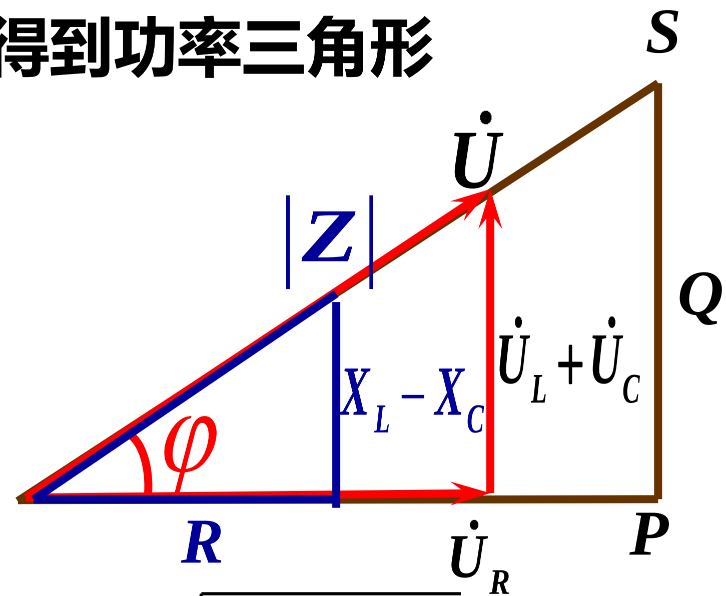
$$U_R=U\cos\varphi$$

$$U_X=U\sin\varphi$$

$$|Z|=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$$

$$R=|Z|\cos\varphi$$

$$X=|Z|\sin\varphi$$



$$S=\sqrt{P^2+Q^2}$$

$$P=S\cos\varphi$$

$$Q=S\sin\varphi$$

功率因数的提高

功率因数的提高方法：

在感性负载两端并电容

并联电容C的计算：

$$C = \frac{P}{\omega U^2}(\tan\phi - \tan\phi')$$

结果：

1、原感性负载P、Q、S、cosφ不变

2、降低整体线路电流、降低线路损耗

复功率

$$\overline{S} = \dot{U}\dot{I}^* \qquad \text{VA}$$

$$\overline{S} = UI\angle(\Psi_u - \Psi_i) = UI\angle\varphi = S\angle\varphi$$

$$= UI\cos\varphi + \mathrm{j}UI\sin\varphi = P + \mathrm{j}Q$$

$$\overline{S} = \dot{U}\dot{I}^* = Z\dot{I}\cdot\dot{I}^* = ZI^2 = (R+\mathrm{j}X)I^2 = RI^2 + \mathrm{j}XI^2$$

$$\overline{S} = \dot{U}\dot{I}^* = \dot{U}(\dot{U}Y)^* = \dot{U}\cdot\dot{U}^*Y^* = U^2Y^*$$

① $\overline{S}$ 是复数，而不是相量，它不对应任意正弦量；

② $\overline{S}$ 把 P、Q、S 联系在一起，它的实部是平均功率，虚部是无功功率，模是视在功率；

③ 复功率满足守恒定理：在正弦稳态下，任一电路的所有支路吸收的复功率之和为零。

最大功率传输

若负载 Z_L 的实部和虚部可独立变化，则当 $Z_L = Z_0^*$ 时，负载吸收的功率最大，此最大功率为 $P_{L\max} = U_0^2 / 4R_0$ ，这称为最大功率传输定理。

这种阻抗匹配称为最大功率匹配或共轭匹配。

若负载 Z_L 的模可变，阻抗角不可变，则当 $|Z_L| = |Z_0|$ 时，负载吸收的功率为最大。这种阻抗匹配称为共模匹配

说明：共扼匹配是最佳匹配，但共扼匹配做不到时，只能用模匹配，此时，获得的最大功率是在模可调情况下的最大功率。

正弦稳态电路的分析

电阻电路与正弦电流电路的分析比较

电阻电路：

$$\begin{cases} \text{KCL}: \quad \sum i = 0 \\ \text{KVL}: \quad \sum u = 0 \\ \text{元件约束关系:} \\ u = Ri \quad \text{或} \quad i = Gu \end{cases}$$

正弦电路相量分析：

$$\begin{cases} \text{KCL}: \quad \sum \dot{I} = 0 \\ \text{KVL}: \quad \sum \dot{U} = 0 \\ \text{元件约束关系:} \\ \dot{U} = Z\dot{I} \quad \text{或} \quad \dot{I} = Y\dot{U} \end{cases}$$

1.引入相量法，电阻电路和正弦电流电路依据的电路定律是相似的。

2.引入电路的相量模型，把列写时域微分方程转为直接列写相量形式的代数方程。

3.引入阻抗以后，可将电阻电路中讨论的所有网络定理和分析方法都推广应用于正弦稳态的相量分析中。直流（f =0)是一个特例。

第10章电路的频率响应

谐振的概念，串联谐振、并联谐振的谐振频率、特点、品质因数与谐振曲线的关系。

1、谐振时：端口总$\dot{U}$ $\dot{I}$ 同相，相位差为0。

2、谐振时：电路呈阻性，总阻抗$Z=R$；阻抗虚部为0。

3、RLC串联谐振（电压谐振）

$Z=R+jX=R$ $\qquad U_R=I_0R=U$

$\dot{U}_L=-\dot{U}_C$ $\qquad \boxed{U_L=I_0X_L=U_C=I_0X_C}$ $\qquad \boxed{\omega_0=\dfrac{1}{\sqrt{LC}}}$

品质因数 $Q=\dfrac{U_L}{U}=\dfrac{U_C}{U}=\dfrac{\omega_0 L}{R}=\dfrac{1}{\omega_0 CR}=\dfrac{1}{R}\dfrac{1}{\sqrt{LC}}$

