《电路原理》部分习题解答

第一章 直流电路的基本概念和基本定律

1.解：$u_C(t)=u_C(0)+\dfrac{1}{C}\int_0^t i(\xi)d\xi$

$$=5+10^6\int_0^t(2+\xi)d\xi$$

$$=5+(2t+\frac{1}{2}t^2)\times10^6V$$

$$W_e=\frac{1}{2}Cu_C{}^2=\frac{1}{2}\times10^{-6}\times\left[5+(2t+\frac{1}{2}t^2)\times10^6\right]^2J$$

$$=5\times10^{-7}\times\left[5+(2t+\frac{1}{2}t^2)\times10^6\right]^2J$$

2.解：$U_0=I_0R_L=-k_II_iR_L=-k_I\dfrac{U_i}{R}\cdot R_L$

$$\frac{U_0}{U_i}=-k_I\frac{R_L}{R}$$

电源U_i发出的功率 $P_i=U_iI_i$

负载 R_L 吸收的功率 $P=U_0I_0=-U_0k_II_i=-k_IU_0I_i=k_I^2\dfrac{R_L}{R}U_iI_i$

3.解：$P=UI=R_0(I_S-I)\cdot I$

$$=-R_0I^2+R_0I_SI$$

$$=-R_0(I-\frac{1}{2}I_S)^2+\frac{1}{4}R_0I_S^2$$

$\therefore$ 当 $I=\dfrac{1}{2}I_S$ 时，R 可获最大功率 $P_{\max}=\dfrac{1}{4}R_0I_S^2$

此时 $R=\dfrac{U}{I}=\dfrac{R_0(I_S-\frac{1}{2}I_S)}{\frac{1}{2}I_S}=R_0$

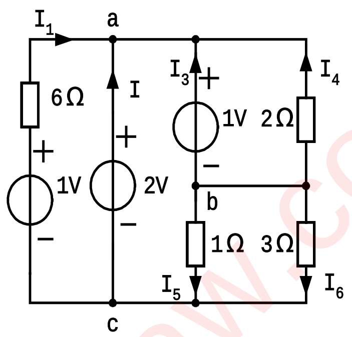
4.解：$I_1=I_{S1}=0.5A$

$rI_1=5V \qquad rI_1=I_R\cdot R=(I+I_S)\cdot R$

$I+I_S={rI_1}/{R}={5}/{50}=0.1A \qquad I=0.1-1=-0.9A$

5.解：如图，共有 3 个节点，6 条支路，由 KCL 得：

由 KVL 得：$6I_1=1-2=-1V$



$$2I_4 = -1V$$

$$1\times I_5 = 2-1 = 1V$$

$$3I_6 = I_5$$

节点 $a: I_1 + I + I_3 + I_4 = 0$

$$b: -I_3 - I_4 - I_5 - I_6 = 0$$

$$c: -I_1 - I + I_5 + I_6 = 0$$

解得 $I_1 = -\dfrac{1}{6}A$，$I_4 = -\dfrac{1}{2}A$，$I_5 = 1A$，$I_6 = \dfrac{1}{3}A$，$I_3 = -\dfrac{5}{6}A$，$\therefore I = \dfrac{3}{2}A$

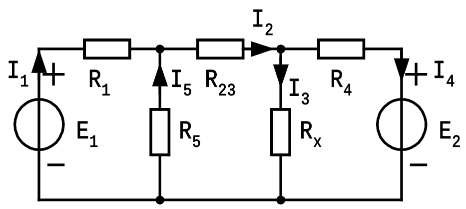
6.解：$I_1 = \dfrac{E_1 - E_2}{R_1} = \dfrac{24-20}{500} = 8mA$

$\therefore aI_1 = 0.4A$

$\therefore U = R\cdot \alpha I_1 = 50\times 0.4 = 20V$

而 $U_{ab} = U_{ac} - U_{bc} = E_2 - U = 20 - 20 = 0V$

7.解：电路化简为如下图所示：



由 KCL 和 KVL 得：

$$KCL: -I_1 - I_5 + I_2 = 0 \qquad -I_2 + I_3 + I_4 = 0$$

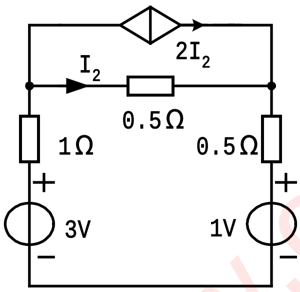
$$KVL: I_1R_1 - I_5R_5 = E_1 \qquad I_2R_{23} + I_3R_x + I_5R_5 = 0$$

$$I_4R_4 - I_3R_x = -E_2$$

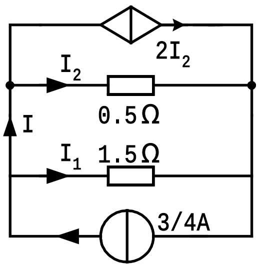
代入数据得 $I_4 = \dfrac{2R_x - 100}{11R_x + 200}$

要使 E_2 中无电流通过，即 $I_4 = 0$　　$2R_x - 100 = 0$　　$R_x = 50\Omega$

8.解：根据电压源和电流源的等效关系电路可简化为：



(a)

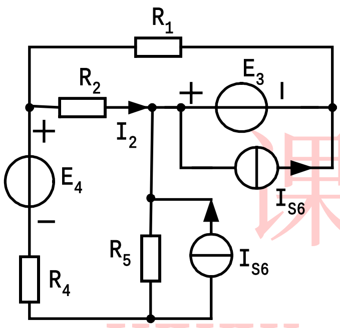


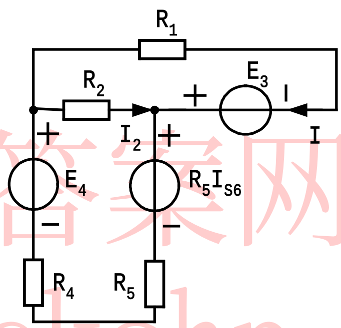
(b)

由图 b 得 $I_1=\frac{1}{3}I_2$　　　　$I=\frac{4}{3}-I_1=\frac{4}{3}-\frac{1}{3}I_2$

又 $I=2I_2+I_2$　　　$3I_2=\frac{4}{3}-\frac{1}{3}I_2$　　　$I_2=0.4A$。

9．解：将纯电流源支路转移，化简电路，再利用电源间等效关系



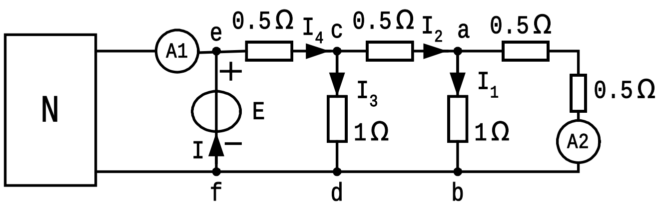


$$E_4-R_5I_{56}=1-1=0V$$
$$R_4+R_5=2\Omega$$

$$R_{总}=R_1+R_2//2=2\Omega\qquad I=E_3/R_{总}=0.5A$$

$$I_2=-\frac{1}{2}I=-0.25A$$

10．解：A_2 读数为 $1A$ $U_{ab}=1V$　　$I_1=1A$



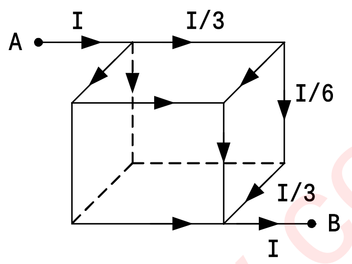
$I_2=I_1+1=2A$　　$U_{cd}=0.5\times2+1=2V$　　$I_3=2A$

$I_4=I_2+I_3=4A$　　$U_{ef}=E=0.5\times4+U_{cd}=4V$

$$I=I_4-5=-1A$$

11．根据电桥平衡条件 $I=\dfrac{50}{5+5+10//20}=3A$　　　安培计 A 的读数为 $3A$

12．解：根据对称性



$$U_{AB}=\frac{I}{3}R+\frac{I}{6}R+\frac{I}{3}R=\frac{5}{6}RI$$

$$R_{AB}=\frac{5}{6}R$$

13.解：如图无限长网络，由平衡电桥得到：

$$R_{ab}=R//R=\frac{1}{2}R$$

14.梯形网络为无限长，则：

$$R_{in}=R+R//R_{in}$$

得 $R_{in}=\dfrac{R+\sqrt{5}R}{2}\approx 1.618\Omega$

15.解：由 KCL：$I=I_{S1}+I_{S2}=3A$

$$U=RI=5\times 3=15V$$
$$U_1=U+I_{S1}\cdot R_1=15+2=17V$$
$$U_2=U+I_{S2}\cdot R_2=15+2=17V$$

16．解：$U=E_1+E_2=14V$ $\quad I={U}/{R}={14}/{7}=2A$

17.解：$U_S=U_{R1}=\sqrt{P\cdot R_1}=\sqrt{18\times 2}=6V$

$I={P}/{U_S}={36}/{6}=6A$ $\qquad I_{R1}={U_{R1}}/{R_1}=3A$

$I_{R2}=I-I_{R1}-2=6-3-2=1A$

$R_2={U_S}/{I_{R2}}=6\Omega$ $\qquad R_3={U_S}/{2}=3\Omega$

18.解：$I=\dfrac{E}{R_0+R_1}=\dfrac{12}{120}=0.1A$

$u_1=IR_1=10V$ $\qquad \mu u_1=10V$

$U_{ab}=u_1+\mu u_1=20V$

$P_{IS}=I_S\cdot\mu u_1=0.1\times10=1W$

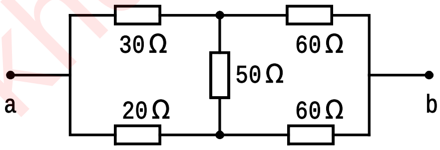
19.解：$I_2=E/R_2=2A$　　　$r_mI_2=10V$

$$I=(r_mI_2+E)/R=0.6A$$

$U_{ab}=I_2R_2-r_mI_2=20-10=10V$

20.解：当 $R=20\Omega$ 时，电路为平衡电桥 $R_{ab}=40\Omega$

当 $R=30\Omega$ 时，将 30Ω，50Ω，60Ω 三个电阻作 $Y-\Delta$ 等效变换



$$R_1=\frac{30\times50+30\times60+50\times60}{60}=105\Omega$$

$$R_2=\frac{30\times50+30\times60+50\times60}{30}=210\Omega$$

$$R_3=\frac{30\times50+30\times60+50\times60}{50}=126\Omega$$

$R_{ab}=(105//20+210//60)//126=42.2\Omega$

21.解：共有 6 个节点，9 条支路

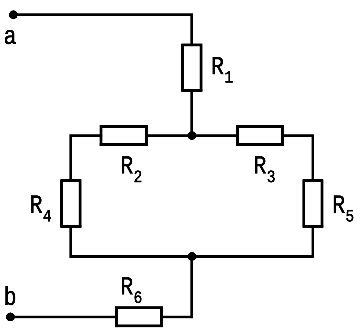
$U_{af}=U_{ab}+U_{bd}+U_{df}=6V$

$U_{ac}=U_{ab}+U_{bc}=5V$

$U_{ce}=U_{cb}+U_{bd}+U_{de}=-4+2+5=3V$

$U_{ef}=-U_{de}+U_{df}=-5+3=-2V$

22．解：将 R_{12},R_{31},R_{23} 作 $\Delta-Y$ 变换，电路化为：



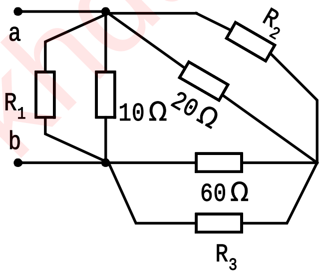
$$R_1=\frac{R_{12}R_{31}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}=\frac{5\times10}{25}=2\Omega \qquad R_2=\frac{R_{12}R_{23}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}=2\Omega$$

$$R_3=\frac{R_{23}R_{31}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}=\frac{10\times10}{25}=4\Omega$$

$$\therefore R_{ab}=R_1+(R_2+R_4)//(R_3+R_5)+R_6=2+\frac{(2+8)\times(4+6)}{2+8+4+6}+3=10\Omega$$

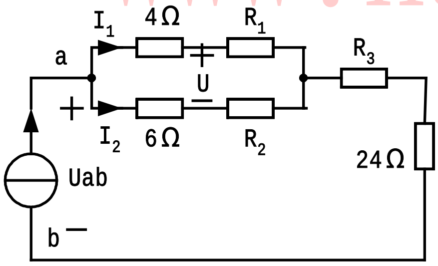
23．解：(1) $R_{ab}=(10//20+10//60)//10=6.038\Omega$

(2) 将 3 个10Ω电阻作$Y-\Delta$变换



$$R_1=R_2=R_3=\frac{300}{10}=30\Omega$$
$$R_{ab}=(30//20+60//30)//(10//30)=6.075\Omega$$

24．解：把$10\Omega,10\Omega,5\Omega$电阻作$\Delta-Y$等效变换



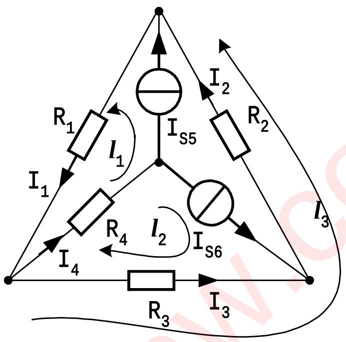
$$R_1=\frac{10\times10}{10+10+5}=4\Omega \qquad R_2=\frac{10\times5}{10+10+5}=2\Omega=R_3$$
$$I_1=I_2=2.5A$$

