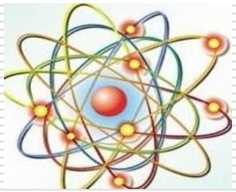
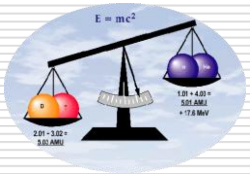




电路理论基础总复习

（1-7章）

哈尔滨工业大学（深圳）

四、主要内容的学习要点

2. 电路定理—齐次定理

- 齐次定理：只含一个独立源的网络，输出与输入成正比或等于网络函数。

- 叠加定理与齐次定理
  - 线性直流电路的任意响应 Y 都是激励 X_1，X_2，…，X_m 的线性组合，即

$$Y = K_1 X_1 + K_2 X_2 + \cdots + K_m X_m$$

四、主要内容的学习要点

2. 电路定理—等效电源定理

- 含源一端口网络的等效电路：戴维南和诺顿等效电路。

  戴维南＝开路电压串等效电阻

  诺顿＝短路电流并等效电阻

- 一端口网络的等效电阻、阻抗

简单串并联：所有独立源置零；
外加电源法：所有独立源置零，在端口加电压源或电流源，$R=U/I$；
开路短路法：求开路电压和短路电流，$R=U_{OC}/I_{SC}$

此时独立源保留在电路中

四、主要内容的学习要点

2. 电路定理—置换定理

- 线性和非线性电路均适用；
- 置换定理要求置换后的电路有唯一解；
- 未被置换部分在置换前后必须保持完全相同；
- 若电路中某两点间电压为零，相当于将该两点短路；若电路中某支路电流为零，则相当于将该支路断开：
  - 直流电路中的电感和电容；
  - 叠加定理中不作用电源的处理；
  - *LC*串联谐振支路相当于短路；
  - *LC*并联谐振支路相当于开路。

四、主要内容的学习要点

2. 电路定理—电路定理小结

	适用范围	应用特点
置换定理	线性和非线性均适用	将未知结构或特性电路用已知特性元件或电路替换
叠加定理 齐性定理	线性适用	求解缺条件或特殊结构电路，适用于电源变化电路
等效电源定理	线性适用	主要目的化简电路，也用于求解缺条件或未知结构电路，尤其适合电源变化电路

四、主要内容的学习要点

3. 等效变换

最终目的是什么？

等效的含义

- 电阻连接的等效
  - 电阻串、并联的等效
  - 电阻星-三角连接的等效
- 电源连接的等效
  - 电压源串联电流源并联等效
- 电源与电阻连接的等效
  - 电压源串联电阻与电流源并联电阻的等效
- 输入电阻的概念
  - 等效部分只含电阻
  - 等效部分含电阻和受控电源

星三角等效变换:对称时$3Z_Y=Z_\Delta$；对称三相电路常用

四、主要内容的学习要点

4. 直流电路与正弦、非正弦周期电流电路的异同

- 同：使用线性直流电路的任一方法分析相量形式的电路；三相电路中的单相计算。

- 异：阻抗和导纳的概念；功率的计算；频率特性；谐振条件和特点；三相电路相线关系、相位关系；非正弦的有效值和功率等等。

四、主要内容的学习要点

5. 正弦电流电路—阻抗和导纳

(1)一端口等效阻抗等于端口电压相量与电流相量之比

$$Z=\frac{\dot{U}}{\dot{I}}=\frac{U\angle\psi_u}{I\angle\psi_i}=\frac{U}{I}\angle(\psi_u-\psi_i)=|Z|\angle\varphi$$

(2)一端口等效导纳等于端口电流相量与电压相量之比

$$Y=\frac{\dot{I}}{\dot{U}}=\frac{I\angle\psi_i}{U\angle\psi_u}=\frac{I}{U}\angle(\psi_i-\psi_u)=|Y|\angle\varphi_Y$$

(3)阻抗 *Z* 和导纳 *Y* 之间的等效

设 $Z=R+\mathrm{j}X \qquad Y=G+\mathrm{j}B$

则 $Y=\dfrac{1}{Z}=\dfrac{1}{R+\mathrm{j}X}=\dfrac{R}{R^2+X^2}-\mathrm{j}\dfrac{X}{R^2+X^2}$

$$\Rightarrow \boxed{G\neq\frac{1}{R} \qquad B\neq\frac{1}{X}}$$

四、主要内容的学习要点

5.正弦电流电路—分析步骤

(1) 将电阻、电感和电容用阻抗或导纳表示；

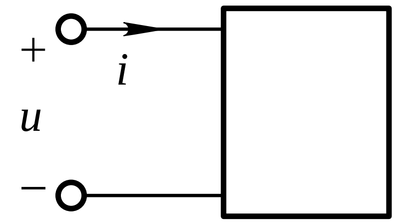
(2) 将激励源、响应的电压和电流用相量表示；

(3) 对正弦电路的相量模型用线性直流电路的分析方法(回路法、节点法、电路定理等)求解响应的相量；

(4) 根据相量与正弦量的对应关系，得到响应的正弦函数表达式。

四、主要内容的学习要点

5. 正弦电流电路—功率



$$u(t)=\sqrt{2}U\cos(\omega t+\psi_u)$$

$$i(t)=\sqrt{2}I\cos(\omega t+\psi_i)$$

(1) 瞬时功率

$$p(t)=u(t)i(t)$$

(2) 平均功率—有功功率

$$P=UI\cos(\psi_u-\psi_i)=UI\cos\varphi=UI\lambda$$

(3) 无功功率 $Q=UI\sin\varphi$

(4) 视在功率 $S=UI$

(5) 复功率 $\tilde{S}=P+\mathrm{j}Q=UI\cos\varphi+\mathrm{j}UI\sin\varphi=\dot{U}\dot{I}^{*}=UI\angle(\psi_u-\psi_i)$