4、RLC并联谐振（电流谐振）

$I=I_R$ $\qquad I_L=I_C$ $\qquad \boxed{\omega_0=\dfrac{1}{\sqrt{LC}}}$

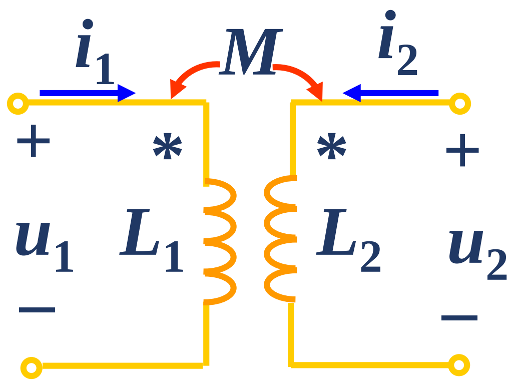
第11章含耦合电感电路分析

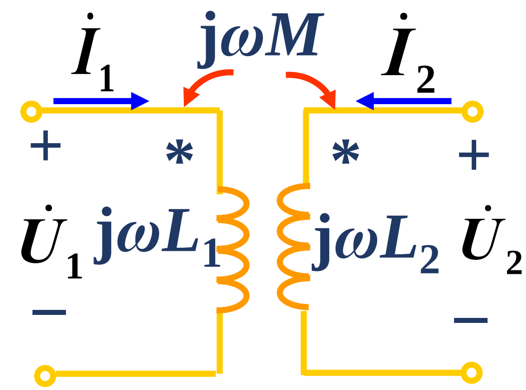
1、耦合电感的VCR；
2、利用同名端判断互感电压极性的方法；
3、顺接串联和反接串联的耦合电感的等效电路；
4、T型耦合电感电路的等效电路；
5、空心变压器的一次侧和二次侧电路的等效电路；
6、理想变压器的三个变比以及与同名端的关系

选电压与电流关联参考方向，电流从同名端流入，互感电压取“+”，电流从异名端流入，互感电压取“-”。

第11章含耦合电感电路分析

1.VCR

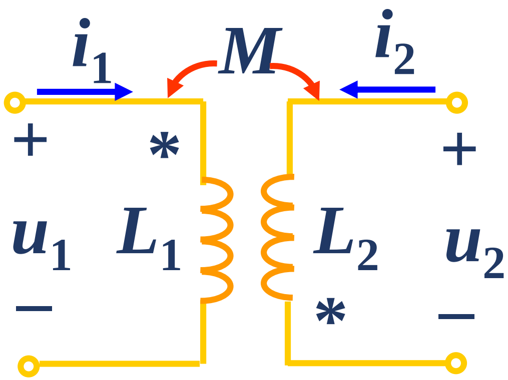


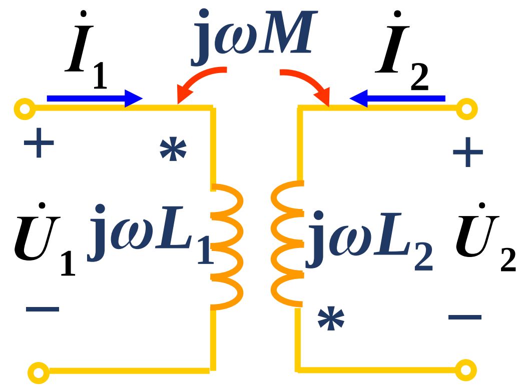


$$\begin{cases} u_1 = L_1 \dfrac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} + M \dfrac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} \\ u_2 = M \dfrac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} + L_2 \dfrac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \mathrm{j}\omega L_1 \dot{I}_1 + \mathrm{j}\omega M \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = \mathrm{j}\omega L_2 \dot{I}_2 + \mathrm{j}\omega M \dot{I}_1 \end{cases}$$

1.VCR





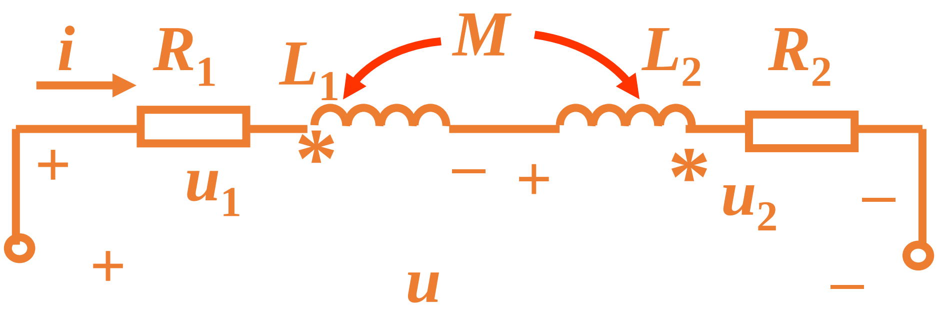
$$\begin{cases} u_1 = L_1 \dfrac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} - M \dfrac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} \\ u_2 = -M \dfrac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} + L_2 \dfrac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \mathrm{j}\omega L_1 \dot{I}_1 - \mathrm{j}\omega M \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = \mathrm{j}\omega L_2 \dot{I}_2 - \mathrm{j}\omega M \dot{I}_1 \end{cases}$$