由KVL：$U=6\times2.5-4\times2.5=5V$

$$R_{ab}=24+2+(8//8)=30\Omega \qquad U_{ab}=5R_{ab}=150V$$

第二章　网络的基本计算方法和定理

1. 解：以 R_1 , R_3 , R_4所在支路为树



$I_{\ell 1}=I_{S5}=6A$

$I_{\ell 2}=I_{S6}=6A$

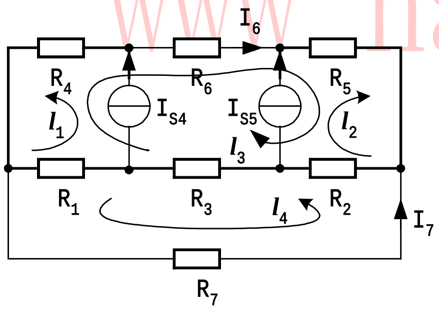
$I_{\ell 3}(R_1+R_2+R_3)+R_1I_{\ell 1}-R_3I_{\ell 2}=0$

$6I_{\ell 3}+5-18=0 \qquad I_{\ell 3}=\frac{13}{6}A$

各支路电流：$I_1=I_{\ell 1}+I_{\ell 3}=\frac{43}{6}A$

$I_2=I_{\ell 3}=\frac{13}{6}A \qquad I_3=I_{\ell 3}-I_{\ell 2}=-\frac{23}{6}A \qquad I_4=I_{\ell 1}+I_{\ell 2}=11A$

2. 解：



$\ell_1: I_{\ell 1}=I_{S4}=6A$

$\ell_2: I_{\ell 2}=I_{S5}=1A$

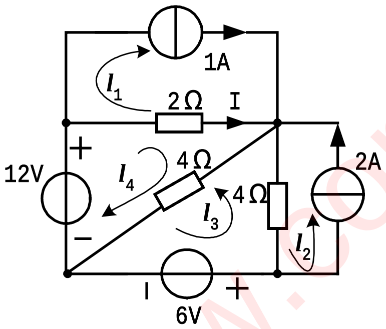
$\ell_3: (R_1+R_2+R_3+R_4+R_5+R_6)\cdot I_{\ell 3}-(R_1+R_4)\cdot I_{\ell 1}+(R_2+R_5)\cdot I_{\ell 2}+(R_1+R_2+R_3)\cdot I_{\ell 4}=0$

$\ell_4: (R_1+R_2+R_3+R_7)\cdot I_{\ell 4}+(R_1+R_2+R_3)\cdot I_{\ell 3}-R_1I_{\ell 1}+R_2I_{\ell 2}=0$

$$\left.\begin{aligned}\ell_3: 12I_{\ell 3}-3\times 6+3\times 1+6I_{\ell 4}=0\\ \ell_4: 10I_{\ell 4}+6I_{\ell 3}-2\times 6+1\times 1=0\end{aligned}\right\} \qquad \begin{aligned}I_{\ell 3}=1A\\ I_{\ell 4}=0.5A\end{aligned}$$

$I_6=I_{\ell 3}=1A \qquad I_7=I_{\ell 4}=0.5A$

3. 解：列回路方程



$\ell_1: I_{\ell 1} = 1A$ $\quad \ell_2: I_{\ell 2} = 2A$

$\ell_3: 8I_{\ell 3} - 4I_{\ell 2} + 4I_{\ell 4} = 6$

$\ell_4: 6I_{\ell 4} - 2I_{\ell 1} + 4I_{\ell 3} = 12$

解得 $I_{\ell 3} = \dfrac{7}{8}A \qquad I_{\ell 4} = \dfrac{7}{4}A = 1.75A$

$I = I_{\ell 4} - I_{\ell 1} = 1.75 - 1 = 0.75A$

4. 解：

$\ell_1: (R_2 + R_3)I_1 + R_2\alpha I_5 + R_3 I_4 = -\mu U_3$

$\ell_2: (R_3 + R_4 + R_5)I_4 + R_3 I_1 - R_5\alpha I_5 = -U_{S4}$

$U_3 = -R_3(I_1 + I_4)$

代入数据 $\begin{cases} 5I_1 + 4I_5 + 3I_4 = 6(I_1 + I_4) \\ 12I_4 + 3I_1 - 10I_5 = -4 \\ I_5 = 2I_5 - I_4 \qquad \therefore I_5 = I_4 \end{cases}$

$\therefore$ 解得 $I_1 = I_4 = -0.8A$

5.解：$\ell: (R_4 + R_5 + R_6)I_\ell + R_6 I_{S9} - R_4 I_{S7} + R_5 I_{S8} = 0$

$15I_\ell + 54 - 28 + 40 = 0 \qquad \therefore I_\ell = -4.4A$

$\therefore I_1 = I_{S7} + I_{S9} = 16A$

$I_2 = -I_{S7} - I_{S8} = -15A \qquad I_3 = I_{S8} - I_{S9} = -1A$

$I_4 = I_\ell - I_{S7} = -11.4A$

$I_5 = I_\ell + I_{S8} = 3.6A$

$I_6 = I_\ell + I_{S9} = 4.6A$

6.解：$U_0 = -U_{S3} = -8V$

$$U_a\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\right)-U_b\cdot\frac{1}{R_3}=\frac{U_{S1}}{R_1}+I_S$$

计算得$U_a=U_1=16V$

$$U=U_1+I_SR_5=16+36=52V$$

$$\therefore P_{IS}=I_S\cdot U=1.8\times 52=93.6W$$

$$I_4=\frac{U_{S3}}{R_4}=0.4A\qquad I_3=\frac{U_a-U_b}{R_3}=1.2A$$

$$\therefore I=I_3+I_4=1.6A$$

$$\therefore P_{US3}=U_{S3}\cdot I=1.6\times 8=12.8W$$

7.解：列出节点电压方程。

$$U_1\left(\frac{1}{R_4}+\frac{1}{R_5}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_1+R_2}\right)-U_2\cdot\frac{1}{R_5}-U_3\left(\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_1+R_2}\right)=I_{S4}-\frac{U_{S1}}{R_1+R_2}$$ 8.

$$U_2\left(\frac{1}{R_5}+\frac{1}{R_6}+\frac{1}{R_7}\right)-U_1\cdot\frac{1}{R_5}-U_3\cdot\frac{1}{R_7}=0$$

$$U_3\left(\frac{1}{R_7}+\frac{1}{R_8}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_1+R_2}\right)-U_1\left(\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_1+R_2}\right)-U_2\cdot\frac{1}{R_7}=I_{S8}+\frac{U_{S1}}{R_1+R_2}$$

解得$U_1=10V\qquad U_2=\dfrac{16}{3}V\qquad U_3=6V$

8.解：列写节点电压方程：

$$U_a=E_3$$

$$U_b\cdot\frac{1}{R_5}-U_a\cdot\frac{1}{R_5}=I_{S4}-I_{bc}$$

$$U_c\left(\frac{1}{R_6}+\frac{1}{R_7}\right)=I_{bc}+\frac{E_7}{R_7}$$

辅助方程：$U_b-U_c=\beta I_7\qquad I_7=\dfrac{E_7-U_C}{R_7}$

9.解：选参考节点如图，则$U_1=U_{S1}=1V$ 将①、③节点间先用电流源替代。

$$U_2\left(\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}+\frac{1}{R_5}\right)-U_1\cdot\frac{1}{R_3}-U_3\cdot\frac{1}{R_4}=0$$

$$U_3\left(\frac{1}{R_4}+\frac{1}{R_6}\right)-U_2\cdot\frac{1}{R_4}=I_2$$

附加方程：$U_3-U_1=U_{S2}$

$\therefore U_1=1V \quad U_3=3V \quad U_2=\dfrac{65}{47}V \quad I_2=-0.904A$

$I_3=(U_1-U_2)/R_3=-0.128A \qquad \therefore I_1=I_2-I_3=-0.777A$

$I_4=(U_3-U_2)/R_4=0.404A \qquad I_5=U_2/R_5=0.277A$

$I_6=U_3/R_6=0.5A$

10.解：列写节点电压方程。

$U_1=U_S=12V$

$U_2\left(\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}+\dfrac{1}{R_3}\right)-U_1\cdot\dfrac{1}{R_2}-U_3\cdot\dfrac{1}{R_3}=0$

$U_3\left(\dfrac{1}{R_3}+\dfrac{1}{R_4}\right)-U_2\cdot\dfrac{1}{R_3}=\alpha I_1+I_S$

$I_1=U_2/R_1$

代入数据计算得：$U_1=12V \quad U_2=10V \quad U_3=16V$

$\therefore I_1=U_2/R_1=1A$

$I_2=\dfrac{U_1-U_2}{R_2}=0.4A \quad \alpha I_1=2.8A \quad \therefore I=-I_2-\alpha I_1=-3.2A$

$\therefore P_{US}=U_S I=12\times 3.2=38.4W$

11.解：$U_a\cdot\left(\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}+\dfrac{1}{R_5}\right)-U_b\cdot\dfrac{1}{R_5}=-\dfrac{U_{S1}}{R_1}+gU_3+\dfrac{U_{S5}}{R_5}$

$\therefore 1.7U_a-0.2U_b=gU_3$

$U_b\cdot\left(\dfrac{1}{R_3}+\dfrac{1}{R_5}\right)-U_a\cdot\dfrac{1}{R_5}=-gU_3-\dfrac{U_{S5}}{R_5}$

$\dfrac{8}{15}U_b-\dfrac{1}{5}U_a=-gU_3-1$

$\dfrac{8}{15}U_b-0.2U_a=-1+0.2U_b-1.7U_a$

$1.5U_a+\dfrac{1}{3}U_b=-1 \qquad U_{ab}=V \qquad \therefore U_a=U_b=-\dfrac{6}{11}V$

$U_3=\dfrac{6}{11}V \qquad g=-1.5S$

12.解：将 7Ω 与两个 1Ω 电阻用 $Y-\Delta$ 变换

$$\therefore R_{总}=\frac{10}{9}+\frac{3}{2}//3+\frac{7}{18}+\frac{1}{2}=3\Omega \quad \therefore I=\frac{6V}{3\Omega}=2A$$

$$\therefore P=UI=12W$$

13.解：将 $6\Omega, 6\Omega, 1\Omega$ 作 $Y-\Delta$ 变换

$$R_1=\frac{6+6+36}{1}=48\Omega \qquad R_2=\frac{48}{6}=8\Omega \qquad R_3=8\Omega$$

$$\therefore R_{ab}=\left(1\Omega//8\Omega+1\Omega//8\Omega\right)//\left(48//9\right)=\frac{72}{779}\Omega$$

14.解：将 R_1, R_2, R_3 作 $Y-\Delta$ 变换

$$R_{1,2}=\frac{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3}{R_3}=\frac{38}{5}\Omega \qquad R_{1,3}=\frac{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3}{R_2}=\frac{19}{2}\Omega$$

$$R_{2,3}=\frac{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3}{R_1}=19\Omega$$

$$\therefore R_{总}=R_6+R_{12}//\left(R_{13}//R_4+R_{23}//R_5\right)=8.1\Omega$$

$$\therefore I=\frac{E}{R_{总}}=\frac{10}{8.1}=1.23A$$

15．解：E_1 单独作用时，设各支路电流为 I_i'

画出此时电路图

$$I_4'=E_1\Big/(R+R//R)=1A$$

$$I_1'=I_4'=1A$$

$$\therefore I_5'=\frac{1}{2}I_1'=0.5A \qquad I_3'=-I_5'=-0.5A$$

$$I_2'=-0.5A$$

再画出 E_2 单独作用时的电路图

$$I_5''=E_2\Big/(R+R//R)=1A$$

$$\therefore I_3''=-I_5''=-1A$$

$$I_1''=I_2''=\frac{1}{2}I_5''=0.5A \qquad I_4''=I_1''=0.5A$$

画出 I_S 单独作用时的电路图

$I_1''' = I_2''' = I_3''' = \frac{1}{3} I_S = \frac{1}{3} A$

$\therefore I_5''' = I_1''' + I_2''' = \frac{2}{3} A$

$I_4''' = -I_2'''0 - I_3''' = -\frac{2}{3} A$

$\therefore$ 由叠加定理可得：$I_1 = I_1' + I_1'' + I_1''' = 1 + 0.5 + \frac{1}{3} = \frac{11}{6} A \quad I_2 = I_2' + I_2'' + I_2''' = \frac{1}{3} A$

$$I_3 = -\frac{7}{6} A \quad I_4 = \frac{5}{6} A \quad I_5 = \frac{13}{6} A$$

16．解：先让$12V$的电压源单独作用。

作出等效电路图

$I_1' = 12A$

由$KCL: 2I' = \frac{5}{3} I_1' + I_1' \qquad I_1' = \frac{3}{4} I$

又$\because I' = I_2' + \frac{5}{3} I_1' = 12 + \frac{4}{5} I' \qquad \therefore I' = -48A$