四、主要内容的学习要点

5. 正弦电流电路—功率

正弦稳态电路功率的注意事项：

(1) 各功率的单位

瞬时功率及有功功率单位：**W**；

无功功率单位：**var**；

视在功率及复功率单位：**VA**

(2) 是否守恒

除视在功率外都守恒。

(3) 与电路元件的关系

电阻与电导仅消耗有功功率；

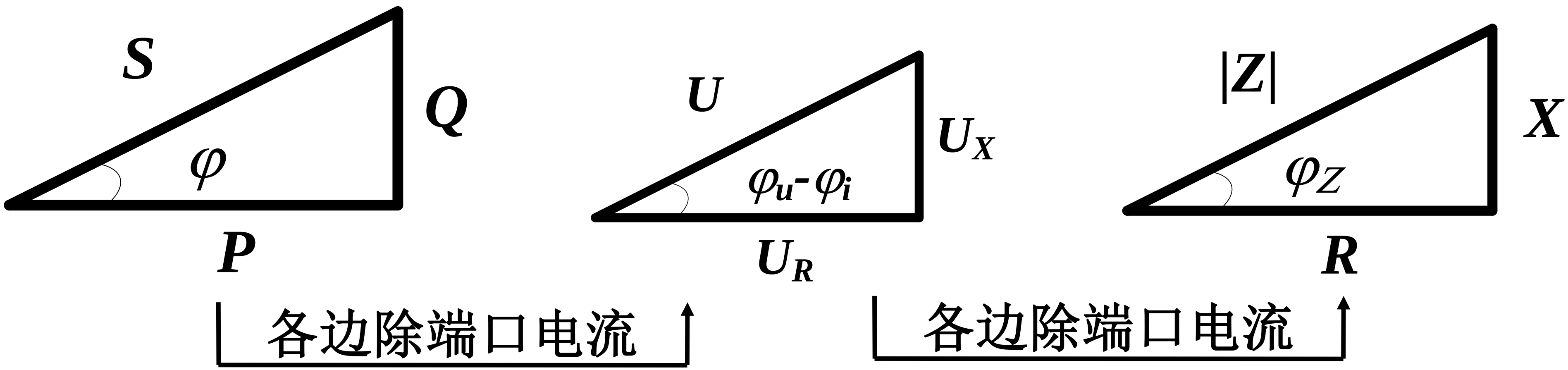
电抗（纯电感、电容）仅消耗无功功率。

四、主要内容的学习要点

5. 正弦电流电路—功率

正弦稳态电路功率的注意事项：

(4) 各功率间关系以及与其它电路量的关系



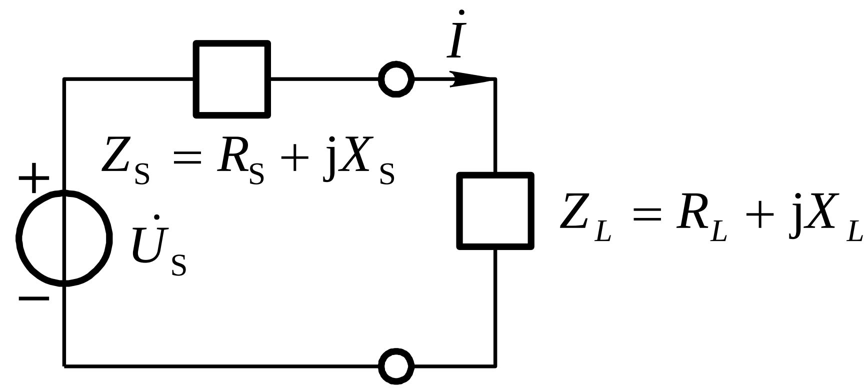
功率三角形　　电压三角形　　阻抗三角形

彼此相似

四、主要内容的学习要点

5. 正弦电流电路—最大功率传输定理

(1)当负载可以任意改变时，它获得最大功率的条件是



$$Z_L = R_L + jX_L = Z_S^* = R_S - jX_S$$

最大功率为 $$P_{L\max} = \frac{U_S^2}{4R_S}$$

(2)仅当负载的模可以任意改变时，它获得最大功率的条件是

$$|Z_L| = |Z_S|$$

四、主要内容的学习要点

6. 对称三相电路—相线电压、相线电流关系

(1)对称星形（Y）联结

① 线电压与相电压的关系

$$\left.\begin{aligned}\dot{U}_{AB} &= \sqrt{3}\dot{U}_{A}\angle 30^\circ \\ \dot{U}_{BC} &= \sqrt{3}\dot{U}_{B}\angle 30^\circ \\ \dot{U}_{CA} &= \sqrt{3}\dot{U}_{C}\angle 30^\circ\end{aligned}\right\}$$

② 线电流与相电流的关系

$$I_l = I_P$$

(2)对称三角形（△）联结

①线电流与相电流的关系

$$\left.\begin{aligned}\dot{I}_{A} &= \sqrt{3}\dot{I}_{A'B'}\angle -30^\circ \\ \dot{I}_{B} &= \sqrt{3}\dot{I}_{B'C'}\angle -30^\circ \\ \dot{I}_{C} &= \sqrt{3}\dot{I}_{C'A'}\angle -30^\circ\end{aligned}\right\}$$