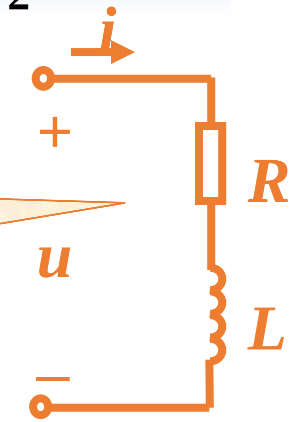
2. 耦合电感的串联

（1） 顺接串联

$$R = R_1 + R_2 \qquad L = L_1 + L_2 + 2M$$

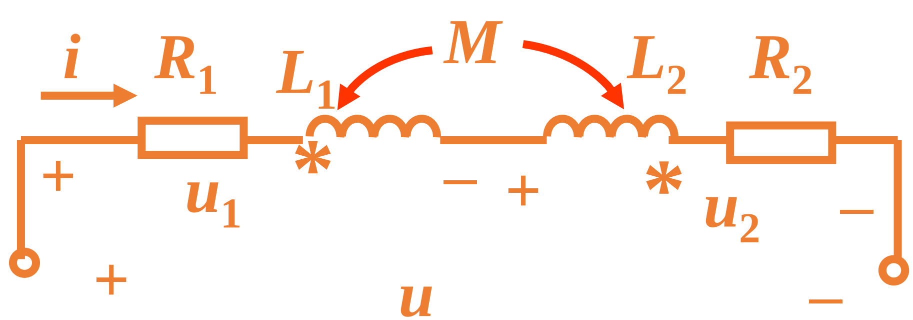


去耦等效电路

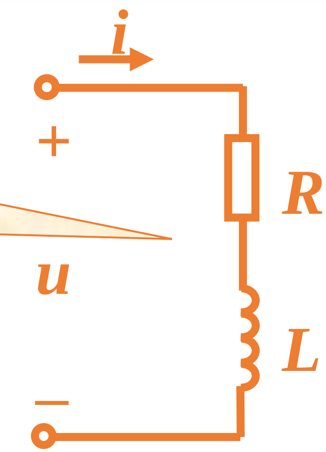


（2） 反接串联

$$R = R_1 + R_2 \qquad L = L_1 + L_2 - 2M$$

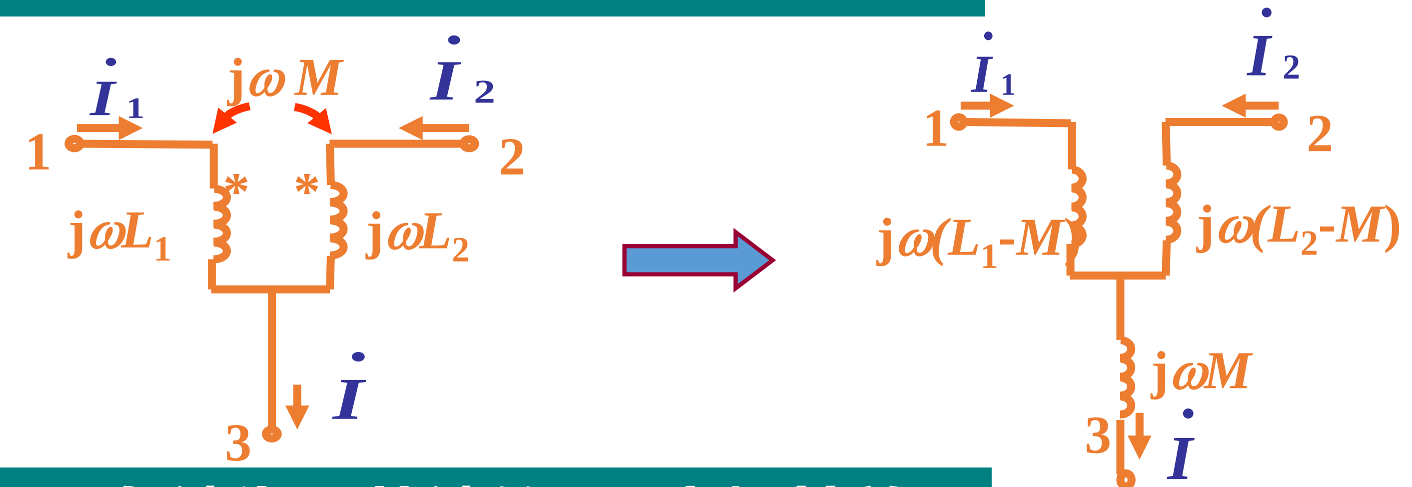


去耦等效电路

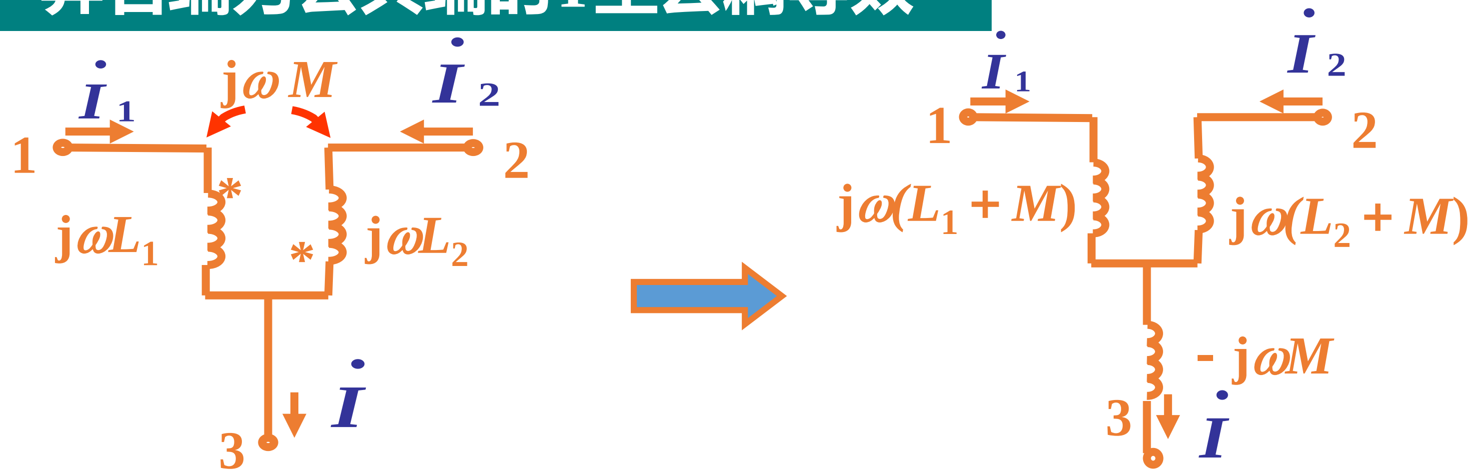


3.耦合电感的T型等效

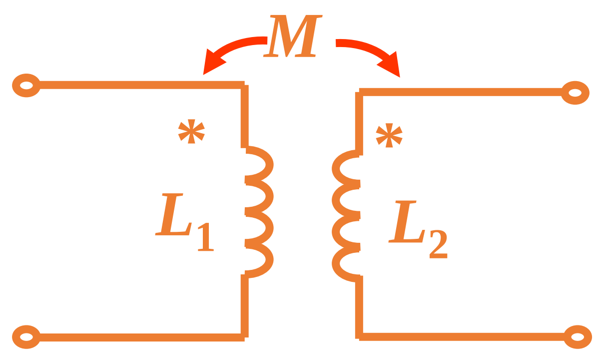
（1） 同名端为公共端的T型去耦等效

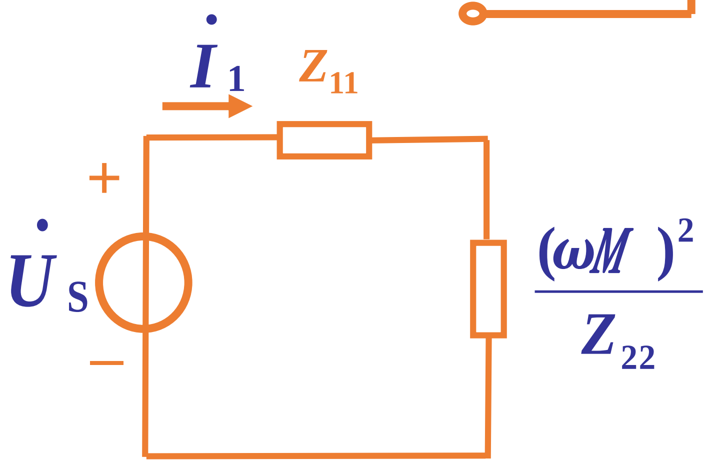


（2） 异名端为公共端的T型去耦等效

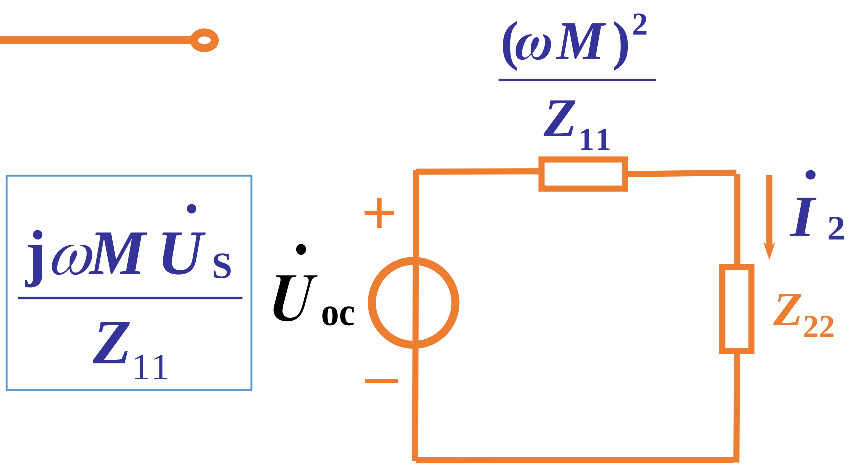


空心变压器电路模型



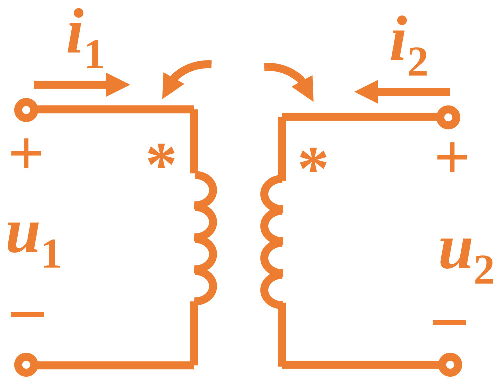


原边等效电路



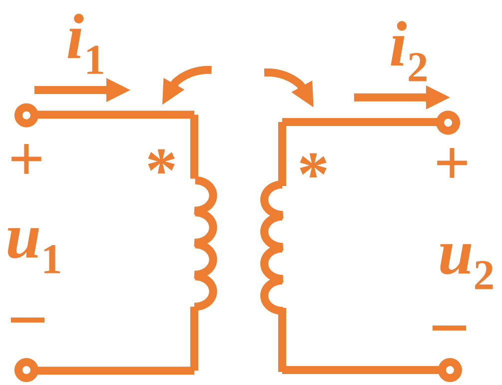
副边等效电路

理想变压器



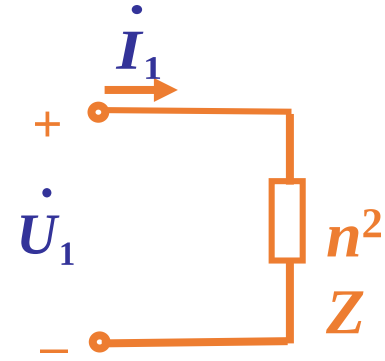
$$\frac{u_1}{u_2}=\frac{N_1}{N_2}=n$$