$\therefore I_1' = -36A$

再画出$2A$电流源单独作用的等效电路。

由$KCL: 2I'' + 2 = \frac{5}{3} I_1'' + I_1'' = \frac{8}{3} I_1''$

$I'' = I_1'' \qquad$ 则$I_1'' = 3A$

再画出$3A$电流源单独作用的等效电路。

由$KCL: 2I''' = \frac{8}{3} I_1''' \qquad I_1''' = \frac{4}{3} I_1'''$

又$\frac{5}{3} I_1''' = I''' + 3$

$\therefore I_1''' = 9A$

$\therefore$ 由叠加定理得$I_1 = I_1' + I_1'' + I''' = -36 + 3 + 9 = -24A$

17.解：由线性叠加定理得

$U = \alpha U_S + r I_S + U_A$

$\therefore 15 = 5\alpha + r + U_A \qquad$ ①

$25 = -5\alpha + r + U_A \qquad$ ②

$5 = -5\alpha - r + U_A \qquad$ ③

由①②③解得 $\alpha = -1 \quad r = 10\Omega \quad U_A = 10V$

$\therefore$ 当 $I_S = -1A$ 时，$U = -5 - 10 + 10 = -5V$

18.解：由线性定理 $I = gE_S + I_S$

当 $E_s = 1V, I_s = 0$ 时，I=4A,所以 g＝4

当 $E_S = 3V, I_S = 0$ 时，$I = 12A$

19.解：将图中虚框中的部分作诺顿等效。

$\Delta R = 0$ 时，$I_d = I_1 = 2A$

$\Delta R = 10\Omega$ 时，$I_1 = I_d \cdot \dfrac{R_d}{R_d + \Delta R} = 1.5A \quad \therefore R_d = 30\Omega$

$\Delta R = -10\Omega$ 时，$I_1 = I_d \cdot \dfrac{R_d}{R_d + \Delta R} = 2 \times \dfrac{30}{20}$=3A

再利用替代定理

用迭加定理

$$I_2 = \alpha I_1 + I_A \qquad \therefore \begin{cases} \dfrac{1}{3} = 2\alpha + I_A \\ 0.5 = 1.5\alpha + I_A \end{cases}$$

$\therefore \alpha = -\dfrac{1}{3} \quad I_A = 1A$

$\therefore I_2 = -\dfrac{1}{3} \times 3 + 1 = 0$

20.解：对虚框中部分作诺顿等效。

$\Delta R = 0$ 时，$I_d = I_1 = 0.2A$

$\Delta R = 10\Omega$ 时，$I_1 = \dfrac{R_d I_d}{R_d + \Delta R} = 0.16A \quad \therefore R_d = 40\Omega$

$\Delta R = 20\Omega$，$I_1 = \dfrac{40}{40 + 20} \times I_d = \dfrac{2}{15}A$

再利用替代定理

$U_2 = rI_1 + U_A$ 代入数据得 $r = -25\Omega \quad U_A = 10V$

$\therefore I_1 = \dfrac{2}{15}A$ 时，$U_2 = \dfrac{20}{3}V$

21.解：$R_d = R_5 + R_2 // R_4 + R_1 // R_3$

$=12\Omega$

求开路电压 $I_2 = I_4 = \dfrac{E_2}{R_2 + R_4} = \dfrac{1}{7}A$

$$I_1 = I_3 = \frac{E_1}{R_1 + R_3} = 0.4A$$

$$\therefore U_d = R_4 I_4 + R_3 I_3 + E_3 = 6 + 8 + 4 = 18V$$

22.解：作 1，2 端口以下左电路的戴维南等效。

$$I_2 = I_S \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_4} = \frac{5}{8}A$$

$$\therefore U_d = I_2 R_2 + I_S R_3 = \frac{5}{8} \times 8 + 1 \times 3 = 8V$$

$$R_d = R_3 + (R_1 + R_4) // R_2 = 10\Omega$$

$\therefore$ （1）当 $R = R_d = 10\Omega$ 时，$P = P_{\max} = \dfrac{U_d^2}{4R_d} = \dfrac{64}{40} = 1.6V$

（2）$I = \dfrac{U_d}{R_d + R}$ $\therefore$ 当 $R = 0$ 时，$I = \mathrm{I}_{max} = \dfrac{U_d}{R_d} = 0.8A$

（3）$U = I \cdot R = \dfrac{U_d}{R_d + R} = \dfrac{U_d}{1 + \frac{R_d}{R}}$

$\therefore$ 当 $R \to \infty$ 时，$U = U_{\max} = U_d = 8V$

23.解：（2）利用节点电压法有，（在两端加压 U_1，电流 I）

$$\begin{cases} U_1 \cdot \dfrac{1}{R_3} - U_2 \cdot \dfrac{1}{R_3} = I - g_m U_2 \\ U_2 \left(\dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{R_3} \right) - U_1 \cdot \dfrac{1}{R_3} = I_{S1} \end{cases} \therefore \begin{cases} \dfrac{1}{3} U_1 - \dfrac{1}{3} U_2 = U_2 + I \\ -\dfrac{1}{3} U_1 + \dfrac{5}{6} U_2 = 1 \end{cases}$$

解得 $U_1 = -5I - 8$　　$\therefore U_d = -8V$　　$R_d = -5\Omega$，$\therefore$ 实际电压源方向应与假定相反

24.解：对 1，$1'$ 以左电路作载维南等效。

$$U_d = R_2 I - R_3 \alpha I = 100I - 10R_3 I = 10I(10 - R_3)$$

又 $(R_1 + R_2)I = U_S$　　$\therefore 125I = 10V$　　$\therefore I = 0.08A$

$$\therefore U_d = 0.8(10 - R_3)V$$

又 $\left.\begin{aligned} R_3(\alpha I+I_d)=R_2 I \\ R_1(I+I_d)+R_2 I=U_S \end{aligned}\right\}$

解得 $I_d=\dfrac{4(R_3-10)}{5(20-R_3)}$

$\therefore R_d=E_d/I_d=R_3-20\Omega$

$U=\dfrac{R}{R_d+R}\times U_d=\dfrac{R}{R_3-20+R}\times U_d$ 不随 R 变化

则 $R_3=20\Omega$，此时 $U=U_d=-8V$。

25.解：列节点电压方程：

$$U_1\left(\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\right)-\frac{1}{R_2}U_2=gU$$
$$U_2\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)-\frac{1}{R_2}U_1=I_S+\frac{U_S}{R_1}$$
$$U=U_2-U_1$$

解得 $U_1=14V \quad U_2=22V \quad \therefore U=8V$

$\therefore U_0=U_2-\mu U=14-4=10V$

$$U_1=\mu U=\mu(U_2-U_1)$$
$$U_2\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)-\frac{1}{R_2}U_1=I_S+\frac{U_S}{R_1}$$
$$U_1=6V \quad U_2=18V \quad U=12V$$

$\therefore I_3=\dfrac{U_1}{R_3}=0.3A \qquad gU=0.45A$

$I_1=\dfrac{U_S-U_2}{R_1}=-0.4A \qquad \therefore I_d=I_S+I_1+gU-I_3=0.75A$

$$\therefore R_d=\frac{U_0}{I_d}=13.33\Omega$$

26.解：$U_d=E=10V$

$I(R_1+R_2)=0.5IR_2-E$

$\therefore I=-\dfrac{2}{3}\times10^{-2}A \qquad \therefore I_d=-I=\dfrac{2}{3}\times10^{-2}A$

$\therefore R_d=\dfrac{U_d}{I_d}=1.5K\Omega$

27.解：设图示为 N' 网络，构建网络 N 根据特勒根定理有：

$$U_{S1}\cdot\hat{I}_1+0\times\hat{I}_2=U_{S1}I_1+I_2U_{S2}$$

又 $I_1=\dfrac{U_1-U_S}{R_1}=-9A$

$$I_2=\frac{U_2}{R_2}+\frac{U_1}{R_3}=5A$$

$$\hat{I}_1=\frac{U_3+U_{S2}-U_{S1}}{R_1}=-48+U_{S2}A$$

解得 $U_{S2}=54V$

28.解：设开关 K 置于 a 时，网络为 N， $K\to C$ 时为 $\hat{N}$ 。

由特勒根定理得 $U_1(-I_S)+U_{R8}\cdot I_{R8}{}'+\sum U_K I_{K'}=(-I_S)\times U_1'+I_{R8}\times 0+\sum I_k U_k{}'$

$$\therefore -U_1 I_S+U_{R8}\cdot I_{R8'}=-I_S U_1' \quad ②$$

又该电路的戴维南等效电路为 $E_d=V=12V \quad I_d=2A \quad \therefore R_d=6\Omega$

$\therefore U_{R8}=\dfrac{R_8}{R_d+R_8}\times E_d=4V \quad I_{R8}=\dfrac{12}{9}=\dfrac{4}{3}A$

$\therefore U_1-U_1'=2V \quad I_S R=2 \quad \therefore R=0.5\Omega$

$\therefore$ 应该在独立电流源上串联一个 0.5Ω 的电阻

2-29 解：把电阻归入 N 中，设为 N'

用特勒根定理，有

$$5\hat{I}_1+U_2\times(-6)=I_1\times 0+0\times\hat{U}_2$$

$$U_2=3I_2=1.5V$$

$5\hat{I}_1=9 \qquad \therefore \hat{I}_1=1.8A$

$$\therefore U_1=4\hat{I}_1=7.2V$$

30.解：对图 1，图 3 运用特勒根定理

$$U_1(-I_{S1})+U_2\times 0=0\times U_1'+(-I_{S2})\times U_2'$$

$$\therefore U_2'=\frac{I_{S1}}{I_{S2}}\times U_1=\frac{2}{3}V$$

图 1 电路中 $11'$ 端口以左电路的等效电阻 $R_d={u_2}/{i_{s2}}=\dfrac{2}{3}\Omega$。

$\therefore$ 作图 2 中 $22'$ 的戴氏等效电路

$\therefore$ 当 $R_L = R_d = \dfrac{2}{3}\Omega$ 时

$$P = P_{\max} = \frac{U^2}{4R_d} = \frac{(\frac{2}{3})^2}{4\times\frac{2}{3}} = \frac{1}{6}W$$

31.解：利用互易定理：

$$I_{总} = \frac{E}{R + R_4 //(R_2 + R_1 // R_3)} = 2A \qquad \therefore I_2 = I_4 = 1A \qquad \therefore I_1 = \frac{40}{64} = \frac{5}{8}A$$

$$\therefore I' = I_1 + I_4 = \frac{13}{8}A \qquad \therefore I = I' = 1.625A$$

32.解：由特勒根定理：

$$U_S \times 0 + U_2 \times (-I_S) = (-I_S)\times U_1 + 0\times \hat{U}_S$$
$$\therefore U_2 I_S = U_1 I_S \qquad \therefore U_1 = U_2$$

33.解：如图示，先作电源等效，$U_{S6} = I_S R_2 = 40V$

假设 $U_{S1},\cdots U_{S6}$ 均短路，U_S 作用在各条支路上的电流分别为 $I_1,\cdots I_6$

$$I' = \frac{U_S}{20} = 0.8A \qquad \therefore I_1 = \frac{1}{2}I' = 0.4A \qquad I_2 = 0.1A$$
$$I_S = 0.05A \quad I_4 = 0.025A \quad I_6 = 0.125A \quad I_5 = 0.00625A$$

$\therefore$ 利用互易定理，各支路上源作用时，作用在干路上的电流分别为：

$$I_1' = -\frac{12}{16}\times 0.4 = -0.3A \quad I_2' = -\frac{24}{16}\times 0.1 = -0.15A \quad I_3' - 0.0625A$$
$$I_4' = 0.03125A \quad I_5' = -0.015625A \quad I_6' = -0.03125A$$

$$\therefore I = I' + I_1' + \cdots + I_6'$$
$$= 0.272A$$

34.解：$I_2' = I_1' - I_4' = 3A \quad I_3' = I_4' + I_5' = 3A$

$\therefore$ 利用互易定理，U_{S2} 单独作用时，产生的 $I_1'' = -\dfrac{1}{2}I_2' = -1.5A$

U_{S3} 单独作用时 $I_1''' = -2I_3' = -6A$

$$\therefore I_1 = I_1' + I_1'' + I_1''' = -2.5A$$

35.解：（2）将电压源短路，电流源开路得等效电阻 $R_d = 4\Omega$

如图所示，采用移源法，则电路变为

由于电流源与电压源串联等效为电流源 $\therefore$ 电路简化为：

$\therefore I_d = 4A$

$R_d = 4\Omega$

第三章

3-14

解：

$U_R = 30\text{V}, U_{RL} = 30\text{V}, \text{U} = 30\text{V}$

$\dot{I} = I\angle 0^\circ$

$\dot{U}_R = 30\angle 0^\circ, \dot{U}_{RL} = 50\angle \varphi^\circ$

$\dot{I} = \dfrac{30\angle 0^\circ}{2} = 15\angle 0^\circ$

$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_{RL} = 30 + 50\cos\varphi + j50\sin\varphi$

$65 = \sqrt{(30+50\cos\varphi)^2 + (50\sin\varphi)^2}$

$65^2 - 30^2 - 50^2 = 2\times 30\times 50\times\cos\varphi$

$\cos\varphi = 0.275$

$\therefore$

$R_L = {50\cos\varphi}/{15} = 0.917\Omega$

$L = {\frac{50\sin\varphi}{15}}/{2\pi\times 50} = 10.2\times 10^{-3}\text{H}$

3-15

解：

$\dot{I}_C = \dfrac{220\angle 0^\circ}{\dfrac{1}{j\omega C}} = 220\angle 0^\circ \bullet j314\times 10\times 10^{-6} = j2.2\times 0.314$