②线电压与相电压的关系

$$U_l = U_P$$

四、主要内容的学习要点

6. 对称三相电路—计算步骤

一般对称三相电路的计算步骤为：

(1)把非三角形联结的电源和负载都等效为星形联结。

(2)画一条无阻抗的假想中线把所有的电源和负载的中性点都连接起来。

(3)取出一相，按正弦电路的方法进行相量计算。

(4)根据对称关系推算其它两相的电压、电流。

四、主要内容的学习要点

6. 对称三相电路—功率

(1) 瞬时功率

三相电路的瞬时功率是一个常量，等于平均功率。

(2) 有功功率（平均功率）

$$P = 3U_{\mathrm{P}}I_{\mathrm{P}}\cos\varphi = \sqrt{3}U_l I_l \cos\varphi$$

(3) 无功功率

$$Q = 3U_{\mathrm{P}}I_{\mathrm{P}}\sin\varphi = \sqrt{3}U_l I_l \sin\varphi$$

(4) 视在功率

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3U_{\mathrm{P}}I_{\mathrm{P}} = \sqrt{3}U_l I_l$$

四、主要内容的学习要点

7. 非正弦周期电流电路

非正弦周期量的有效值和平均功率

(1) 有效值

$$A=\sqrt{A_0^2+\sum_{k=1}^{\infty}\frac{1}{2}A_{mk}^2}=\sqrt{A_0^2+A_1^2+A_2^2+\cdots}$$

(2) 平均功率

$$P=P_0+\sum_{k=1}^{\infty}P_k=U_0I_0+\sum_{k=1}^{\infty}U_kI_k\cos\phi_k$$

仅同频率的谐波电压和谐波电流才能产生平均功率

四、主要内容的学习要点

7. 非正弦周期电流电路

非正弦周期电流电路的计算

(1) 把给定的非正弦周期性激励分解为恒定分量和各谐波分量。

(2) 分别计算电路在上述恒定分量和各谐波分量单独作用下的响应。

电感、电容对不同频率的谐波呈现不同的电抗

(3) 根据叠加定理，把恒定分量和各谐波分量的响应进行叠加，得到响应的时间函数。

叠加时应将各谐波分量的瞬时表达式相叠加

四、主要内容的学习要点

8. 频率特性和谐振现象

(1) *RLC*串联谐振电路

① 谐振条件　$\mathrm{Im}[Z]=0$

② 谐振特点

- 谐振时，电路呈电阻性，阻抗的模最小等于*R*。
- 若外加电压一定，谐振时电流最大，且与电压同相。
- 串联谐振为电压谐振，谐振时*LC*串联部分相当于短路。
- 谐振时电感或电容上的电压与总电压之比为串联谐振的品质因数 。

四、主要内容的学习要点

8. 频率特性和谐振现象

(2) *GCL*并联谐振电路

① 谐振条件 $\operatorname{Im}[Y]=0$

② 谐振特点

- 谐振时，电路呈电阻性，导纳的模最小等于*G*。
- 若外加电流一定，谐振时电压最大，且与电流同相。
- 并联谐振为电流谐振，谐振时*LC*并联部分相当于开路。
- 谐振时电感或电容上的电流与总电流之比为并联谐振的品质因数 。