$$\frac{i_1}{i_2}=-\frac{N_2}{N1}=-\frac{1}{n}$$



$$\frac{u_1}{u_2}=-\frac{N_1}{N_2}=-n$$

$$\frac{i_1}{i_2}=\frac{N_2}{N1}=\frac{1}{n}$$



$$\frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1}=\frac{n\dot{U}_2}{-1/n\dot{I}_2}$$

$$=n^2(-\frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2})$$

$$=n^2Z$$

第12章 三相电路

1. 三相电源及其连接

三个同频率、等幅值、初相位依次相差120°的一组正弦电压源称为对称三相电源。

瞬时表达式

$$u_A = \sqrt{2}U\cos\omega t$$

$$u_B = \sqrt{2}U\cos(\omega t - 120^\circ)$$

$$u_C = \sqrt{2}U\cos(\omega t - 240^\circ) = \sqrt{2}U\cos(\omega t + 120^\circ)$$

相量表示

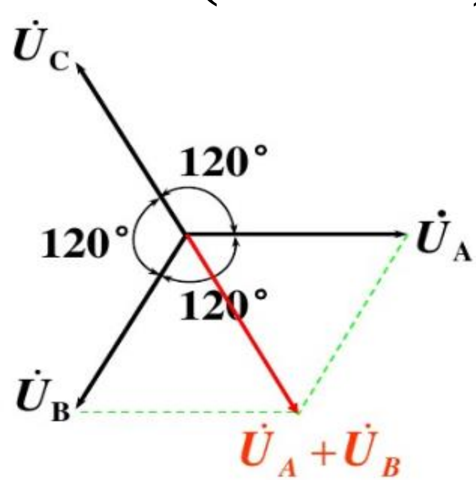
$$\dot{U}_A = U\angle 0^\circ$$

$$\dot{U}_B = U\angle -120^\circ$$

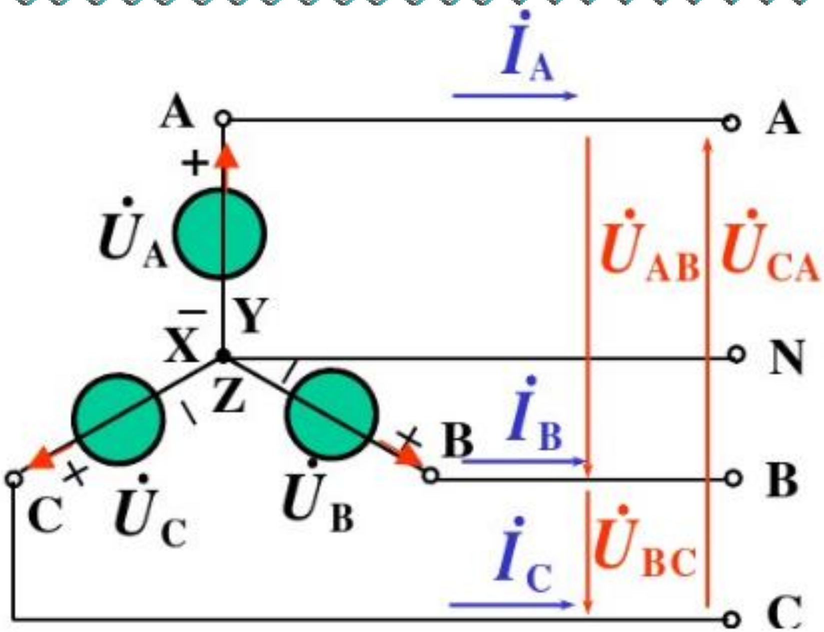
$$\dot{U}_C = U\angle -240^\circ = U\angle 120^\circ$$

