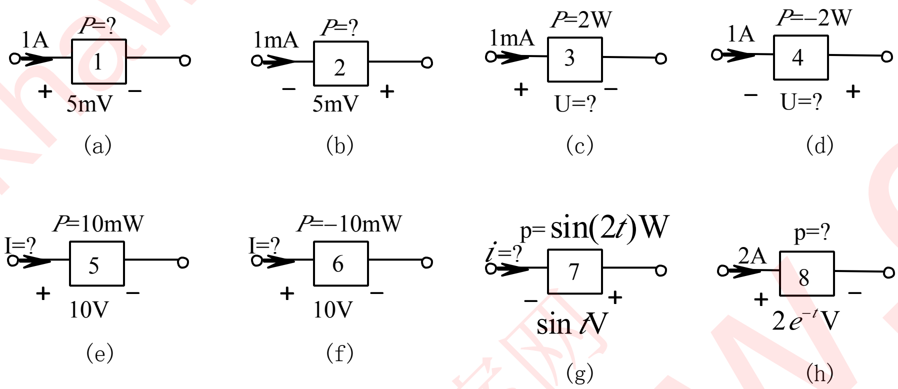
第一次作业：1-1， 1-4， 1-5， 1-6 题的参考答案

本次作业所用到的知识点：

1）参考方向与关联参考方向的概念；2）计算功率的公式；3）功率正负值得含义；4）KCL 方程；KVL 方程。

1-1. 各二端元件的电压、电流和吸收功率如题 1—1 图所示，试确定图中指出的未知量。



题 1—1 图

解：

1. 在图（a）中电压、电流取关联参考方向，计算功率要用（1-4）式

即 $p=u\cdot i=(5mv)\cdot 1A=5mW>0$ ←支路 1 吸收功率。

2. 在图（b）中电压、电流取非关联参考方向，计算功率要用（1-5）式

即 $p=-u\cdot i=-(5mv)\cdot 1mA=-5\mu W<0$ ←支路 2 供出功率。

3. 在图（c）中电压、电流取关联参考方向，计算功率要用（1-4）式

即 $p=U\cdot I=(U)\cdot 1mA=2W>0$ ←支路 3 吸收功率

$$U=\frac{P}{I}=\frac{2}{1\times10^{-3}}=2000V$$

4. 在图（d）中电压、电流取非关联参考方向，计算功率要用（1-5）式

即 $p=-U\cdot I=-(U)\cdot 1A=-2W<0$ ←支路 4 供出功率

$$U=-\frac{P}{I}=-\frac{-2W}{1A}=2V$$

5. 在图（e）中电压、电流取关联参考方向，计算功率要用（1-4）式

即 $p=U\cdot I=10V\cdot I=10mW>0$ ←支路 5 吸收功率

$$I=\frac{P}{U}=\frac{10mW}{10V}=1mA$$

6．在图（f）中电压、电流取关联参考方向，计算功率要用（1-4）式

即 $p = U \cdot I = (10\text{V}) \cdot I = -10\text{mW} < 0$　←支路 6 供出功率

$$I = \frac{P}{U} = \frac{-10\text{mW}}{10\text{V}} = -1\text{mA}$$

7．在图（g）中电压、电流取非关联参考方向，计算功率要用（1-5）式

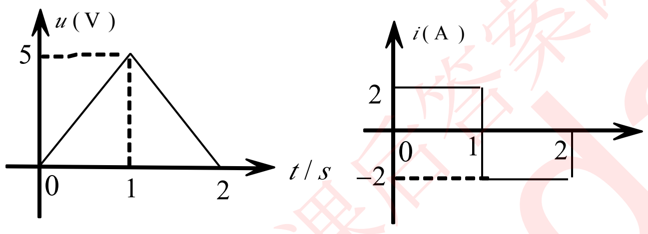
即 $p = -u \cdot i = -\sin t \cdot i = \sin 2t\,\text{W}$

由倍角公式 $\sin 2t = 2\sin t\cos t$ 可得 $i = -2\cos t$ A

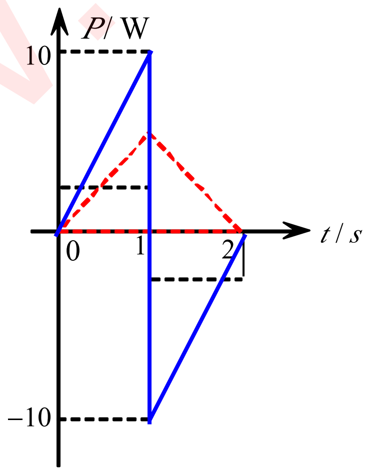
8．在图（h）中电压、电流取关联参考方向，计算功率要用（1-4）式

即 $p = u \cdot i = (2e^{-t}) \cdot 2\text{A} = 4e^{-t}\text{W}$

1-4．某元件电压 u 和电流 i 的波形如题 1—4 图所示，u 和 i 为关联参考方向，试绘出该元件吸收功率 $P(t)$ 的波形，并计算该元件从 $t = 0$ 至 $t = 2\text{S}$ 期间吸收的能量。



题 1–4 图



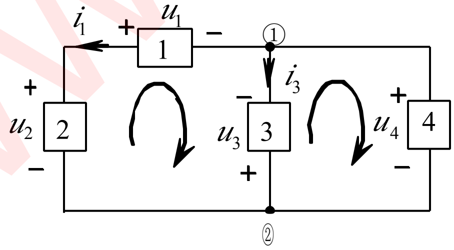
实线为题 1–4 图的功率波形

解：

1．吸收功率 $P(t)$ 的波形如图所示

2．从 $t = 0$ 至 $t = 1\text{S}$ 期间 $P(t) > 0$ 该元件吸收能量；从 $t = 1$ 至 $t = 2\text{S}$ 期间 $P(t) < 0$ 该元件提供能量，因此该元件从 $t = 0$ 至 $t = 2\text{S}$ 期间吸收的能量为零。

1-5．如题 1—5 图所示电路，已知 $I_1 = 24\text{A}, I_3 = 1\text{A}, I_4 = 5\text{A}, I_7 = -5\text{A}, I_{10} = -3\text{A}$，求其它未知电流。



题 1—6 图

解：

其中 $I_{11} = -I_1 = -24\text{A}$, $I_{12} = -I_4 = -5\text{A}$

（其中红色为待求电流）

1．对节点①列 KCL 方程可得

$$I_1+I_5+I_7=0\rightarrow I_5=-(I_1+I_7)=-(24-5)=-19\text{A}$$

2．对节点③列 KCL 方程可得

$$I_3-I_6-I_7-I_{12}=0\rightarrow I_6=I_3-I_7-I_{12}=1-(-5)-(-5)=11\text{A}$$

3．对节点②列 KCL 方程可得

$$I_2-I_5+I_6=0\rightarrow I_2=I_5-I_6=(-19)-(11)=-30\text{A}$$

4．对节点④列 KCL 方程可得

$$-I_2+I_8+I_{10}+I_{11}=0\rightarrow I_8=I_2-I_{10}-I_{11}=(-30)-(-3)-(-24)=-3\text{A}$$

5．对节点⑤列 KCL 方程可得

$$-I_3-I_8+I_9=0\rightarrow I_9=I_3+I_8=(1)+(-3)=-2\text{A}$$

1-6．如题图 1—6 所示电路中， $i_1=2\text{A}, i_3=-3\text{A}, u_1=10\text{V}, u_4=-5\text{V}$，试求各元件吸收的功率。

解：

为了求解每一支路的功率先求出各支路未知电压和电流

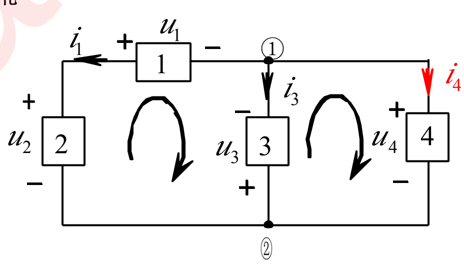
1．对右边网孔列 KVL 方程可得

$$u_3+u_4=0\rightarrow u_3=-u_4=5\text{V}$$

（其中红色为待求电流）

2．对左边网孔列 KVL 方程可得

$$u_1-u_3-u_2=0\rightarrow u_2=u_1-u_3=(10)-(5)=5\text{V}$$



题 1—6 图

3．对节点①列 KCL 方程可得

$$i_1+i_3+i_4=0\rightarrow i_4=-(i_1+i_3)=1\text{A}$$

4．各元件吸收的功率

$p_1=-u_1i_1=-20\text{W}$ ←支路 1 供出功率

$p_2=u_2i_2=5\times2=10\text{W}$ ←支路 2 消耗功率（其中 $i_2=i_1$）

$p_3=-u_3i_3=-(5)(-3)=15\text{W}$ ←支路 3 消耗功率

$p_4=u_4i_4=(-5)\times1=-5\text{W}$ ←支路 4 提供功率

第二次作业 的参考答案：

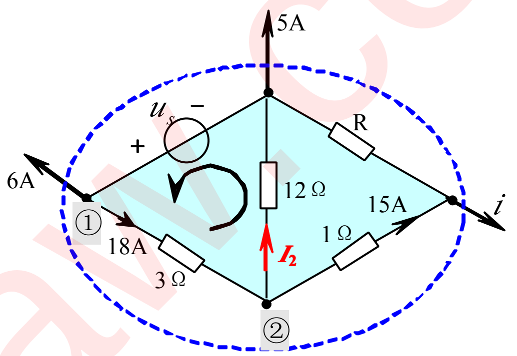
作业题 1-9， 1-10（a）（c）（e），1-11， 1-15， 1-16，

本次作业所用到的知识点：

1）参考方向与关联参考方向的概念

2）KCL 方程；KVL 方程
3）电阻、电压源、电流源元件的VCR
} **两类约束的概念**

1-9．求题图 1-9 所示电路中的 u_s 和 i。



题 1—9 图

注：电阻支路电压电流参考方向关联

解：

设待求电压、电流参考方向如图中所示

1．对封闭面列 KCL 方程可得

$i+5+6=0 \to i=-11\text{A}$

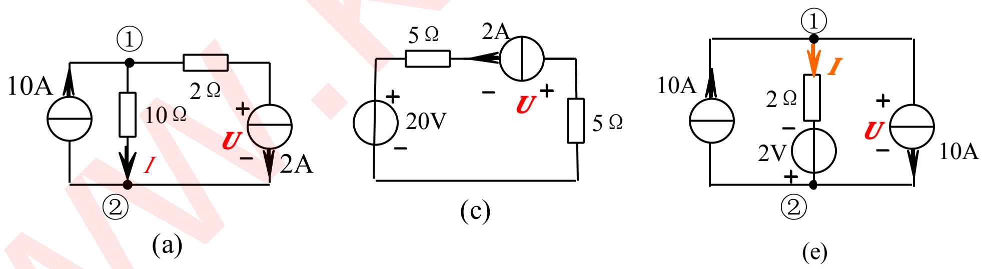
2．对节点②列 KCL 方程可得

$I_2-18+15=0 \to I_2=3\text{A}$

3．对左边网孔列 KVL 方程可得，

$-u_s+3\Omega\times18\text{A}+12\Omega\times3\text{A}=0 \to u_s=90\text{V}$

1-10．试求题 1—10 图所示电路的电压 U 和电流 I。



题 1—10 图

解：

设待求电压、电流参考方向如图中所示

1． 在图（a）中对节点①列 KCL 方程可得 $I=8\text{A}$

在图（a）中对右边网孔按顺时针列 KVL 方程可得

$U-10I+(2\Omega\times2\text{A})=0 \to U=10I-2\times2=76\text{V}$

2． 在图（c）中对回路按逆时针列 KVL 方程可得

$U+(5\Omega+5\Omega)\times2\text{A}+20=0 \to U=-40\text{V}$

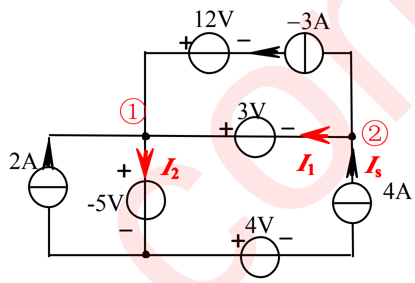
3． 在图（e）中对节点①列 KCL 方程可得 $I=0\text{A}$

在图（e）中对右边网孔按顺时针列 KVL 方程可得

$U+2-(2I)=0\to U=-2\text{V}$

1-11．题 1—11 图所示电路，（1）求－5V 电压源提供的功率；（2）如果要使－5V 电压源提供的功率为零，4A 电流源应改变为多大电流？

解：设待求电压、电流参考方向如图中所示



题 1－11 图

1．对节点②列 KCL 方程可得 $I_1=7\text{A}$

对节点①列 KCL 方程可得 $I_2=6\text{A}$

5V 电压源支路电压、电流取关联求其功率时采用（1-4）式

$\boldsymbol{p=U_s\cdot I_2=(-5\text{V})\cdot 6\text{A}=-30\text{W}<0}$ ←即电压源提供 30W 的功率。

2． 5V 电压源不提供功率时流过的电流 $I_2=0$

此时对节点①列 KCL 方程可得 $I_1+2-3=0\text{A}\to I_1=1\text{A}$

设 5V 电压源不提供功率时 4A 电流源值改变为 I_s 对节点②列 KCL 方程可得

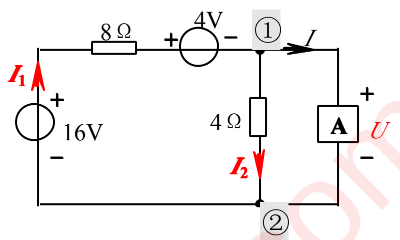
$I_1-3-I_s=0\to I_s=I_1-3=-2\text{A}$

1-15．电路如题图 1—15 所示，已知 16V 电压源发出 8W 功率。试求电压 U 和电流 I 以及未知元件 A 吸收的功率。

解：

设待求电压、电流参考方向如图中所示

1．由计算功率的（1-5）式可求得流过 16V 电压源



题 1－15 图

的电流 $I_1=0.5\text{A}$

对外沿回路列 KVL 方程可得

$8I_1+4+U-16=0\to U=16-4-8I_1=8\text{V}$

2．对右边网孔逆时针列 KVL 方程可得

$4I_2-U=0\to I_2=\frac{U}{4}=\frac{8}{4}=2\text{A}$

对节点①列 KCL 方程可得

$I=I_1-I_2\to I=0.5-2=-1.5\text{A}$

由计算功率的（1-4）式可求得元件 A 吸收的功率为

$p=U\cdot I=(8)\cdot(-1.5)=-12\text{W}<0$ ←支路吸收-12 瓦的功率（即提供 12 瓦的功率）

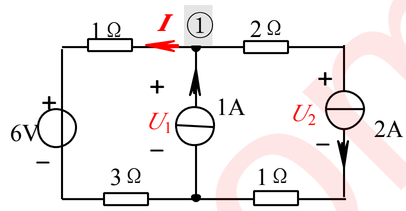
1-16．电路如题图 1—16 所示，求每个独立电源的功率。

I_1

解：

设待求电压、电流参考方向如图中所示

1．对节点①列 KCL 方程可得 $I=-1\text{A}$



题 1－16 图

2．对左边网孔逆时针列 KVL 方程可得

$$4I+6-U_1=0 \rightarrow U_1=4I+6=4(-1)+6=2\text{V}$$

3．对右边网孔时针列 KVL 方程可得

$$3I_s-U_1+U_2=0 \rightarrow U_2=U_1-3I_s=2-3\times 2=-4\text{V}$$

4．由计算功率的公式可求得三个独立电源的功率分别为

$p_{6\text{V}}=U_S\cdot I=(6)\cdot(-1)=-6\text{W}<0$ ←吸收−6 瓦的功率（即提供 6 瓦的功率）

$p_{1\text{A}}=-U_1\cdot I_S=-(2)\cdot(1)=-2\text{W}<0$ ←吸收−2 瓦的功率（即提供 2 瓦的功率）

$p_{2\text{A}}=U_2\cdot I_S=(-4)\cdot(2)=-8\text{W}<0$ ←吸收−8 瓦的功率（即提供 8 瓦的功率）

第三、四次课外作业参考答案：

作业题　1-12,　1-14,　2-10,　2-16,　2-17，2-12, 2-14

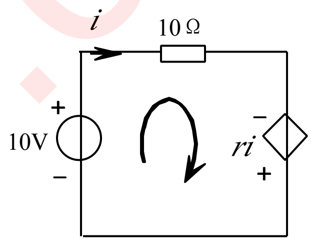
作业题　2-19, 2-20

本次作业所用到的知识点：

1）参考方向与关联参考方向的概念；2）计算功率的公式；

2）KCL 方程；KVL 方程
3）电阻、电压源、电流源及受控源元件的 VCR　} **两类约束的概念**
4）等效电路及等效变换的概念

1-12．电路如图 1—12 所示，其中受控源参数 $r = 5\Omega$，求各元件吸收的功率。



题 1－12 图

解：分析计算含受控源电路的基本依据仍为两类约束

1．对回路顺时针列 KVL 方程可得

$$10i - ri - 10 = 0 \rightarrow (10-r)i = 10 \rightarrow i = \frac{10}{(10-r)} = 2\text{A}$$

2．由计算功率的公式可求得三个元件的功率分别为

$p_{10\text{V}} = -U_S \cdot i = -(10)\cdot(2) = -20\text{W}<0$　←吸收-20 瓦的功率（即提供 20 瓦的功率）

$p_{10\Omega} = 10i^2 = 40\text{W}>0$　←吸收 40 瓦的功率

$p_{受} = -(ri)\cdot i = -20\text{W}<0$　←吸收-20 瓦的功率（即提供 20 瓦的功率）

1-14．电路如题图 1—14 所示，若 $u_s = -19.5\text{V}, u_1 = 1\text{V}$,求 R。

解：

1．对中间网孔列 KVL 方程可得 $u_2 = 9u_1 = 9\text{V}$

由欧姆定律可得 $i_2 = \dfrac{u_2}{2\Omega} = 4.5\text{A}$

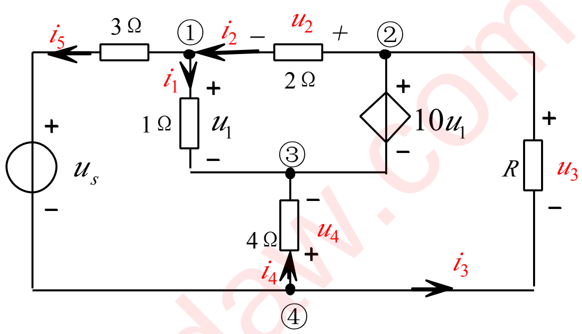
$i_1 = \dfrac{u_1}{1\Omega} = 1\text{A}$

2．对节点①列 KCL 方程可得 $i_5 = 3.5\text{A}$

3．对左边网孔逆时针列 KVL 方程可得

$$-u_1 + 3i_5 + u_s + u_4 = 0 \rightarrow u_4 = 10\text{V}$$

由欧姆定律可得 $i_4 = \dfrac{u_4}{4\Omega} = 2.5\text{A}$



题 1－14 图

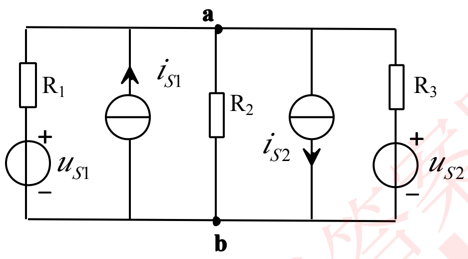
4．对右边网孔逆时针列 KVL 方程可得

$10u_1 - u_4 - u_3 = 0 \rightarrow u_3 = 0\text{V}$

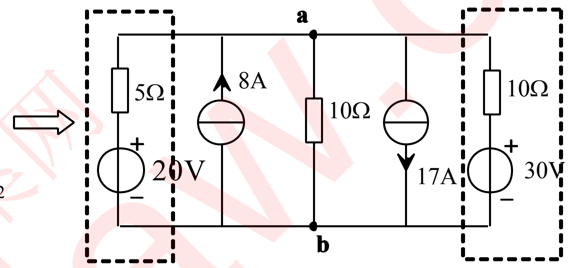
对节点④列 KCL 方程可得 $i_5 - i_4 - i_3 = 0\text{A} \rightarrow i_3 = i_5 - i_4 = 1\text{A}$

由欧姆定律可得 $u_3 = Ri_3 = 0$，其中 $i_3 = 1\text{A} \neq 0$ 可得 $R = 0$

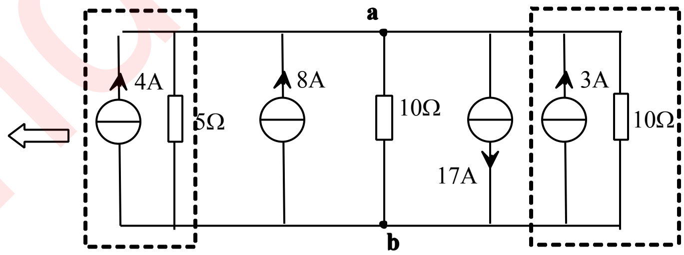
2-10 在题 2－10 图中，$u_{s1} = 20\text{V}, u_{s2} = 30\text{V}, i_{s1} = 8\text{A}, i_{s2} = 17\text{A}, R_1 = 5\Omega, \quad R_2 = 10\Omega, R_3 = 10\Omega$，利用电源等效变换求电压 u_{ab}。



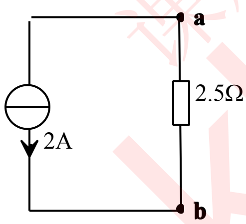
题 2－10 图



题 2－10 图 1



题 2－10 图 2



题 2－10 图 3

解:

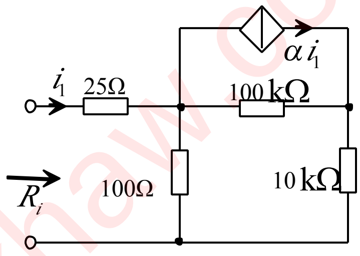
第一步: 在题 2－10 图 1 中，把两个虚线框所示电压源串联电阻支路等效变换成电流源并电阻支路。

第二步: 利用电流源并电阻支路的等效规律，可把题 2－10 图 2 等效成如题 2－10 图 3 所示

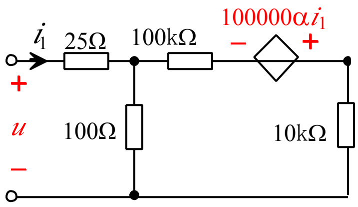
第三步: 在题 2－10 图 3 中利用欧姆定律可得 $u_{ab} = -2.5I_s = -5\text{V}$

（注意：其中负号是因为对电阻来说电压、电流参考方向取非关联所致）

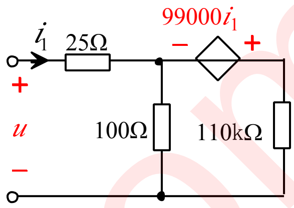
2-12 求题图 2—12 所示电路的输入电阻 R_i，已知 $\alpha=0.99$。



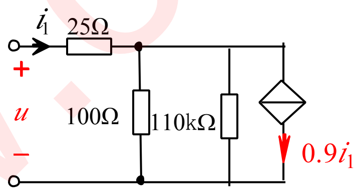
题 2—12 图



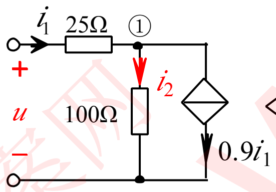
题 2—12 图 1



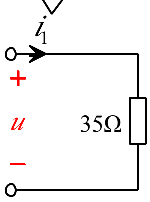
题 2—12 图 2



题 2—12 图 3



题 2—12 图 4



题 2—12 图 5

解:

第一步: 利用电流源并电阻和电压源串电阻支路的等效规律，把题 2—12 图等效成如题 2—12 图 4 所示，等效变化过程如题 2—12 图 1、2、3、4 所示。

第二步:

1）在题 2—12 图 4 中列对节点①列 KCL 方程可得 $i_2=i_1-0.9i_1=0.1i_1$

2）列出端钮的 VCR 可得

$u=25i_1+100i_2=25i_1+100(0.1i_1)=35i_1$ ←其端钮的 VCR 满足电阻元件的来 VCR，因此其等效电路为一电阻，如题 2—12 图 5 所示。

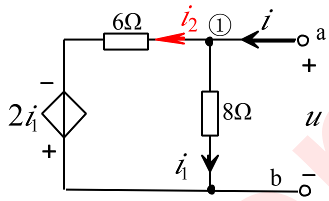
$$R_i=\frac{u}{i_1}=35\Omega$$

2–14 求题图 2—14 电路 ab 端的等效电路。

解： 求等效电路就是从求端钮上的 VCR 入

1）在题 2—14 图中列对节点①列 KCL 方程可得

$$i_2 = i - i_1$$



题 2—14 图

2）由欧姆定律可得 $i_1 = \dfrac{u}{R} = \dfrac{u}{8}\text{A}$

3）列出端钮的 VCR 可得

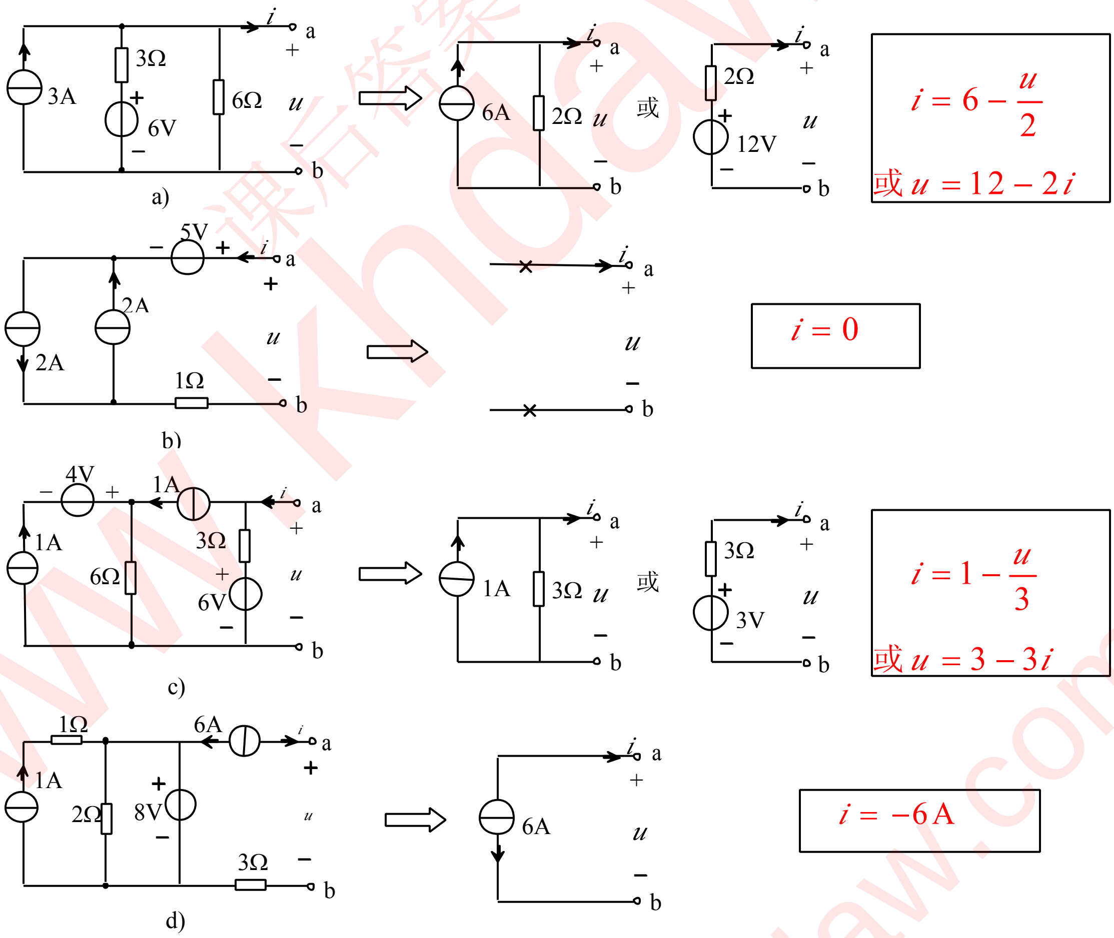
$$u = 6i_2 - 2i_1 = 6(i - i_1) - 2i_1 = 6i - 8i_1 = 6i - u$$