复习内容

一、本学期的主要内容

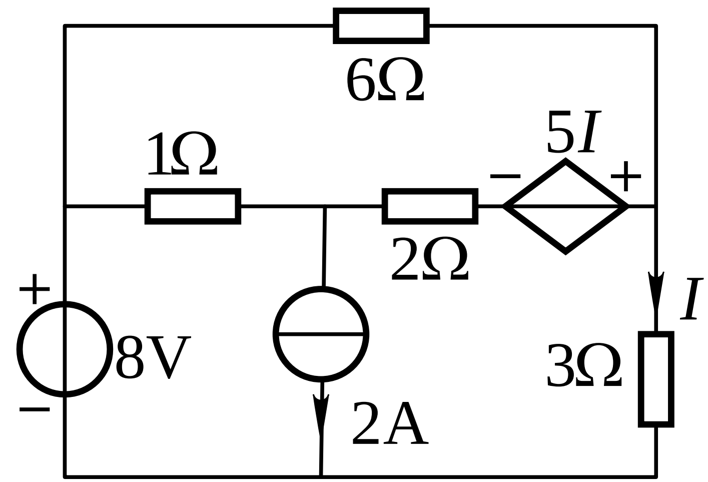
二、电路课程的基本规律

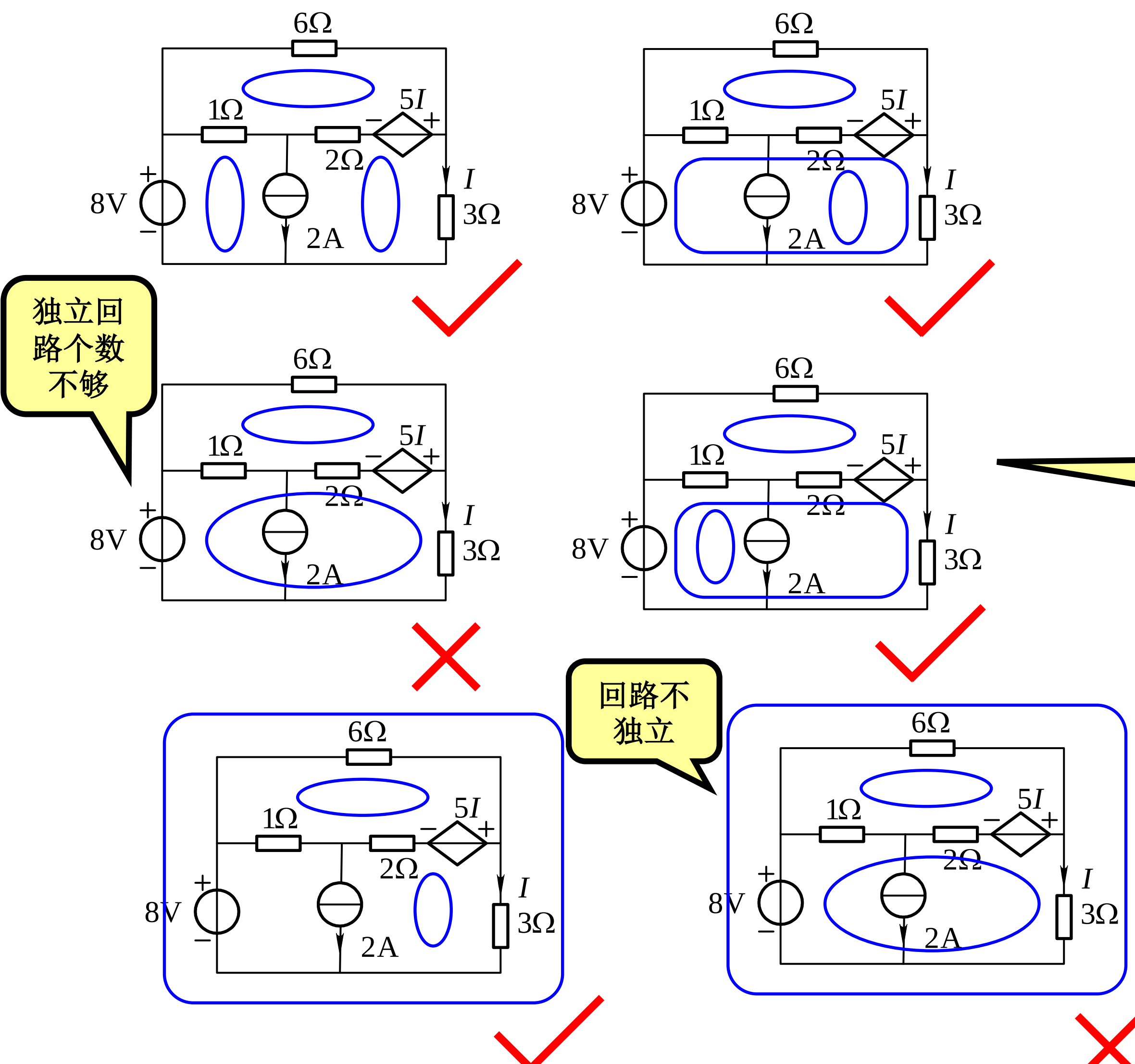
三、线性直流电路的重要性

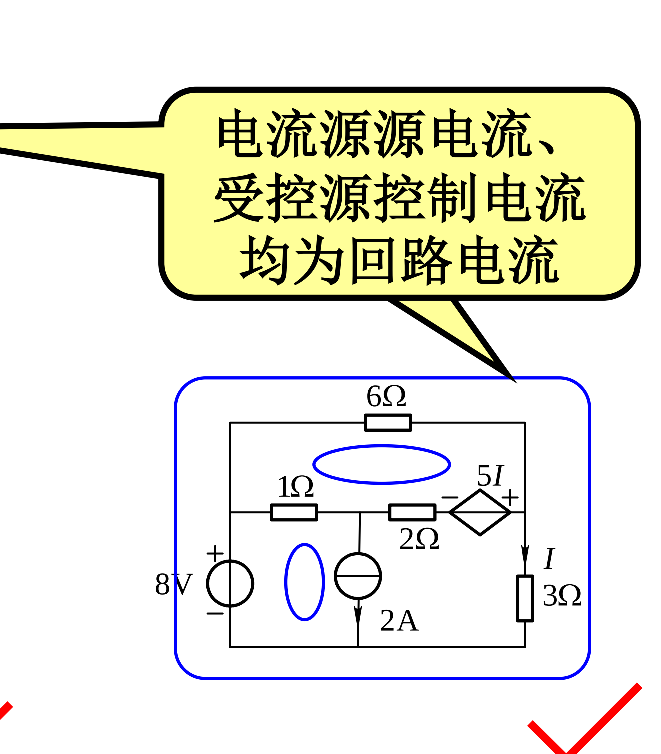
四、主要内容的学习要点

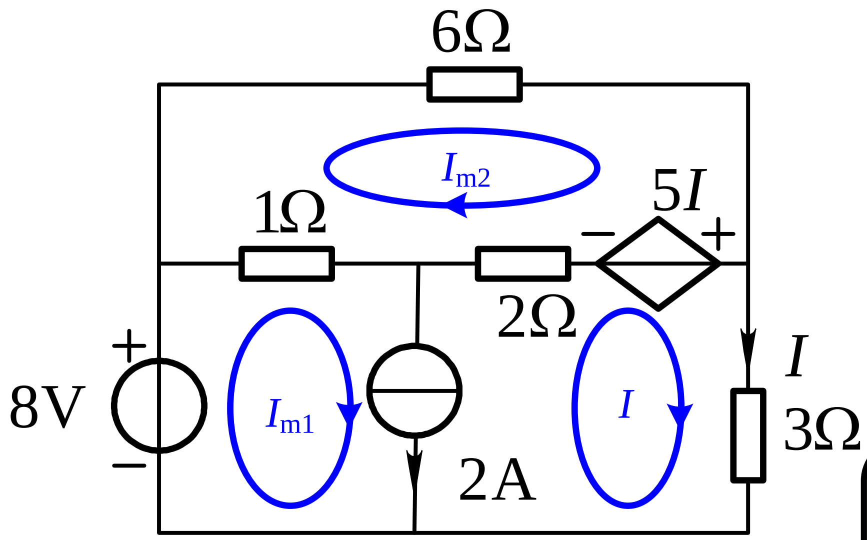
五、例题及注意事项

例1 图示线性直流电路，试用回路法或节点法求两个独立电源各自发出的功率。





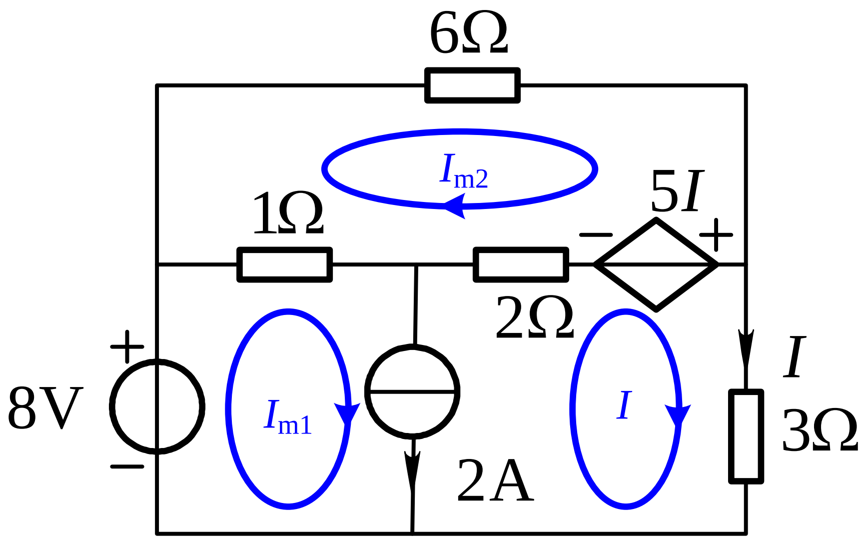




电流源有端电压存在，应列入方程

解:

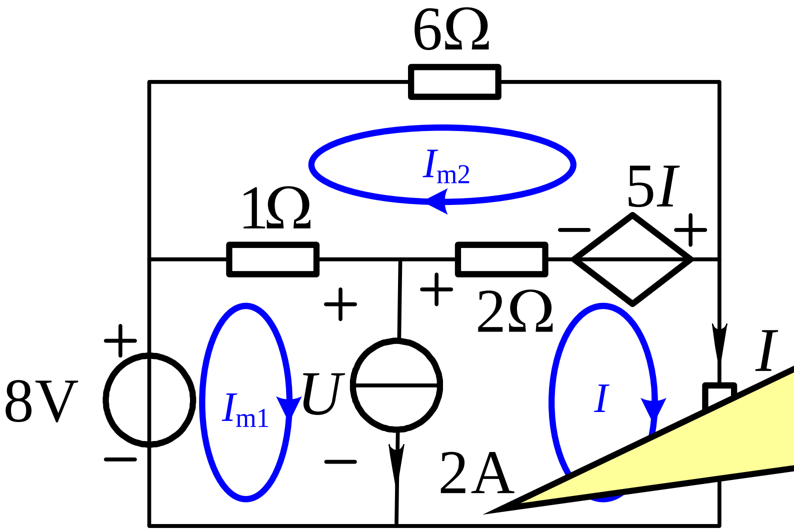
$$\left.\begin{array}{l} 1\times I_{m1}-1\times I_{m2}=8 \\ -1\times I_{m1}+(1+2+6)\times I_{m2}-2\times I+5\times I=0 \\ -2\times I_{m2}+(2+3)\times I-5\times I=0 \end{array}\right\}$$



U是什么？方程中出现的变量在电路图中一定要标明

解：

$$\left.\begin{aligned}
&1\times I_{m1}-1\times I_{m2}+U=8\\
&-1\times I_{m1}+(1+2+6)\times I_{m2}-2\times I+5\times I=0\\
&-2\times I_{m2}+(2+3)\times I-5\times I-U=0
\end{aligned}\right\}$$