$$\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0$$

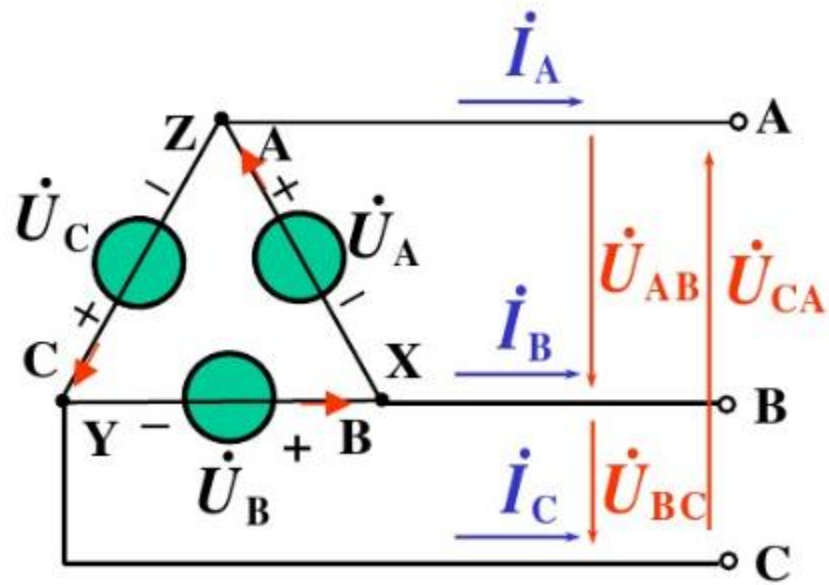
$$u_A + u_B + u_C = 0$$



三相电路



三相电源的星形连接（Y）



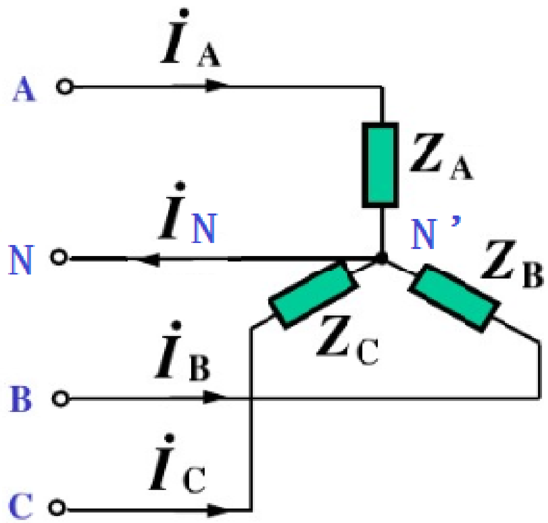
三相电源的三角形连接（Δ）

相电压：每相电源的电压大小U_P $\dot{U}_A$ $\dot{U}_B$ $\dot{U}_C$

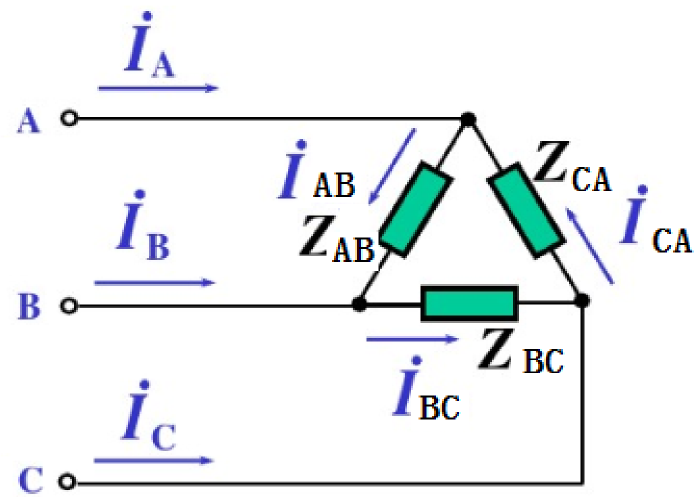
线电压：端线与端线间的电压大小U_L $\dot{U}_{AB}$ $\dot{U}_{BC}$ $\dot{U}_{CA}$

三相电路

2. 三相负载的连接



三相负载的星形连接（Y）



三相负载的三角形连接（Δ）

相电流：流过每相负载的电流大小I_P
- 负载Y　$\dot{I}_A$　$\dot{I}_B$　$\dot{I}_C$
- 负载Δ　$\dot{I}_{AB}$　$\dot{I}_{BC}$　$\dot{I}_{CA}$

线电流：流过端线的电流大小I_L　$\dot{I}_A$　$\dot{I}_B$　$\dot{I}_C$

3. 三相电路的计算

电源的连接	Y	Δ
电源三相对称	$\dot{U}_L = \sqrt{3}\dot{U}_P\angle 30°$	$\dot{U}_L = \dot{U}_P$

负载的连接	Y	Δ
负载的相电压（负载两端电压）	$\dot{U}_{负} = \dot{U}_P$	$\dot{U}_{负} = \dot{U}_L$
负载对称	$U_L = \sqrt{3}U_P$ $\dot{I}_L = \dot{I}_P$	$U_L = U_P$ $\dot{I}_L = \sqrt{3}\dot{I}_P\angle -30°$

- **三相电源与三相负载连接构成三相电路：**
  Y- Y、 Y- Δ、 Δ- Y 、 Δ - Δ、多组负载
- **对称三相电源与对称三相负载构成对称三相电路，计算时可只算一相，其他两相根据对称关系得出。**
- **负载不对称时为不对称三相电路，需一相一相计算**
- **中线的作用：使星形联结三相不对称负载的相电压对称。**