整理上式可得

$2u = 6i \rightarrow u = 3i$ 该式即为电阻元件的 VCR，因此有

$$R = \frac{u}{i} = 3\Omega$$

2–16 求题图 2–16 所示各电路 ab 端的等效电路，并写出其 VCR。

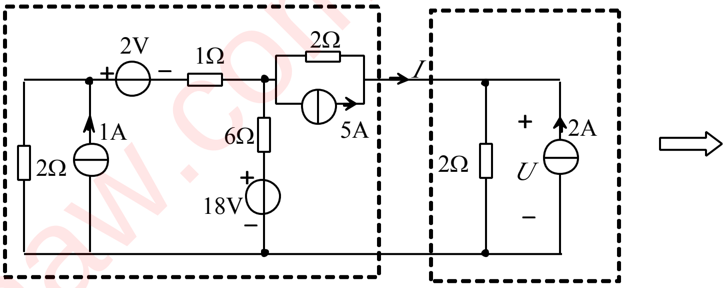


题 2–16 图

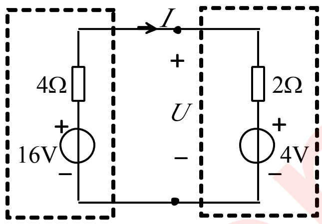
解：

利用含源单口网络的等效规律进行化简的等效电路及其 VCR 如上图中所示。

2–17 题图 2–17 所示各电路中，求 U 和 I。



题 2–17 图



题 2–17 图的等效电路

解：

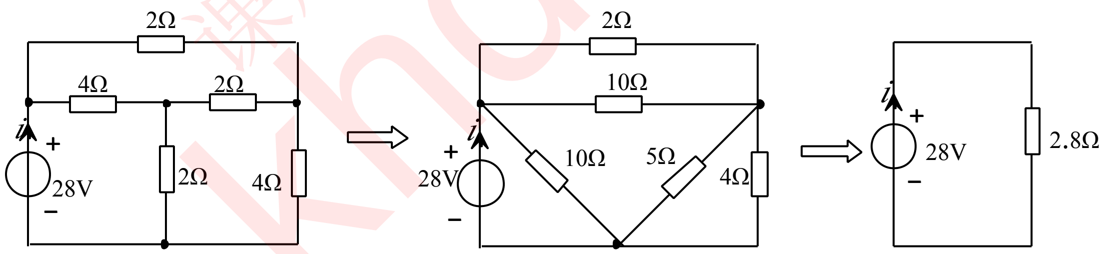
1）利用含源单口网络的等效规律进行化简的等效电路如上图中所示。

2）对等效电路列 KVL 方程可得

$2I+4-16+4I=0 \rightarrow I=2\text{A}$

$U=2I+4=8\text{V}$

2–19 利用 T-π变换求解题图 2—19 所示电路中的电流 i。



题 2—19 图

解：

1）利用 T-π变换进行化简得等效电路如上图中所示。

2）在等效电路中易求得 $i=10\text{A}$

2–20 求题图 2—20 所示电路中的 U 和 I。

解：

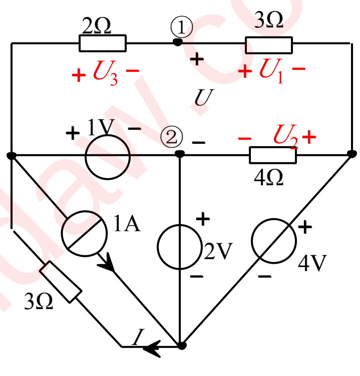
1．对左边由 3 欧电阻、和两个电压源回路列 KVL 方程可得 $3I+1+2=0 \rightarrow I=-1\text{A}$

2．对右边网孔列 KVL 方程可得

$U_2+2-4=0 \rightarrow U_2=2\text{V}$

3．对上边网孔列 KVL 方程可得

$U_2-1+U_3+U_1=0 \rightarrow U_3+U_1=-1\text{V}$



题 2—20 图

4．由分压关系可得 $U_1 = -0.6\text{V}$

5．可得 $U = U_1 + U_2 = 1.4\text{V}$

第 5、6、7 次作业 的参考答案:

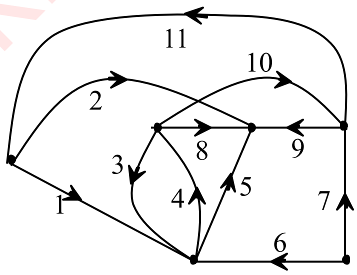
作业题 3-1， 3-5，3-9， 3-11 ，3-12，3-14， 3-16，3-17， 3-19 ，3-20,，3-21，
4-1， 4-3， 4-5，4-9，

3–1 拓扑图如题 3–1 图所示，指出下列支路的集合中，哪些集合中的支路电压为一组完备的独立变量。{1, 2, 6, 8, 10}, {3, 4, 5, 8}, {1, 3, 6, 11}, {1, 4, 7, 8, 11}, {5, 6, 7, 11}。

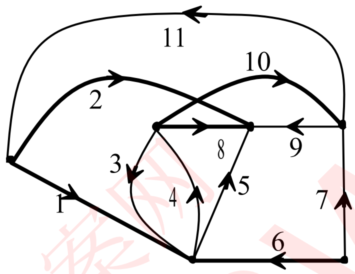
解:

树支电压是一组完备的独立变量，因此只要判断每一支路集合是否满足图的一种树即可。

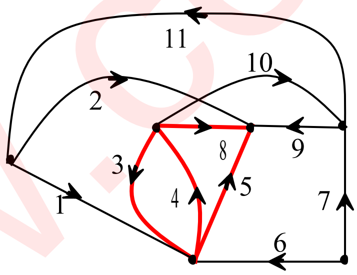
显然， 集合{1, 2, 6, 8, 10}和{1, 4, 7, 8, 11}恰好分别是图的一种树，如图 (a)、 (d)所示。



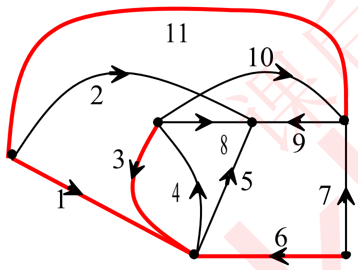
题 3—1 图



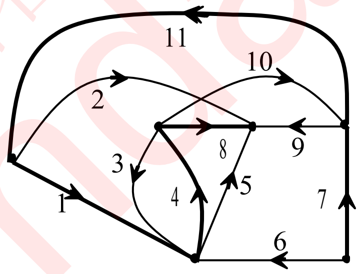
题 3—1 图 (a)



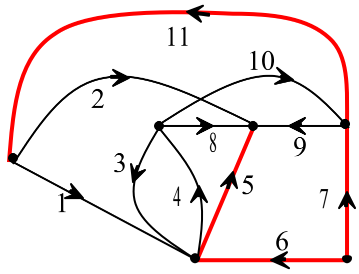
题 3—1 图 (b)



题 3—1 图 (c)



题 3—1 图 (d)



题 3—1 图 (e)

3–5 如题 3－5 图所示有向图，若选支路 3，4，5，7，8 为树支，指出所有的基本回路和基本割集。

解:

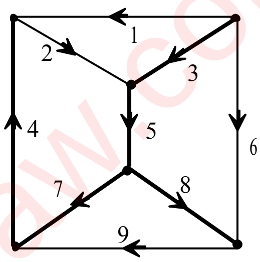
该图有 5 条树支有五个基本割集，4 条连支有四个基本回路

五个基本割集分别为

{3, 1, 6}， {4, 1, 2}， {5, 1, 2， 6}， {7, 1, 2， 9}， {8, 6, 9}

四个基本回路分别为

{1, 4, 7， 5， 3}， {2, 5, 7， 4}， {6, 8, 5， 3}， {9， 7, 8}，



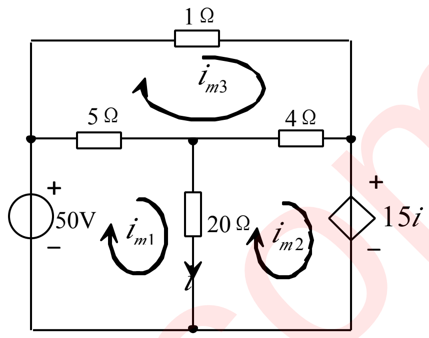
题 3－5 图

3-9．含受控源电路如题 3－9 图所示，试求受控源功率。

解： 设网孔电流及参考方向如图中所示。

先把受控电压源当作电压值为$15i$的独立电压源对待，按照含电阻和独立电压源的电路列网孔方程的方法分别对三个网孔列网孔方程得

$$\begin{cases} 25i_{m1}-20i_{m2}-5i_{m3}=50 & (1) \\ -20i_{m1}+24i_{m2}-4i_{m3}=-15i & (2) \\ -5i_{m1}-4i_{m2}+10i_{m3}=0 & (3) \end{cases}$$



题 3—9 图

其中 $15i$ 是受控电压源，需要把控制量 i 用网孔电流表示，即

$$i=i_{m1}-i_{m2} \qquad (4)$$

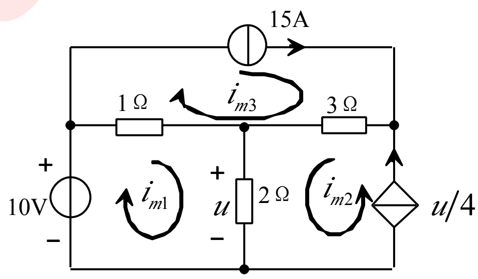
解方程可得

$i_{m1}=29.6\text{A}$，$i_{m2}=28\text{A}$，$i=i_{m1}-i_{m2}=1.6\text{A}$

$$P_{受}=(15i)i_{m2}=672\text{W}$$

3-11 如题 3—11 图所示电路，试用网孔电流法求电路（a）（b）中的电压 u。

解： 图(a)电路，各网孔电流及其参考方向如中所示。该电路中两个电流源位于电路的边沿，先暂时把其中的受控电流源当作 $i_s=u/4$ 的独立电流源对待，它们所在的网孔电流就是电流源的电流，即



题 3—11 图(a)

$i_{m2}=u/4$，$i_{m3}=15\text{A}$

对网孔 1 列方程可得

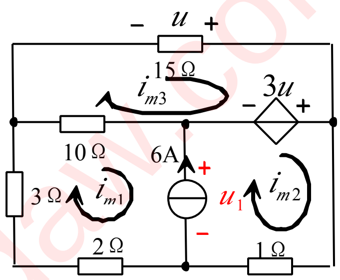
$$3i_{m1}+2i_{m2}-i_{m3}=10$$

其中 $i_{m2}=u/4$ 是受控电流源，需要把控制量 u 用网孔电流表示，即

$$u=2(i_{m1}+i_{m2})$$

解以上方程可得

$i_{m1}=5\text{A}$，$i_{m2}=5\text{A}$，$u=20\text{V}$



题 3—11 图(b)

解： 图(b)电路，各网孔电流及其参考方向如中所示。

此电路中 6A 电流源支路为网孔 1 和网孔 2 共有，需要考虑电流源端电压，为了和控制量区别设其端电压为 u_1，

如图中所示。把受控电压源暂时当作电压值为 $3u$ 的独立电压源对待，用观察法列三个网孔方程得

$$\begin{cases} 15i_{m1}-10i_{m3}=-u_1 & (1) \\ i_{m2}=u_1+3u & (2) \\ -10i_{m1}+25i_{m3}=-3u & (3) \end{cases}$$

以上三个网孔方程中，先把受控源当作电压值为 $3u$ 独立电压源对待，含有 4 个未知数，因此还需要补充一个方程。根据电流源支路电流与网孔电流关系可得

$$i_{m2}-i_{m1}=6 \qquad (4) \leftarrow \text{补充方程}$$

最后还需要把控制量 u 用网孔电流和电阻乘积表示，即

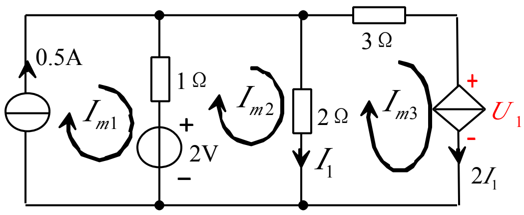
$$u=-15i_{m3} \qquad (5)$$

解方程可得

$i_{m1}=4\text{A}$，$i_{m2}=10\text{A}$，$i_{m3}=-2\text{A}$，$u=-15i_{m3}=30\text{V}$

3–12．如题图 3－12 所示电路，试用网孔法求 I_1 和受控源功率。

解： 各网孔电流及其参考方向如中所示。该电路中两个电流源位于电路的边沿，先暂时把其中的受控电流源当作 $I_s=2I_1$ 的独立电流源对待，它们所在的网孔电流就是电流源的电流，即



题 3－12 图

$$I_{m1}=0.5\text{A}, \quad I_{m3}=2I_1$$

对网孔 2 列方程可得

$$-I_{m1}+3I_{m2}-2I_{m3}=2$$

其中 $I_{m3}=2I_1$ 是受控电流源，需要把控制量 I_1 用网孔电流表示，即

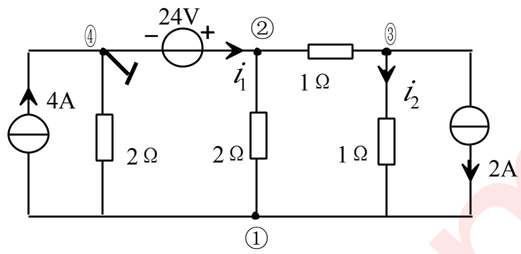
$$I_1=I_{m2}-I_{m3}$$

解以上方程可得 $I_{m2}=1.5\text{A}$, $I_1=0.5\text{A}$

对第三个网孔由 KVL 可得 $U_1=-3(2I_1)+2\times I_1=-2\text{V}$

受控源的功率 $P_{受}=U_1(2I_1)=-2(2\times0.5)=-2\text{W}$

3-14．电路如题图 3－14 所示，试用节点法求 i_1、i_2。



题 3－14 图

解　电路含一个理想电压源支路，可设电压源支路的负端为参考点，各独立节点及参考点如图中所示，　因为节点②与参考点之间接的是电压源，所以节点②电压为已知数。即

$$u_{n2}=24\text{V} \qquad (1)$$

对节点①和节点③列节点方程可得

$$2u_{n1}-\frac{1}{2}u_{n2}-u_{n3}=-2 \qquad (2)$$

$$-u_{n1}-u_{n2}+2u_{n3}=-2 \qquad (3)$$

解以上方程可得

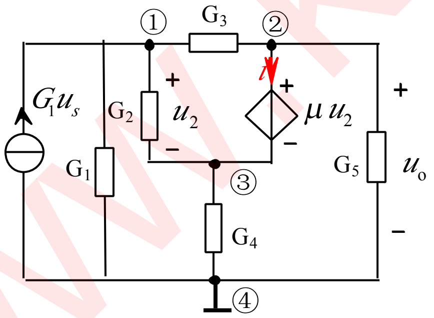
$$u_{n1}=14\text{V},u_{n3}=18\text{V}$$

进而求得

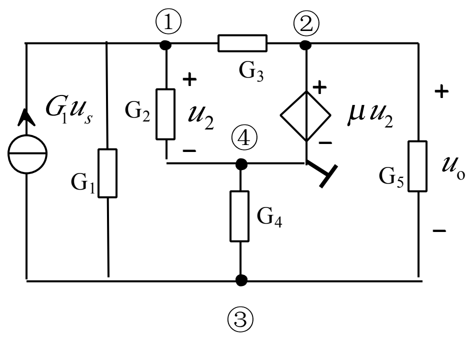
$$i_1=\frac{u_{n3}-u_{n1}}{1\Omega}=4\text{A}$$

$$i_2=\frac{u_{n2}-u_{n1}}{2\Omega}+\frac{u_{n2}-u_{n3}}{1\Omega}=11\text{A}$$

3-16　题 3－16 图所示电路，试列出求 u_o 所需的节点方程。



题 3－16 图 (a)



题 3－16 图 (b)

解：

方法一：　（当参考点给定时）

此电路含有电压源串联电阻支路，先把电压源串联电阻支路等效转换成电流源并电阻支路，各独立节点及参考点如图 a 所示，对节点②和③列节点电流方程时要考虑受控电压源的电流 i

对三个独立节点①②③列方程可得

$$(G_1+G_2+G_3)u_{n1}-G_3u_{n2}-G_2u_{n3}=G_1u_s \qquad (1)$$

$$-G_3u_{n1}+(G_3+G_5)u_{n2}=-i \qquad (2)$$

$$-G_2u_{n1}+(G_2+G_4)u_{n3}=i \qquad (3)$$

由受控电压源支路与节点电压的关系可得补充方程

$$\mu u_2=u_{n2}-u_{n3} \qquad (4)$$

最后还需要把控制量 u_2 用节点电压表示，即

$$u_2=u_{n1}-u_{n3} \qquad (5)$$

由以上方程即可解出 u_{n1}、u_{n2}、u_{n3}，$u_o=u_{n2}$

方法二：（当参考点任选时）

把电压源串联电阻支路等效转换成电流源并电阻支路后，电路含一个受控电压源，可设受控电压源的负端为参考点，各独立节点及参考点如图 b 所示。受控电压源先当作独立电压源对待，节点②的节点电压为 $u_{n2}=\mu u_2$。对节点①和节点③列节点方程可得

$$u_{n2}=\mu u_2 \qquad (1)$$

$$(G_1+G_2+G_3)u_{n1}-G_3u_{n2}-G_1u_{n3}=G_1u_s \qquad (2)$$

$$-G_1u_{n1}-G_5u_{n2}+(G_1+G_4+G_5)u_{n3}=-G_1u_s \qquad (3)$$

最后还需要把控制量 u_2 用节点表示，即

$$u_2=u_{n1} \qquad (4)$$

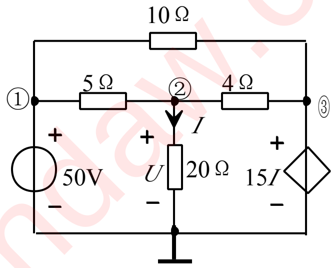
由以上几个方程即可求出 u_{n1}、u_{n2}、u_{n3}，$u_o=u_{n2}$

比较以上两种方法可见，在列节点方程时适当选择参考点可减少方程的个数。

3－17．用节点法求解题 3－17 图所示电路中电压 U。

解：各独立节点及参考点如图中所示，两个电压源的负端为参考点。受控电压源先当作独立电压源对待，节点①和节点③的节点电压分别为 $U_{n1}=50\text{V}$，$U_{n3}=15I$。

对节点②列节点方程可得



题 3－17 图

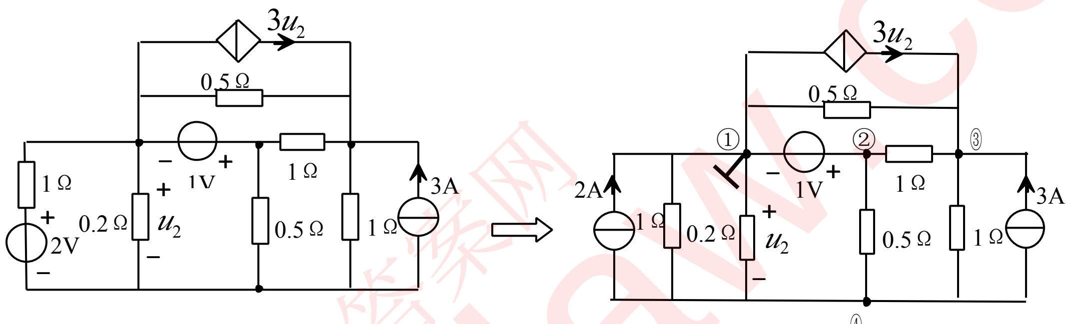
$$-\frac{1}{5}U_{n1}+(\frac{1}{5}+\frac{1}{20}+\frac{1}{4})U_{n2}-\frac{1}{4}U_{n3}=0 \qquad (1)$$

因为 $U_{n3}=15I$ 是受控电压源，最后还需要把控制量 I 用节点电压表示，即

$$I=\frac{U_{n2}}{20} \qquad (2)$$

由以上方程即可求出 $U_{n2}=U=32\text{V}$

3-19．列写题 3－19 图电路的节点电压方程。



题 3－19 图

解： 各独立节点及参考点如图中所示，把电压源的负端为参考点。节点②的节点电压为

$U_{n2}=1\text{V}$ （1）

对节点③④列节点方程可得

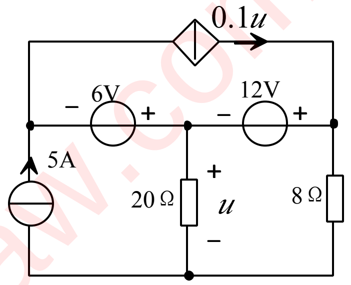
$$-u_{n2}+(\frac{1}{0.5}+1+1)u_{n3}-u_{n4}=3+3u_2 \qquad (2)$$

$$-\frac{1}{0.5}u_{n2}-u_{n3}+(1+\frac{1}{0.2}+\frac{1}{0.5}+1)u_{n4}=-3-2 \qquad (3)$$

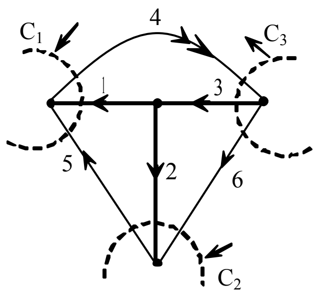
因为 $3u_2$ 是受控电流源，最后还需要把控制量 u_2 用节点电压表示，即

$$u_2=-u_{n4} \qquad (4)$$

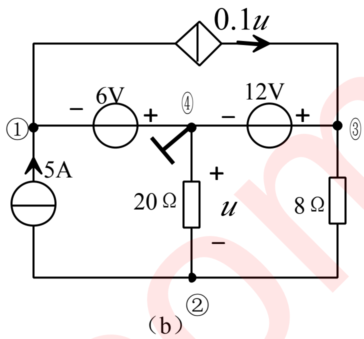
3-20．题3－20图所示电路，试选一种树，确定基本割集，用一个基本割集方程求解电压 u。若用节点法，你将选择哪一个节点作参考点？用一个节点方程求电压 u。



题 3－20 图



（a）



（b）

解：用割集法

图 3–20 所示电路的有向图，树，基本割集如图 a 所示。此电路含两个独立电压源，把两个电压源支路都选为树支，故三个树支电压中两个为已知量，即 $u_{t1}=6\text{V},\ u_{t3}=12\text{V}$，实际的求解对象只有 u_{t2}，

对基本割集 C_2 列方程可得

$$\left(\frac{1}{20}+\frac{1}{8}\right)u_{t2}+\frac{1}{8}u_{t3}=5$$

解得 $u_{t2}=20\text{V},\quad u=u_{t2}=20\text{V}$

用节点法，

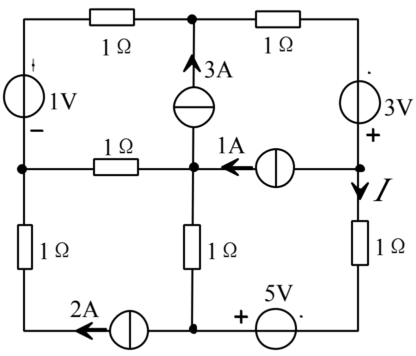
各独立节点及参考点如图 b 中所示，把两电压源的公共端选为参考点。节点①和③的节点电压分别为 $U_{n1}=-6\text{V},\quad U_{n3}=12\text{V}$

对节点②列节点方程可得

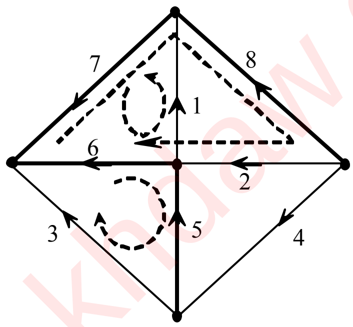
$$\left(\frac{1}{20}+\frac{1}{8}\right)u_{n2}-\frac{1}{8}u_{n3}=-5 \quad （1）$$

解得 $u_{n2}=-20\text{V},\quad u=-u_{n2}=20\text{V}$

3-21．题 3－21 图所示电路，设法只用一个方程解出 I。



题 3-21 图



a)