$i_C = \sqrt{2}\times 2.2\times 0.314\sin(\omega t + 90^\circ)$

3-16

解：

$Y = \dfrac{1}{R} + j\omega C = \dfrac{1}{1000} + j\dfrac{1}{314\times 20\times 10^{-6}}$

$\dot{I} = \dfrac{500\angle 0^\circ}{\dfrac{1}{Y}} = \dfrac{1}{2} + \dfrac{5}{j314\times 20\times 10^{-6}}$

3-17

解：

设 $\dot{I} = I\angle 0^\circ$，

习题三

3-1 正弦电压 $u=311\sin\left(314t+\dfrac{\pi}{6}\right)V$，求：（1）振幅、初相位，频率和周期值；（2）画出电压的波形图；（3）当 $t=0$ 和 $t=0.015s$ 时的电压瞬时值。

Ans: (1) $311, \dfrac{\pi}{6}$, 50Hz, 0.02S; (3) 155.5V,-269V

3-2 已知电压有效值为 100V，电流有效值为 5A，且二者频率均为 50Hz，电流相位滞后电压 $\dfrac{1}{4}$ 周期，（1）试以电压 u 为参考正弦量，写出 u 和 i 的瞬时表达式；（2）若取电流 i 为参考正弦量，写出 u 和 i 的瞬时表达式；（3）计算电压和电流之间的相位差。

Ans:

(1) $u=\sqrt{2}\times100\sin314t\ \ V; i=\sqrt{2}\times5\sin(314t-90^0)\ \ A$

(2) $u=\sqrt{2}\times100\sin(314t+90^0)\ \ V; i=\sqrt{2}\times5\sin314t\ \ A$

(3) $\dfrac{\pi}{2}$

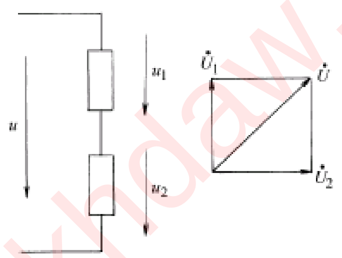
3-3 在图 3-3 中，已知 $u_1=\sqrt{2}\times40\sin\omega t$，$u_2=\sqrt{2}\times30\sin(\omega t+90^\circ)$，试求总电压 u 的值。

解：根据基尔霍夫定律有 $u=u_1+u_2$，用相量来表示则 $\dot{U}=\dot{U}_1+\dot{U}_2$，已知 $\dot{U}_1=40\angle0^\circ\text{V}$，$\dot{U}_2=30\angle90^\circ\text{V}$，则可求得

$$\dot{U}=\dot{U}_1+\dot{U}_2=40\angle0^\circ\text{V}+30\angle90^\circ\text{V}=(40+j30)\text{V}=50\angle36.9^\circ\text{V}$$

总电压 u 的瞬时表达式为

$$u=\sqrt{2}\times50\sin(\omega t+36.9^\circ)\text{V}$$



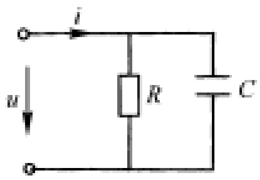
3-4 一条串联支路中包含二个元件，第一个元件的电压 $u_1 = \sqrt{2} \times 220\sin(\omega t - 70^{\circ})V$，第二个元件的电压 $u_2 = \sqrt{2} \times 200\sin(\omega t + 30^{\circ})V$，试求支路电压 $u = u_1 + u_2$，并画出相量图。

Ans: $u = \sqrt{2} \times 270\sin(6280t - 23^{0})\ V$

3-5 电感线圈 $L = 20mH$，电阻可忽略不计，当通过电流 $i_L = \sqrt{2}\sin 1000tA$ 时，（1）求电感线圈二端的电压有效值 U；（2）当电感线圈二端电压瞬时值为 20V，且 $du/dt > 0$ 时电流的瞬时值，并求此时电感吸收的瞬时功率。（电压电流取关联参考方向）

ans: (1) 40V; (2) $-\sqrt{3}$ A; $-20\sqrt{3}$ W

3-6 一个电容与电阻并联如图 3-6 所示，已知 $R = 1000\Omega, C = 20\mu F$，外加电压 500V，50Hz，求该电路的导纳 Y，并求流入该电路的电流 i.



题 3-6 图

ans: $Y = 0.001 + j0.0063s, i = \sqrt{2} \times 3.2\sin(314t + 81^{0})A$

3-7 一个电阻可忽略的线圈，其电感数值为 $L = 31.8\times10^{-3}H$，设流过电流 $i = \sqrt{2}\sin(\omega t - 60^{\circ})$A，频率 $f = 50$Hz，问线圈电压 u_L 为多少？若电流频率 $f = 5000$Hz，重求线圈端电压 u_L。

解：设电流相量 $\dot{I} = 1\angle -60^{\circ}$A，当频率 $f = 50$Hz时，感抗

$$X_L = \omega L = 2\pi fL = 314\times 31.8\times 10^{-3}\Omega = 10\Omega$$

可得电压向量

$$\dot{U}_L = jX_L\dot{I} = 10\angle 30^{\circ}\text{V}$$

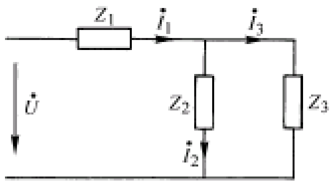
则有 $u_L=\sqrt{2}\times 10\sin(\omega t+30^\circ)$V。

当频率 $f=5000$Hz 时，感抗 $X_L=2\pi fL=31400\times 31.8\times 10^{-3}\Omega=1000\,\Omega$，电压向量

$\dot{U}_L=jX_L\dot{I}=1000\angle 30^\circ$V，电压瞬时式 $u_L=\sqrt{2}\times 1000\sin(\omega t+30^\circ)$V。

由上可知，尽管流过电感的电流有效值相同，但由于电流频率不同，电感的感抗值相差很大，从而使电感上产生的电压降变化很大。

3-8 电路如题图 3-18 所示，已知 $\dot{U}=220\angle 0^\circ V, Z_1=j10, Z_2=j50, Z_3=100\,\Omega$,试求各支路电流。



题 3-8 图

ans: $\dot{I}_1=4.09\angle -68^0\,A, \dot{I}_2=3.66\angle -94.6^0\,A, \dot{I}_3=1.83\angle -4.6^0\,A$

3-9 理想电容器 $C=31.85\mu F$，当施加电压 $u=\sqrt{2}\times 100\sin(314t-30^\circ)$V 时，求流过的电流 i_C；当电容流过 $i_C=\sqrt{2}\times 0.5\sin(314t+30^\circ)$A 时，电容两端的电压 U_C 为多少？

解：（1）电压的角频率 $\omega=314$ rad/s，可得电容的容抗

$$X_C=\frac{1}{\omega C}=100\,\Omega$$

设电压相量 $\dot{U}_C=100\angle -30^\circ$V，

则由式（3-6-4）得

$$\dot{I}_C=j\frac{1}{X_C}\dot{U}_C=1\angle 60^\circ\text{A}$$

电流的瞬时式

$$i_C=\sqrt{2}\sin(314t+60^\circ)\text{A}$$

（2）设电流相量为 $\dot{I}_C=0.5\angle 30^\circ$A，容抗 $X_C=100\Omega$，由式（3-6-5）得

$$\dot{U}_C=-jX_C\dot{I}_C=50\angle -60^\circ\text{V}$$

电容的瞬时电压表达式

$$u_C=\sqrt{2}50\sin(\omega t-60^\circ)\text{V}$$

例 3-10　电路如图 3-10a 所示，测得 $\dot{I}$ 的幅值为 5A，$\dot{I}_R$ 的幅值为 4A，求流过电感 L 的电流 $\dot{I}_L$ 的幅值。

解：以外加电压源的电压 $\dot{U}_s$ 为参考相量，画出各支路电流的相量图（图 3-7-2b）。由元件特性可知，$\dot{I}_R$ 与 $\dot{U}_s$ 同相，$\dot{I}=\dot{I}_R+\dot{I}_L$，电流相量组成直角三角形。$I_L=\sqrt{I^2-I_R^2}=3\text{A}$，流过电感的电流为 3A。

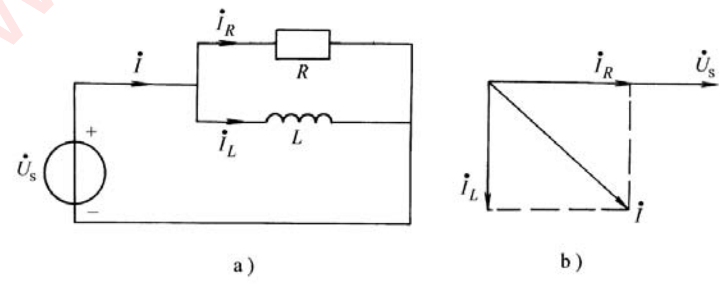


图　3-10

例 3-11　为测量一只线圈的电感和电阻，将它与电阻 R_1 串联后接入频率为 50Hz 的正弦电源，如图 3-11a 所示，测得外加电压 $U=200\text{V}$，电阻 R_1 上电压 $U_1=100\text{V}$，线圈两端电压 $U_2=124\text{V}$。已知电阻 $R_1=100\Omega$，试求线圈的电阻 R 与电感 L 的值。

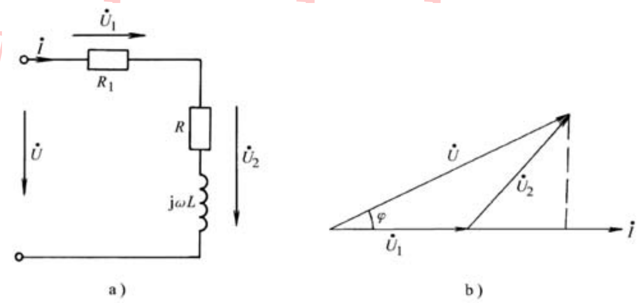


图　3-11

解：以电流 $\dot{I}$ 作参考相量，分别作出电压相量如图 3-11b 所示。因为 $\dot{U}=\dot{U}_1+\dot{U}_2$，因此电压相量组成一个闭合三角形。在相量图上，用余弦定理可求出 φ 角为

$$\cos\varphi=\frac{U^2+U_1^2-U_2^2}{2UU_1}=\frac{200^2+100^2-124^2}{2\times200\times100}=0.866$$

得 $\varphi=30^\circ$，由相量图又可得到

$$\omega LI=U\sin\varphi\ ,\quad I=\frac{U_1}{R_1}=\frac{100}{100}\text{A}=1\text{A}$$

因此

$$L=\frac{U\sin\varphi}{\omega I}=\frac{200\times0.5}{314}\text{H}=0.318\text{H}$$

$$R=\frac{U\cos\varphi-U_1}{I}=\frac{200\times0.866-100}{1}\Omega=73.2\Omega$$

上述解题方法利用了相量的几何关系，这是一种常用的解题方法。

例 3-12　图 3-12 电路中，已知外加电压 $U=220\text{V}$，容性无源一端口网络的阻抗角为 30°，$X_L=10\Omega$，并测得 $U_L=U'$，求电流 I 及负载端电压 U' 的值。

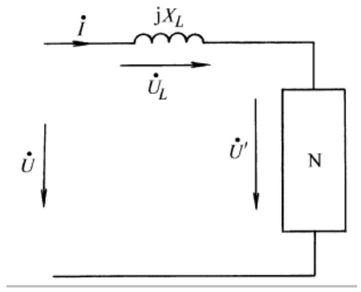


图　3-12

解：由于 X_L 与一端口负载 N 是串联的，流过相同的电流，且电压幅值相等，因此可知一端口负载的阻抗的模与 X_L 相等。故可写出 N 的负载等效阻抗式 $Z_{\mathrm{N}}=10\angle-30^{\circ}\Omega$。电路总负载阻抗为

$$Z=Z_{\mathrm{N}}+jX_L=10\angle-30^{\circ}\Omega+j10\,\Omega$$
$$=10\angle30^{\circ}\Omega$$

因此可得

$$I=\frac{U}{z}=22\text{A}$$
$$U'=Iz_{\mathrm{N}}=220\text{V}$$

例 3-13　图 3-13 所示电路，已知 $R=X_L=100\Omega$，外加电压有效值 $U=200\text{V}$，求输入该电路的有功功率、无功功率和视在功率。

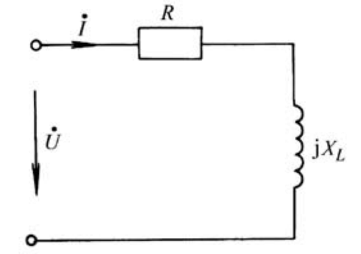


图　3-13

解：设电压为参考相量 $\dot{U}=200\angle0^{\circ}\text{V}$，电路阻抗

$$Z=R+jX_L=(100+j100)\Omega=\sqrt{2}\times100\angle45^{\circ}\Omega$$

电流相量

$$\dot{I}=\frac{\dot{U}}{Z}=\frac{200\angle0^{\circ}}{\sqrt{2}\,100\angle45^{\circ}}\text{A}=\sqrt{2}\angle-45^{\circ}\text{A}$$

电路的功率因数角 $\varphi=0-(-45^{\circ})=45^{\circ}$

它等于无源网络的阻抗角，输入电路的有功功率

$$P = UI\cos\varphi = 200\times\sqrt{2}\times\cos 45^{\circ}\text{W} = 200\text{W}$$

无功功率

$$Q = UI\sin\varphi = 200\times\sqrt{2}\times\sin 45^{\circ}\ \text{var} = 200\ \text{var}$$