4.三相电路的功率

负载三相对称时 $Z=R+jX$

三相有功 $P=3U_{P}I_{P}\cos\phi_{Z}=\sqrt{3}U_{L}I_{L}\cos\phi_{Z}=3I_{P}{}^{2}R$

三相无功 $Q=3U_{P}I_{P}\sin\phi_{Z}=\sqrt{3}U_{L}I_{L}\sin\phi_{Z}=3I_{P}{}^{2}X$

视在功率 $S=\sqrt{P^{2}+Q^{2}}=3U_{P}I_{P}=\sqrt{3}U_{l}I_{l}$

U_{P}、I_{P}、U_{L}、I_{L}、φ_{Z}分别为负载的相电压、相电流、线电压、线电流、负载的阻抗角（负载两端电压和电流相位之差）。

负载三相不对称时：

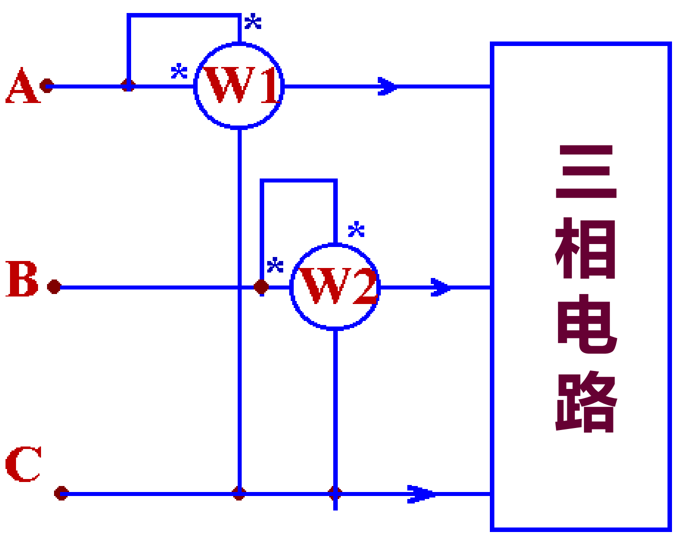
有功功率和无功功率一相一相计算求和。

5.三相功率的测量

1）三相四线制中，单相测量，三相相加。

$$P = P_A + P_B + P_C$$

2）三相三线制电路中的二瓦计法。



①注意两功率表的联接方式：

两表的电流线圈分别串入两端线中；两表的电压线圈的非电源端共同接非电流线圈所在的第3条端线上。

②两表读数的代数和为三相三线制右侧电路吸收的平均功率。

注：功率表读数可正可负；单独一个功率表读数无意义。

第13章非正弦周期电流电路

$$\begin{cases} u(t) = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{km}\cos(k\omega t + \phi_{uk}) \\ i(t) = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{km}\cos(k\omega t + \phi_{ik}) \end{cases}$$

有效值

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \cdots\cdots}$$

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \cdots\cdots}$$

周期函数的有效值为直流分量及各次谐波分量有效值平方和的方根。

平均功率

$$P = U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos\phi_1 + U_2 I_2 \cos\phi_2 + \cdots$$

平均功率 = 直流分量的功率 + 各次谐波的平均功率

非正弦周期电流电路的计算步骤:

①利用傅里叶级数，将非正弦周期函数展开成若干种频率的谐波信号；

②对各次谐波分别应用相量法计算；（注意:交流各谐波的 X_L、X_C不同，对直流 C 相当于开路、L 相于短路。）

③将以上计算结果转换为瞬时值迭加。

第14章线性动态电路的复频域分析

$$F(s)=\int_{0_-}^{+\infty} f(t)e^{-st}\mathrm{d}t$$

典型函数的拉氏变换

$\delta(t)$	$\varepsilon(t)$	$t\varepsilon(t)$	$\cdots$	$t^n\varepsilon(t)$	$\sin\omega t\varepsilon(t)$	$\cos\omega t\varepsilon(t)$
1	$\dfrac{1}{s}$	$\dfrac{1}{s^2}$	$\cdots$	$\dfrac{n!}{s^{n+1}}$	$\dfrac{\omega}{s^2+\omega^2}$	$\dfrac{s}{s^2+\omega^2}$

$e^{-\alpha t}\varepsilon(t)$	$e^{-\alpha t}\sin\omega t\varepsilon(t)$	$e^{-\alpha t}t^n\varepsilon(t)$	$f(t-t_0)\varepsilon(t-t_0)$
$\dfrac{1}{s+\alpha}$	$\dfrac{\omega}{(s+\alpha)^2+\omega^2}$	$\dfrac{n!}{(s+\alpha)^{n+1}}$	$e^{-st_0}F(s)$

运算电路法

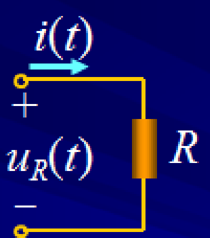
1. 基尔霍夫定律的运算形式

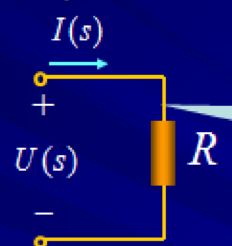
KCL对任一结点 $\sum I(s)=0$

KVL对任一回路 $\sum U(s)=0$

2. 电路元件的运算形式

① 电阻R的运算形式





电阻的运算电路

$Z(s)=R$

$Y(s)=G$

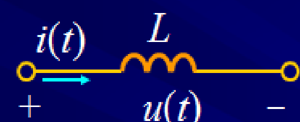
时域形式： $u=Ri$

取拉氏变换 $U(s)=RI(s)$

$I(s)=GU(s)$

② 电感L的运算形式

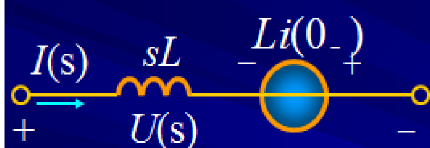
时域形式： $u=L\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$