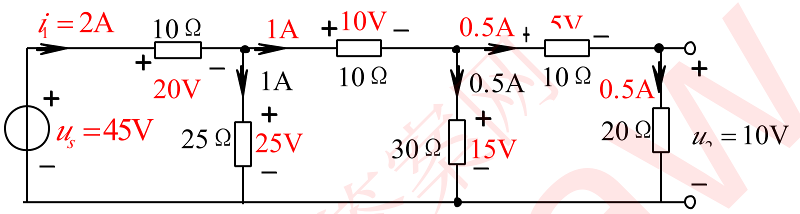
图 3–21 所示电路的有向图、树、基本回路如图 a 所示。把三个电流源支路和待求电流 I 所在支路都选为连支，故四个连支电流中三个为已知量，即 $I_{l1}=3\text{A}$，$I_{l2}=1\text{A}$，$I_{l3}=2\text{A}$，实际的求解对象只有 I_{l4}，对回路 l_4 列方程可得

$$-2I_{l1}+3I_{l2}-2I_{l3}+5I_{l4}=9$$

把 $I_{l1}=3\text{A}$, $I_{l2}=1\text{A}$, $I_{l3}=2\text{A}$ 代入上式解得

$$I_{l4}=3.2\text{A}=I$$

4–1．电路如图 4–1 所示，（1）若 $u_2=10\text{V}$，求 i_1 及 u_s；（2）若 $u_s=10\text{V}$，求 u_2。



题 4–1 图

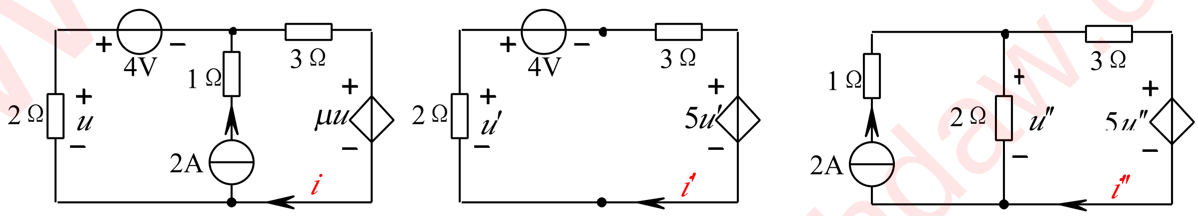
解：（1）当 $u_2=10\text{V}$ 时由后往前推得：$i_1=2\text{A}$，$u_s=45\text{V}$（如图中所示）

（2）由前面的计算已知：该电路当 $u_s=45\text{V}$ 时 $u_2=10\text{V}$，由线性电路的比例性可知：

该电路激励和响应之间的比例系数为 $k=\dfrac{u_2}{u_s}=\dfrac{10}{45}$，

当 $u_s'=10\text{V}$ 时由线性电路的比例性可得 $u_2'=ku_s'=\dfrac{10}{45}\times 10=\dfrac{20}{9}\text{V}$

4–3．电路如图 4–3 所示，用叠加定理求 i，已知 $\mu=5$。



题 4–3 图　（a）　（b）

解： 两个独立源单独作用时的电路分别如图（a）（b）所示

（1）对（a）图列回路方程可得

$$-u' + 4 + 3i' + 5u' = 0 \quad （其中\ \ u' = -2i'）$$

解得 $i' = 0.8\text{A}$

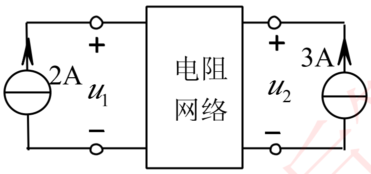
（2）对（b）图右边网孔列回路方程可得

$$-u'' + 3i'' + 5u'' = 0 \quad （其中\ \ u'' = 2(2 - i'')）$$

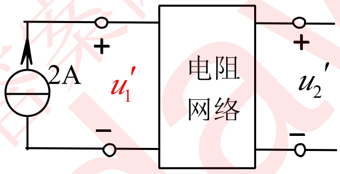
解得 $i'' = 3.2\text{A}$

叠加可得 $i = i' + i'' = 4\text{A}$

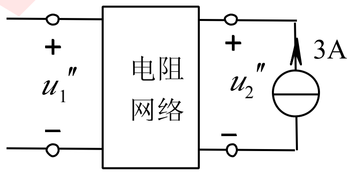
4–5．如图 4–5 所示电路中，当3A 电流源不作用时，2A 电流源向电路提供 28W 功率，且 u_2 为 8V；当2A 电流源不作用时，3A 电流源提供 54W，u_1 为 12V，问两电流源同时作用时，向电路提供的总功率是多少？



题 4–5 图



（a）



（b）

解： 两个独立源单独作用时的电路分别如图（a）（b）所示

（1）由（a）图可得

$$u_1' = \frac{28}{2} = 14\text{V}, \quad u_2' = 8\text{V}$$

（2）由（b）图可得

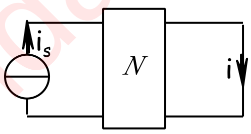
$$u_2'' = \frac{54\text{W}}{3\text{A}} = 18\text{V}, \quad u_1'' = 12\text{V}$$

两电源共同作用时 $u_1 = u_{2\text{A}} = 14 + 12 = 26\text{V}$， $u_2 = u_{3\text{A}} = 8 + 18 = 26\text{V}$，

由此可得 $p_{2\text{A}} = 2 \times 26 = 52\text{W}$，$p_{3\text{A}} = 3 \times 26 = 78\text{W}$

$$p = p_{2\text{A}} + p_{3\text{A}} = 130\text{W}$$

4–9．如图 4–9 所示电路 N 中含有一独立源，已知知 $i_s = 2\text{A}$ 时 $i = -1\text{A}$，当 $i_s = 4\text{A}$ 时 $i_s = 0\text{A}$。问若要使 $i = 2\text{A}$，i_s 应为多少。（提示：用比例性和叠加性）



题 4–9 图

解： 设 N 中独立源单独作用产生的电流为 i'，电流源 i_s 单独

作用产生的电流为 $i'' = ki_s$，利用叠加性和比例性可得

$$i = i' + i'' = i' + ki_s \rightarrow \begin{cases} i' + 2k = -1 \\ i' + 4k = 0 \end{cases}$$

解得　$i' = -2$，　$k = 0.5$

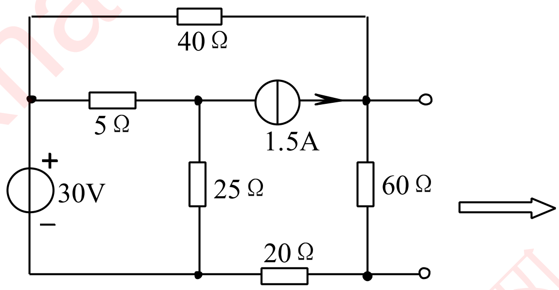
由此可得 $-2 + 0.5i_s = 2 \rightarrow i_s = 8\text{A}$

第 8、9 次作业 的参考答案：

作业题：

4—16,　4—20,　4—21, 4—22 , 4—27 ,　4—28, 4—29,
4—25(1)(2),　4—26,　4—33, 4—35(上)
5—1, 5—2,　5—5(下)

4-16．试求题 4-16 图所示单口网络的诺顿等效电路。



题 4-16 图

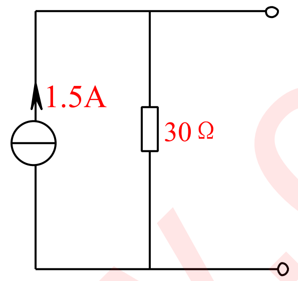


图 (d)

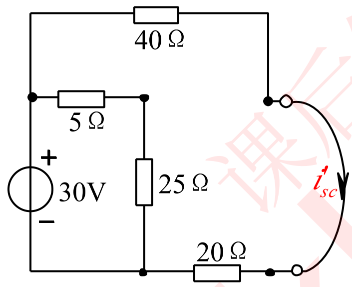


图 (a)

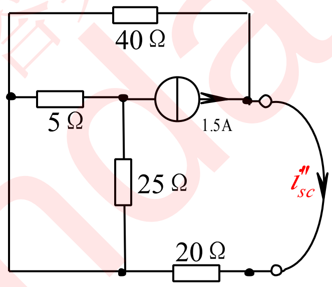


图 (b)

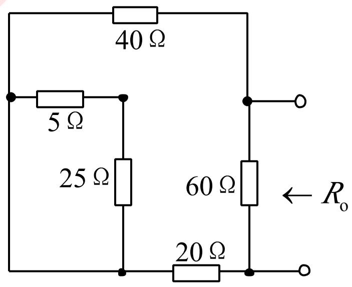


图 (c)

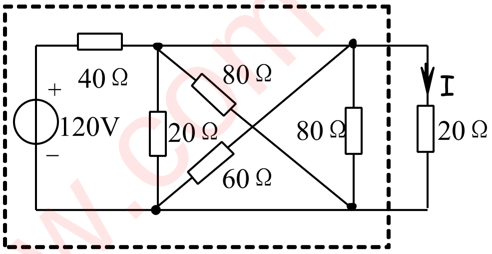
解： 端钮短路时 60 欧电阻相当于开路，可用叠加定理求短路电流如图（a）（b）所示，求得

$$i'_{sc} = 0.5\text{A},\ i''_{sc} = 1\text{A} \quad i = i'_{sc} + i''_{sc} = 1.5\text{A}$$

求等效内阻的电路如图（c）所示。$R_o = 60 // (40 + 20) = 30\Omega$

诺顿等效电路如图（d）所示。

4-20．用诺顿定理求题 4-20 图所示电路的 I。



题 4-20 图

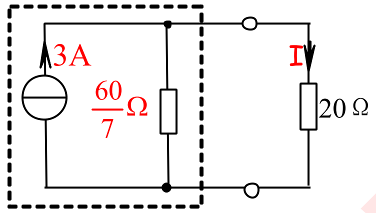


图 (c)

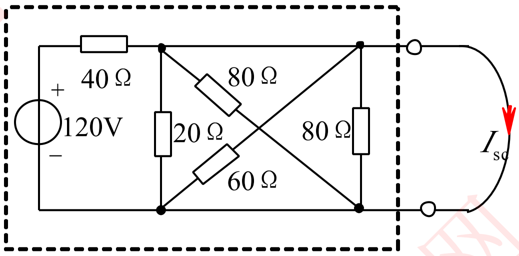


图 (a)

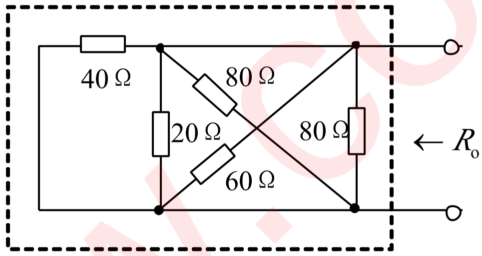


图 (b)

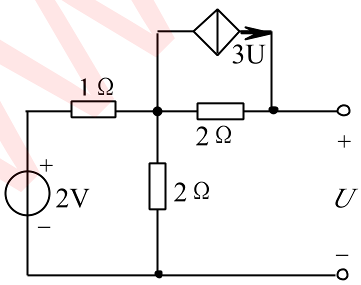
解： 如图（a）所示，虚线框所示的单口网络端钮短路时 80Ω、80Ω、60Ω、20Ω 电阻全部被短路端电压为零，电路图中相当于开路，易求得短路电流

$$I_{sc}=\frac{120}{40}=3A$$

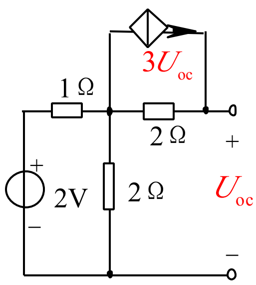
求等效内阻的电路如图（b）所示。$R_o=80//80//40//20//60=\dfrac{60}{7}\Omega$

如图（c）所示诺顿等效电路中由分流公式易求得 $I=\dfrac{R_o}{R_o+20}I_{sc}=\dfrac{18}{20}$=0.9A。

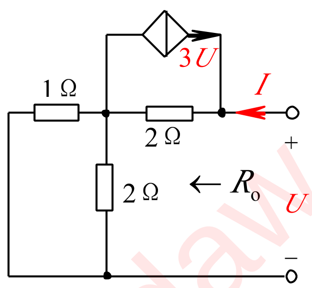
4-21．求题 4-21 图所示电路的戴维南等效电路。



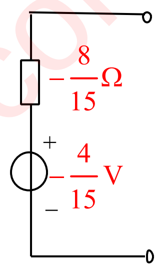
题 4-21 图



（a）



（b）



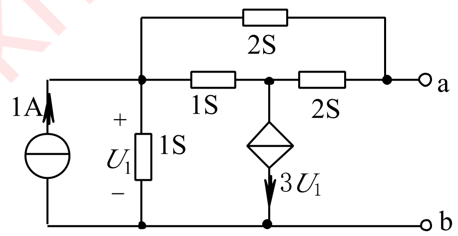
（d）

解： 在图（a）中求开路电压 $U_{oc}=6U_{oc}+\frac{4}{3}\ \rightarrow U_{oc}=-\frac{4}{15}\mathrm{V}$

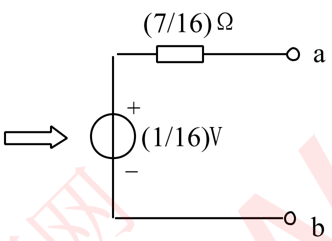
用外加法在图（b）中求等效内阻 $U=2(3U+I)+\frac{2}{3}I\rightarrow R_o=\frac{U}{I}=-\frac{8}{15}\Omega$

戴维南等效电路如图（d）所示。

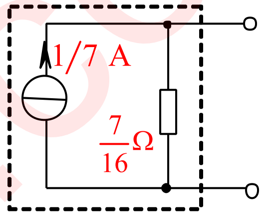
4-22．求题 4-22 图所示网络的戴维南等效电路和诺顿等效电路。



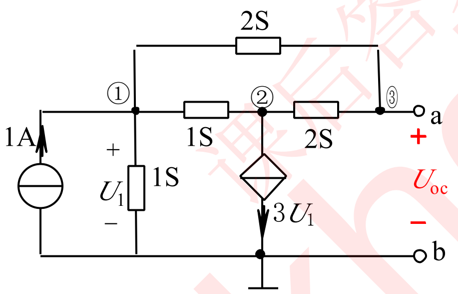
题 4-22 图



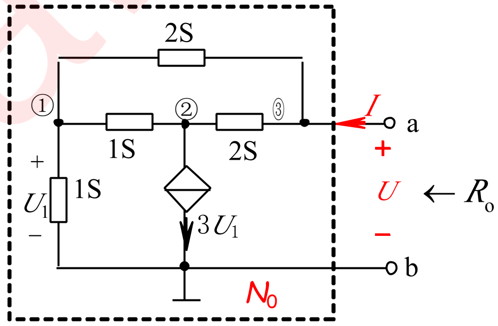
(c)



(d)



(a)



(b)

解： 在图（a）中求开路电压时遇到复杂电路，列节点电压方程

$$U_{oc}=U_{n3},\quad U_1=U_{n1}$$

$$4U_1-U_{n2}-2U_3=1 \qquad (1)$$
$$-U_1+3U_{n2}-2U_3=-3U_1 \qquad (2)$$
$$-2U_1-2U_{n2}+4U_3=0 \qquad (3)$$

联立求解可得 $U_{oc}=U_{n3}=\frac{1}{16}\mathrm{V}$

用外加法求等效内阻，如图（b）所示，此时把外加电压 U 当作已知量，找出 U 和 I 比值即可，同样用节点法

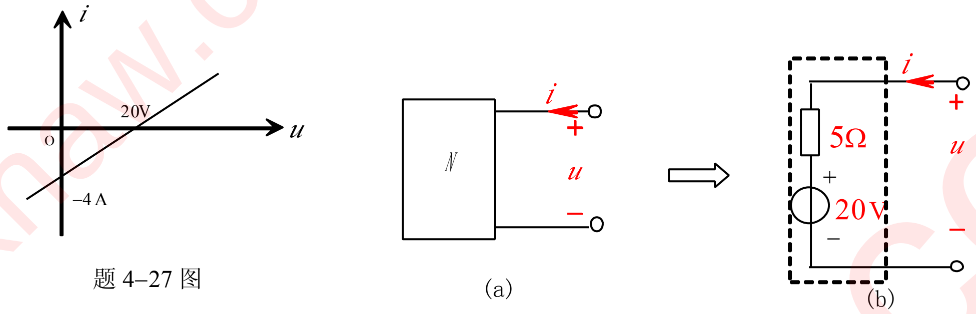
$$U_{n1}=U_1,\quad U_{n3}=U$$

$$4U_1-U_{n2}-2U=0 \qquad (1)$$
$$-U_1+3U_{n2}-2U=-3U_1 \qquad (2)$$
$$-2U_1-2U_{n2}+4U=I \qquad (3)$$

可解得 $R_o=\frac{U}{I}=\frac{7}{16}\Omega$

戴维南等效电路和诺顿等效电路分别如图（c）（d）所示

4–27 测的某单口网络在关联参考方向下的 VCR 如题图 4–27 所示，试求它的戴维南等效电路。



题 4–27 图　(a)　(b)

解：法一：由 VCR 曲线可见

$$u_{oc}=u|_{i=0}=20\text{V},\quad i_{sc}=i|_{u=0}=-4\text{A}$$

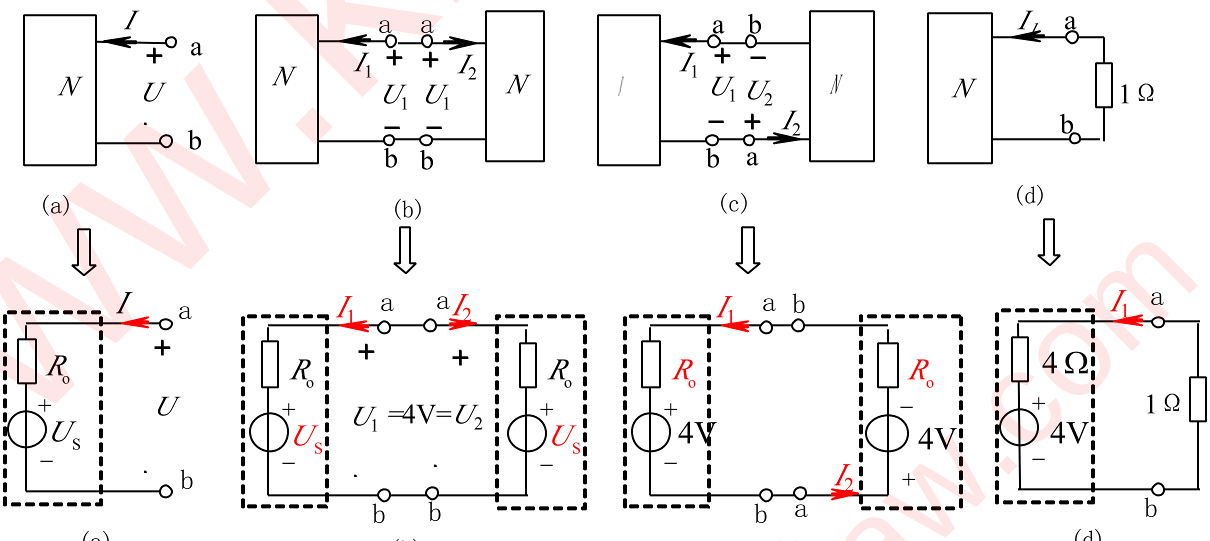
由于短路电流参考方向与开路电压参考方向对电阻非关联因此可得

$$R_o=-\frac{u_{oc}}{i_{sc}}=5\Omega$$

法二：直接由曲线得 VCR 方程

$u=20+5i=u_s+R_oi$ ←方程所对应的等效电路如图（b）

4–28 含电阻及直流电源的单口网络 N 如题图 4–28（a）所示。若以两个同样的单口网络 N 连接如图（b）时，电压 U_1`=4V；若连接如图（c）时，电流 I_1=-1A，问连接如图（d）时，I_1 等于多少？



题 4–28 图

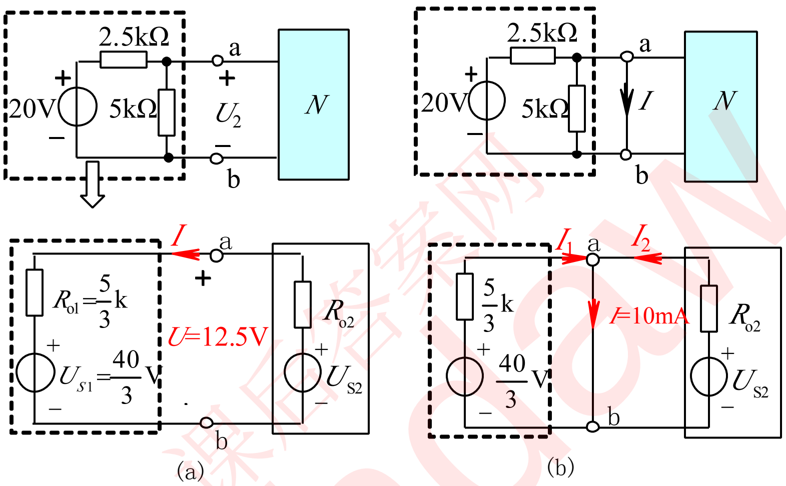
解：（b）图所示连接方式时加在电阻的电压为零（即 $I_1=I_2=0$）

$$u_1 = u_2 = u_{oc} = u_s = 4V$$

（c）图所示连接方式时 $I_1 = I_2 = -\dfrac{2U_s}{2R_o} = -1 \;\rightarrow\; R_o = 4\Omega$

由此可求得（d）所示电路中的电流 $I_1 = -\dfrac{U_s}{R_o + 1} = -0.8A$

4-29． 题 4-29 图（a）所示电路中，U_2=12.5V。若将 ab 端短路，如题 4-29 图（b）所示，短路电流 I 为 10mA。试求网络 N 在 ab 端的等效电路。



题 4–29 图

解：由（a）图可得

$$\frac{5}{3}I + \frac{40}{3} = 12.5V \rightarrow I = -\frac{1}{2}A \quad (1)$$

$$U_{S2} - R_{o2}I = 12.5V \qquad (2)$$

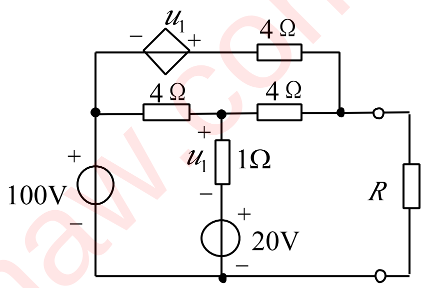
由（b）图可得

$$I = \frac{U_{s1}}{R_{o1}} + \frac{U_{s2}}{R_{o2}} = 10mA \qquad (3)$$

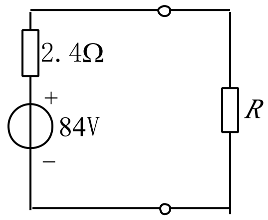
联立以上三个方程可求得

$$U_{s2} = 10V, R_{o2} = 5\Omega$$

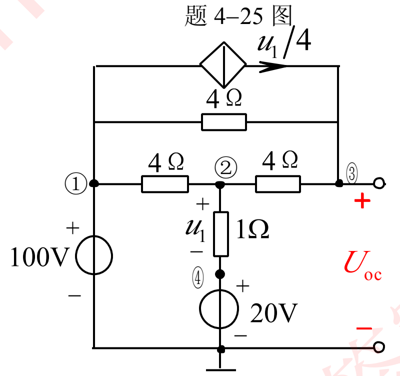
4−25．电路如题图 4-25 所示，（1）求 R 获得最大功率的数值；（2）求在此情况下，R 获得的功率



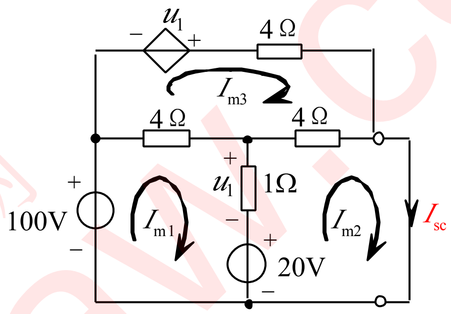
题 4–25 图



(c)



(a)



(b)

解： 该题在求等效电路时遇到复杂电路的计算，

求开路电压：对（a）图列节点电压方程可得

$$u_{n1}=100\text{V},\quad u_{n4}=20\text{V}$$

$$-\frac{1}{4}u_{n1}+\frac{3}{2}u_{n2}-\frac{1}{4}u_{n3}-u_{n4}=0 \qquad (1)$$

$$-\frac{1}{4}u_{n1}-\frac{1}{4}u_{n2}+\frac{1}{2}u_{n3}=\frac{1}{4}u_1 \qquad (2)$$

$$u_1=u_{n2}-u_{n4} \qquad (3)$$

联立解得 $u_{oc}=u_{n3}=84\text{V}$

求短路电流：对（b）图网孔电流方程可得

$$5i_{m1}-i_{m2}-4i_{m3}=80 \qquad (1)$$

$$-i_{m1}+5i_{m2}-4i_{m3}=20 \qquad (2)$$

$$-4i_{m1}=45i_{m2}+12i_{m3}=u_1 \qquad (3)$$

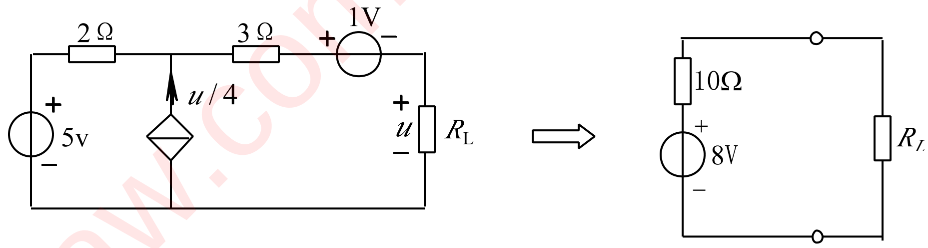
$$u_1=i_{m1}-i_{m2} \qquad (4)$$

联立解得 $i_{sc}=i_{m3}=35\text{A}$

由此可解得 $R=R_0=\dfrac{u_{oc}}{i_{sc}}=\dfrac{84}{35}=2.4\Omega$ 时可获得最大功率（注：教材后答案有误）