视在功率

$$S = UI = 200\times\sqrt{2}\ \text{V}\cdot\text{A} = 282\text{V}\cdot\text{A}$$

例 3-14　图 3-14 所示电路是用三表测量法来测量一只电感线圈的电感与电阻参数值。已知施加的正弦电压的频率为 50Hz，伏特表的读数为 100V，电流表的读数为 1A，瓦特表的读数为 80W，试求 R 与 L 的值。

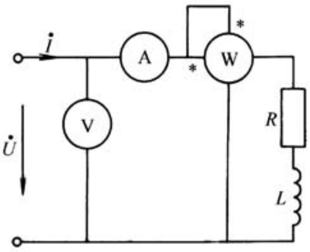


图　3-14

解：电感线圈可表示成电阻与电感的串联电路，由已知测量数据可得电阻值为

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{80}{1^2}\Omega = 80\Omega,\quad \text{阻抗值}\ Z = \frac{U}{I} = \frac{100}{1}\Omega = 100\Omega$$

则感抗

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{100^2 - 80^2}\Omega = 60\Omega$$

得电感值为

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{60}{314}\ \text{H} = 0.19\text{H}$$

则

$$\dot{U} = U_1\angle 0^\circ + jU_2 - jU_3 = 6 + j8$$

所以

$$U = |\dot{U}| = 10\text{V}$$

3-18
解：

$$Z = \frac{j50\times 100}{100 + j50} + j30$$
$$\dot{I}_1 = \frac{220\angle 0^\circ}{Z}$$
$$\dot{I}_2 = \dot{I}_1 \bullet \frac{100}{100 + j50}$$
$$\dot{I}_3 = \dot{I}_1 \bullet \frac{j50}{100 + j50}$$

3-19
解：

$$Z_{ab} = \frac{1}{Y_1} + \frac{Z\dfrac{1}{Y_2}}{Z + \dfrac{1}{Y_2}}$$

3-20
解：

设 $\dot{U} = U\angle 0^\circ$

则

$$\dot{I} = I_1\angle 0^\circ + I_2\angle -90^\circ + I_1\angle 90^\circ = 5 - j4$$
$$|\dot{I}| = 6.4\text{A}$$

所以安培表的读数是 6.4A。

3-21
解：

设 $\dot{I}_C = 10\angle 0^\circ$，则

$$\dot{U}_L = 10\angle 0^\circ \bullet j\omega 12.5\times 10^{-3} = 10\angle 0^\circ \bullet j314\times 12.5\times 10^{-3}$$
$$\dot{I} = \dot{I}_C + \frac{\dot{U}_L}{R} = 10 + j\frac{10\times 314\times 12.5\times 10^{-3}}{4}$$
$$\dot{U} = \dot{I}(-j\frac{1}{314\times 796\times 10^{-6}}) + \dot{U}_L$$

3-22

解：设$\dot{V}_{ab}$与$\dot{V}_c$的夹角为α，则

$$\cos\alpha=\frac{150^2+200^2-100^2}{2\times150\times200}$$
$$\omega L=\frac{150\cos\alpha}{2}$$
$$R=\frac{150\sin\alpha}{2}$$
$$\frac{200}{I}=\frac{1}{\omega L}$$
$$Z=\frac{150\sin\alpha}{2}+j\frac{150\cos\alpha-200}{I}$$
$$\frac{200-150\cos\alpha}{100}=\sin\theta$$
$$Z=\frac{100}{2}\angle-\theta$$

3-23
解：

$$\because 100\sin45^\circ=5R$$
$$\therefore R=10\sqrt{2}$$
$$\because \dot{U}_{ab}=100\cos45^\circ$$
$$\therefore \dot{U}_{ab}=50\sqrt{2}$$
$$\because \begin{cases}\dot{I}_LX_L=\dot{U}_{ab}\\ \dot{I}_CX_C=\dot{U}_{ab}\end{cases}$$
$$\therefore \begin{cases}X_L=5\sqrt{2}\\ X_C=\dfrac{10}{3}\sqrt{2}\end{cases}$$

3-24
解：

$$\dot{U}_{ab}=4\times12.5\angle0^\circ$$
$$R_L+jX_L=\frac{\dot{U}_{ab}}{5\angle-\varphi}$$

$12.5\angle90^\circ+5\angle-\varphi$ （该式虚部为零。）

$$12.5=5\sin\varphi$$
$$\therefore \sin\varphi=\frac{12.5}{5}=2.5$$

$$R = \frac{100 - 4 \times 12.5}{5\cos\varphi}$$

$$\frac{4 \times 12.5}{5}\angle\varphi = R + jX_L$$

$$\therefore \begin{cases} R = 10\cos\varphi \\ X_L = 10\sin\varphi \end{cases}$$

3-31

解：

$$P = I^2 R = (\frac{220}{\sqrt{10^2 + 15^2}})^2 \bullet 10 = 1490$$

$$\theta = I^2 X_L = 2236.67$$

3-32

解：

$$\cos\varphi = \frac{1500}{220 \times 10}$$

$$R + jX = \frac{220}{10}\angle\varphi$$

3-34

解：

$$(1)\cos\varphi = \frac{1.1 \times 10^3}{220 \times 10}$$

$$(2)U^2\omega C = P(tg\varphi - tg\varphi')$$

$$\therefore C = \frac{1.1 \times 10^3 \left(\frac{\sqrt{1 - \cos^2\varphi}}{\cos\varphi} - \frac{\sqrt{1 - 0.9^2}}{0.9} \right)}{314 \times 220^2}$$

3－35

3－37

解：

$$\dot{I}_1 = \frac{220\angle 0^\circ}{3 + j4}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{220\angle 0^\circ}{8 - j6}$$

瓦特表 1 的读数是

$$I_1{}^2R_1 = 40^2 \times 3 = 4800\text{W}$$

瓦特表 2 的读数是

$$I_2{}^2R_2 = 20^2 \times 8 = -3200\text{W}$$

3-38

解：

$$\because \begin{cases} 99.2 = R_2 \times 2^2 \\ 104 - 99.2 = R_1 \times 2^2 \\ (\frac{80}{2})^2 = R_2{}^2 + X_2{}^2 \\ (\frac{88}{2})^2 = (R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2 \end{cases}$$

$$\therefore \begin{cases} R_1 = 1.2\Omega \\ R_1 = 24.8\Omega \\ X_2 = \sqrt{1600 - 24.8^2} \\ X_1 = \sqrt{44^2 - 26^2} - X_2 \end{cases}$$

3-39

解：

$$\dot{U}_{oc} = \frac{\dot{U}_{s1} - \dot{U}_{s2}}{Z_1 + Z_2} \bullet Z_2 + \dot{U}_{s2} = 80\angle -30^\circ + (50 + j50) \bullet \frac{120\angle 0^\circ - 80\angle -30^\circ}{100 + j100}$$

$$Z_{eq} = Z_3 + \frac{Z_1 \times Z_2}{Z_1 + Z_2} = 75 - j25$$

当 $R + jX = Z_{eq}$ 时，$P_{\max} = \dfrac{|\dot{U}_{oc}|^2}{4R}$。

第四章 谐振、互感、三相交流电路

4－3 电路如图 4－1 所示，已知 u＝$\sqrt{2}$ ×100 $\sin 1000t$ V，R＝50Ω，L＝50mH，C＝20μF，试求当 S 打开和关闭时，流过电阻上的电流 i 和电容上电压 Uc。

解：

1. S 打开

$$\dot{I} = \frac{100\angle 0^\circ}{50 + \text{j}50 + (-\text{j}50)} = 2\angle 0^\circ$$

$$\dot{U}_C = 2\angle 0^\circ * (-\text{j}50) = 100\angle -90^\circ$$

∴ S 打开的时候：

$$i = 2\sqrt{2}\sin 1000t$$

$$u_C = 100\sqrt{2}\sin(1000t - 90^\circ)$$

2. S 闭合

$$\dot{I} = \frac{100\angle 0^\circ}{50 + \mathrm{j}50 + \dfrac{\mathrm{j}50\cdot(-\mathrm{j}50)}{\mathrm{j}50 - \mathrm{j}50}} = 0$$

$$\dot{\mathrm{U}}_{\mathrm{C}} = 100\angle 0^\circ$$

$\therefore$ S 打开的时候：

$$i = 0$$

$$u_C = 100\sqrt{2}\sin(1000t)$$

4－4 题图 4－2 所示电路，已知电容 C 固定，欲使电路在 ω_1 时发生并联谐振，而在 ω_2 时发生串连谐振，求 L_1 和 L_2 的值。

解：

ω_1 并联谐振，ω_2 串连谐振，所以

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C}}\text{；}\omega_2 = \sqrt{\left(\frac{L_2}{L_1}+1\right)\Big/(L_2\bullet \mathrm{C})}$$

$$\omega_2 L_1 = \frac{\omega_2 L_2 + \dfrac{1}{\omega_2\bullet \mathrm{c}}}{\omega_2 L_2 - \dfrac{1}{\omega_2\bullet \mathrm{c}}}$$

得到：

$$L_1 = \frac{1}{(\omega_2^2 - \omega_1^2)\bullet C}$$

$$L_2 = \frac{1}{\omega_1^2\bullet C}$$

4－5 题图所示的并联谐振电路，已知 R＝50Ω，C＝10.5μF，L＝40mH，求电路的谐振频率 f_0

解：

由题意可得：

$$\mathrm{Y} = \frac{1}{\mathrm{R} + \mathrm{j}\omega\mathrm{L}} + \mathrm{j}\omega\mathrm{C} = \frac{\mathrm{R}\text{-}\mathrm{j}\omega\mathrm{L}+\mathrm{j}\omega\mathrm{C}(\mathrm{R}^2+(\omega\mathrm{L})^2)}{\mathrm{R}^2+(\omega\mathrm{L})^2}$$

上式分子虚部为零，所以得到：

$$\omega L=\omega C(R^2+(\omega L)^2)$$

$$\omega_0=\sqrt{\frac{L}{C}-R^2}\bullet\frac{1}{L}$$

$$\omega_0=\frac{\sqrt{\frac{0.04}{(10.5\times10^{-6})}-100}}{0.04}$$

$$\omega_0=1522.646\quad(rad/s)$$

4－6 求题图 4－4 所示电路的谐振频率和品质因数。

解：

$$\begin{cases}\dot{U}=\frac{1}{j\omega C}\dot{I}+\alpha\dot{U}\\ \dot{I}_2=\dot{I}+\frac{\dot{U}}{j\omega L}\end{cases}$$

$$\dot{I}=(1-\alpha)\bullet\dot{U}\bullet j\omega C$$

$$\dot{I}_2=[(1-\alpha)j\omega C+\frac{1}{j\omega L}]\dot{U}$$

$$Y=\frac{\dot{I}}{\dot{U}}=\frac{[(1-\alpha)\bullet j\omega C+\frac{1}{j\omega L}]\dot{U}}{\dot{U}}$$

Y 的分子虚部为零。

$$\omega_0=\frac{1}{\sqrt{C\bullet(1-\alpha)\bullet L}}$$ 发生并联谐振

$$\theta=\frac{\frac{1}{\omega_0 L}}{\frac{1}{\rho}}=\frac{R}{\omega_0 L}$$

4－13 电路如图 4－9 所示，已知 $u_S=\sqrt{2}\times100\sin1000tV$， $R_1=10\,\Omega$， $R_2=5\,\Omega$， $L_1=5$ mH， $L_2=13$ mH， $M=3$ mH，试求两个功率表的读数。

解：

$$Z=12+j12+\frac{(10+j4)\bullet j12}{10+j4+j12}$$

$$Z = 12 + j12 + \frac{j12 \bullet (10 + j4) \bullet (10 - j16)}{10^2 + 16^2}$$

$$Z = 12 + j12 + \frac{j12 \bullet (100 - j160 + j40 - j^2 64)}{100 + 256}$$

$$Z = 12 + \frac{3 \times 120}{89} + j12 + \frac{3 \times j164}{89} = 16.045 + j17.528$$

4－14 如题图 4－11 所示电路，已知 $\dot{U}_S = 220\angle 0^\circ$V, $R_1 = 5\Omega$， $R_2 = 5\Omega$， $L_1 = L_2 = 0.1$H，M=0.05H，Z=50Ω，电源频率 $f = 50$Hz，试求 $\dot{I}_1$、$\dot{I}_2$、变压器一次侧输入功率、二次侧输入功率、传输功率。

解：

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_1}{R_1 + j\omega L_1 + \dfrac{(\omega M)^2}{R_{22} + jX_{22}}} = \frac{220\angle 0^\circ}{5 + j31.4 + \dfrac{(314 \times 0.05)^2}{60 + j31.4}}$$

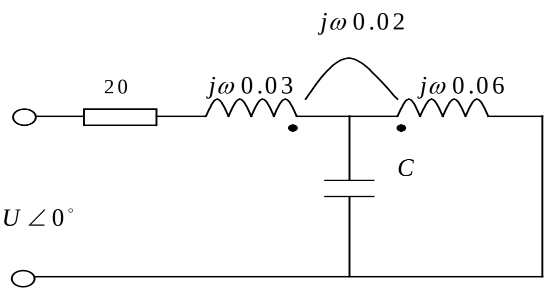
$$\dot{I}_2 = \frac{j314 \times 0.05}{60 + j31.4}\dot{I}_1$$