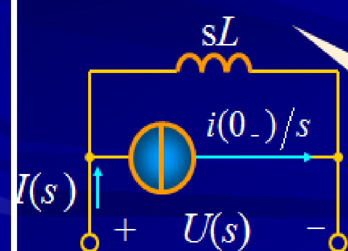
取拉氏变换,由微分性质得

$$U(s)=L(sI(s)-i(0_-))$$

$$=sLI(s)-Li(0_-)$$



$$I(s)=\frac{U(s)}{sL}+\frac{i(0_-)}{s}$$

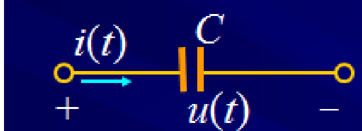


L的运算电路

$Z(s)=sL$

$Y(s)=1/sL$

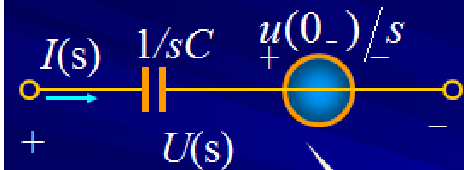
③ 电容C的运算形式



时域形式：

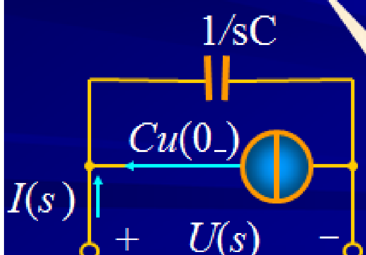
$$u = u(0_-) + \frac{1}{C}\int_{0_-}^{t} i(\xi)\,\mathrm{d}\xi$$

取拉氏变换,由积分性质得



$$U(s) = \frac{1}{sC}I(s) + \frac{u(0_-)}{s}$$

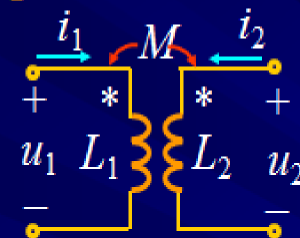
$$I(s) = sCU(s) - Cu(0_-)$$



C的运算电路

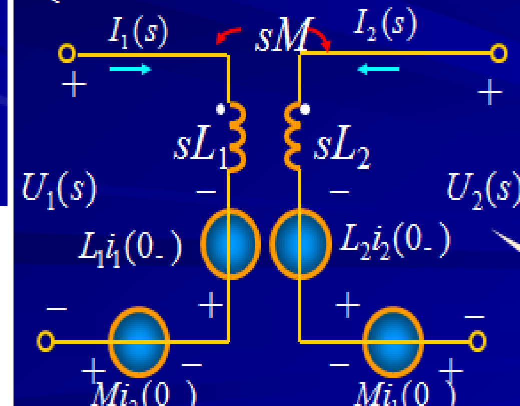
$$Z(s) = 1/sC$$
$$Y(s) = sC$$

④ 耦合电感的运算形式



$$\begin{cases} u_1 = L_1\dfrac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} + M\dfrac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} \\ u_2 = L_2\dfrac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} + M\dfrac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} \end{cases}$$

$$\begin{cases} U_1(s) = sL_1I_1(s) - L_1i_1(0_-) + sMI_2(s) - Mi_2(0_-) \\ U_2(s) = sL_2I_2(s) - L_2i_2(0_-) + sMI_1(s) - Mi_1(0_-) \end{cases}$$



互感运算阻抗

$$Z_M(s) = sM$$
$$Y_M(s) = 1/sM$$

耦合电感的运算电路

运算形式的欧姆定律

$$\begin{cases} U(s) = Z(s)I(s) \\ I(s) = Y(s)U(s) \end{cases}$$

运算电路法

运算法的计算步骤：

①由换路前的电路计算$u_c(0_-)$，$i_L(0_-)$；

②画运算电路模型

- 电压、电流用象函数形式；
- 元件用运算阻抗或运算导纳表示；
- 电容电压和电感电流初始值用附加电源表示。

③应用前面各章介绍的各种计算方法求象函数；

④反变换求原函数。

第15章电路方程的矩阵形式

1.关联矩阵*A*

用矩阵形式描述结点和支路的关联性质。*n*个结点*b*条支路的图用矩阵描述：

$$A=\begin{array}{c|c} & \text{支路}\, b \\ \hline \text{结点}\ n-1 & \left[\ (n-1)\times b\ \right] \end{array}$$

每一行对应一个结点，每一列对应一条支路。

$$a_{jk}=\begin{cases} 1 & \text{支路 } k \text{ 与结点 } j \text{ 关联，背离（流出）结点；} \\ -1 & \text{支路 } k \text{ 与结点 } j \text{ 关联，指向（流入）结点；} \\ 0 & \text{支路 } k \text{ 与结点 } j \text{ 无关。} \end{cases}$$

矩阵形式的KCL： $[A][i]=0$

矩阵形式的KVL： $[A]^T[u_n]=[u]$

2.基本回路矩阵B_f

独立回路与支路的关联性质可以用回路矩阵B描述。l条回路、b条支路的图用$l\times$b的矩阵描述：

$$[B_f]= \begin{array}{c|c} & \text{支路}b \rightarrow \\ \hline \text{独立回路}\,l \downarrow & \begin{bmatrix} l\times b \end{bmatrix} \end{array}$$

每一行对应一个独立回路，每一列对应一条支路。连支在前，树支在后，连支电流方向为回路电流方向。

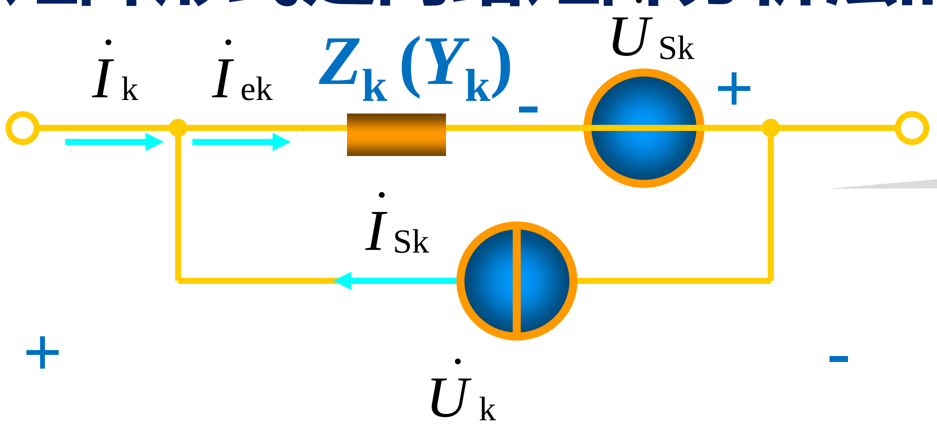
$$b_{ij}=\begin{cases} 1 & \text{支路 } j \text{ 在回路 } i \text{ 中，且方向一致；} \\ -1 & \text{支路 } j \text{ 在回路 } i \text{ 中，且方向相反；} \\ 0 & \text{支路 } j \text{ 不在回路 } i \text{ 中。} \end{cases}$$