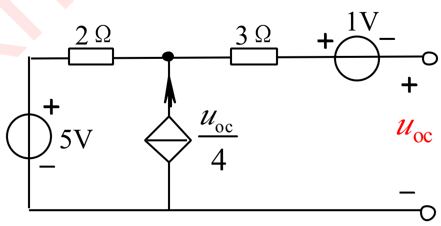
$$P_R=\frac{(u_{oc})^2}{4R_0}=735\text{W}$$

4−26 如题图 4-26 所示电路中负载电阻 R_L 等于多少时可获得最大功率。求 P_{LMAX}

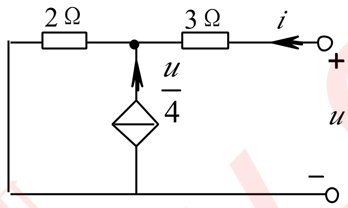


题 4-26 图

(c)



(a)



(b)

解： 求开路电压：由（a）图可得

$$u_{oc}=-1+2\times\frac{u_{oc}}{4}+5\rightarrow\ \ u_{oc}=8V$$

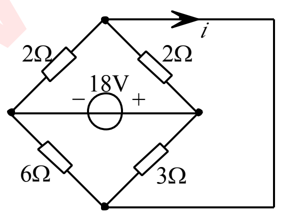
对（b）图用外加法求等效内阻可得

$$u=3i+2(i+\frac{u}{4})\rightarrow R_o=\frac{u}{i}=10\Omega$$

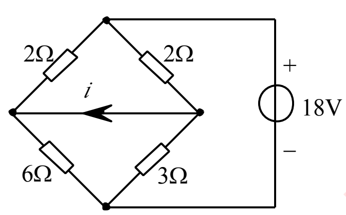
由此可解得 $R_L=R_0=10\Omega$ 时可获得最大功率

$$P_{LMAX}=\frac{(u_{oc})^2}{4R_0}=\frac{8^2}{40}=1.6W$$

4−33 试用互易定理求题 4-33 图所示电路中的电流 i。



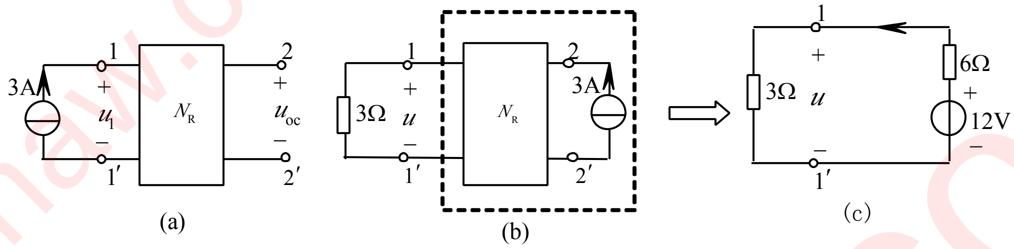
题 4-33 图



互易后的电路

解： 在互易后的电路中用电阻串并联、分流公式可得 $i=-1A$

4−35 如题图 4−35a 所示电路中，测得 $u_1=18\text{V}$， $u_{oc}=12\text{V}$。如果把 3A 电压源移到 $22'$ 端，同时在 $11'$ 端接 3 欧电阻，如题图 4−35b 所示，求 3 欧电阻两端的电压。（提示：用互易定理和戴维南定理）



题 4−35 图

解： 在(b)图中求虚线框所示单口网络 $11'$ 端的等效电路，

$11'$ 端的开路电压由互易定理可知 $u_{oc}=12\text{V}$；

等效内阻由(a)图可得 $R_o=\dfrac{u_1}{i_s}=\dfrac{18}{3}=6\Omega$

由 (c)图的等效电路可得 $u=4\text{V}$

5−1 (1) 1μF 电容的端电压为 100cos(1000t)V,试求 $i(t)$。u 与 i 波形是否相同？最大值、最小值是否发生在同一时刻？(2) 10μF 电容的电流为 $10e^{-100t}$mA，若 $u(0)=-10$V，试求 $u(t)$，$t>0$。

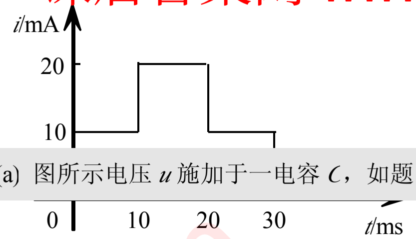
解：(1) 由电容 VCR 的微分形式可得

$$i_c(t)=C\frac{du_c}{dt}=10^{-6}\frac{d}{dt}(100\cos 1000t)$$
$$=-10^{-6}(10^5\sin 1000t)$$
$$=0.1\cos(1000t+90^\circ)\text{A}$$

电流波形初相位超前电压 90 度。因此两个变量最小值发生时刻不同

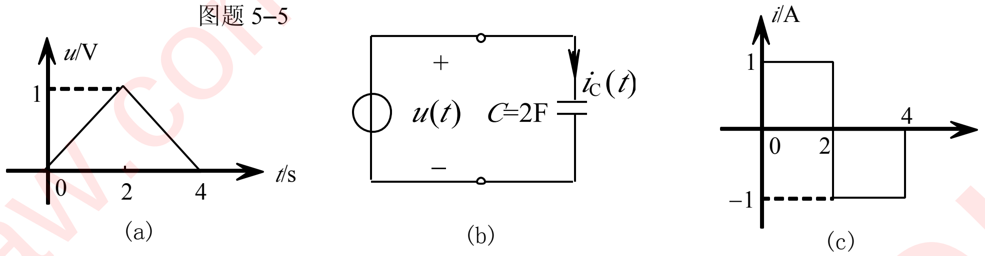
(2) $$u_c(t)=-10+10^5\int_0^t 10e^{-100\xi}\times 10^{-3}\,d\xi$$

$$=-10-10e^{-100\xi}\Big|_0^t$$
$$=-10e^{-100t}\text{V}$$



5-2 题 5-2(a) 图所示电压 u 施加于一电容 C，如题 5-2(b) 图所示。试求 $i(t)$，并画出波形图。

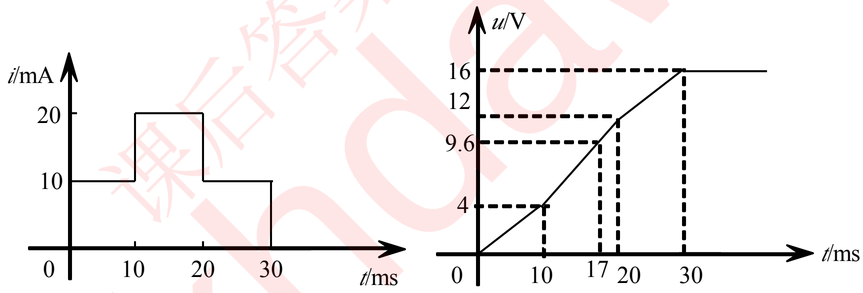
图题 5-5



题 5-2 图

解： 由电容 VCR 的微分形式很容易求得电流 $i_C(t)$ 及其波形如图（c）所示。（具体过程省）

5-5 作用于 25μF 电容的电流如题 5-5 图所示。若 $u(0)=0$，试确定：(1) t =17ms 及(2) t =40ms 时的电容的电压、吸收功率以及储能各为多少？



题 5-5 图 (b)

解： 由电容 VCR 的积分形式可得

(1) $0\le t\le 10\text{ms}$

$$u_c(t)=0+4\times10^4\int_0^t 10\times10^{-3}d\xi=400t$$

$$u_c(10\text{ms})=4\text{V}$$

(2) $10\le t\le 20\text{ms}$

$$u_c(t)=4+4\times10^4\int_{10}^t 20\times10^{-3}d\xi=-4+800t$$

$u_c(20\text{ms})=12\text{V}$ $u_c(17\text{ms})=9.6\text{V}$

(3) $20\le t\le 30\text{ms}$

$$u_c(t)=12+4\times10^4\int_{20}^t 10\times10^{-3}d\xi=4+400t$$

(4) $t\ge 30\text{ms}$

$u_c(t)=16\text{V}$， $u_c(40\text{ms})=16\text{V}$

由此可得

(2) $U_c(17\text{ms})=9.6\text{V}$， $p_c(17\text{ms})=192\text{mW}$， $W_c(17\text{ms})=1.152\text{mJ}$；
$U_c(40\text{ms})=16\text{V}$， $p_c(40\text{ms})=0$， $W_c(40\text{ms})=3.2\text{mJ}$；

第 10、11 次作业 的参考答案：

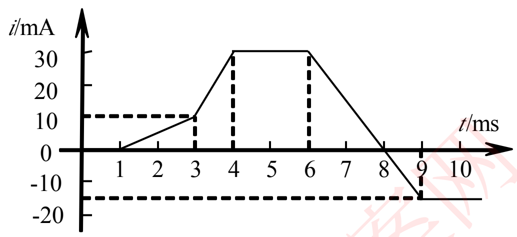
作业题：

5—7,　5—9　5—11　6—1（d），6—3　6—4,
6—8,　6—14,　6—15

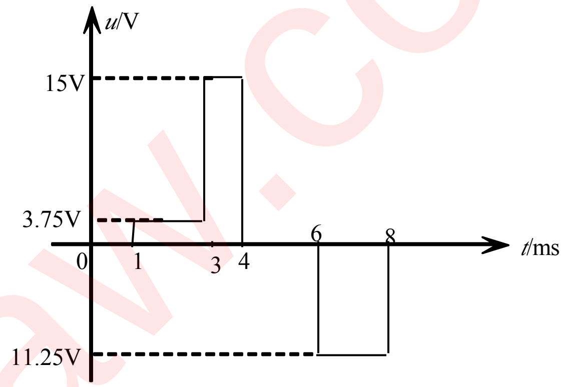
5-7 已知流过 0.75H 的电感的电流如题 5-7 图所示。

(1) 试求电感的电压，并画出波形；9

(2) 求 t=2ms、t=5ms 和 t=8ms 时电感的储能。



题 5-7 图



$u_L(t)$ 的波形

解：(1) 由电感 VCR 的微分形式 $L\dfrac{di_L}{dt}$ 可得电感电压 $u_L(t)$ 的波形如图所示

$$(2)\quad W_L(2\text{ms})=\frac{1}{2}Li_L^2=\frac{1}{2}\times\frac{3}{4}(5\times10^{-3})^2=\frac{75}{8}10^{-6}\ \text{J}$$

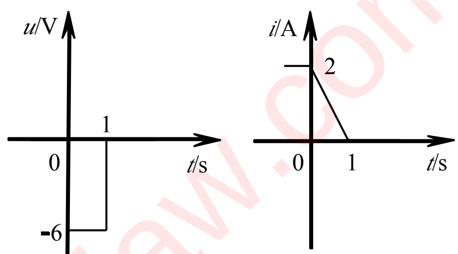
$$W_L(5\text{ms})==\frac{1}{2}Li_L^2=\frac{1}{2}\times\frac{3}{4}(30\times10^{-3})^2=\frac{2700}{8}10^{-6}\ \text{J}$$

$$W_L(8\text{ms})=0\text{J}$$

5-9 在关联参考方向下某电感的电流及电压波形如题 5-9 图所示。

(1)试求电感 L；

(2)试求在 0<t<1s 期间的 $W_L(t)$。



题 5-9 图

解：(1) $i_L(t)=-2t+2$

由电感 VCR 的微分形式可得

$$u_L(t)=L\frac{di}{dt}=-6\rightarrow L=-6\Big/\frac{di}{dt}=3\text{H}$$

$$(2)\quad W_L(t)=\frac{1}{2}Li(t)^2=\frac{3}{2}(-2t+2)^2=(6t^2-12t+6)\text{J}$$

5-11 题 5-11 图所示电路，已知 $u_s(t)=4e^{-3t}$V，$i_L(0)=0$。求 $i_R(t)$、$i_C(t)$、$i_L(t)$和 $i(t)$。

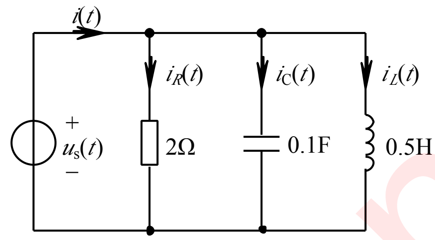
解： 分别由电阻、电容、电感元件的 VCR 可得

$$i_R(t)=\frac{u_s(t)}{R}=2e^{-3t}$$

$$i_c(t)=C\frac{du_s(t)}{dt}=-1.2e^{-3t}$$

$$i_L(t)=\frac{1}{L}\int_0^t 4e^{-3\xi}d\xi=\frac{8}{3}(1-e^{-3t})$$

$$i(t)=i_R(t)+i_c(t)+i_L(t)=(\frac{8}{3}-\frac{28}{15}e^{-3t})\text{A}$$

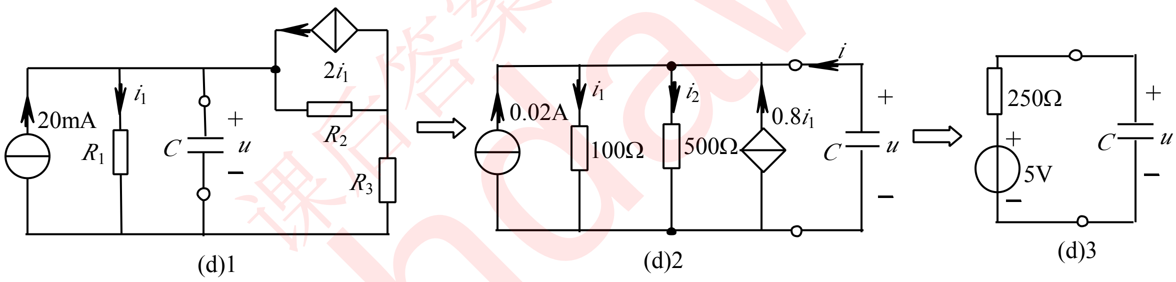


题 5-11 图

6-1 题 6-1 图电路中，$R_1=100\Omega$、$R_2=200\Omega$，$R_3=300\Omega$，$C=10\mu$F。

(1) 把各电路中的除动态元件以外的部分化简为戴维南或诺顿等效电路；

(2) 利用化简后的电路列出图中所注明输出量 u 或 i 的微分方程。



解： （1）由(d)2 所示电路，求电容两端的戴维南等效电路

$$u_{oc}=500i_2=500(0.02+0.8i_1-i_1)=10-100i_1 \quad （1）$$

$$i_1=\frac{u_{oc}}{100} \quad （2）$$

把（2）代入（1）式可解得 $u_{oc}=5\text{V}$

在(d)2 中把电流源开路后由外加法可得

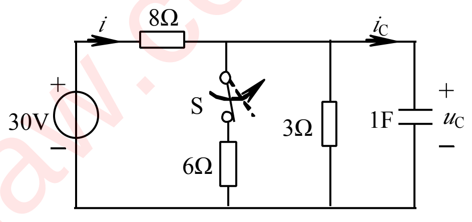
$$u=500(i+0.8i_1-i_1)$$

$$i_1=\frac{u}{100}$$

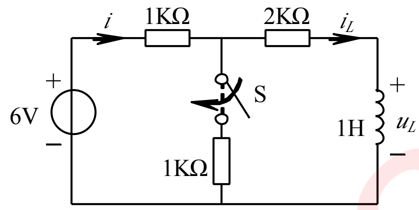
$$R_o=\frac{u}{i}=250\Omega$$

（2） $RC\dfrac{du}{dt}+u=5$

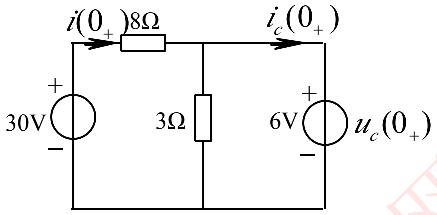
6–3 题 6–3 图所示电路，t=0 时换路，设换路前电路处于稳态。求换路后瞬间电路所标出的电流、电压的初始值。



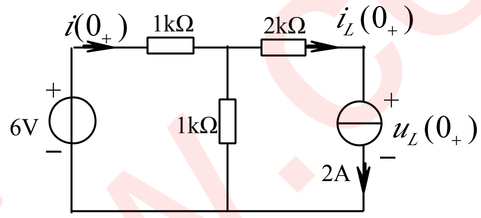
(a)



(b)



t=0+ 时的等效电路



t=0+ 时的等效电路

解： 换路前电路处于稳态，在（a）电路中电容相当于开路；在（b）电路中电感相当于短路；分别求得

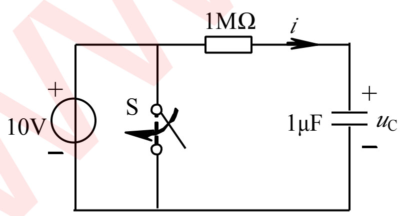
a) $u_c(0_-)=6V$， **b)** $i_L(0_-)=2mA$，

由两个 $t=0_+$ 时的等效电路，分别求得

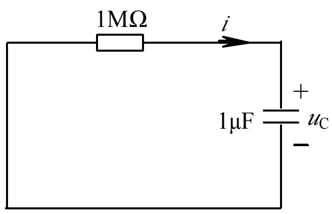
a) $u_c(0_+)=u_c(0_-)=6V$， $i(0_+)=3A$， $i_c(0_+)=1A$

b) $i_L(0_+)=i_L(0_-)=2mA$， $i(0_+)=4mA$， $u_L(0_+)=-2V$

6–4 题 6–4 图所示电路，t=0 时换路，已知换路前电路已处于稳态。试求 $u_C(t)$、$i(t)$，t≥0。



题 6–4 图



$t\geq 0$ 时的电路

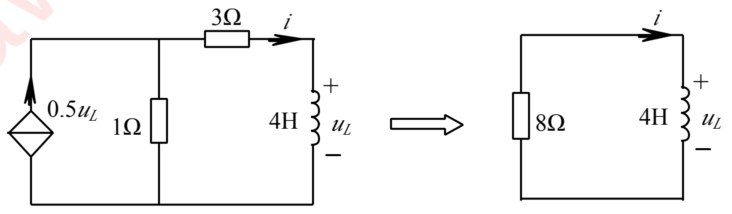
解： 换路前电路处于稳态，电路中电容相当于开路，易求得 $u_c(0_-)=10V$

由于 $t>0$ 电路无激励信号，因此电路的响应为零输入响应，即

$$u_c(t) = u_c(0_-)e^{-\frac{1}{RC}t} = 10e^{-t}\text{V} \quad t \geq 0$$

$$i_c(t) = C\frac{d\,u_c(t)}{dt} = -10^{-5}e^{-t}\text{A} \quad t \geq 0$$

6−8 电路如题 6−8 图所示，已知 $i(0)=2$ A，试求 $u_L(t)$，$t\geq 0$，并画出其波形。



题 6−8 图　　　等效电路

解： 电感两端的戴维南等效电路为一电阻，由外加法可求得

（注意；此电路外加电压的参考方向与所设电流方向对电阻非关联）

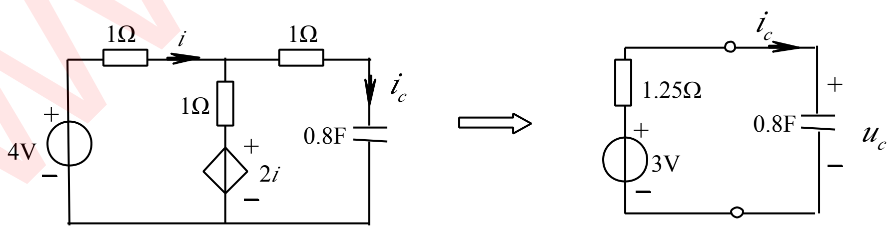
$$u = -3i + (0.5u - i) \rightarrow R_o = -\frac{u}{i} = 8\Omega$$

电路的响应为零输入响应

$$i_L(t) = i_L(0)e^{-\frac{1}{\tau}t} = 2e^{-2t}\text{A} \quad t \geq 0$$

$$u_L(t) = L\frac{d\,i_L(t)}{dt} = -16e^{-2t}\text{V} \quad t \geq 0$$

6−14 图题 6−14 所示电路中，电压源在 $t=0$ 时开始作用于电路，已知电容电压初始值为零。试求 $i(t)$，$t\geq 0$。



题 6−14 图

解： 电容两端的戴维南等效电路如右图所示

$$u_c(0) = 0\text{V}, \quad u_c(\infty) = 3\text{V}, \quad \tau = R_oC = 1(\text{s})$$

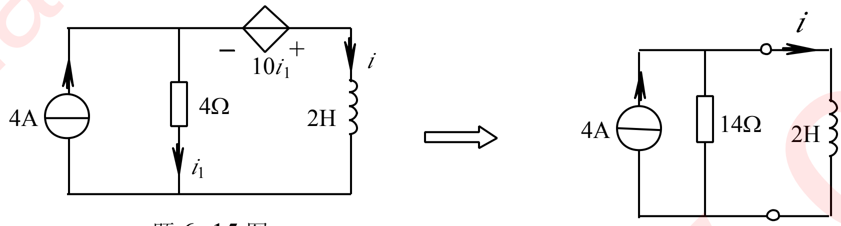
$$u_c(t) = 3(1-e^{-t})\text{V} \quad t \geq 0 \quad \leftarrow \text{零状态响应}$$

回到原电路对左边回路列 KVL 方程可得

$$i+(i-i_c)+2i=4$$

$$4i=4+i_c=4+C\frac{du_c}{dt}\quad\rightarrow i=1+0.6e^{-t}\quad t\geq 0$$

6−15　题 6−15 图所示电路中，电压源在 t=0 时开始作用于电路，已知电感电流初始值为零。试求 $i(t)$，$t\geqslant 0$。



题 6−15 图

解：　电感两端的诺顿等效电路如右图所示

$$i_L(0)=0\text{A},\ i_L(\infty)=4\text{A},\quad \tau=G_oL=1/7(\text{s})$$

$$i(t)=i_L(t)=4(1-e^{-7t})\text{V}\quad t\geq 0\ \leftarrow$$零状态响应

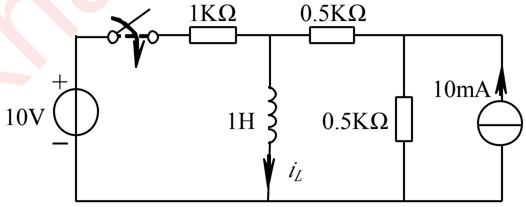
第 12、13 次作业 的参考答案:

作业题:

6—19, 6—22, 6—26, 6—27, 6—31, 6—35（1）,

7—2, 7—4, 7—9, 7—10

6-19 电路题 6-19 图所示，t=0 时开关闭合，已知开关闭合前电路已处于稳态。试求 $i_L(t)$，$t\geqslant 0$。(用叠加原理)



题 6–19 图

解: 电路的相应为完全相应

$$i_L(0)=5\text{mA},\quad i_L(\infty)=10+5=15\text{mA},$$

$$R_o=500\Omega,\quad \tau=G_oL=1/500(\text{s})$$

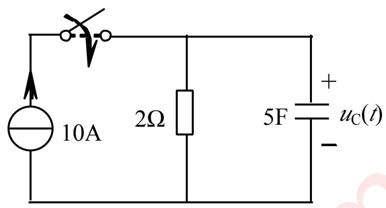
由叠加原理可得：完全响应=零输入响应+零状态相应

$$i_L(t)=i_{L1}(t)+i_{L2}(t)$$

$$=5e^{-500t}+15(1-e^{-500t})\text{A} \quad \leftarrow\text{完全响应}$$

$$=15-10e^{-500t})\text{A} \quad t\geq 0$$

6-22 电路如题 6-22 图所示，在 t=0 时换路，$u_C(0)$ = 1V。求 $u_C(t)$的零输入响应和零状态响应，稳态响应和瞬态响应。



题 6–22 图

解: 电路的相应为完全相应

$$u_C(0)=1\text{V},\quad u_C(\infty)=20\text{V},\quad \tau=RC=10(\text{s})$$

零输入响应: $u_c(t)=e^{-0.1t}\text{V} \quad t\geq 0$

零状态响应: $u_c(t)=20(1-e^{-0.1t})\text{V} \quad t\geq 0$

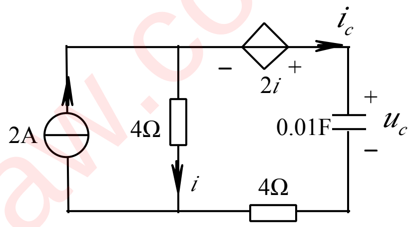
完全响应 = 零输入响应+零状态响应

$$u_c(t)=u_{c1}(t)+u_{c2}(t)=e^{-0.1t}+20(1-e^{-0.1t})=20-19e^{-0.1t})\text{A} \quad t\geq 0$$

瞬态响应=20V

稳态响应=$-19e^{-0.1t}$ 20V

6-26 题 6-26 图所示电路中，电流源在 $t=0$ 时开始作用于电路，已知 $u_C(0)=4\text{V}$。试用三要素法求 $u_C(t)$、$i(t)$，$t\geq 0$。



题 6-26 图

解： 求三要素

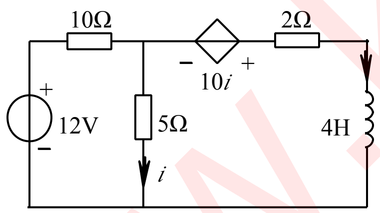
$$u_C(0)=4\text{V},\quad u_C(\infty)=6i=6\times 2=12\text{V},\quad \tau=R_0C=10\times 0.01=0.1(\text{s})$$

由（6-33）式可得 $\quad u_c(t)=12-8e^{-10t}\text{V}\qquad t\geq 0$

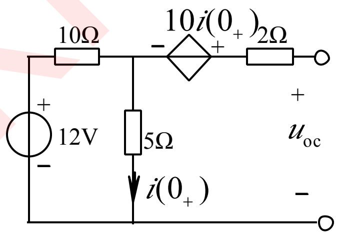
$$i_c(t)=C\frac{du_c}{dt}=0.8e^{-10t}\text{A}\qquad t\geq 0$$

$$i(t)=2-i_c(t)=(2-0.8\,e^{-10t})\text{A}\qquad t\geq 0$$

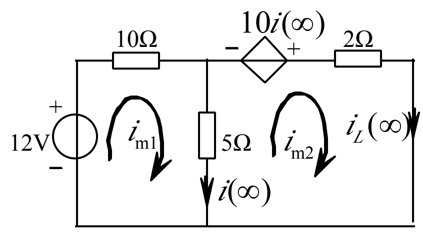
6-27 题 6-27 图所示电路中，电压源在 $t=0$ 时开始作用于电路，已知 $i_L(0)=0\text{A}$。试用三要素法求 $i_L(t)$、$i(t)$，$t\geq 0$。