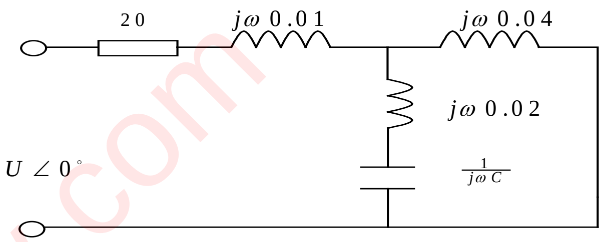
$$P_1 = \dot{U}_1 \dot{I}_1 \cos\varphi_1$$

$$P_2 = \dot{I}_2^2 R$$

$$\eta = \frac{P_1}{P_2} \times 100\%$$

4－16 如题图 4－13 所示电路，已知 $R_1 = 20\Omega$，$L_1 = 30$mH，$L_2 = 60$mH，$M = 20$mH，在 ab 端加电压 $u = \sqrt{2}U\sin 10^4 t$ V，问为使电路发生串联谐振，电容 C 应该取多大的值。





解：
发生串连谐振

$$j\omega 0.01+\frac{j\omega 0.04(j\omega 0.02+\dfrac{1}{j\omega C})}{j\omega 0.06+\dfrac{1}{j\omega C}}=0$$

带入数据得：

$$1+\frac{4(1-\omega^2 C0.02)}{1-\omega^2 C0.06}=0$$

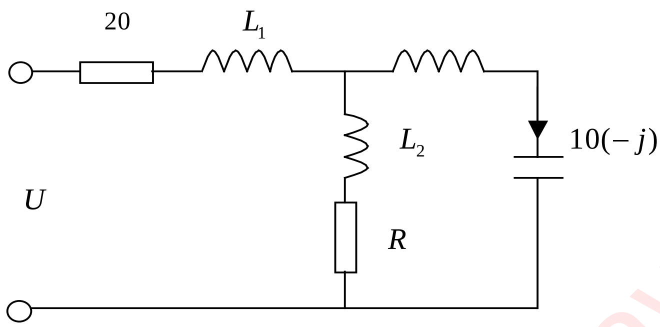
$$1-\omega^2 C0.06+4-4\omega^2 C0.02=0$$

$$(0.06+0.08)\omega^2 C=5$$

$$C=\frac{5}{0.14\times\omega^2 C0.06}=0.357\times 10^{-6}\mathrm{F}$$

4－17 如题图 4－14 所示正弦交流电路，已知 $U=50\mathrm{V}$，$I_1=I_2=I=10\mathrm{A}$，$X_C=10\Omega$，

电路吸收的有功功率为 433W，求 R、X_{L1}、X_{L2} 及 ωM。



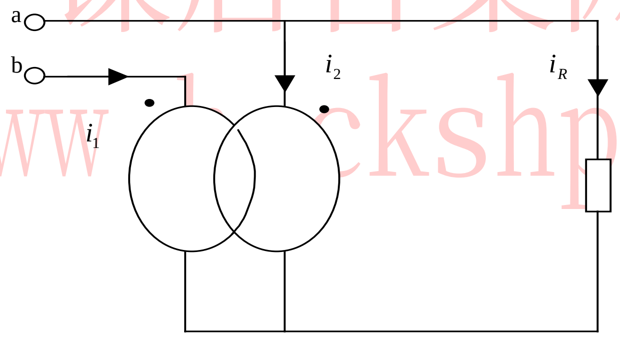
解：

设 $\dot{I}_1 = 10\underline{|0^\circ}, \dot{I}_2 = 10\underline{|120^\circ}, \dot{I} = 10\underline{|60^\circ}$，另一种情况与题意矛盾

$$\dot{U}_c = j\omega L_2 \dot{I}_1 - j\omega M \dot{I}_2 + R\dot{I}_1$$
$$\dot{U} = j\omega L_1 \dot{I} - j\omega M \dot{I}_1 + \dot{U}_c$$
$$P = 433 = I_1{}^2 R$$
$$R = 4.33$$
$$\dot{U}_c = 100\underline{|120^\circ - 90^\circ} = jX_{L2} \cdot 10\underline{|0^\circ} - jX_M \cdot 10\underline{|60^\circ} + R \cdot 10\underline{|0^\circ}$$
$$\begin{cases} 100\cos 30^\circ = R \cdot 10 + X_M \cdot 10\sin 60^\circ \\ 100\sin 30^\circ = X_{L2} \cdot 10 - X_M \cdot 10\cos 60^\circ \end{cases}$$
$$100\underline{|30^\circ} + 10\underline{|60^\circ} \cdot jX_{L1} - jX_M \cdot 10\underline{|0^\circ} = \dot{U}$$

解得：$X_M = 5\Omega$； $X_{L2} = 7.5\Omega$

4－19 如题图 4－16 所示电路，理想变压器匝数比为 $N_1 = N_2$，求 ab 端的等效阻抗。



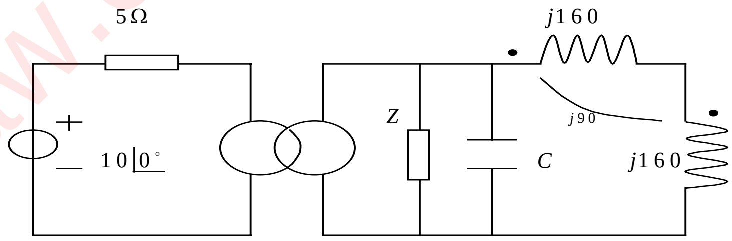
解：

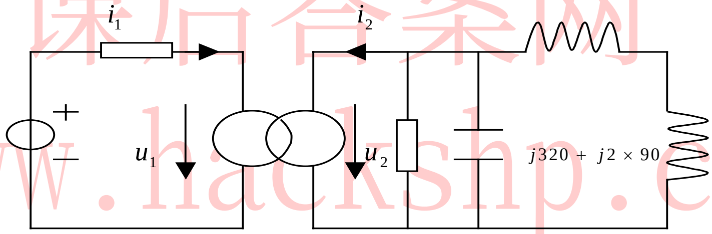
$$U_1 = nU_2$$
$$i_1 = -\frac{1}{n} i_2$$
$$U_2 = i_R R = R(-i_1 - i_2) = R(-i_1 + ni_1)$$
$$i_1 = -i_2 - i_R$$
$$\therefore i_2 = -(i_1 + i_2)$$
$$U = U_1 - U_2 = (n-1)U_2 = (n-1)R(n-1)i_1$$
$$\therefore R_{eq} = \frac{U}{i_1} = (n-1)^2 R$$

4－21 如题图 4－18 所示电路， $Z = (80 + j60)\Omega$， $R = 5\Omega$， $\omega L_1 = \omega L_2 = 160\Omega$，

$\omega M = 90\Omega$，$\dot{U}_s = 10\angle 0^{\circ}$ V。欲使负载 Z 获得最大功率，求电容 C 的容抗 X_C 和理想变压器的匝数比 $N_1 : N_2$，并求 Z 获得的最大功率值。

解：首先去掉耦合线圈的耦合，然后将原边电路折算到付边，并用戴维南支路等效。





也就是根据：

$$\dot{U}_1 = n\dot{U}_2$$

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

$$10\angle 0^{\circ} = R\dot{I}_1 + \dot{U}_1$$

$$\frac{10\angle 0^{\circ} - R\dot{I}_1}{n} = \dot{U}_2$$

$$\frac{10\angle 0^{\circ} - \frac{R}{n}\dot{I}_2}{n} = \dot{U}_2$$

戴维南等效支路为：$\dot{V}_{oc} = \dfrac{10\angle 0^{\circ}}{n}$；$Z_{eq} = \dfrac{R}{n^2}$

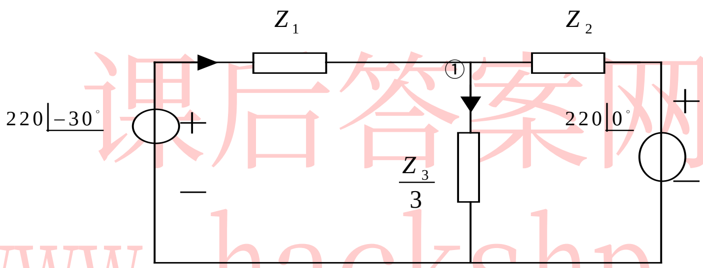
从 Z_{eq} 两端看进去的等效阻抗 $Z_{eq}{}' = Z^* = 80 - j60 = \dfrac{1}{\left(\dfrac{R}{n^2}\right)^{-1} + \dfrac{1}{j500} + \dfrac{1}{-jX_c}}$

经过计算得到：

$$n = \frac{N_1}{N_2} = 0.2$$

$$X_C = 125$$

4－22 三相对称电路如题图 4－19 所示，已知 $\dot{U}_{A1} = 380\angle 0^\circ \mathrm{V}$，$\dot{U}_{A2} = 220\angle 0^\circ \mathrm{V}$，$\mathrm{Z}_1 = j20\Omega$，$\mathrm{Z}_2 = (40 - j30)\Omega$，$\mathrm{Z}_3 = (24 + j18)\Omega$, 试求 Z_3 负载中的相电流和 Δ 联结的对称三相电源发出的功率。



解：

使用节点法

$$\dot{U}_{(1)} = \frac{\dfrac{220\angle -30^\circ}{Z_1} + \dfrac{220\angle 0^\circ}{Z_2}}{\dfrac{1}{Z_1} + \dfrac{1}{Z_2} + \dfrac{1}{\frac{Z_3}{3}}}$$

$$\dot{I}_1 = \frac{220\angle -30^\circ - \dot{U}_{(1)}}{Z_1}$$

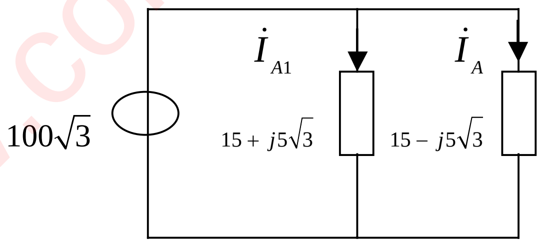
$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{(1)}}{\dfrac{Z_3}{3}}$$

Z_3 中 A 相电流为 $\dfrac{1}{\sqrt{3}}\dot{I}_3\angle 30^\circ$

$$P = \sqrt{3}U_l I_l \cos\varphi = \sqrt{3}\cdot 380 \cdot \left|\dot{I}_1\right| \cdot cos(-30^\circ - \theta_{\dot{I}_1})$$

4－23 对称三相电路如题图 4－20 所示，已知 $\dot{U}_A = 100\sqrt{3}\angle 0^\circ \mathrm{V}$，$\mathrm{Z_Y} = (15 + j5\sqrt{3})\Omega$，

$Z_{\vartriangle}=(45-j5\sqrt{3})\Omega$，试求 Y 联结的三相负载上 Z_Y 消耗的功率。



解：

$$\dot{I}_{A1}=\frac{100\sqrt{3}\angle 0^{\circ}}{15+j5\sqrt{3}}$$

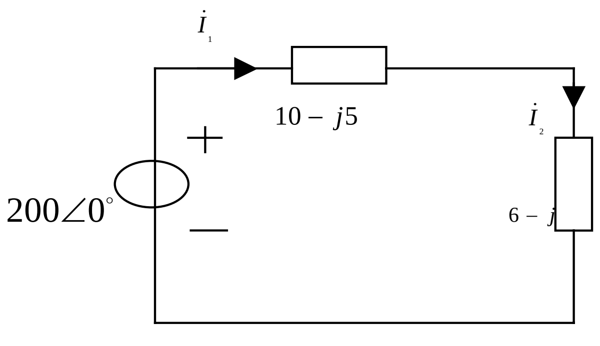
$$\dot{I}_{A2}=\frac{100\sqrt{3}\angle 0^{\circ}}{15-j5\sqrt{3}}$$

$$\dot{I}_{AB}=\frac{1}{\sqrt{3}}\dot{I}_A\angle 30^{\circ}$$

$$P_Y=3U_PI_P\cos\varphi=3\cdot 100\sqrt{3}\cdot\dot{I}_{A1}\cos(-\theta_{i_1})$$

4－24 对称三相电路如题图 4－21 所示，已知 $U_A=200\text{V}$， $Z_1=(10-j5)\Omega$，

$Z_2=(118-j21)\Omega$，试求 I_1、 I_2 及 U 的值。



解：

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \frac{200\angle 0^\circ}{10 - j5 + 6 - j7}$$

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_1(6 - j7)$$

$$I_1 = \left|\dot{I}_1\right|$$

$$I_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} I_1$$

$$U = \sqrt{3}\left|\dot{U}_2\right|$$

4－25 题图 4－22 所示对称三项负载，已知线电压为 380V，$Z = (8 + j6)\Omega$，求个功率表的读数。

解：

$$U_l = 380$$

$$Z = 8 + j6$$

$$I_l = \frac{380/\sqrt{3}}{|8 + j6|}$$

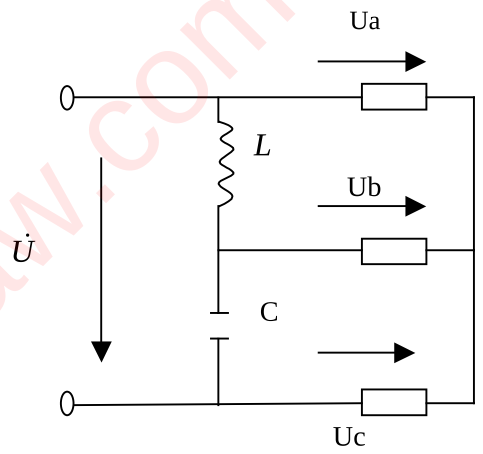
功率表 W_1 的读数是：

$$U_l I_l \cos(30^\circ + \varphi) = 380 \cdot \frac{38}{\sqrt{3}} \cos 30^\circ$$