矩阵形式的KVL：$[B_f][u]=0$

矩阵形式的KCL：$[B_f]^T[i_l]=[i]$

3.复合支路

反映元件性质的支路电压和支路电流关系的矩阵形式是网络矩阵分析法的基础。



规定标准支路

复合支路定义了一条支路最多可以包含的不同元件数及连接方法，但允许缺少某些元件。

复合支路特点：

①支路的独立电压源和独立电流源的方向与支路电压、电流的方向相反；

②支路电压与支路电流的方向关联；

③支路的阻抗（或导纳）只能是单一的电阻、电容、电感，而不能是它们的组合。

4.支路阻抗矩阵、支路导纳矩阵

①电路中电感之间无耦合

对角阵

②电路中电感之间有耦合

互感

③电路中有受控电源

添系数

5.回路电流方程的矩阵形式 $[Z_l]\left[\dot{I}_l\right]=\left[\dot{U}_{lS}\right]$

$$[B_f][Z][B_f]^T\left[\dot{I}_l\right]=[B_f]\left[\dot{U}_S\right]-[B_f][Z]\left[\dot{I}_S\right]$$

①分析电路结构，选择树，写出 $[B_f]$、$[Z]$、$\left[\dot{U}_S\right]$、$\left[\dot{I}_S\right]$

②求出 $[Z_l]$、$\left[\dot{U}_{ls}\right]$，列出回路方程 $[Z_l]\left[\dot{I}_l\right]=\left[\dot{U}_{lS}\right]$

③求出 $\left[\dot{I}_l\right]$，由KCL解出 $\left[\dot{I}\right]=[B_f]^{\mathrm{T}}\left[\dot{I}_l\right]$

根据支路方程解出 $\left[\dot{U}\right]$

6.结点电压方程的矩阵形式

$$[Y_n]\left[\dot{U}_n\right]=\left[\dot{I}_{Sn}\right]$$

$$[A][Y][A]^T\left[\dot{U}_n\right]=[A]\left[\dot{I}_S\right]-[A][Y]\left[\dot{U}_S\right]$$

①根据有向图，写出 $[A]$、$[Y]$、$\left[\dot{U}_S\right]$、$\left[\dot{I}_S\right]$

②求出 $[Y_n]$、$\left[\dot{I}_{sn}\right]$，列出回路方程 $[Y_n]\left[\dot{U}_n\right]=\left[\dot{I}_{Sn}\right]$

③求出 $\left[\dot{U}_n\right]$，由KCL解出 $\left[\dot{U}\right]=[A]^T\left[\dot{U}_n\right]$

根据支路方程解出 $\left[\dot{I}\right]$

第16章 二端口网络

1.讨论范围：

线性 R、L、C、M与线性受控源，

不含独立源。

2.端口电压、电流的参考方向如图所示。

1.Y 参数和方程

$$\begin{cases}\dot{I}_1 = Y_{11}\dot{U}_1 + Y_{12}\dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 = Y_{21}\dot{U}_1 + Y_{22}\dot{U}_2\end{cases} \qquad \begin{bmatrix}\dot{I}_1 \\ \dot{I}_2\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{U}_1 \\ \dot{U}_2\end{bmatrix} = [Y]\begin{bmatrix}\dot{U}_1 \\ \dot{U}_2\end{bmatrix}$$

$$Y_{11} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_1}\bigg|_{\dot{U}_2=0}$$ 输入导纳

$$Y_{12} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2}\bigg|_{\dot{U}_1=0}$$ 转移导纳

$$Y_{21} = \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_1}\bigg|_{\dot{U}_2=0}$$ 转移导纳

$$Y_{22} = \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2}\bigg|_{\dot{U}_1=0}$$ 输入导纳

Y 参数矩阵

$$Y = \begin{bmatrix}Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22}\end{bmatrix}$$

2. Z 参数和方程

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = Z_{11}\dot{I}_1 + Z_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = Z_{21}\dot{I}_1 + Z_{22}\dot{I}_2 \end{cases} \qquad \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = [Z] \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$$

$$Z_{11} = \left.\frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1}\right|_{\dot{I}_2=0}$$ **输入阻抗**

$$Z_{12} = \left.\frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2}\right|_{\dot{I}_1=0}$$ **转移阻抗**

$$Z_{21} = \left.\frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_1}\right|_{\dot{I}_2=0}$$ **转移阻抗**

$$Z_{22} = \left.\frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2}\right|_{\dot{I}_1=0}$$ **输入阻抗**

Z 参数矩阵

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix}$$

$$Z = Y^{-1}$$

3. T 参数和方程

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = A\dot{U}_2 - B\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = C\dot{U}_2 - D\dot{I}_2 \end{cases} \quad \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ -\dot{I}_2 \end{bmatrix} = \boldsymbol{T} \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ -\dot{I}_2 \end{bmatrix}$$

$$A = \left.\frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2}\right|_{\dot{I}_2=0}$$

转移电压比

开路参数

$$C = \left.\frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2}\right|_{\dot{I}_2=0}$$

转移导纳

$$B = \left.\frac{\dot{U}_1}{-\dot{I}_2}\right|_{\dot{U}_2=0}$$

转移阻抗

短路参数

$$D = \left.\frac{\dot{I}_1}{-\dot{I}_2}\right|_{\dot{U}_2=0}$$

转移电流比

T 参数矩阵 $\quad \boldsymbol{T} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$

4. H 参数和方程

$$\begin{cases}\dot{U}_1 = H_{11}\dot{I}_1 + H_{12}\dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 = H_{21}\dot{I}_1 + H_{22}\dot{U}_2\end{cases} \qquad \begin{bmatrix}\dot{U}_1 \\ \dot{I}_2\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{I}_1 \\ \dot{U}_2\end{bmatrix} = \boldsymbol{H}\begin{bmatrix}\dot{I}_1 \\ \dot{U}_2\end{bmatrix}$$

$$H_{11} = \left.\frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1}\right|_{\dot{U}_2=0}$$ 输入阻抗

$$H_{21} = \left.\frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1}\right|_{\dot{U}_2=0}$$ 电流转移比

短路参数

$$H_{12} = \left.\frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2}\right|_{\dot{I}_1=0}$$ 电压转移比

$$H_{22} = \left.\frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2}\right|_{\dot{I}_1=0}$$ 入端导纳

开路参数

H 参数矩阵

$$\boldsymbol{H} = \begin{bmatrix}H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22}\end{bmatrix}$$

不积跬步，

无以至千里。

——荀子