题 6-27 图



t=0+ 时的等效电路



t=∞ 时的等效电路

解： 求三要素

t=0+时 $\ i_L(0)=0\text{A}$ 端口相当于开路

$$i(0_+)=\frac{12}{15}\text{A},\quad u_{oc}=15\,i(0_+)=12\text{V}$$

$t=\infty$ 时电感相当于短路，在 $t=\infty$ 的等效电路中 $i_L(\infty)=i_{m2}$，列网孔方程可解得

$$i_{m1}=\frac{17}{15}\text{ A},\quad i_{m2}=i_L(\infty)=1\text{A},\quad i(\infty)=i_{m1}-i_{m2}=\frac{2}{15}\text{ A},$$

等效内阻 $\quad R_o=\dfrac{u_{oc}}{i_L(\infty)}=12\Omega$

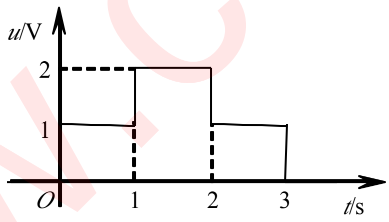
$$\tau=G_oL=1/3(s)$$

由已求得的三要素和（6–33）式可得

$$i_L(t)=1-e^{-3t}\text{A}\qquad t\geq 0$$

$$i(t)=\frac{2}{15}-\frac{2}{3}e^{-3t}\text{A}\qquad t\geq 0$$

6–31 试用阶跃函数表示题 6–31 图所示分段常量信号



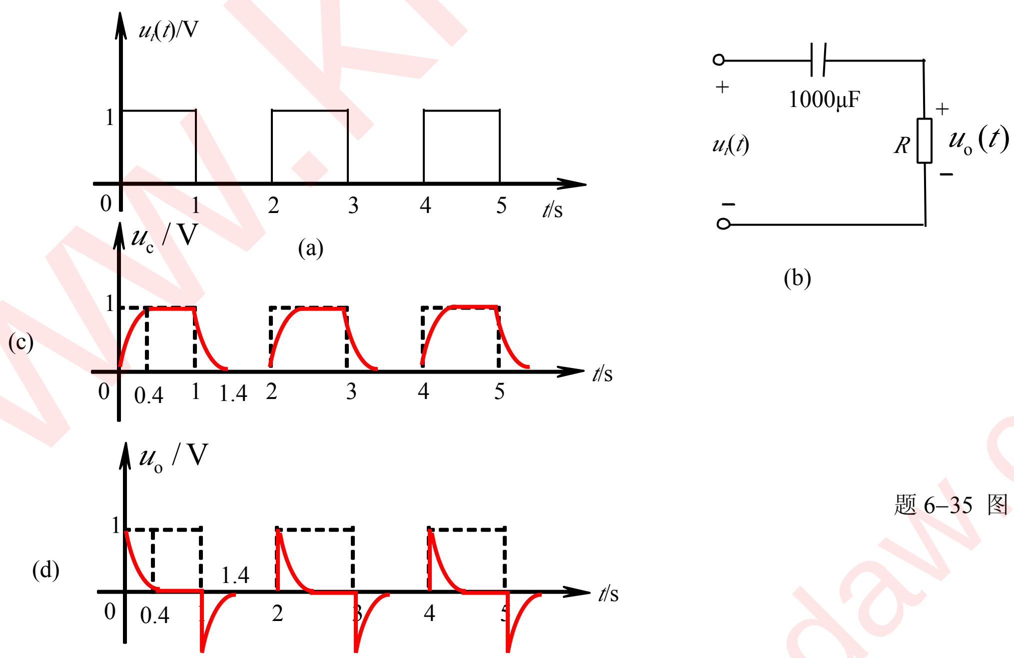
题 6–31 图

解： 把信号进行分解后用阶跃函数和移位的阶跃函数表示可得

$$u(t)=\varepsilon(t)+\varepsilon(t-1)-\varepsilon(t-2)-\varepsilon(t-3)$$

6–35 题 6–35(a) 图所示矩形脉冲序列电压 $u_i(t)$从 t =0 开始作用于图题 6–35(b)所示电路，已知电容电压的初始值为零。粗略地画出在下列情况下 $u_o(t)$ 的波形。

(1) R=100Ω；



题 6–35 图

解： 当 R=100Ω时　　$\tau = R_o C = 0.1(s)$

外加激励信号为分段常量的周期信号，每一周期的前半个周期电压为 1V，后半个周期电压为零。因为 $\frac{T}{2} = 10\tau$，因此每前半个周期为零状态响应（即电容充电），后半个周期为零输入响应（即电容放电）由此可分别画 $u_c(t), u_o(t)$ 的波形如图（c）（d）所示。

7-2 已知二阶电路的特征根分别如下，试分别写出电路的零输入响应 $y(t)$的一般表达式。

(1) $s_1=-2$,　$s_2=-3$；　　(2) $s_1=s_2=-2$；

(3) $s_1=j2$，　$s_2=-j2$；　　(4) $s_1=-2+j3$，　$s_2=-2-j3$；

解： 电路的零输入响应对应微分方程的齐次解，根据齐次解与特征根的关系可直接写出电路零输入响应的形式分别为

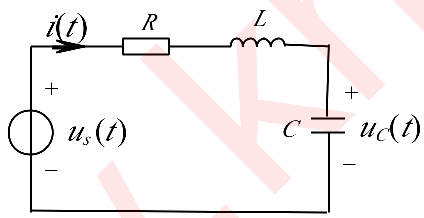
(1) $y_h(t) = k_1 e^{-2t} + k_2 e^{-3t}$

(2) $y_h(t) = k_1 e^{-2t} + k_2 t e^{-2t}$

(3) $y_h(t) = k_1 \cos 2t + k_2 \sin 2t)$

(4) $y_h(t) = e^{-2t}(k_1 \cos 3t + k_2 \sin 3t)$

7-4　题 7-4 图所示电路中 R=6Ω，L=1H，C=0.2F，u_S=0，已知 $u(0)$=3V，$i(0)$=1A。试求 $u(t)$、$i(t)$，$t\geq0$。



题 7-4 图

解： 因为外加激励信号 u_s =0 为零，电路响应为零输入响应，对应微分方程的齐次解。

求特征根　$S_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{(\frac{R}{2L})^2 - \frac{1}{LC}} = -\frac{6}{2} \pm \sqrt{(\frac{6}{2})^2 - 5} = -3 \pm 2$

根据齐次解与特征根的关系可得零输入响应的形式为

$u_{ch}(t) = k_1 e^{-t} + k_2 e^{-5t}$

由初始条件可得　$u_c(0) = k_1 + k_2 = 3$　　(1)

$u_c'(0) = -k_1 - 5k_2 = \frac{i(0)}{C} = 5$　　(2)

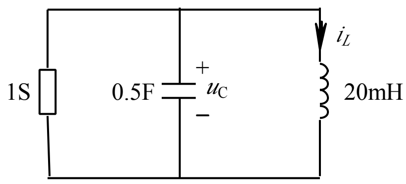
联立求解可得　$k_1 = 5$　　$k_2 = -2$

$u(t)$、$i(t)$分别为

$$u_c(t) = 5e^{-t} - 2e^{-5t}\ \text{V}$$

$$i_c(t) = C\frac{du_c(t)}{dt} = 2e^{-5t} - e^{-t}\ \text{A}$$

7–9　GCL 并联电路如图题 7–9 所示，已知 $u_C(0)$=1V、$i_L(0)$=2A，试求 $u_C(t)$的零输入响应。



题 7–9 图

解： 求特征根　$S_{1,2} = -\dfrac{G}{2C} \pm \sqrt{(\dfrac{G}{2C})^2 - \dfrac{1}{LC}} = -1 \pm \sqrt{1-100}\ \text{B}\ -1 \pm j10$

根据齐次解与特征根的关系可得零输入响应的形式为

$$i_L(t) = e^{-t}(k_1\cos 10t + k_2\sin 10t)$$

由初始条件可得

$$i_L(0) = k_1 = 2\text{A} \qquad (1)$$

$$i'_L(0) = -k_1 + 10k_2 = \frac{u_c(0)}{L} = 50 \qquad (2)$$

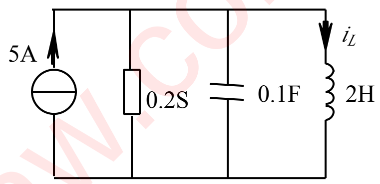
联立求解可得　$k_1 = 2$　　$k_2 = 5.2$

$$i_L(t) = e^{-t}(2\cos 10t + 5.2\sin 10t)$$

进而 $u_C(t)$为

$$u_c(t) = u_L(t) = L\frac{di_L(t)}{dt} = e^{-t}(\cos 10t - 0.5\sin 10t)\ \text{V}$$

7-10 电路如题 7-10 图所示，电流源在 t=0 时接入电路，已知 $u_C(0)$=0、$i_L(0)$=1A，试求 $i_L(t)$的零输入响应、零状态响应和全响应。



题 7-10 图

注意：零状态响应和完全响应其对应的微分方程形式完全相，因此解的形式完全相同，求解的过程只是初始条件不同。

解： 求特征根 $S_{1,2}=-\dfrac{G}{2C}\pm\sqrt{(\dfrac{G}{2C})^2-\dfrac{1}{LC}}=-1\pm\sqrt{1-100}\text{B}\ -1\pm j2$

零输入响应的形式： $i_{Lh}(t)=e^{-t}(k_1\cos 2t+k_2\sin 2t)$ ←**齐次解**

初始条件 $\begin{aligned} &i_L(0)=k_1=1\text{A} &(1)\\ &i_L'(0)=-k_1+2k_2=0 &(2)\end{aligned}$

联立求解可得 $k_1=1\quad k_2=0.5$

零输入响应为 $i_{Lh}(t)=e^{-t}(\cos 2t+0.5\sin 2t)=e^{-t}\dfrac{\sqrt{5}}{2}(\cos 2t-26.6^{\circ})$ A

零状态响应的形式： $i_L(t)=i_{Lh}(t)+i_{Lp}(t)=\underbrace{e^{-t}(k_1\cos 2t+k_2\sin 2t)}_{i_{Lh}(t)}+\underbrace{5}_{i_{Lp}(t)}$ ←**完全解**

零状态的初始条件 $\begin{aligned} &i_L(0)=k_1+5=0 &(1)\\ &i_L'(0)=-k_1+2k_2=0 &(2)\end{aligned}$

联立求解可得 $k_1=-5\quad k_2=-2.5$

零状态响应为 $i_L(t)=\ -e^{-t}(5\cos 2t+2.5\sin 2t)+5=5-5.6e^{-t}\cos(2t-26.6^{\circ})$A

全响应的形式： $i_L(t)=i_{Lh}(t)+i_{Lp}(t)=\underbrace{e^{-t}(k_1\cos 2t+k_2\sin 2t)}_{i_{Lh}(t)}+\underbrace{5}_{i_{Lp}(t)}$ ←**完全解**

全响应的初始条件 $\begin{aligned} &i_L(0)=k_1+5=1 &(1)\\ &i_L'(0)=-k_1+2k_2=0 &(2)\end{aligned}$

联立求解可得 $k_1=-4\quad k_2=-2$

全响应为 $i_L(t)=\ -e^{-t}(4\cos 2t+2\sin 2t)+5=5-4.5e^{-t}\cos(2t-26.6^{\circ})$A

第 14、15 次作业 的参考答案：

作业题：

8—1(1)(2)(3) (4) ， 8—2(1)(3)(9)， 8—4(1)(3)，8—5(3)(4) (5)

8—7， 8—8， 8—9， 8—10， 8—11， 8—12， 8—13(1)(2)

8-1 把下列复数化为直角坐标形式。

(1) $5\angle 36.9^{\circ}$ (2) $10\angle 53.1^{\circ}$

(3) $15\angle 143.1^{\circ}$ (4) $\sqrt{5}\angle 26.6^{\circ}$

解： 由复数极坐标和直角坐标的转换关系可得

$$(1)\ 5\angle 36.9^{\circ}=5\cos 36.9^{\circ}+j5\sin 36.9^{\circ}=4+j3$$

$$(2)\ 10\angle 53.1^{\circ}=10\cos 53.1^{\circ}+j10\sin 53.1^{\circ}=6+j8$$

$$(3)\ 15\angle 143.1^{\circ}=15\cos 143.1^{\circ}+j15\sin 143.1^{\circ}=-12+j9$$

$$(4)\ \sqrt{5}\angle 26.6^{\circ}=\sqrt{5}\cos 26.6^{\circ}+\sqrt{5}\sin 26.6^{\circ}=2+j$$

8-2 把下列复数化为极坐标形式。

(1) $3+j4$ (2) $1+j2$

(3) $-9+j12$ (4) $-2+j1$

解： 由复数直角坐标和极坐标的转换关系可得

$$(1)\ +j4=\sqrt{3^2+4^2}\angle \arctan\frac{4}{3}=5\angle 53.1^{\circ}$$

$$(2)\ 1+j2=\sqrt{1^2+2^2}\angle \arctan\frac{2}{1}=\sqrt{5}\angle 63.4^{\circ}$$

$$(3)\ -9+j12=\sqrt{9^2+12^2}\angle \arctan\frac{12}{-9}=15\angle 126.9^{\circ}$$

$$(4)\ -2+j1=\sqrt{2^2+1^2}\angle \arctan\frac{1}{-2}=\sqrt{5}\angle 153.4^{\circ}$$

8-4 求下列正弦量所对应的振幅相量

(1) $8\cos 3t-5\cos 3t+4\sin 3t$

(2) $-5\sin(5t-60^{\circ})$

(3) $10\cos(2t-53.1^{\circ})-5\sin 2t+3\cos(2t+180^{\circ})$

解： 由正弦信号与相量的关系可得

$$f(t)=8\cos 3t-5\cos 3t+4\sin 3t$$

$$=8\cos 3t-5\cos 3t+4\sin(3t-90^{\circ})$$

$$f(t)\leftrightarrow 8\angle 0^{\circ}-5\angle 0^{\circ}+4\angle -90^{\circ}=3-j4=5\angle -53.1^{\circ}$$

$$5\angle -53.1^{\circ}\leftrightarrow f(t)=5\cos(3t-53.1^{\circ})$$

8–5 求下列振幅相量所对应的正弦量

(3) $\dot{U}_3=-9+j12$ (4) $\dot{U}_4=j5$ (5) $\dot{U}_5=-6$

解： 由正弦信号与相量的关系可得

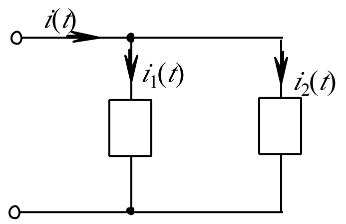
$$(3)\ \dot{U}_3=-9+j12=15\angle126.9^\circ \leftrightarrow u_3(t)=15\cos(\omega t+126.9^\circ)$$

$$(4)\ \dot{U}_4=j5=5\angle90^\circ \leftrightarrow u_4(t)=5\cos(\omega t+90^\circ)$$

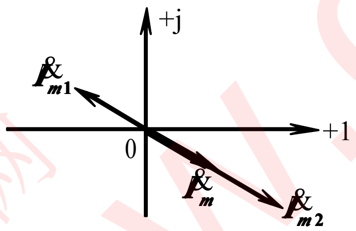
$$(5)\ \dot{U}_5=-6=6\angle\pm180^\circ \leftrightarrow u_5(t)=6\cos(\omega t\pm180^\circ)$$

8–7 题 8–7 图中，$i_1(t)=5\cos(\omega t+143.1^\circ)\text{A}$，$i_2(t)=10\cos(\omega t-36.9^\circ)\text{A}$

求 $i(t)$ 并绘相量图。



题 8–7 图



相量图

解： 由 KCL 的相量形式可得

$$i_1(t)=5\cos(\omega t+143.1^\circ) \leftrightarrow \dot{I}_{m1}=5\angle143.1^\circ=-4+j3$$

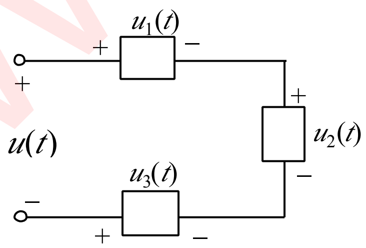
$$i_2(t)=10\cos(\omega t-36.9^\circ) \leftrightarrow \dot{I}_{m2}=10\angle-36.9^\circ=8-j6$$

$$i(t)=i_1(t)+i_2(t) \leftrightarrow \dot{I}_m=\dot{I}_{m1}+\dot{I}_{m2}=4-j3=5\angle-36.9^\circ A$$

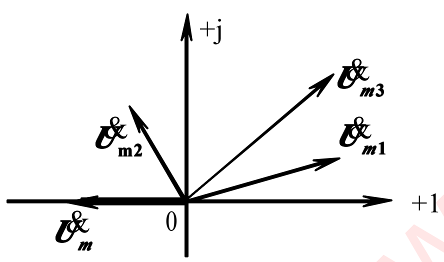
$$\dot{I}_m=5\angle-36.9^\circ A \leftrightarrow i(t)=5\cos(\omega t-36.9^\circ)$$

8–8 题 8–8 图中 $u_1(t)=20\cos(\omega t+36.9^\circ)\text{V}$，$u_2(t)=15\cos(\omega t+126.9^\circ)\text{V}$

$u_3(t)=30\cos(\omega t+53.1^\circ)\text{V}$，求 $u(t)$ 并绘相量图。



题 8–8 图



相量图

解： 由 KVL 的相量形式可得

$$
\begin{aligned}
&u_1(t)=20\cos(\omega t+36.9^\circ) \leftrightarrow \dot{U}_{m1}=20\angle 36.9^\circ=16+j12\\
&u_2(t)=15\cos(\omega t+126.9^\circ) \leftrightarrow \dot{U}_{m2}=15\angle 126.9^\circ=-9+j12\\
&u_3(t)=30\cos(\omega t+53.1^\circ) \leftrightarrow \dot{U}_{m3}=30\angle 53.1^\circ=18+j24\\
&u(t)=u_1(t)+u_2(t)-u_3(t) \leftrightarrow \dot{U}_m=\dot{U}_{m1}+\dot{U}_{m2}-\dot{U}_{m3}=-11=11\angle\pm180^\circ\text{V}\\
&\dot{U}_m=11\angle\pm180^\circ\text{V} \leftrightarrow u(t)=11\cos(\omega t\pm180^\circ)\ \text{V}
\end{aligned}
$$

8-9 已知元件 A 两端的正弦电压为 $u_A(t)=15\cos(1000t+45^\circ)$V，求流过元件 A 的正弦电流 $i(t)$，若 A 为 (1)R= 3kΩ的电阻； (2)L= 5mH 的电感； (3)C= 1μF 的电容。

解： 由元件的 VCR 的可得

$$
u_A(t)=15\cos(1000t+45^\circ)\text{V}\rightarrow
\begin{cases}
i_R(t)=\dfrac{u_A(t)}{R}=5\cos(1000t+45^\circ)\text{mA}\\
i_c(t)=C\dfrac{du_A(t)}{dt}=15\cos(1000t+135^\circ)\text{mA}\\
i_L(t)=\dfrac{1}{L}\int u_A(t)dt=3\cos(1000t-45^\circ)\text{mA}
\end{cases}
$$

8-10 元件 A 为一电阻或电容或电感，已知元件 A 的正弦电压和正弦电流分别如下，确定 A 为何种元件的基础上确定其电路参数 R，L，C。

(1) $u_1(t)=100\cos(5000t-30^\circ)$V　　$i_1(t)=10\cos(5000t+60^\circ)$mA

(2) $u_2(t)=100\cos(1000t+60^\circ)$V　　$i_2(t)=5\cos(1000t-30^\circ)$A

(3) $u_3(t)=300\cos(314t+45^\circ)$　　$i_3(t)=60\cos(314t+45^\circ)$A

(4) $u_4(t)=250\cos(200t+50^\circ)$V　　$i_4(t)=0.5\cos(200t+140^\circ)$A

解：

元件在正弦稳态下的 VCR 可得

（1） $\varphi_{z1}=\theta_{u1}-\theta_{i1}=-30^\circ-(60^\circ)=-90^\circ$, 因为阻抗角为 -90° 所以该元件为电容元件

$10\times10^{-3}=C100\times5000\rightarrow C=2\times10^{-8}F=0.02\mu F$

（2） $\varphi_{z2}=\theta_{u2}-\theta_{i2}=60^\circ-(-30^\circ)=90^\circ$, 因为阻抗角为 90° 所以该元件为电感元件

$100=L5\times1000\rightarrow L=0.02\text{H}=20\text{mH}$

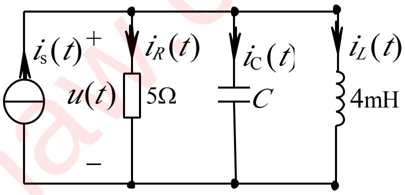
（3） $\varphi_{z3}=\theta_{u3}-\theta_{i3}=45^\circ-45^\circ=0^\circ$, 因为阻抗角为 0° 所以该元件为电阻元件

$300=R60\rightarrow R=5\Omega$

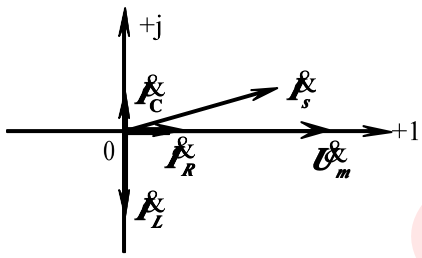
（4） $\varphi_{z4}=\theta_{u4}-\theta_{i4}=50^\circ-(140^\circ)=-90^\circ$, 因为阻抗角为 -90° 所以该元件为电容元件

$0.5=C250\times200\rightarrow C=10\mu F$

8-11 题 8-11 图所示电路中 $i_s(t)=8\cos1000t+6\sin1000t$ A，已知 $u(t)=40\cos1000t$ V，求 $i_R(t),\ i_C(t),\ i_L(t)$ 及电容参数 C，并绘出相量图。



题 8-11 图



相量图

解： 由两类形式的相量形式可得

$$u(t)=40\cos1000t\,\mathrm{V} \leftrightarrow \dot{U}_m=40\angle0^\circ\,\mathrm{V}$$

$$i_s(t)=8\cos1000t+6\sin1000t\,\mathrm{A} \leftrightarrow \dot{I}_m=8-j6$$

$$\dot{I}_{Rm}=\frac{\dot{U}_m}{R}=8\angle0^\circ\,\mathrm{A} \leftrightarrow i_R(t)=8\cos1000t\,\mathrm{A}$$

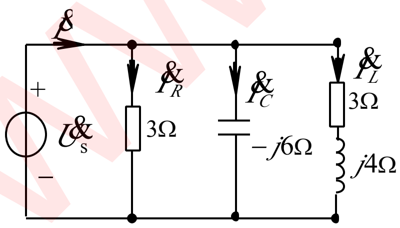
$$\dot{I}_{Lm}=\frac{\dot{U}_m}{j\omega L}=-j10\,\mathrm{A} \leftrightarrow i_L(t)=10\cos(1000t-90^\circ)\,\mathrm{A}$$

$$\dot{I}_{cm}=\dot{U}_m j\omega C \leftrightarrow i_c(t) \text{ 待求}$$

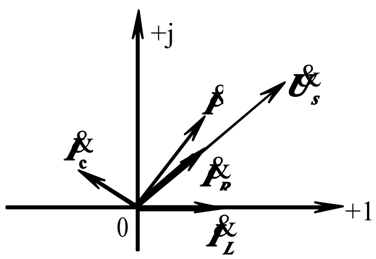
$$\dot{I}_C=\dot{I}_m-(\dot{I}_{Rm}+\dot{I}_{Lm})=j4\,\mathrm{A} \leftrightarrow i_c(t)=4\cos(1000t+90^\circ)\,\mathrm{A}$$

$$C=\dot{I}_{cm}/\dot{U}_m j\omega=100\,\mu F$$

8-12 题 8-12 图所示为某一电路的相量模型，已知 $\dot{U}_s=(18+j24)$ V，求 $\dot{I}_R,\ \dot{I}_C,\ \dot{I}_L$ 及 $\dot{I}$，并绘出相量图。



题 8-12 图



相量图

解： 由两类形式的相量形式可得

$$\dot{U}_s = 18 + j24 = 30\angle 53.1^\circ \text{V}$$

$$\dot{I}_R = \frac{\dot{U}_s}{R} = 10\angle 53.1^\circ \text{A} = 6 + j8$$

$$\dot{I}_L = \frac{\dot{U}_s}{3 + j4} = \frac{30\angle 53.1^\circ}{5\angle 53.1^\circ} = 6\angle 0^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_c = \dot{U}_s / -j6 = 5\angle 143.1^\circ \text{A} = -4 + j3$$

$$\dot{I} = \dot{I}_R + \dot{I}_C + \dot{I}_L = 8 + j11\text{A}$$

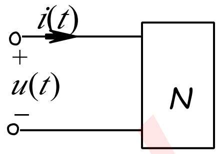
8–13 题 8–13 图所示无源单口网络端钮上的电压和电流分别如下， 试求每种情况时的阻抗及导纳。

(1) $u(t) = 120\cos(\omega t + 105^\circ)\text{V}$

$i(t) = 6\cos(\omega t + 45^\circ)\text{A}$

(2) $u(t) = 80\cos(\omega t - 36.9^\circ)\text{V}$

$i(t) = 16\cos(\omega t - 90^\circ)\text{A}$



题 8–13 图

解： 由阻抗和导纳的定义可得

(1) $u(t) = 120\cos(\omega t + 105^\circ)\text{V} \leftrightarrow \dot{U}_m = 120\angle 105^\circ \text{V}$

$i(t) = 6\cos(\omega t + 45^\circ)\text{A} \leftrightarrow \dot{I}_m = 6\angle 45^\circ \text{ A}$

$$Z = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = \frac{120\angle 105^\circ}{6\angle 45^\circ A} = 20\angle 60^\circ \Omega$$

$$Y = \frac{1}{Z} = 0.05\angle -60^\circ (\text{S})$$

(2) $u(t) = 80\cos(\omega t - 36.9^\circ)\text{V} \leftrightarrow \dot{U}_m = 80\angle -36.9^\circ \text{V}$