功率表 W_2 的读数是：

$$U_l I_l \cos(30^\circ - \varphi) = ...$$

4－26 利用题图 4－23 所示电路,可由单相电压 U 在三个零电阻 R 上获得一组对称三项电压。如果已知电源频率是 50Hz，电阻 10Ω,试求为使 R 上得到一组对称三相电压所需的 L、C 之值。



解：

设

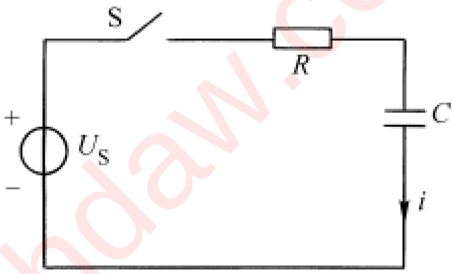
$$\dot{U}_A = 1\angle 0^\circ, \dot{U}_B = 1\angle -120^\circ, \dot{U}_C = 1\angle 120^\circ$$

P 点运用 KCL:

$$\frac{\sqrt{3}\angle 30^\circ}{j\omega L} = \frac{1\angle -120^\circ}{R} + \frac{\sqrt{3}\angle 30^\circ \cdot 1\angle -120^\circ}{\dfrac{1}{j\omega C}}$$

根据等式两边实部和虚部分别相等可以求得 C 和 L。

8-1　题图 8-1 所示电路中已知 $U_S = 100V$、 $R = 1000\Omega$、 $C = 1\mu F$,开关 K 合上以前电容来充过电. $t = 0$ 时， K 合上，计算 $t = 0^+$ 时， i， $\frac{di}{dt}$， 及 $\frac{d^2 i}{dt^2}$。



题图 8-1

解： $u_C(0+) = u_C(0-) = 0V$

K 合上， $t = 0^+$ 时， $i_C(0^+) = \frac{U_S}{R} = 0.1A$

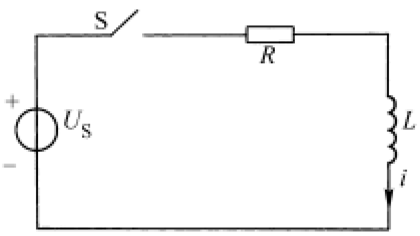
又 $i(t) = \frac{U_S - u_C(t)}{R}$

$$\frac{di(t)}{dt} = -\frac{1}{R}\frac{du_C(t)}{dt} = -\frac{1}{RC}i_C(t)$$

$$\frac{di(0^+)}{dt} = -\frac{1}{RC}i(0^+) = -100A/s$$

$$\frac{d^2 i}{dt}(0^+) = -\frac{1}{RC}\frac{di}{dt}(0^+) = 10^5 A/s^2$$

8-2　给定电路如题图 8-2 所示, $U_S = 100V$, $R = 10\Omega$, $L = 1H$, $t = 0$时合上, 计算 $t = 0^+$ 时 $\frac{di}{dt}$ 及 $\frac{d^2 i}{dt^2}$ 的值。



题图 8-2

解： $t < 0$ 时， $i_L(0^-) = 0A$

$t = 0^+$ 时， $i_L(0^+) = i_L(0^-) = 0$

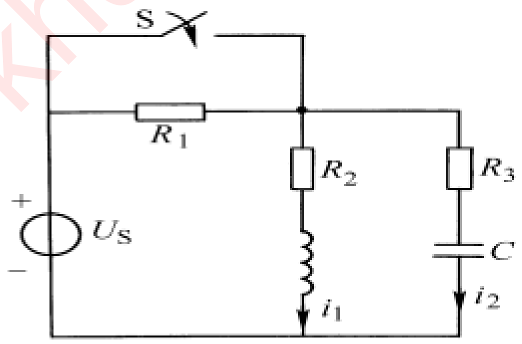
$u_L(0^+) = u_S = 100V$

$$\frac{di}{dt}(0^+) = \frac{1}{L}u_L(0^+) = 100A/s$$

$$i = \frac{u_S - u_L}{R}$$

$$\frac{d^2 i}{dt^2}(0^+) = \frac{1}{L}\frac{du_L}{dt}(0^+) = \frac{1}{L}\left[-R\frac{di}{dt}(0^+)\right] = -1000A/s^2$$

8-3　题图 8-3 所示电路中，已知 $U_S = 100V$， $R_1 = 10\Omega$， $R_2 = 20\Omega$， $R_3 = 20\Omega$， K闭合前电路处于稳态， $t = 0$时 K闭合，试求 $i_1(0^+)$及 $i_2(0^+)$ 。



题图 8-3

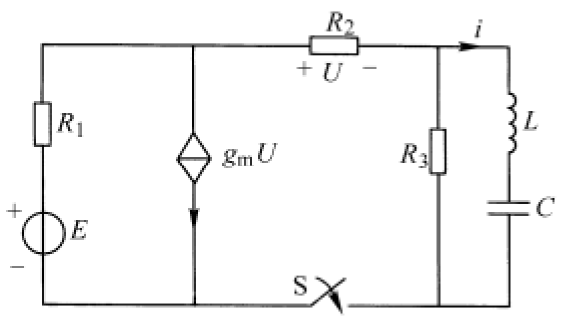
解： $i_1(0^-) = \frac{U_S}{R_1 + R_2} = \frac{10}{3}A$由换路定则 $i_1(0^+) = i_1(0^-) = \frac{10}{3}A$

$u_C(0^-) = R_2 \cdot i_1(0^-) = \frac{200}{3}V$　　　$u_C(0^+) = \frac{200}{3}V$

K 闭合后， 有

$$i_2(0^+) = \frac{U_S - u_C(0^+)}{R_3} = \frac{5}{3}A$$

8-4　在题图 8-4 所示电路中，参数为 $R_1 = R_2 = R_3 = 2\Omega$ 。 $VCCS$的 $g_m = 1s$， $L = 1H$， $C = 2F$，直流电源 $E = 5V$，电容上无初始电荷。当 $t = 0$时， K闭合。求 $i(0^+)$、 $\frac{di}{dt}(0^+)$ 。



题图 8-4

解：开关合上后，LC 端口以左作戴维南等效

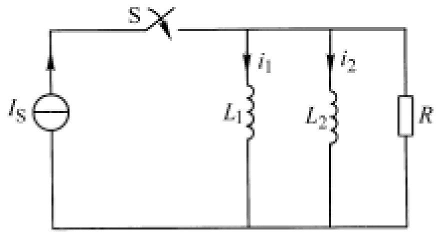
求得 $U_d = 1V \qquad I_d = \frac{5}{8}A \qquad R_d = \frac{8}{5}\Omega$

$i(0^+) = 0A \quad u_L(0) = U_0 = 1V = Li'(0^+)$

$i'(0^+) = \frac{u_L(0)}{L} = 1A/s$

8-5 在题图 8-5 所示电路中，$I_s = 6A, L_1 = 1H, L_2 = 2H, R = 1\Omega, i_1(0^-) = 1A, i_2(0^-) = 2A$，

问 K 闭合后 $i_2(0^+)$ 和 $i_2(\infty)$ 各的多少？



题图 8-5

解．$i_2(0^+) = i_2(0^-) = 2A$

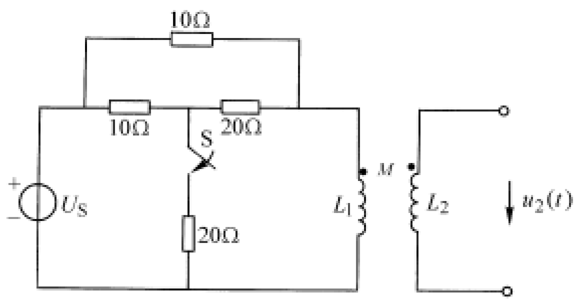
$L_2 i_2(0^-) - L_1 i_1(0^-) = L_2 i_2(\infty) - L_1 i_1(\infty)$

$I_S = i_1(\infty) + i_2(\infty)$

解得 $i_2(\infty) = 3A$

8-8 在题图 8-8 所示电路中，K 闭合前电路已达稳态，$t = 0$ 时 K 闭合，求：$t > 0$ 时的 $u_2(t)$

其中 $U_S = 10V, L_1 = 0.15H, L_2 = 0.1H, M = 0.05H$。



题图 8-8

解：K 未闭合时 $i_1(0^-) = \frac{U_S}{10//30} = \frac{4}{3}A \quad \therefore i_1(0^+) = i_1(0^-) = \frac{4}{3}A$

稳态时 $i_a = \frac{U_S}{10} = 1A \quad i_b = \frac{U_S}{10 + 20//20} \times \frac{1}{2} = 0.25A$

$\therefore i_{1p} = i_a + i_b = 1.25A \qquad \tau = \frac{L}{R} = \frac{0.15}{\frac{80}{11}} = \frac{33}{1600}S$

$\therefore$ 由三要素公式：$i_1(t)=1.25+\frac{1}{12}e^{-48.5t}$

$$\therefore u_2(t)=M\frac{di_1(t)}{dt}=0.05(-4.04e^{-48.5t})$$
$$=-0.202e^{-48.5t}V$$

8-10 电容 $C=40\mu F$，经过一电阻放电，放电过程结束时电阻消耗的能量为 $5J$，若在放电开始后 5.56×10^{-3}s 时，电容放出的能量它开始时储存能量的一半，试问放电前电容的端电压是多少？所接电阻之值是多少？

解：$\tau=RC$

$u_C(t)=u_0e^{-t/RC}V$

放电结束时电阻消耗的能量为

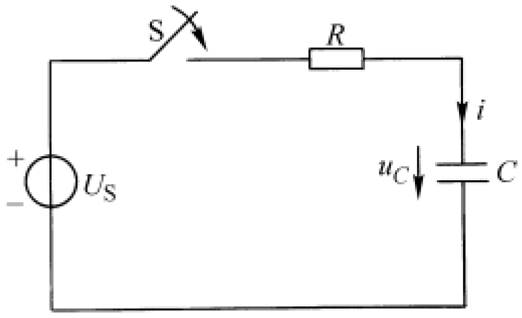
$W=\frac{1}{2}CU_0^2=5J \quad \therefore U_0=500V$

$\therefore u_C(t)=500e^{-t/RC}V$

$\int_0^t\frac{u^2}{R}dt=2.5J \quad \therefore \int_0^{5.56\times10^{-3}}\frac{(500e^{-\frac{t}{RC}})^2}{R}dt=2.5J$

$R=401.07\Omega$

8-11 题图 8-10 电路中，$R=10\Omega, C=200\mu F, u_C(0^-)=2V, u_S=\sqrt{2}\sin(314t-45^\circ)V$，求开关 K 合上后 $i(t)$ 和 $u_C(t)$。



题图 8-11

解：列方程：$Ri+u_C=u_S$

有 $RC\frac{du_C}{dt}+u_C=u_S$

$$2\times10^{-3}\frac{du_C}{dt}+u_C=\sqrt{2}\sin(314t-45^\circ)$$

$$u_C(t)=u_{ch}(t)+u_{cp}(t)$$
$$=ke^{-500t}+U\sin(314t+\theta)$$
$u_C(0^+)=u_C(0^-)=2 \qquad \therefore k+U\sin\theta=2$

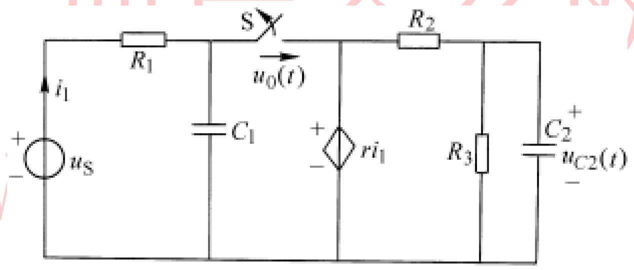
$$i(t)=C\frac{du_C}{dt}=2\times10^{-4}\times\left[-500ke^{-500t}+314U\cos(314t+\theta)\right]$$
$$i(0^+)=\frac{U_S(0)-u_C(0^+)}{R}=\frac{-1-2}{10}=-0.3 \quad (A)$$
$\therefore -0.1k+0.0628U\cos\theta=-0.3$

解得 $U=1.197V \qquad \theta=-77.13^\circ \qquad \mathrm{k}=3.167V$

$$\therefore u_C(t)=3.167e^{-500t}+1.197\sin(314t-77.13^\circ)$$
$$i(t)=-0.317e^{-500t}+0.075\sin(314t+12.87^\circ)$$

8-14 题图 8-13 所示电路中，已知 $R_1=R_2=R_3=20\Omega, r=40\Omega, C_1=C_2=0.1F, u_s=12V$，

开关 K 闭合已久，试求 K 打开后其两端的电压 $u_0(t)$ 与 $u_{C2}(t)$。



题图 8-13

解：K 打开前，$i_1=\dfrac{u_S-ri_1}{R_1}=\dfrac{12-40i_1}{20}$

$\therefore i_1=0.2A \qquad u_{C1}(0^-)=ri_1=8V=u_{C1}(0^+)$

$$u_{C2}(0^-)=\frac{1}{2}ri_1=20i_1=4V=u_{C2}(0^+)$$

K 打开后，$u_{C1p}=u_S=12V \qquad \tau_1=R_1C_1=2s$

$$\therefore u_{C1}(t)=12-4e^{-\frac{1}{2}t}V$$
$$i_1(t)=C_1\frac{du_{C1}(t)}{dt}=0.2e^{-\frac{1}{2}t}A$$
$$\therefore u_0(t)=u_{C1}(t)-ri_1(t)=12-12e^{-\frac{1}{2}t}V$$
$$ri_1=8e^{-\frac{1}{2}t}V$$
$$R_2\left(\frac{u_{C2}}{R_3}+C_2\frac{du_{C2}}{dt}\right)+u_{C2}=ri_1$$