电流源端电压与源电流是关联参考方向，直接相乘，所求功率是吸收功率，故前面填加负号，表明最后结果是发出功率

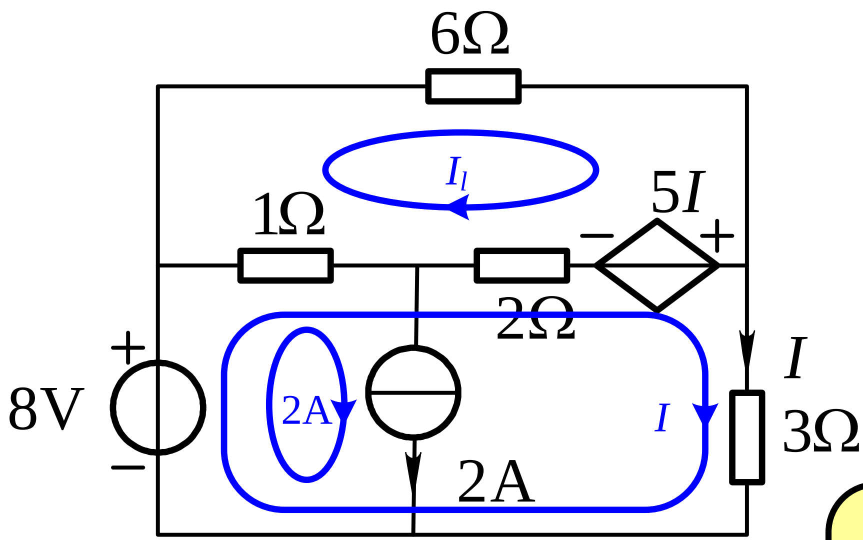
解：

$$\left.\begin{aligned}&1\times I_{m1}-1\times I_{m2}+U=8\\&-1\times I_{m1}+(1+2+6)\times I_{m2}-2\times I+5\times I=0\\&-2\times I_{m2}+(2+3)\times I-5\times I-U=0\end{aligned}\right\}$$

$$I_{m1}-I=2$$

电压源发出的功率 $P_{8V}=8\times I_{m1}$

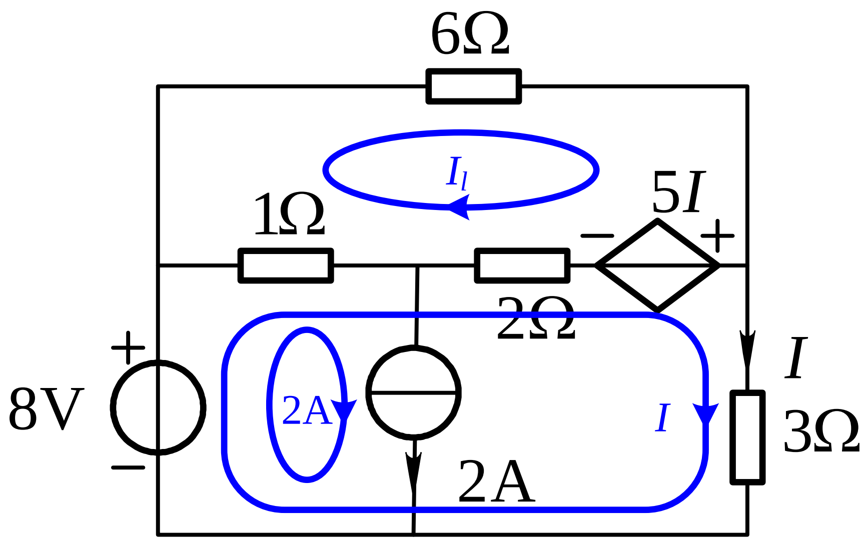
电流源发出的功率 $P_{2A}=-2\times U$



解：

电流源所在回路的电流跑到哪去了？

$$\left.\begin{aligned}(1+2+6)\times I_l-(1+2)\times I+5\times I=0\\ -(1+2)\times I_l+(1+2+3)\times I-5\times I=8\end{aligned}\right\}$$



解：

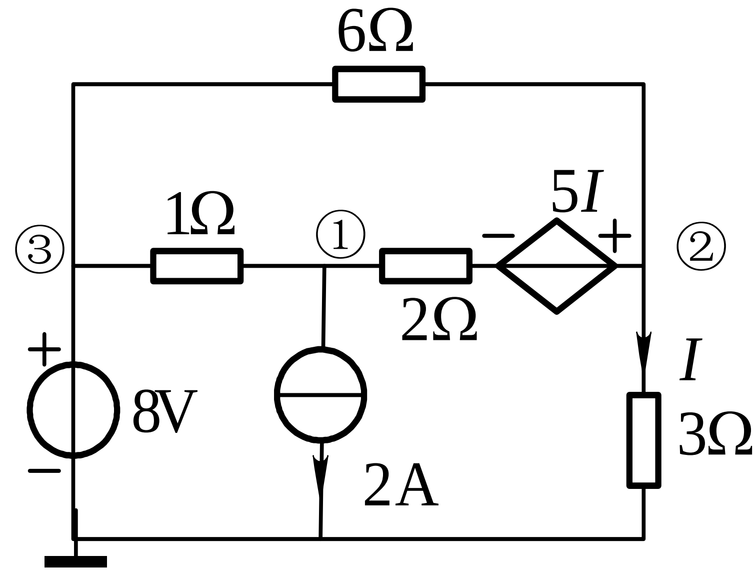
$$\left.\begin{aligned}(1+2+6)\times I_l-(1+2)\times I-1\times 2+5\times I=0\\ -(1+2)\times I_l+(1+2+3)\times I+1\times 2-5\times I=8\end{aligned}\right\}$$

电压源发出的功率 $P_{8V}=8\times(2+I)$

电流源发出的功率 $P_{2A}=-2\times[8+1\times(I_l-I-2)]$

解：

$$\left.\begin{aligned}&\xcancel{(\frac{1}{1}+\frac{1}{2})U_{n1}-\frac{1}{2}U_{n2}-\frac{1}{1}\times 8=-2-\frac{5I}{2}}\\&\xcancel{-\frac{1}{2}U_{n1}+(\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{6})U_{n2}-\frac{1}{6}\times 8=0}\end{aligned}\right\}$$



$$I=\frac{U_{n2}}{3}$$

$$\left.\begin{aligned}&(\frac{1}{1}+\frac{1}{2})U_{n1}-\frac{1}{2}U_{n2}-\frac{1}{1}\times 8=-2-\frac{5I}{2}\\&-\frac{1}{2}U_{n1}+(\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{6})U_{n2}-\frac{1}{6}\times 8=\frac{5I}{2}\end{aligned}\right\}$$