$i(t) = 16\cos(\omega t - 90^\circ)\text{A} \leftrightarrow \dot{I}_m = 16\angle -90^\circ \text{A}$

$$Z = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = \frac{80\angle -36.9^\circ}{16\angle -90^\circ} = 5\angle 53.1^\circ \Omega$$

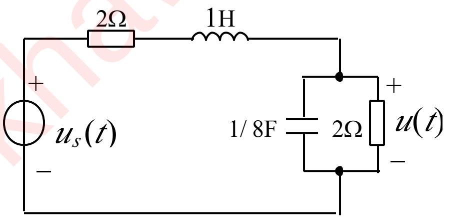
$$Y = \frac{1}{Z} = 0.2\angle -53.1^\circ (\text{S})$$

第 16、17 次作业参考答案：

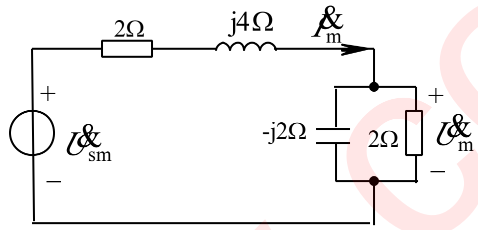
8—15， 8—22，8—25， 8—27，

8—28(b)(c)， 8—30, 8—31， 9—4 , 9—6， 9—8， 9—10

8-15 题 8-15 图所示电路，已知 $u(t) = 2\cos 4t$ V ,试求电源电压 $u_s(t)$。



题 8-15 图



相量模型

解： 由两类形式的相量形式可得

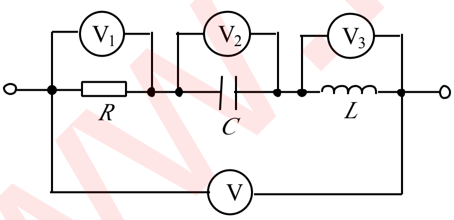
$$\dot{U}_m = 2\angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\dot{I}_m = \frac{\dot{U}_m}{2} + \frac{\dot{U}_m}{-j2}\dot{U}_m = 2\angle 0^\circ \text{ V} = 1 + j = \sqrt{2}\angle 45^\circ \text{ A}$$

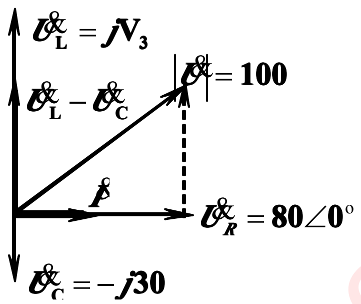
$$\dot{U}_{sm} = (2 + j4)\dot{I}_m + \dot{U}_m = j6 = 6\angle 90^\circ \text{ V}$$

$$\dot{U}_{sm} \leftrightarrow u_s(t) = 6\cos(4t + 90^\circ)$$

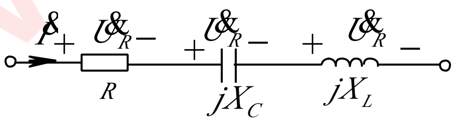
8-22 题 8-22 图所示电路， 已知电压表 $V_1 = 80\text{V}$, $V_2 = 30\text{V}$, $V = 100\text{V}$用相量图法求电压表 V_3读数。



题 8-22 图



相量图



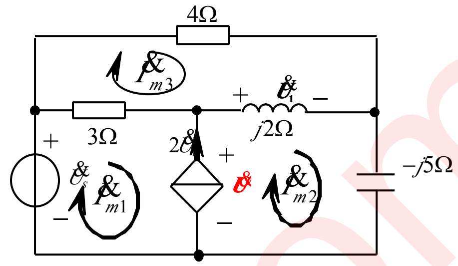
相量模型

解： 1）由两类约束的相量形式画如图所示相量图

2）由相量图的几何关系可求得 $\left|\dot{U}_L - \dot{U}_c\right| = \sqrt{100^2 - 80^2} = 60$， 由此可求得 $V_3 = 90V$

8–25 相量模型如题 8–25 图所示，列出求解 $\dot{U}_1$ 所需的网孔电流方程。

解： 各网孔电流参考方向如图中所示。



题 8–25 图

① $3\dot{I}_{m1}-3\dot{I}_{m3}=\dot{U}_s-\dot{U}$

② $(j2-j5)\dot{I}_{m2}-j2\dot{I}_{m3}=\dot{U}$

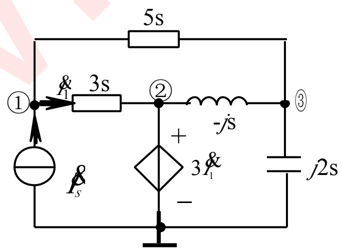
③ $-3\dot{I}_{m1}-j2\dot{I}_{m2}+(7+j2)\dot{I}_{m3}=0$

$2\dot{U}_1=\dot{I}_{m2}-\dot{I}_{m1}$

$\dot{U}_1=j2(\dot{I}_{m2}-\dot{I}_{m3})$

8–27 相量模型如题图 8–27 所示，列出求解 $\dot{I}_1$ 所需的节点电压方程。

解： 各节点及参考点如图中所示。



题 8–27 图

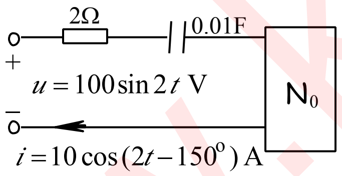
② $\dot{U}_{n2}=3\dot{I}_1$

① $8\dot{U}_{n1}-3\dot{U}_{n2}-5\dot{U}_{n3}=\dot{I}_S$

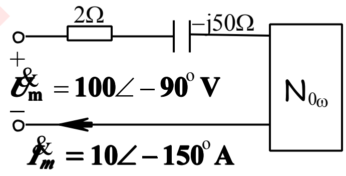
③ $-5\dot{U}_{n1}+j\dot{U}_{n2}+(j2-j+5)\dot{U}_{n3}=0$

$\dot{I}_1=3(\dot{U}_{n1}-\dot{U}_{n2})$

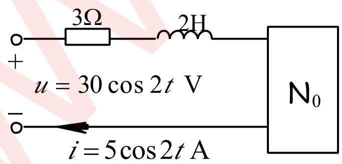
8–28 电路如题图 8–28 所示，试确定方框内最简单串联组合的元件值。



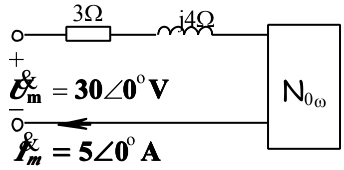
(b)



b 图的相量模型



(c)



C 图的相量模型

题图 8–28

解：（1）由 b 图的相量模型可得

$$Z=\frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m}=\frac{100\angle-90^\circ\text{V}}{10\angle-150^\circ\text{A}}=10\angle 60^\circ=5+j8.66\Omega \quad (1)$$

由 b 图相量模型的联接方式可得

$$Z=2-j50+R+jX=5+j8.66\quad(2)$$

由（2）式可得

$$R=3\Omega,\quad X=58.66\Omega=\omega L\rightarrow L=\frac{58.66}{2}=29.33\text{H}$$

（2）由 c 图的相量模型可得

$$Z=\frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m}=\frac{30\angle0^{\circ}\text{V}}{5\angle0^{\circ}\text{A}}=6\angle0^{\circ}\quad(1)$$

由 c 图相量模型的联接方式可得

$$Z=3+j4+R+jX=6\quad(2)$$

由（2）式可得

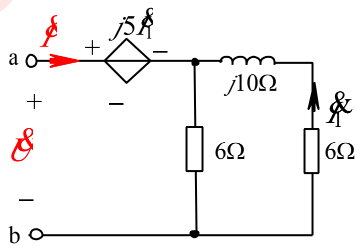
$$R=3\Omega,\quad X=-4\Omega=-\frac{1}{\omega C}\rightarrow C=\frac{1}{8}F$$

8–30 题 8–30 图所示相量模型，求其 ab 端的等效串联相量模型。

解：用外加法求等效阻抗

$$\dot{U}=j5-(6+j10)\dot{I}_1=-(6+j5)\dot{I}_1\quad(1)$$

$$\dot{I}_1=\frac{-6}{2(6+j5)}\dot{I}\quad(2)$$



题 8–30 图

把（2）式带入（1）式整理可得

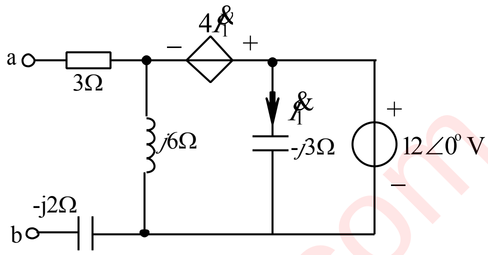
$$Z=\frac{\dot{U}}{\dot{I}}=-(6+j5)\frac{-6}{2(6+j5)}=3\Omega$$

8–31 题图 8–31 所示相量模型，求其 ab 端的戴维南相量模型。

解： 1）求开路电压

$$\dot{U}_{oc}=-4\dot{I}_1+12\angle0^{\circ}\text{V}\quad(1)$$

$$\dot{I}_1=\frac{12\angle0^{\circ}}{-j3}=j4\quad(2)$$



题图 8–31

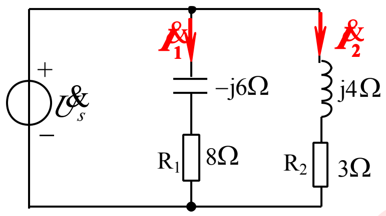
把（2）式带入（1）式可得 $\dot{U}_{oc}=12-j16=20\angle-53.1^{\circ}\text{V}$

2）用外加法求等效内阻抗，

当电压源短路时 $\because\dot{I}_1=0\ \therefore4\dot{I}_1=0$，此时电感两端被短路，由此可得

$$Z_o=(3-j2)\Omega$$

9–4 电路如题 9–4 图所示，已知 $\dot{U}_S=50\angle 0^{\circ}\text{V}$。分别求两电阻的平均功率，电容的无功功率及电感的无功功率。



题 9–4 图

解:

$$\dot{I}_1=\frac{\dot{U}_s}{8-j6}=5\angle 36.9^{\circ}\ \text{A}$$

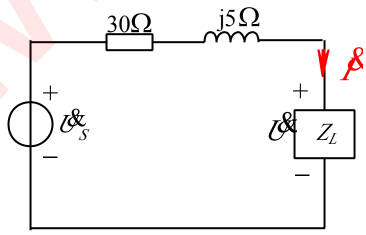
$$\dot{I}_2=\frac{\dot{U}_s}{3+j4}=10\angle -53.1^{\circ}\ \text{A}$$

$$P_{8\Omega}=8I_1^2=200\text{W}\ ,P_{3\Omega}=3I_2^2=300\text{W}$$

$$Q_C=-6I_1^2=-150\text{var}\ ,Q_L=4I_2^2=400\text{var}$$

9–6 电路如题 9–6 图所示，已知负载两端电压 $\dot{U}=240\angle 0^{\circ}\text{V}$，负载的功率因数为 0.8(电容性)，负载获得的功率为 2kW (1) 求电源电压 $\dot{U}_S$；(2)负载的等效相量模型。

解:



题 9–6 图

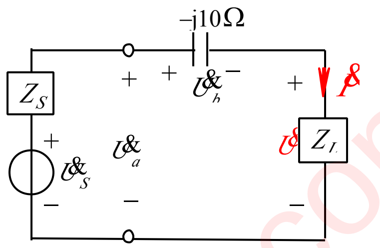
$$\lambda=\cos\varphi_z=0.8\ \text{（超前）}\ \rightarrow \varphi_z=-36.9^{\circ}$$

$$\because P=UI\lambda\quad \therefore \dot{I}=\frac{P}{U\lambda}\angle -\varphi_z=10.4\angle 36.9^{\circ}\ \text{A}$$

$$\dot{U}_s=(30+j5)\dot{I}+\dot{U}=512.8\angle 26.6^{\circ}\ \text{V}$$

$$Z=\frac{\dot{U}}{\dot{I}}=23\angle -36.9^{\circ}\Omega$$

9–8 电路如题 9–8 图所示，已知 $\dot{U}_a=10\angle -30^{\circ}\ \text{V}$，$\dot{U}_b=5\angle -120^{\circ}\ \text{V}$，试计算负载 Z_L 的阻抗及吸收的功率。



题 9–8 图

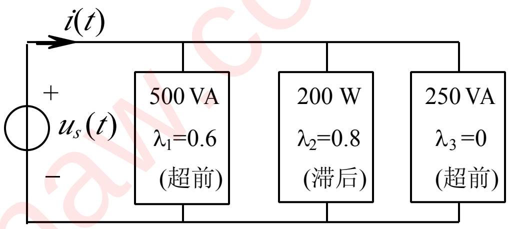
解:
$$\dot{I}=\frac{\dot{U}_b}{-j10}=\frac{1}{2}\angle -30^{\circ}\ \text{A}$$

$$\dot{U}=\dot{U}_b-\dot{U}_a=\left(5\sqrt{3}+2.5\right)+j\left(2.5\sqrt{3}-5\right)\ \text{V}$$

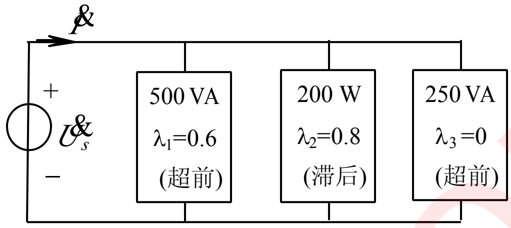
$$Z=\frac{\dot{U}}{\dot{I}}=20+j10=22.36\angle 26.4^{\circ}\Omega$$

$$P=20I^2=5\text{W}$$

9–10 电路如题 9–10 图所示，已知 $u_s(t)=50\sqrt{2}\cos 314t$ V,求与电源相接的单口网络的 S、P、Q、λ 及流过电源的电流 $i(t)$。



题 9–10 图



相量模型

解：利用复功率守恒

$$\tilde{S}=\tilde{S}_1+\tilde{S}_2+\tilde{S}_3=P+jQ=500-j500=500\sqrt{2}\angle-45^\circ\ \mathrm{V\cdot A}$$

其中

$$\tilde{S}_1=P_1+jQ_1=S\lambda_1-jS\sqrt{1-\lambda_1^2}=500(0.6-j0.8)=(300-j400)\mathrm{V\cdot A}$$

$$\tilde{S}_2=P_2+jQ_2=200+jS_2\sqrt{1-\lambda_2^2}=(200+j150)\mathrm{V\cdot A}\quad（其中\ S_2=\frac{P_2}{\lambda_2}=250\mathrm{V\cdot A}）$$

$$\tilde{S}_3=P_3+jQ_3=0+jS_3\sqrt{1-\lambda_3^2}=-j250\mathrm{V\cdot A}$$

$$\because\quad \tilde{S}=\dot{U}_s\dot{I}^*=|UI|\angle\varphi_z=500\sqrt{2}\angle-45^\circ\ \mathrm{V\cdot A}$$

$$\therefore\quad \dot{I}^*=\frac{\tilde{S}}{\dot{U}_s}=10\sqrt{2}\angle-45^\circ\mathrm{A}$$

$$\dot{I}=10\sqrt{2}\angle45^\circ\mathrm{A}\leftrightarrow\quad i(t)=20\cos(\omega t+45^\circ)\mathrm{A}$$

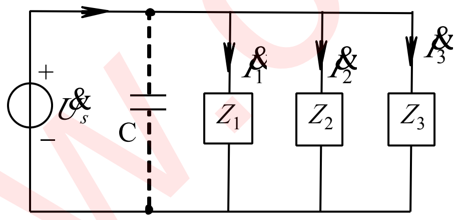
第 18、19 次作业参考答案：

9—18，9—19， 9—20， 9—22，9—23，

9–18 电路如题 9–18 图所示，已知 $\dot{U}_s = 10\angle 0^0$，$Z_1 = (3-j4)\Omega$，$Z_2 = 5\angle 90^0 \mathrm{V}$，$Z_3 = 10\angle 36.9^\circ\Omega$，电源角频率为 $\omega = 10^3\ rad/s$，求：

（1）P、Q、S、λ

（2）欲使电源不提供无功功率应并多大电容。



题 9–18 图

解： 由相量形式的 VCR 可得

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_s}{Z_1} = \frac{\dot{U}_s}{3-j4} = 2\angle 53.1^\circ \mathrm{A}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_s}{Z_2} = \frac{\dot{U}_s}{j5} = 2\angle -90^\circ \mathrm{A}$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_s}{Z_3} = \frac{\dot{U}_s}{2\angle 36.9^\circ} = 5\angle -36.9^\circ \mathrm{A}$$

（1）用复功率守恒求

$$\bar{S}_1 = \dot{U}_s \dot{I}_1^* = 20\angle -53.1^\circ = (12-j16)\mathrm{V\cdot A}$$

$$\bar{S}_2 = \dot{U}_s \dot{I}_2^* = 20\angle 90^\circ = j20\mathrm{V\cdot A}$$

$$\bar{S}_3 = \dot{U}_s \dot{I}_3^* = 10\angle 36.9^\circ = (8+j6)\mathrm{V\cdot A}$$

$$\bar{S} = P + jQ = \bar{S}_1 + \bar{S}_2 + \bar{S}_3 = 20 + j10 = 10\sqrt{5}\angle 26.6^\circ = S\angle\varphi_z \ \mathrm{V\cdot A}$$

$P = 20\mathrm{W}$，$Q = 10\,\mathrm{var}$，$S = 10\sqrt{5}\mathrm{V\cdot A}$，$\lambda = \cos 26.6^\circ = \frac{2}{\sqrt{5}}$（滞后）

（2）并电容后欲使电源不提供无功功率，应满足

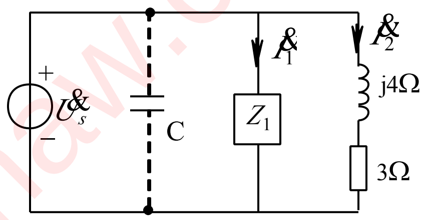
$$Q + Q_c = 0 \rightarrow Q_c = -10\,\mathrm{var}$$

$$Q_c = -U_c I_c = -\omega C U_c^2 = -10 \rightarrow C = \frac{10}{\omega U_s^2} = 100\mu\mathrm{F}$$

9–19 电路如题 9–19 图所示，已知 $p = 450\text{W}$, $Q = 200\text{ var}$, $\dot{U}_S = 50\angle 0^0\text{ V}$，电源角频率 1000rad/s。

(1) 求 Z_1；

(2) 欲使电源不提供无功功率，应并多大电容。



题 9–19 图

解:

（1）用复功率守恒求

$$\dot{S}_2 = P_2 + jQ_2 = \dot{U}_s \dot{I}_2 = 500\angle 53.1^\circ = (300 + j400)\text{V}\cdot\text{A}$$

其中 $\dot{I}_2 = \dfrac{\dot{U}_s}{3+j4} = 10\angle -53.1^\circ\text{ A}$

$$\because \dot{S} = \dot{S}_1 + \dot{S}_2 = P + jQ = (400 + j200)\ \text{V}\cdot\text{A}$$
$$\therefore \dot{S}_1 = \dot{S} - \dot{S}_2 = (150 - j200) = 250\angle -53.1^\circ\ \text{V}\cdot\text{A}$$

由 $\dot{S}_1 = \dot{U}_s \dot{I}_1 \quad \rightarrow \dot{I}_1 = \left(\dot{S}_1 / \dot{U}_s\right)^* = 5\angle 53.1^\circ\text{A}$,

$$Z_1 = \frac{\dot{U}_s}{\dot{I}_1} = 10\angle\text{-}53.1^\circ\Omega$$

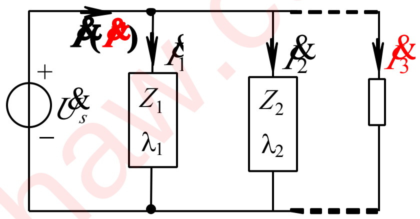
（2）电源不提供无功功率，应满足

$$Q + Q_C = 0 \rightarrow Q_C = -Q = -U_s I_c = -\omega C U_s^2 = -200\text{ var}$$
$$C = \frac{200}{\omega U_s^2} = 80\mu\text{F}$$

9–20 电路如题 9–20 图所示，已知 $I_1 = 10\text{A}$，$I_2 = 20\text{A}$，$U_S = 100\text{V}$，$\lambda_1 = 0.8$（超前），$\lambda_2 = 0.5$（滞后）。

(1) 求 I、电路的功率因数及吸收的平均功率。

(2)若电源的额定电流为 30A，还能并联多大的电阻？求并联该电阻后电路的功率及功率因数。



题 9–20 图

解：（1）

用复功率守恒求

$$\dot{S}_1 = U_s\dot{I}_1^* = U_sI_1\lambda_1 + jU_sI_1\sqrt{1-\lambda_1^2} = (800 - j600)\ \text{V}\cdot\text{A}$$

$$\dot{S}_2 = U_s\dot{I}_2^* = U_sI_2\lambda_2 + jU_sI_2\sqrt{1-\lambda_2^2} = (1000 + j1000\sqrt{3})\ \text{V}\cdot\text{A}$$

$$\dot{S} = \dot{S}_1 + \dot{S}_2 = 1800 + j1132 = 2126\angle 3216^\circ = UI\angle\varphi_z$$

$$P = 1800\text{W}$$

$$I = \frac{2126}{100} \approx 21.3\text{A}$$

$\lambda = \cos 32.16^\circ = 0.846$（滞后）

（2）并电阻后

由上面的计算结果已知

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 21.3\angle -32.16 = 18.03 - j11.34$$

$$|\dot{I}'| = |\dot{I} + \dot{I}_3| = |18.03 - j11.34 + \dot{I}_3| = 30 \to \dot{I}_3 = 9.75\text{A}$$

可并 $R = \dfrac{\dot{U}_s}{\dot{I}_3} = \dfrac{100}{9.75} = 10.23\Omega$

电阻支路吸收的功率为 $P_R = \dfrac{\dot{U}_s^2}{R} = 978\text{W}$

由平均功率守恒可得 $P' = P + P_R = 1800 + 978 = 2778\text{W}$

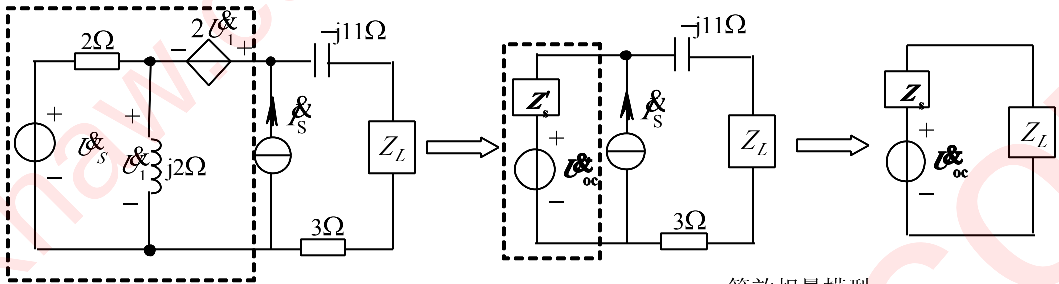
$$\dot{S}' = P' + jQ = 2778 + j1132 = UI'\angle 22.17^\circ\ \text{V}\cdot\text{A}$$

$\lambda' = \cos 22.17^\circ = 0.926$（滞后）

9–22 电路如题 9–22 图所示，已知 $\dot{U}_S = 30\angle -45^{\circ}\text{V}$，$\dot{I}_S = 15\angle 45^{\circ}\text{A}$。

(1) Z_L 的实部和虚部均可独立变化，问 Z_L 为何值时可获得最大功率。求 P_{LMAX}。

(2) 若负载 Z_L 为纯电阻，问 Z_L 为何值时可获得最大功率，求此时的 $P_{L\max}$。



题 9–22 图　　　　等效相量模型

解： 分步求等效电路可避免列联立方程，先求虚线框的等效电路

$$\dot{U}_{oc}' = 3\dot{U}_1 = 45\sqrt{2}\angle 0^{\circ}\ \text{V}\ \left(\text{其中}\ \dot{U}_1 = \frac{j2}{2+j2}\dot{U}_s = 15\sqrt{2}\angle 0^{\circ}\ \text{V}\right)$$

$$Z_s' = 3 + j3\Omega$$

$$\dot{U}_{oc} = Z_s'\dot{I}_s + \dot{U}_{oc}' = 90\angle 45^{\circ}\ \text{V}$$

$$Z_s = Z_s' + 3 - j11 = 6 - j8 = 10\angle -53.1^{\circ}\Omega$$

（1）负载和内阻抗共轭匹配时

$$Z_L = Z^*_s = 6 + j8 = 10\angle 53.1^{\circ}\Omega$$

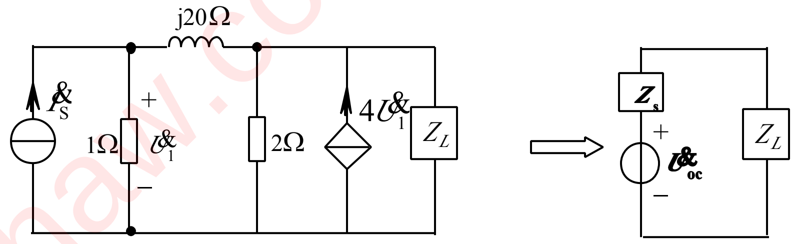
$$P_{L\max} = \frac{U_{oc}^2}{4\times 6} = 337.5\text{W}$$

（2）负载和内阻抗模匹配时

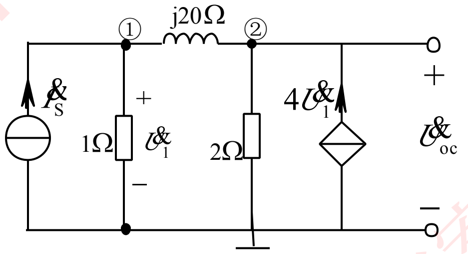
$$Z_L = R_L = |Z_s| = 10$$

$$P_{L\max} = \left|\frac{\dot{U}_{oc}}{Z_s + R_L}\right|^2 R_L = 253\text{W}$$

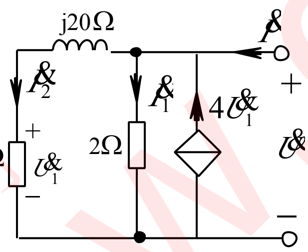
9–23 电路如题 9–23 图所示，已知 $\dot{I}_S = 1\angle 0^{\circ}\text{A}$。$Z_L$ 的实部和虚部均可独立变化，问 Z_L 为何值时可获得最大功率。求 $P_{L\text{MAX}}$。



题 9–23 图



(a)



(b)

解： 求负载两端的等效电路

对(a)图列节点方程可得

$$\left.\begin{aligned}(1+\frac{1}{\text{j}20})\dot{U}_{n1}-\frac{1}{\text{j}20}\dot{U}_{n2}&=\dot{I}_s\\ -\frac{1}{\text{j}20}\dot{U}_{n1}+(\frac{1}{2}+\frac{1}{\text{j}20})\dot{U}_{n2}&=4\dot{U}_1\\ \dot{U}_1&=\dot{U}_{n1}\end{aligned}\right\}\quad \dot{U}_{oc}=\dot{U}_{n2}=7.7\angle -15^{\circ}\ \text{V}$$

对(b)图由外加法可得

$$\dot{I}+4\dot{U}_1-\dot{I}_1-\dot{I}_2=0 \quad (\text{其中}\ \dot{I}_1=\frac{\dot{U}}{2},\ \dot{I}_2=\frac{\dot{U}}{1+j20},\ \dot{U}_1=R\dot{I}_2=\dot{I}_2)$$

上式整理可得 $Z_s=\dfrac{\dot{U}}{\dot{I}}=(1.84-j0.55)=1.92\angle -17^{\circ}\,\Omega$

$$Z_L=Z^*_s=1.84+j0.55=1.92\angle 17^{\circ}\,\Omega$$

$$P_{L\max}=\frac{U_{oc}^2}{4R_s}=8.1\text{W}$$

第 20、21 次作业参考答案

9–27，9–28， 10–1，10–3， 10–5，10–6

9–27 对称三相电路的线电压 $U_l = 380$ V，负载阻抗 $Z = 20\angle 30^{\circ}$ Ω。试求：

(1)负载 Y 形连接时线电流、相电流及三相负载吸收的总功率；
(2)负载Δ形连接时线电流、相电流及三相负载吸收的总功率；
(3)比较(1)和(2)的结果能得到什么结论。

解： 负载 Y 形连接时

1）负载相电压和线电压的关系为

$$U_p = \frac{U_l}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220\text{V}$$

2）线电流和相电流的关系为

$$I_p = I_l = \frac{U_p}{|Z|} = \frac{220}{20} = 11\text{A}$$

3）三个负载吸收的总功率为

$$3U_p I_p \cos\varphi_z = 3\times 220\times 11\cos 30^{\circ} \text{ B } 6270\text{W}$$

负载V形连接时

1）负载相电压和线电压的关系为

$$U_p = U_l = 380\text{V}$$

2）相电流和线电流的关系为

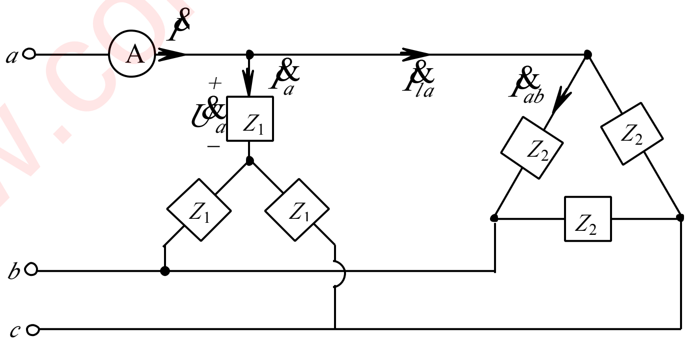
$$I_p = \frac{U_p}{|Z|} = \frac{380}{20} = 19\text{A}, \qquad I_l = \sqrt{3} I_p = 33\text{A}$$

3）三个负载吸收的总功率为

$$3U_p I_p \cos\varphi_z = 3\times 380\times 19\cos 30^{\circ} = 18810\text{W}$$

9–28 一对称三相电路如题 9–28 图所示，电源线电压 $U_l = 380\ \text{V}$，负载阻抗 $Z_1 = 30\angle 30^{\circ}\ \Omega$，$Z_2 = 60\angle 60^{\circ}\ \Omega$。试求：(1)电流表的读数；(2)负载吸收的总功率。

;



题 9–28 图

解：

（1）设 $\dot{U}_{ab} = 380\angle 0^{\circ}$，

由线电压和相应相电压及线电流及相应相电流的关系可得

$$\dot{U}_a = 220\angle -30^{\circ}$$

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{U}_a}{Z_1} = \frac{220\angle -30^{\circ}}{30\angle 30^{\circ}} = \frac{22}{3}\angle -60^{\circ}\ \text{A}$$

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z_2} = \frac{380\angle 0^{\circ}}{60\angle 60^{\circ}} = \frac{19}{3}\angle -60^{\circ}\ \text{A}$$

$$\dot{I}_{la} = \sqrt{3}\dot{I}_{ab}\angle -30^{\circ} = \frac{19}{\sqrt{3}}\angle -90^{\circ}\ \text{A}$$

$$\left|\dot{I}_{\text{A}}\right| = \left|\dot{I}\right| = \left|\dot{I}_a + \dot{I}_{la}\right| \approx 17.7\text{A}$$

（2）Y 形连接的负载部分

$$U_p = \frac{U_l}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220\text{V}$$

$$I_p = I_l = \frac{U_p}{|Z|} = \frac{220}{30} = \frac{22}{3}\text{A}$$

$$P_Y = 3U_p I_p \cos\varphi_z = 3\times 220\times\frac{22}{3}\cos 30^{\circ} \approx 4191\text{W}$$

V 形连接的负载部分

$$U_p = U_l = 380\text{V}$$

$$I_p = \frac{U_p}{|Z|} = \frac{380}{60} = \frac{19}{3}\text{A},$$

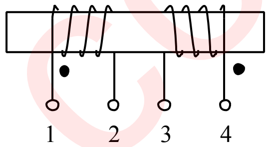
$$P_V = 3U_p I_p \cos\varphi_z = 3\times 380\times\frac{19}{3}\cos 60^\circ = 3610\,\text{W}$$

电源的总负载吸收的功率为 $P = P_Y + P_V$ B $7800\,\text{W}$

10–1 同在一个磁芯上绕的两线圈，如题 10–1 图所示。

（1）试确定同名端；

（2）若在端钮 1 输入正弦电流 $i = 10\sin t$ A，其参考方向指向端钮 1，已知互感 M=0.01H，求 u_{34}。



题 10–1 图

解：

（1）同名端如图中所示

（2）由同名端的定义，电流流入的端和感应电压的正电位端对同名端一致

$$u_{43} = M\frac{di_1}{dt} = 0.01\times 10\cos t = 0.1\cos t$$

$$u_{34} = -u_{43} = -0.1\cos t$$

10–3 试写出题 10–3 图所示四个电路的 VCR。

解：由电压电流参考方向对同名端的关系可得

(a) $$u_1 = L_1\frac{di_1}{dt} - M\frac{di_2}{dt}$$

$$u_2 = -M\frac{di_1}{dt} + L_2\frac{di_2}{dt}$$

(b) $$u_1 = L_1\frac{di_1}{dt} + M\frac{di_2}{dt}$$

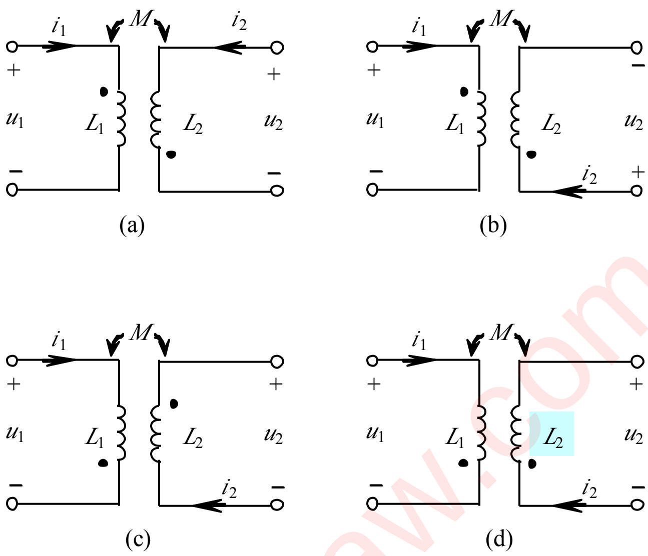
$$u_2 = M\frac{di_1}{dt} + L_2\frac{di_2}{dt}$$

(c) $$u_1 = L_1\frac{di_1}{dt} + M\frac{di_2}{dt}$$

$$u_2 = -M\frac{di_1}{dt} - L_2\frac{di_2}{dt}$$

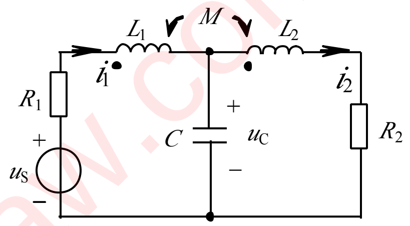
(d) $$u_1 = L_1\frac{di_1}{dt} - M\frac{di_2}{dt}$$

$$u_2 = M\frac{di_1}{dt} - L_2\frac{di_2}{dt}$$

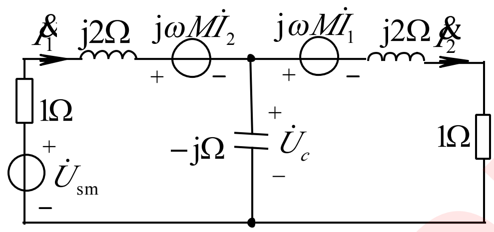


题 10–3 图

10−5　题 10−5 图所示电路中，已知 $u_S(t)=100\cos(t+15°)$ V，$L_1=L_2=2$H，$M=1$H，$C=1$ F，$R_1=R_2=1\Omega$。试求电压 $u_C(t)$。



题 10−5 图



互感电压用附加电压源表示后的相量模型

解： 电压源的振幅相量　$\dot{U}_{sm}=100\angle 15^{\circ}$ V，$j\omega M=j\Omega$

对相量模型列网孔方程并求解可得

$(1+j)\dot{I}_{1m}+j\dot{I}_{2m}=\dot{U}_{sm}-j\omega M\dot{I}_{2m}$

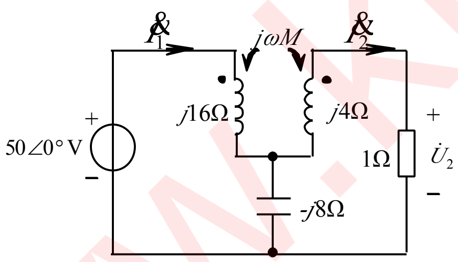
$j\dot{I}_{1m}+(1+j)\dot{I}_{2m}=-j\omega M\dot{I}_{1m}$

$\dot{U}_{cm}=-j(\dot{I}_{1m}-\dot{I}_{2m})=70.7\angle -30^{\circ}$ V

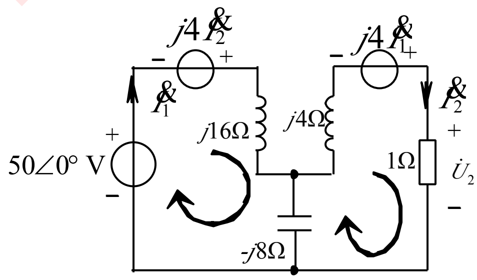
由正弦信号与相量关系可得

$\dot{U}_{cm}=70.7\angle -30^{\circ}\text{ V}\leftrightarrow u_c(t)=70.7\cos(t-30^{\circ})$V

10−6 题 10−6 图所示电路中，耦合系数 k=0.5，求输出电压 $\dot{U}_2$。各阻抗的单位为Ω。



题 10−6 图



（b）

解：

$$\text{Q}\ k=\frac{M}{\sqrt{L_1L_2}}$$

$$\therefore j\omega M=k\sqrt{j\omega L_1 j\omega L_2}=j4\Omega$$

对相量模型列网孔方程并求解可得

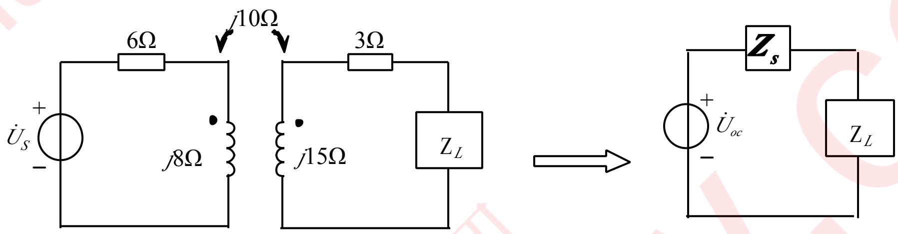
$$j8\dot{I}_1+j8\dot{I}_2=50-j4\dot{I}_2$$
$$j8\dot{I}_1+(1-j4)\dot{I}_2=j4\dot{I}_1$$
$$\dot{U}_2=R\dot{I}_2=4.11\angle -99.5^{\circ}\text{ V}$$

第 22、23 次作业

10—10， 10—13， 10—15 ，10—16， 10—19， 10—22 ， 10—23

11—1 (a)(b), 11—2 (a)(c) ， 11—3 (b)(d) ， 11—4)(c)(d)

10-10 题 10-10 图所示电路 Z_L 的实部虚部可独立变化，负载为何值时能获得最大功率。(提示：用次级等效电路)



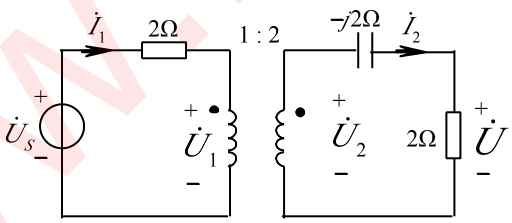
题 10-10 图　　　　次级等效电路

解： 该题没有要求计算获得的最大功率，因此只需要计算等效内阻康即可

$$Z_s = \frac{(\omega M)^2}{Z_{11}} + R_2 + j\omega L_2 = \frac{100}{6+j8} + 3 + j15 = (9-j7)\Omega$$

当 $Z_L = Z_s^* = (9+j7)\Omega$ 时负载可获最大功率

10-13 电路题 10-13 图所示，已知 $\dot{U} = 10\angle 0°$ V，试求 $\dot{U}_S$。



题 10-13 图

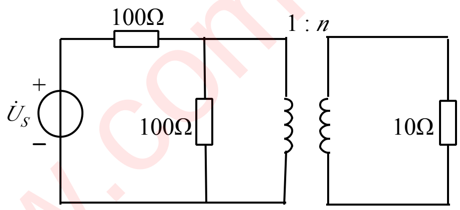
解： $\dot{I}_2 = \dot{U}/2 = 5\angle 0°$ A， $\dot{U}_2 = -j2\dot{I}_2 + \dot{U} = 10\sqrt{2}\angle -45°$ A

由理想变压器的 VCR 可得

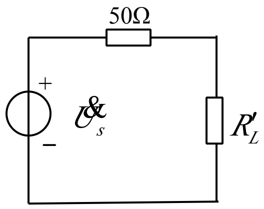
$$\dot{I}_1 = 2\dot{I}_2 = 10\angle 0° \text{ A}，\quad \dot{U}_1 = \frac{1}{2}\dot{U}_2 = 5\sqrt{2}\angle -45° \text{ A}$$

$$\dot{U}_s = 2\dot{I}_1 + \dot{U}_1 = 20 + 5\sqrt{2}\angle -45° = 25 - j5 = 25.5\angle -11.3° \text{V}$$

10−15 电路如题 10−15 图所示，为了使 10Ω电阻能获得最大功率，试确定理想变压器的匝比 n。



题 10−15 图



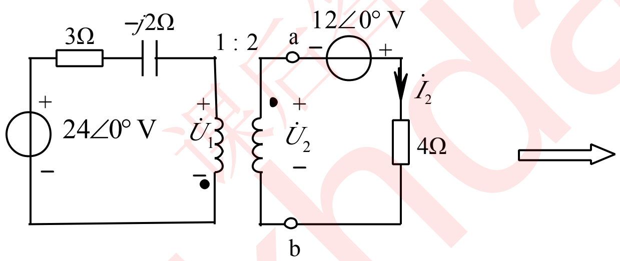
初级等效电路

解： 利用变压器的阻抗变换性质把次级电阻折合到初级

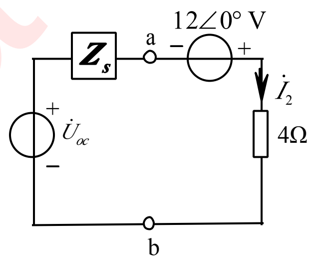
$$R'_L=\frac{10}{n^2}=R_s=50\Omega$$

$$n=1/\sqrt{5}=0.447$$

10−16 电路如题 10−16 图所示，试求 ab 左侧的戴维南等效电路，并由此求解 $\dot{I}_2$。



题 10−16 图



次级等效电路

解： 开次级路时，由变压器的 VCR 可得

$$\dot{I}_2=0,\quad \dot{I}_1=0$$

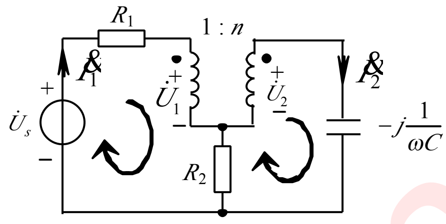
$$\dot{U}_1=24\angle 0^\circ\text{V}\qquad \dot{U}_{oc}=\dot{U}_2=-2\dot{U}_1=-48\text{V}$$

$$Z_s=n^2(3-j2)=12-j8\Omega$$

由次级等效电路可得

$$\dot{I}_2=\frac{\dot{U}_{oc}+12}{Z_s+4}=\frac{-36}{16-j8}=-2.01\angle 26.6^\circ\text{A}$$

10−19 题 10−19 图所示电路中，理想变压器的匝比 n=2。R_1=R_2=10Ω，1/ωC=50Ω，$\dot{U}_s = 50\angle 0^0$ V。求流过 R_2 的电流。



题 10−19 图

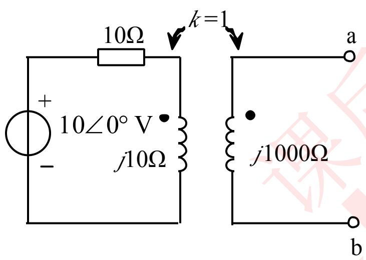
解： 直接用两类约束列电路方程可得

$$20\dot{I}_1 - 10\dot{I}_2 + \dot{U}_1 = 50$$
$$-10\dot{I}_1 + (10 - j50)\dot{I}_2 = \dot{U}_2$$
$$\dot{U}_2 = 2\dot{U}_1$$
$$\dot{I}_1 = 2\dot{I}_2$$

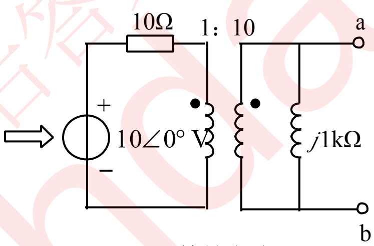
联立求解可得

$$\dot{I}_1 = 2\sqrt{2}\angle 45^\circ \text{ A}$$
$$\dot{I}_2 = \sqrt{2}\angle 45^\circ \text{ A}$$
$$\dot{I}_R = \dot{I}_1 - \dot{I}_2 = \sqrt{2}\angle 45^\circ \text{ A}$$

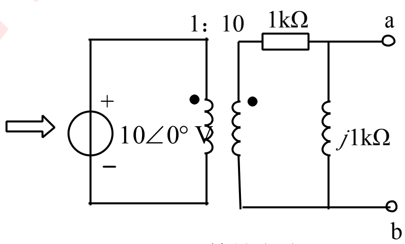
10−22 电路如题 10−22 图所示，试求: (1) ab 端的戴维南等效电路；(2) ab 端的短路电流。



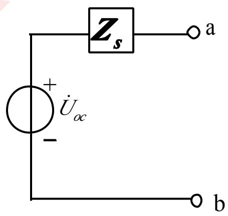
题 10−22 图



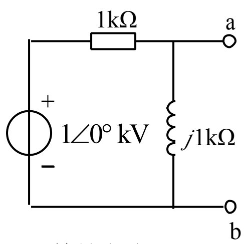
等效电路



等效电路



最终等效电路



等效电路

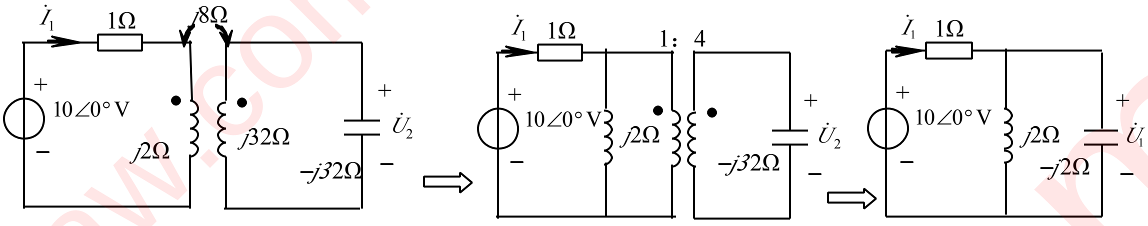
解： 等效化简的过程如图中所示

$$\dot{U}_{oc} = \frac{j1000}{1000 + j1000}1000 = 70.7\angle 45^\circ \text{ V}$$

$$Z_s = 1000 // j1000 = 707\angle 45^\circ\,\Omega$$

$$\dot{I}_{sc} = \frac{\dot{U}_{oc}}{Z_s} = 0.1\angle 0^\circ \text{ A}$$

10−23 电路如题 10−23 图所示，试求输入电流 $\dot{I}_1$ 和输出电压 $\dot{U}_2$。



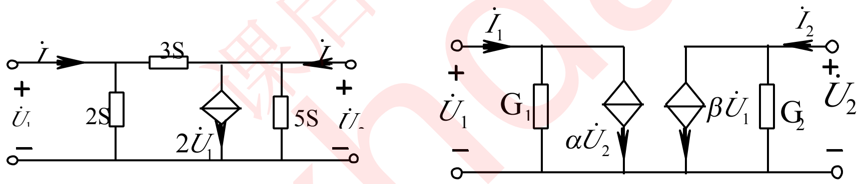
题 10−23 图　　等效电路 a　　等效电路 b

解： 等效化简的过程如图中所示

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_s}{1+(j2//-j2)} = 0$$

$$\dot{U}_1 = 10\angle 0^\circ\ \mathrm{V} \quad \dot{U}_2 = 4\dot{U}_1 = 40\angle 0^\circ\ \mathrm{V}$$

11−1 求题 11−1 图所示双口网络的 Y 参数。



(a)　　(b)

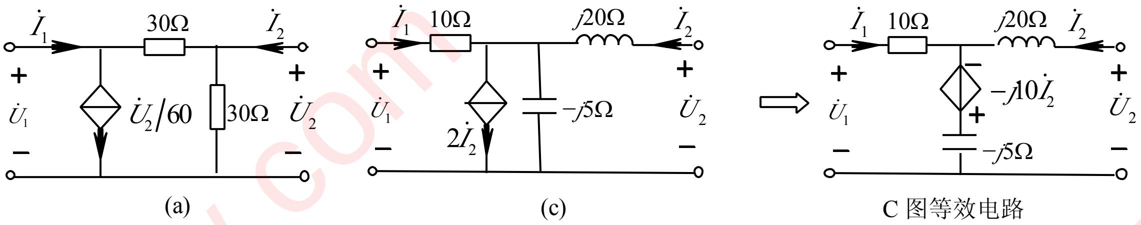
题 11−1 图

解：（a）（b）所示两个双口网络均含两个独立节点，直接对其列节点方程

(a) $$\begin{aligned}\dot{I}_1 &= 5\dot{U}_1 - 3\dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 &= -\dot{U}_1 + 8\dot{U}_2\end{aligned} \quad \rightarrow [Y] = \begin{bmatrix} 5 & -3 \\ -1 & 8 \end{bmatrix}$$

(b) $$\begin{aligned}\dot{I}_1 &= G_1\dot{U}_1 + \alpha\dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 &= \beta\dot{U}_1 + G_2\dot{U}_2\end{aligned} \quad \rightarrow [Y] = \begin{bmatrix} G_1 & \alpha \\ \beta & G_2 \end{bmatrix}$$

11–2 求题 11–2 图所示双口网络的 Z 参数。



题 11–2 图

解： 对（a）所示两个双口网络，利用 z 参数的物理意义可求得

$$z_{11}=\left.\frac{\dot U_1}{\dot I_1}\right|_{\dot I_2=0}=\frac{\dot U_1}{(\dot U_1/60)+(\dot U_2/60)}=\frac{\dot U_1}{(\dot U_1/60)+(0.5\dot U_1/60)}=40\Omega$$

$$z_{21}=\left.\frac{\dot U_2}{\dot I_1}\right|_{\dot I_2=0}=\frac{\dot U_1/2}{(\dot U_1/60)+(\dot U_2/60)}=\frac{\dot U_1/2}{(\dot U_1/60)+(0.5\dot U_1/60)}=20\Omega$$

$$z_{22}=\left.\frac{\dot U_2}{\dot I_2}\right|_{\dot I_1=0}=\frac{\dot U_2}{(\dot U_2/30)+(\dot U_2/60)}=20\Omega$$

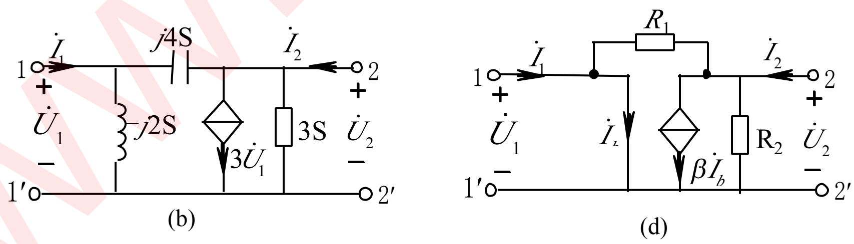
$$z_{12}=\left.\frac{\dot U_1}{\dot I_2}\right|_{\dot I_1=0}=\frac{\dot U_2-30(\dot U_2/60)}{(\dot U_2/30)+(\dot U_2/60)}=\frac{\dot U_1}{(\dot U_2/30)+(\dot U_2/60)}=10\Omega$$

$$\rightarrow[z]=\begin{bmatrix}40 & 10\\ 20 & 20\end{bmatrix}$$

（c）所示双口网络均含两个独立回路，直接对其列网孔方程。

$$\begin{aligned}\dot U_1&=(10-j5)\dot I_1+j5\dot I_2\\ \dot U_2&=-j5\dot I_1+j25\dot I_2\end{aligned}\quad\rightarrow[z]=\begin{bmatrix}10-j5 & j5\\ -j5 & j25\end{bmatrix}$$