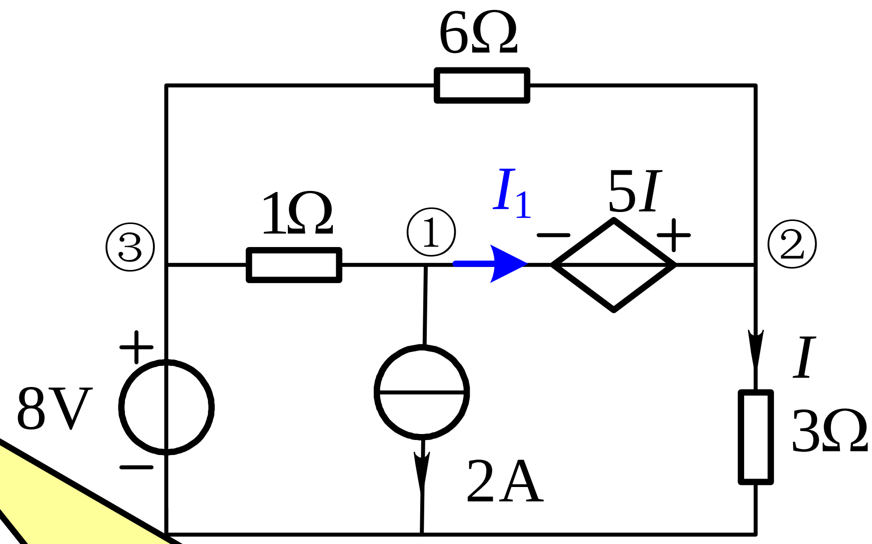
✓

电压源发出的功率 $P_{8V}=8\times(2+I)$

电流源发出的功率 $P_{2A}=-2\times U_{n1}$

解：

$$\left.\begin{aligned}&\frac{1}{1}U_{n1}-\frac{1}{1}\times 8+I_1=-2\\&\left(\frac{1}{3}+\frac{1}{6}\right)U_{n2}-\frac{1}{6}\times 8-I_1=0\end{aligned}\right\}$$



$$I=\frac{U_{n2}}{3}$$

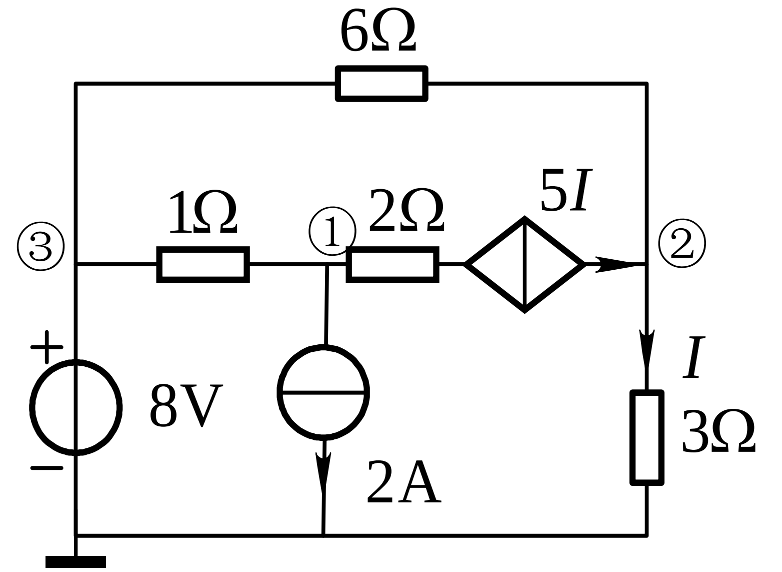
$$U_{n1}-U_{n2}=-5I$$

纯电压源支路的处理：
设电流并列入方程——
改进节点电压法

除此外，在什么情况下，还用到改进节点电压法？

解：

$$\left.\begin{aligned}&(\frac{1}{1}+\frac{1}{2})U_{n1}-\frac{1}{2}U_{n2}-\frac{1}{1}\times 8=-2-5I\\&-\frac{1}{2}U_{n1}+(\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{6})U_{n2}-\frac{1}{6}\times 8=5I\end{aligned}\right\}$$

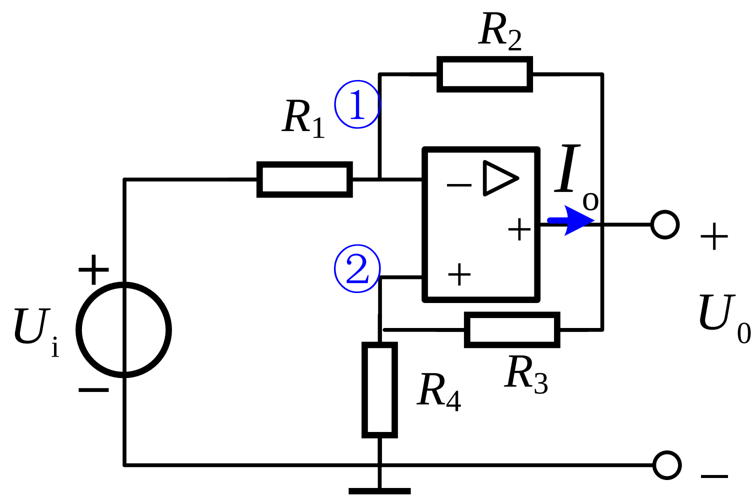


$$I=\frac{U_{n2}}{3}$$

在节点电压方程中，与电流源串联的电阻不计入自导和互导中

$$\left.\begin{aligned}&\frac{1}{1}U_{n1}-\frac{1}{1}\times 8+5I=-2\\&(\frac{1}{3}+\frac{1}{6})U_{n2}-\frac{1}{6}\times 8-5I=0\end{aligned}\right\}$$