11–3 求题 11–3 图所示双口网络的 H 参数。



题 11–3 图

解： 对（b）所示两个双口网络，利用 h 参数的物理意义可求得

$$h_{11}=\left.\frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1}\right|_{\dot{U}_2=0}=\frac{1}{j4-j2}=-j0.5\Omega$$

$$h_{21}=\left.\frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1}\right|_{\dot{U}_2=0}=\frac{3\dot{U}_1-j4\dot{U}_1}{-j2\dot{U}_1+j4\dot{U}_1}=-2-j1.5$$

$$h_{12}=\left.\frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2}\right|_{\dot{I}_1=0}=2\qquad (其中\ \dot{U}_1=\frac{j0.5}{j0.5-j0.25}=2\dot{U}_2)$$

$$h_{22}=\left.\frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2}\right|_{\dot{I}_1=0}=\frac{3\dot{U}_2+3\dot{U}_1+j4(\dot{U}_2-\dot{U}_1)}{\dot{U}_2}=(9-j4)\mathrm{s}\qquad (其中\ \dot{U}_1=2\dot{U}_2)$$

$$\rightarrow [H]=\begin{bmatrix}-j0.5 & 2\\ -2-j1.5 & 9-j4\end{bmatrix}$$

对（d）所示两个双口网络，利用 h 参数的物理意义可求得

$$h_{11}=\left.\frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1}\right|_{\dot{U}_2=0}=0$$

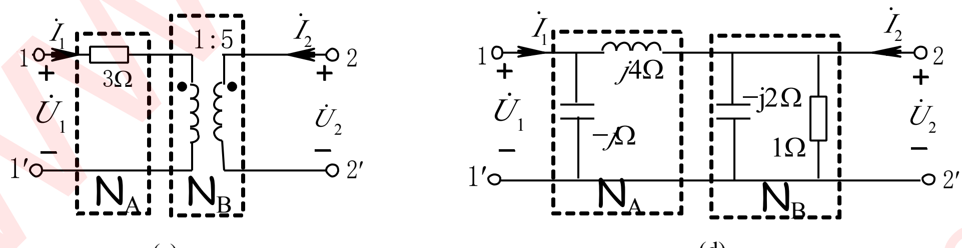
$$h_{21}=\left.\frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1}\right|_{\dot{U}_2=0}=\frac{\beta\dot{I}_b}{\dot{I}_1}=\frac{\beta\dot{I}_1}{\dot{I}_1}=\beta$$

$$h_{12}=\left.\frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2}\right|_{\dot{I}_1=0}=0$$

$$h_{22}=\left.\frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2}\right|_{\dot{I}_1=0}=\frac{(\dot{U}_2/R_2)+\beta\dot{I}_b+(\dot{U}_2/R_1)}{\dot{U}_2}=\frac{1}{R_2}+\frac{1+\beta}{R_1}\qquad (其中\ \dot{I}_b=(\dot{U}_2/R_1))$$

$$\rightarrow [H]=\begin{bmatrix}0 & 0\\ \beta & \dfrac{1}{R_2}+\dfrac{1+\beta}{R_1}\end{bmatrix}$$

11–4　求题 11–4 图所示双口网络的 A 参数。



(c)　　　　(d)

题 11–4 图

解： 对（c）图直接利用复合双口网络级联的方法可求得

$$[A]=[A_A][A_B]=\begin{bmatrix}1 & 3\\ 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1/5 & 0\\ 0 & 5\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1/5 & 15\\ 0 & 5\end{bmatrix}$$

对（d）图先分别求两个子网络的 A 参数后利用复合双口网络级联的方法可求得

第一步：求子双口网络 N_A 的 A 参数

$$a_{11}=\left.\frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2}\right|_{\dot{I}_2=0}=1$$

$$a_{21}=\left.\frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2}\right|_{\dot{I}_2=0}=\frac{\dot{I}_1}{-j\dot{I}_1}=jS$$

$$a_{12}=\left.\frac{\dot{U}_1}{-\dot{I}_2}\right|_{\dot{U}_2=0}=\frac{\dot{U}_1}{-(-\dot{U}_1/j4)}=j4\Omega$$

$$a_{22}=\left.\frac{\dot{I}_1}{-\dot{I}_2}\right|_{\dot{U}_2=0}=\frac{(\dot{U}_1/j4)+(\dot{U}_1/-j)}{-(-\dot{U}_1/j4)}=-3$$

$$[A_A]=\begin{bmatrix}1 & j4\\ j & -3\end{bmatrix}$$

第二步：求子双口网络 N_B 的 A 参数

$$a_{11}=\left.\frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2}\right|_{\dot{I}_2=0}=1$$

$$a_{21}=\left.\frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2}\right|_{\dot{I}_2=0}=\frac{\dot{U}_1+(\dot{U}_1/-j2)}{\dot{U}_2=\dot{U}_1}=(1+j0.5)S$$

$$a_{12}=\left.\frac{\dot{U}_1}{-\dot{I}_2}\right|_{\dot{U}_2=0}=0$$

$$a_{22}=\left.\frac{\dot{I}_1}{-\dot{I}_2}\right|_{\dot{U}_2=0}=1$$

$$[A_B]=\begin{bmatrix}1 & 0\\ 1+j0.5 & 1\end{bmatrix}$$

第三步：

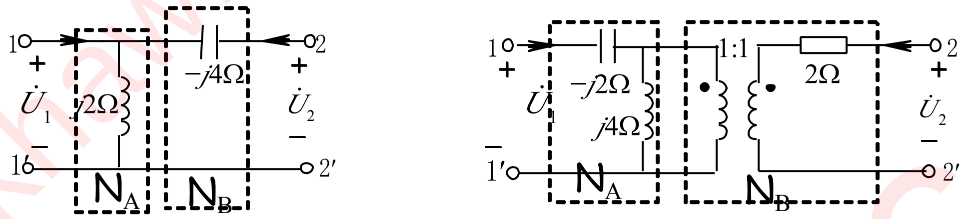
$$[A]=[A_A][A_B]=\begin{bmatrix}1 & \mathrm{j}4\\ j & -3\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 0\\ 1+j0.5 & 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-1+j4 & j4\\ -3-j0.5 & -3\end{bmatrix}$$

第 24、25 次作业

11—9，　11—10 ，　11—11 ，　11—13

12—1，　12—4，　12—8 ，　12—9，　12—12

11–9 用双口网络级联的方法求题 11–9 图所示双口网络的 A 参数。



(a)　　　　(b)

题 11–9 图

解：一） 对（a）图直接利用复合双口网络级联的方法可求得

$$[A]=[A_A][A_B]=\begin{bmatrix}1 & 0\\ 1/j2 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & -j4\\ 0 & 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1 & -j4\\ -j0.5 & -1\end{bmatrix}$$

二）对（b）图分别求两个子网络的 A 参数后利用复合双口网络级联的方法求1）子双口网络 N_A 的 A 参数

$$[A_A]=\begin{bmatrix}1 & -j2\\ 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 0\\ 1/j4 & 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1/2 & -j2\\ -j0.25 & 1\end{bmatrix}$$

2）子双口网络 N_B 的 A 参数

$$[A_B]=\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 2\\ 0 & 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1 & 2\\ 0 & 1\end{bmatrix}$$

3）两个子双口网络 N_A、N_B 级联后的 A 参数

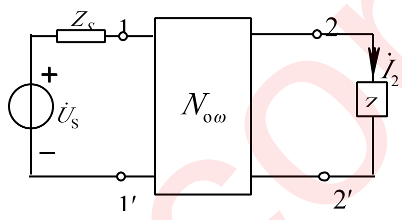
$$[A]=[A_A][A_B]=\begin{bmatrix}1/2 & -j2\\ -j0.25 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 2\\ 0 & 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1/2 & 1-j2\\ -j0.25 & 1-j0.5\end{bmatrix}$$

11–10 题 11–10 图所示电路中，已知 $\dot{U}_S = 5\angle 20^{\circ}\text{V}$，$Z_S = 10\Omega$，$Z_L = 4\angle -30^{\circ}\Omega$，双口网络的 Z 参数为 $Z_{11} = 5\Omega$，$Z_{12} = 2\,\Omega$，$Z_{21} = 3\,\Omega$，$Z_{22} = 6\,\Omega$，求 $\dot{I}_2$。

解： 由已知的参数可得双口网络的 Z 参数方程为

$$\dot{U}_1 = 5\dot{I}_1 + 2\dot{I}_2 \quad (1)$$

$$\dot{U}_2 = 3\dot{I}_1 + 6\dot{I}_2 \quad (2)$$



题 11–10 图

由双口网络两端的 VCR 可得

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_s - 10\dot{I}_1 \quad (3)$$

$$\dot{U}_2 = -4\angle -30^{\circ}\dot{I}_2 \quad (4)$$

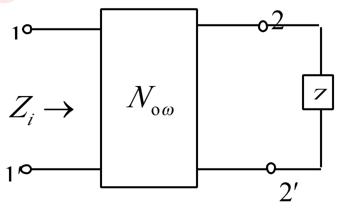
联立以上四个方程可得

$$\dot{I}_2 = 99.4\angle 135^{\circ}\ \text{mA}$$

11–11 题 11–11 图所示电路中，已知双口网络的 H 参数为 $h_{11} = 1\text{k}\Omega$，$h_{12} = -2$，$h_{21} = 3$，$h_{22} = 6\text{mS}$，$Z_L = 1\text{k}\Omega$，求输入阻抗 Z_i。

解： 由表 11-2 可查得

$$Z_i = \frac{h_{11}Y_L + \Delta_h}{Y_L + h_{22}}$$

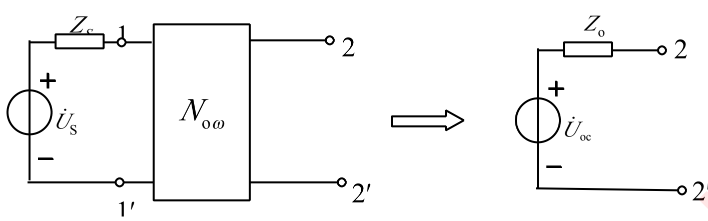


题 11–11 图

代入已知条件可得

$$Z_i = \frac{h_{11}Y_L + \Delta_h}{Y_L + h_{22}} = \frac{1000\dfrac{1}{Z_L} + \Delta_h}{\dfrac{1}{Z_L} + 6\times 10^{-3}} = \frac{1+12}{7\times 10^{-3}} = 1.86\text{k}\Omega$$

11–13 题 11–13 图所示电路中，已知双口网络的 Y 参数为 $y_{11} = 4\text{S}$，$y_{12} = y_{21} = -2\text{S}$，$y_{22} = 5\text{S}$，$\dot{U}_S = 33\angle 0^{\circ}\text{V}$，$Z_S = 0.1\Omega$。求 22′端的戴维南等效电路。



题 11–13 图

解： 由表 11-2 可查得

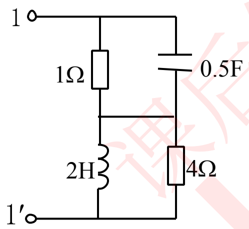
$$Z_o=\frac{y_{11}+Y_s}{y_{22}Y_s+\Delta_y}，\quad \dot{U}_{oc}=\frac{-y_{21}\dot{U}_s}{y_{22}+\Delta_y Z_s}$$

代入已知条件可得

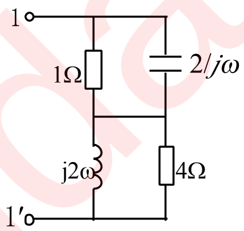
$$Z_o=\frac{y_{11}+Y_s}{y_{22}Y_s+\Delta_y}=\frac{4+\dfrac{1}{Z_s}}{5\cdot\dfrac{1}{Z_s}+16}=\frac{4+10}{50+16}=0.212\Omega$$

$$\dot{U}_{oc}=\frac{-y_{21}\dot{U}_s}{y_{22}+\Delta_y Z_s}=\frac{2\times 33\angle 0^\circ}{5+1.6}=10\angle 0^\circ\ \text{V}$$

12–1 求题 12–1 图所示电路的策动点阻抗函数 $Z(j\omega)$。并求 $\omega=0$、1,、∞ rad/s 时阻抗的模和辅角，对 $\omega=0$ 和 $\omega=\infty$ 的阻抗值如何理解。



题 12–1 图



相量模型

解： 由相量模型可得

$$Z(j\omega)=\left[1//\frac{1}{j\omega C}+4//\ j2\omega\right]=\frac{2+j4\omega}{2+j\omega}$$

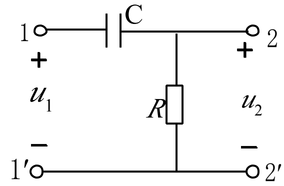
阻抗是频率的函数，当 $\omega=0，1，\infty$ 的频率上阻抗值分别为

$$Z(j\omega)\big|_{\omega=0}=\left.\frac{2+j4\omega}{2+j\omega}\right|_{\omega=0}=1$$ （当 $\omega=0$ 时，电容相当于开路，电感相当于短路）

$$Z(j\omega)\big|_{\omega=1}=\frac{2+j4}{2+j}=2\angle 36.9^\circ\Omega$$

$$Z(j\omega)\big|_{\omega=}=\frac{2+j4\omega}{2+j\omega}=4\Omega$$ （当 $\omega=\infty$ 时，电容相当于短路，电感相当于开路）

12–4　在电子电路中多级放大器常用图 12–4 所示电路进行级间耦合。若 R=1.5kΩ, C=10μF，求该电路的通频带，若增大电容对通频带有何影响。



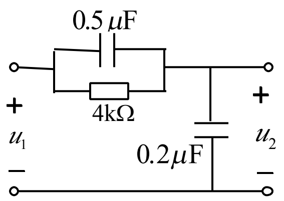
题 12–4 图

解： 12–4 图所示电路为高通，其通频带为

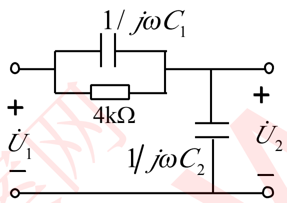
$$BW \geq \omega_c = 1/RC = \frac{1}{1.5\times10^3 \cdot 10\times10^{-6}} = \frac{200}{3}\text{rad/s}$$

若增大电容 ω_c 变小因此通频带变宽

12–8　题 12–8 图所示电路是一种相位滞后网络，可以补偿输出电压相位比输入电压相位超前而引起的误差，求当 f =50Hz 时，输出对输入的相移是多少？



题 12–8 图



相量模型

解： 求电压转移函数得

$$\frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{1/j\omega C_2}{1/j\omega C_2 + \dfrac{R/j\omega C_1}{R+(1/j\omega C_1)}} = \frac{1000+j2\omega}{1000+j2.8\omega}$$

当 $\omega = 2\pi f = 100\pi$ 时

$$\left.\frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1}\right|_{\omega=100\pi} = \frac{100+j20\pi}{100+j28\pi} = 0.887\angle -9.2^\circ$$　　即输出对输入相移为 -9.2°

12–9　RLC 串联谐振电路，已知 R= 10Ω, L= 0.2mH, C= 5nF，求(1) ω_0、Q、BW；(2)电流为其谐振时电流的 80%的频率值。

解： $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}} = 10^6\,rad/s$

$$Q = \frac{\rho}{R} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 CR} = 20$$

$$BW = \frac{\omega_0}{Q} = 50\times10^4\,rad/s$$

令 $I/I_0 = 1\Bigg/\sqrt{1+Q^2\left(\dfrac{\omega}{\omega_0}-\dfrac{\omega_0}{\omega}\right)} = 0.8$

把 $Q=20$, $\omega_0 = 10^6\, rad/s$ 代入上可解得

$\omega_1 = 0.981\times10^6\, rad/s$, $\omega_2 = 1.019\times10^6\, rad/s$

12–12 RLC 串联谐振电路已知 R=10Ω，L=159μH，谐振时回路电流 $I_0 = 100\text{mA}$，电感两端电压 $U_{L0} = 100\text{V}$。求信号源电压有效值 U_s，回路品质因数 Q、ω_0、C。

解：

由 $I_0 = \dfrac{U_s}{R} \rightarrow U_s = RI_0 = 1\text{V}$

$$Q=\frac{U_{L0}}{U_s}=100$$

由 $Q=\dfrac{\omega_0 L}{R} \rightarrow \omega_0 = \dfrac{RQ}{L} = 6.28\times10^6\, rad/s$

$$C=\frac{1}{\omega_0^2 L}=159\text{pF}$$

第 26、27 次作业

12—10，12—13， 12—16 ，12—19，12—20，12—21，12—24

12–10 RLC 串联谐振电路，已知信号源电压 $U_s=1\text{V}$，频率 $f=1\text{MHz}$，现调节电容使回路达谐振，这时回路电流 $I_0=100\text{mA}$，电容器两端电压 $U_{C0}=100\text{V}$，试求：（1）电路参数 R、L、C；（2）回路的品质因数 Q；（3）回路的通频带 BW_f。

解： $R=\dfrac{U_s}{I_0}=10\Omega$

$$Q=\frac{U_{C0}}{U_s}=100$$

由 $Q=\dfrac{\omega_0 L}{R}\rightarrow L=\dfrac{QR}{\omega_0}=159\mu\text{H}$

$$C=\frac{1}{\omega_0^2 L}=159\text{pF}$$

$$BW_f=\frac{f_0}{Q}=\frac{10^6}{100}=10^4\text{ Hz}$$

12–13 RLC 串联谐振电路的谐振频率 $f_0=475\text{kHz}$，半功率点频率分别为 $f_1=472\text{kHz}$ $f_2=478\text{kHz}$ L=500μH，求回路品质因数 Q、C。

解：

由通频带的定义可知 $BW_f=478-472=6\text{kHz}$

由 $BW_f=\dfrac{f_0}{Q}\rightarrow Q=\dfrac{f_0}{BW_f}\doteq 79$

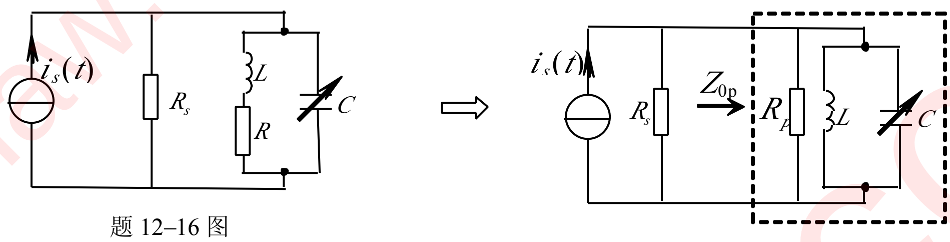
$$C=\frac{1}{\omega_0^2 L}=224\text{pF}$$

12–16 在题 12-16 图所示电路中，已知信号源电流 $I_s = 10\text{mA}$，内阻 $R_s = 100\text{k}\Omega$，线圈电感 L=100μH，串联电阻 R=10Ω，电容 C=400pF，设并联谐振回路对信号源已达谐振。试求：

(1) 信号源的频率及并联谐振阻抗 $Z_{0\text{p}}$；

(2) 回路的有载品质因数和通频带；

(3) 谐振回路的功率损耗。



题 12–16 图

解： （1） $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}} = 5\times10^6\ rad/s$

无载品质因数 $Q = Q_L = \dfrac{\omega_0 L}{R} = 50$

$$Z_{0p} = R_p = Q^2 R = 25\text{k}\Omega$$

（2）有载品质因数 $Q = \dfrac{R_s // R_p}{\omega_0 L} = \omega_0 C(R_s // R_p) = 40$

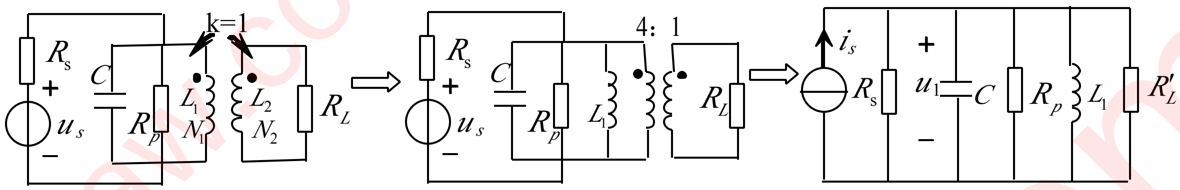
通频带 $BW = \dfrac{\omega_0}{Q} = 125\times10^3\ \text{rad/s}$

（3） 发生谐振时各元件端电压为

$$U = (R_s // R_p) I_s = 200\text{V}$$

$$P_{R_p} = U^2 / R_p = \frac{200^2}{25\times10^3} = 1.6\text{W}$$

12–19 在题 12–19 图所示电路中，已知 $U_s=2\text{V}$，$f_s=1\text{MHz}$，$R_s=160\text{k}\Omega$，谐振回路已调谐于信号源。C=100pF，回路无载品质因数 Q_0=100，N_1=100 匝，N_2=25 匝，初、次级可视为全耦合，R_L=5kΩ，求回路的有载品质因数 Q、R_L 上的电压及回路的通频带。



题 12–19 图

解： $R_L'=\dfrac{R_L}{n^2}=80\text{k}\Omega$

无载品质因数 $Q=Q_L=100$

由 $Q=\omega_0 CR_p \rightarrow R_p=\dfrac{Q}{\omega_0 C}=160\text{k}\Omega$

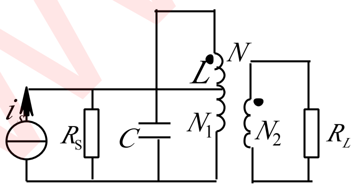
有载品质因数 $Q=\omega_0 C(R_s // R_p // R_L')=25$

发生谐振时 $U_1=(R_s // R_p // R_L')I_s=0.5\text{V}$

$$U_{R_L}=U_2=\frac{1}{4}U_1=0.125\text{V}$$

通频带 $BW_f=\dfrac{f_0}{Q}=40\text{kHz}$

12–20 某一收音机的中频放大电路如题 12–20 图所示，已知回路的谐振频率 $f_0=465\text{kHz}$，线圈的品质因数 $Q_L=100$, N=160匝，$N_1=40$匝，$N_2=10$匝，$C=200\text{pF}$, $R_S=16\text{k}\Omega$, $R_L=1\text{k}\Omega$。求L、回路的有载品质因数 Q 和通频带 BW_f。

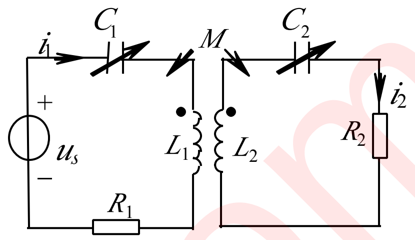


题 12–20 图

解题方法同例 12–10

12–21 在题 12–21 图所示电路中，已知 $L_1=200\mu\text{H}$，$L_2=125\mu\text{H}$，$\dot{U}_s=10\text{V}$ 信号源的角频率 $\omega=10^7\,\text{rad/s}$ $R_1=20\Omega$，$R_2=80\Omega$。现调节 C_1, C_2 及 M 使电路达到临界耦合下的全谐振。求 (1) C_1, C_2 及 M；(2) 此时初、次级电流 I_1, I_2 及次级回路获得的功率 P。

解： （1） $C_1=\dfrac{1}{\omega_0^2 L_1}=50\text{pF}$，　$C_2=\dfrac{1}{\omega_0^2 L_2}=80\text{pF}$



题 12–21 图

$$Q_1=\frac{\omega_0 L_1}{R_1}=100,\quad Q_2=\frac{\omega_0 L_2}{R_2}=15.6$$

$$\because k=k_c=\frac{M}{\sqrt{L_1L_2}}=\frac{1}{\sqrt{Q_1Q_2}}\doteq 0.0253$$

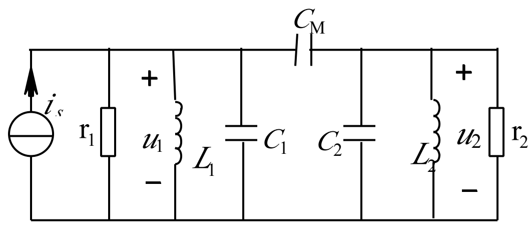
$$\therefore M=k\sqrt{L_1L_2}=4\mu\text{H}$$

（2） $I_1=\dfrac{U_s}{2R_1}=\dfrac{10}{40}=0.25\text{A}$　　$I_2=\dfrac{U_s}{2\sqrt{R_1R_2}}=\dfrac{10}{2\times 40}=0.125\text{A}$

（3） $P_{R_p}=I_2^2R_2=(0.125)^2\,80=1.25\text{W}$

12–24 某一电容耦合双谐振回路如题 12–24 图所示，已知 $L_1=L_2=98\mu\text{H}$，$Q_1=Q_2=50$，信号源的角频率 $\omega=10^7\,\text{rad/s}$，$I_S=1\text{mA}$，现调节 C_1, C_2 及 C_M 使电路达到临界耦合下的全谐振。求 C_1、C_2、C_M、BW_f 及 U_2。

解：



题 12–24 图

$$\because L_1=L_2=L\quad \therefore C_1=C_2=C$$

$$\omega_0=\frac{1}{\sqrt{L(C+C_M)}}=\frac{1}{\sqrt{LC'}}$$

$$C'=\frac{1}{\omega_0^2 L_1}=102.04\text{pF}$$

$$k=k_c=1/Q=0.02,$$

$$k_c=\frac{C_M}{\sqrt{(C_1+C_M)(C_2+C_M)}}=\frac{C_M}{C'}=0.02$$

由上式可解得 $C_M=k_cC'=0.02\times 102.04=2.04\text{pF}$

进而求得 $C_1=C_2=C'-C_M=100\text{pF}$

$$U_2=\frac{I_s}{2\sqrt{G_1G_2}}\doteq 25\text{V}\quad \text{（其中 } G_1=G_2=\frac{\omega_0 C}{Q}\text{）}$$

$$BW=\sqrt{2}\,\frac{\omega_0}{Q}=2.82\times 10^5\ rad/s$$