例2 图示电路，已知R_1=2kΩ， R_2=R_3=R_4=2kΩ 。求电压比U_o/U_i。



解：

$$\left.\begin{aligned}(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2})U_- - \frac{1}{R_2}U_o = \frac{U_i}{R_1}\\ (\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4})U_+ - \frac{1}{R_3}U_o = 0\end{aligned}\right\}$$

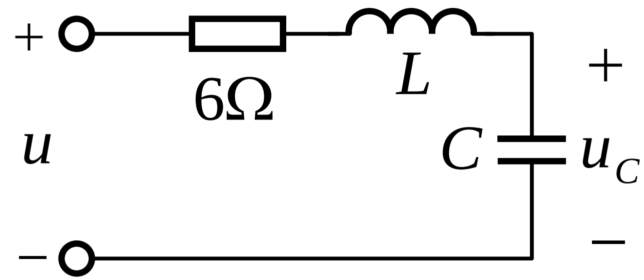
$$U_- = U_+$$

若求运算放大器输出电流怎么办?

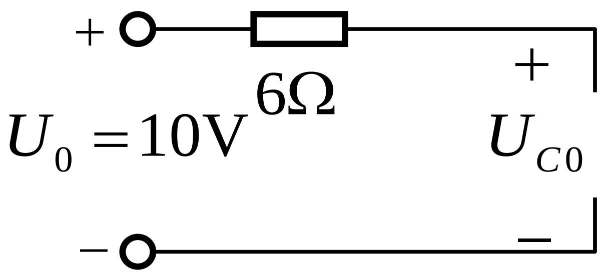
$$-\frac{1}{R_2}U_- - \frac{1}{R_3}U_+ + (\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3})U_o = I_o$$

例3 图示非正弦电路，$u=[10+12\sqrt{2}\cos(\omega t)+6\sqrt{2}\cos(2\omega t)]\text{V}$，$\omega L=2\Omega$，$1/(\omega C)=8\Omega$，求电容电压的瞬时值和有效值。

解： 叠加定理



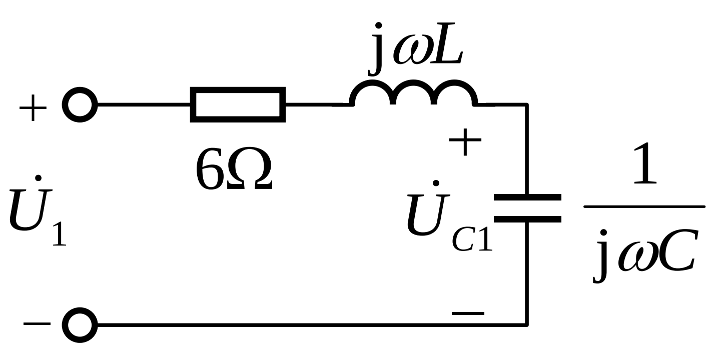
$\cancel{\dot{U}_0=10\text{V}}$ (1) $U_0=10\text{V}$



$U_{C0}=10\text{V}$

(2) $\dot{U}_1=12\angle 0°\text{V}$

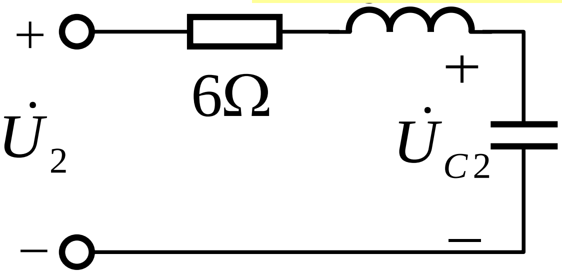
$$\dot{U}_{C1}=\frac{\frac{1}{\mathrm{j}\omega C}}{6+\mathrm{j}\omega L+\frac{1}{\mathrm{j}\omega C}}\dot{U}_1$$



$$=\frac{-8\mathrm{j}}{6+2\mathrm{j}-8\mathrm{j}}12\angle 0°=\frac{16}{\sqrt{2}}\angle -45°\text{V}$$

(3) $\dot{U}_2 = 6\angle 0°\text{V}$

$\text{j}2\omega L = \text{j}4\Omega$



$$\frac{1}{\text{j}2\omega C} = -\text{j}4\Omega$$

$$\dot{U}_{C2} = \frac{\dfrac{1}{\text{j}2\omega C}}{6 + \text{j}2\omega L + \dfrac{1}{\text{j}2\omega C}}\dot{U}_2$$

$$= \frac{-4\text{j}}{6 + 4\text{j} - 4\text{j}} 6\angle 0° = 4\angle -90°\text{V}$$

$$u_C = 10 + 16\cos(\omega t - 45°) + 4\sqrt{2}\cos(\omega t - 90°)\ \text{V}$$

$$U_C = \sqrt{10^2 + \frac{16^2}{2} + 4^2} = 15.6\ \text{V}$$

谢谢！

祝同学们在期末取得好成绩！