$2\frac{du_{C2}}{dt}+2u_{C2}=8e^{-\frac{1}{2}t}$ 即 $\frac{du_{C2}}{dt}+u_{C2}=4e^{-\frac{1}{2}t}$

$\therefore u_{C2p}(t)=8e^{-\frac{1}{2}t}$

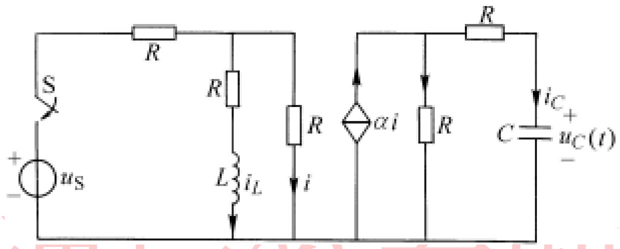
$u_{C2}(t)=Ae^{-t}+8e^{-\frac{1}{2}t}$

$u_{C2}(0+)=A+8=4 \quad \therefore A=-4$

$\therefore u_{C2}(t)=-4e^{-t}+8e^{-\frac{1}{2}t}V$

8-15 电路如题图 8-14 所示，已知：$U_S=18V,\ \alpha=8, R=6\Omega,\ L=0.9H, C=0.5F,$

$i_L(0^-)=0A, u_C(0^-)=OV$，$t=0$时开关闭合，试求 $i_L(t), u_C(t)$。



题图 8-14

解：$i_L(0^+)=i_L(0^-)=0 \qquad i_{LP}=\frac{U_S}{R+R//R}\times\frac{1}{2}=1A$

$\tau_1=\frac{L}{R_{eq}}=\frac{0.9}{9}=0.1s \quad \therefore i_L(t)=1-e^{-10t}A$

$i=\frac{Ri_L+L\frac{di_L}{dt}}{R}=1+0.5e^{-10t}A$

$\alpha i=8+4e^{-10t}A$

$i_C+\frac{Ri_C+u_C}{R}=\alpha i \qquad i_C=C\frac{du_C}{dt}$

$\frac{du_C}{dt}+\frac{1}{6}u_C=8+4e^{-10t} \qquad \therefore u_C(t)=ke^{-\frac{1}{6}t}+48-\frac{24}{59}e^{-10t}$

$u_C(0^+)=k+48-\frac{24}{59}=0 \qquad \therefore k=-47.59 \qquad \therefore u_C(t)=-47.59e^{-\frac{1}{6}t}+48-0.406e^{-10t}V$

第九章　拉普拉斯变换卷积积分和状态方程

9-1 求下列象函数的原函数。

（1） $F(s)=\dfrac{s+4}{2s^2+5s+3}$　　　　（2） $F(s)=\dfrac{s^2+3s+7}{\left[(s+2)^2+4\right](s+1)}$

（3） $F(s)=\dfrac{2s^2+3s+2}{(s+1)^3}$　　　　（4） $F(s)=\dfrac{s+2}{s(s+1)^2(s+3)}$

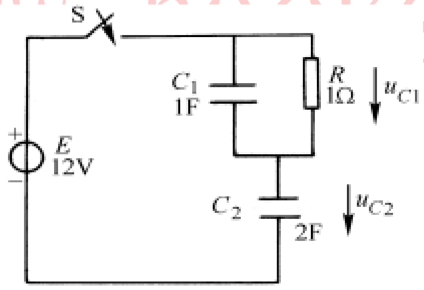
解：（1） $f(t)=3e^{-t}-2.5e^{-1.5t}$

（2） $f(t)=e^{-t}+0.5e^{-2t}\cos\left(2t+90^\circ\right)$

（3） $f(t)=\dfrac{t^2}{2}e^{-t}-te^{-t}+2e^{-t}$

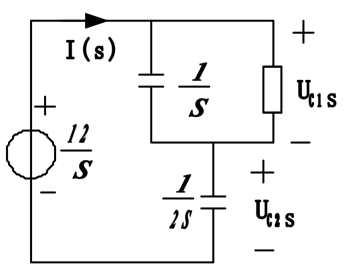
（4） $f(t)=\dfrac{2}{3}+\dfrac{1}{12}e^{-3t}-\left(\dfrac{1}{2}t+\dfrac{3}{4}\right)e^{-t}$

9-2 题图 9-1 所示电路，电容上初始电压均为零。试求开关 K 闭合后 $u_{C1}(t)$ 及 $u_{C2}(t)$（用运算法求解）。



题图 9-1

解：画出频域模型



$$I(s)=\frac{\dfrac{12}{s}}{\dfrac{1}{2s}+\dfrac{1}{s+1}}=\frac{24(s+1)}{3s+1}$$

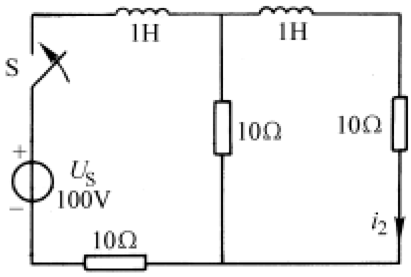
$$\therefore\quad U_{C2}(s)=I(s)\times\frac{1}{2s}=\frac{12(s+1)}{s(3s+1)}$$

$$=\frac{12}{s}-\frac{8}{s+\frac{1}{3}}$$

$$U_{C1}(s)=\frac{12}{s}-U_{C2}(s)=\frac{8}{s+\frac{1}{3}}$$

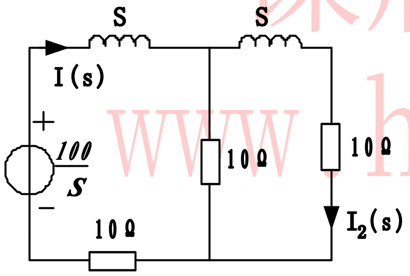
$$\therefore \quad u_{C1}(t)=8e^{-\frac{1}{3}t}V \qquad u_{C2}(t)=12-8e^{-\frac{1}{3}t}$$

9-3 题图 9-2 所示电路中参数已标明，$t=0$ 时开关 K 合上，求 i_2 的零状态响应。



题图 9-2

解：解画出频域模型

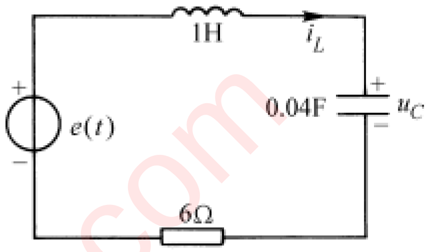


$$I(s)=\frac{\frac{100}{s}}{s+10+\frac{10(s+10)}{s+20}}=\frac{100(s+20)}{s(s+10)(s+20)+10s(s+10)}$$

$$\therefore \quad I_2(s)=I(s)\frac{10}{s+20}=\frac{1000}{s(s+10)(s+30)}=\frac{\frac{10}{3}}{s}-\frac{5}{s+10}+\frac{\frac{5}{3}}{s+30}$$

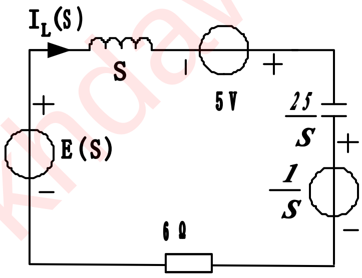
$$\therefore i_2(t)=\frac{10}{3}-5e^{-10t}+\frac{5}{3}e^{-30t}A$$

9-4 题图 9-3 所示电路，已知 $u_C(0^-)=1V, i_L(0^-)=5A$，$e(t)=12\sin 5t\cdot 1(t)V$，用运算法计算 $i_L(t)$。



题图 9-3

解：画出频域模型



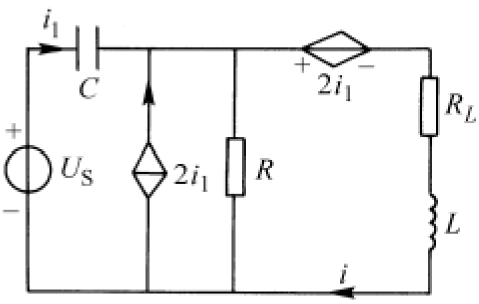
令 $e(t)=12e^{j5t}$

$$I_L(s)=\frac{E(s)+j5-j\frac{1}{s}}{s+\frac{25}{s}+6}=\frac{\frac{12}{s-j5}+j5-j\frac{1}{s}}{s+\frac{25}{s}+6}$$

计算后取虚部得 $i_L(t)=2\sin 5t+8.2006e^{-3t}\sin\left(4t+142.43^\circ\right)$

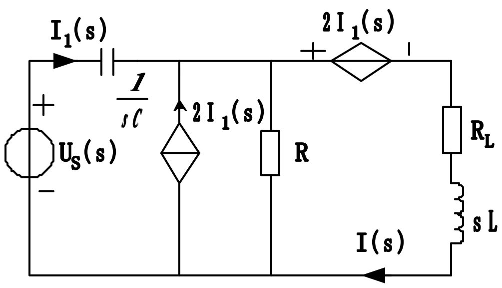
9-5 题图 9-4 所示电路中，$u_S=e^{-t}\cdot 1(t), R=1\Omega, C=1F, R_L=2\Omega, L=1H, u_C(0^-)=0$，

$i_L(0^-)=0$，试求 $i(t)$。



题图 9-4

解：画出频域模型



列出节点电压方程 $U_1(s)\left(\frac{1}{\frac{1}{sC}}+\frac{1}{R}+\frac{1}{R_L+sL}\right)=\frac{U(s)}{\frac{1}{sC}}+2I_1(s)+\frac{2I_1(s)}{R_L+sL}$

$$I_1(s)=\frac{U_S(s)-U_1(S)}{\frac{1}{sC}}$$

代入数据得 $U_1(s)\cdot\left(s+1+\frac{1}{s+2}=\frac{s}{s+1}+\left[\frac{2s}{s+1}-2sU_1(s)\right]\left(1+\frac{1}{s+2}\right)\right)$

解得 $U_1(s)=\frac{3s^2+8s}{3(s+1)(s^2+3s+1)}$

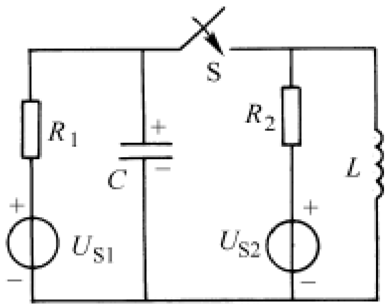
$$I(s)=\frac{U_1(s)-2I_1(s)}{R_L+sL}=\frac{\frac{1}{3}}{s+1}-\frac{0.241}{s+2.618}-\frac{0.09215}{s+0.382}$$

$$\therefore\quad i(t)=\frac{1}{3}e^{-t}-0.241e^{-2.618t}-0.9215e^{-0.382t}A$$

9-6 题图 9-5 所示电路中，已知 $R_1=R_2=2\Omega, C=0.1F, L=\frac{5}{8}H, U_{S1}=4V, U_{S2}=2V$，原电路已处于稳态，$t=0$ 时闭合开关 K。求：（1）作运算电路图

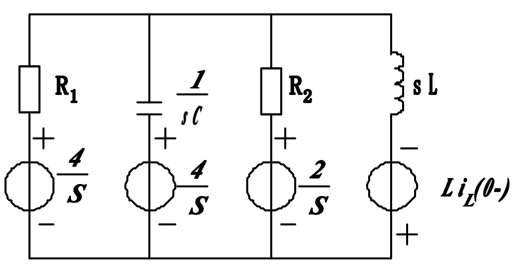
（2）求 $u_C(t)$ 的运算电压 $U_C(S)$

（3）求 $u_C(t)$。



题图 9-5

解：（1）作出运算电路



$$u_C(0^-)=4V \qquad i_L(0^-)=1A$$

$$(2).\ U_C(s)=\frac{\frac{\frac{4}{s}}{R_1}+\frac{\frac{4}{s}}{\frac{1}{sC}}+\frac{\frac{2}{s}}{R_2}-\frac{Li_L(0-)}{sL}}{\frac{1}{R_1}+sC+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{sL}}$$

$$=\frac{2s+10}{0.5s^2+55+8}=\frac{4s+20}{(s+2)(s+8)}$$

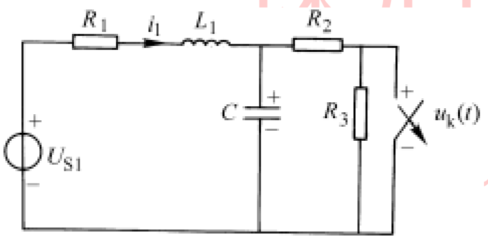
$$(3).\ U_C(S)=\frac{k_1}{S+2}+\frac{k_2}{S+8}$$

解得 $k_1=2, k_2=2$

$$\therefore u_C(t)=2e^{-2t}+2e^{-8t}V$$

9-7 电路如题图 9-6 所示，已知：

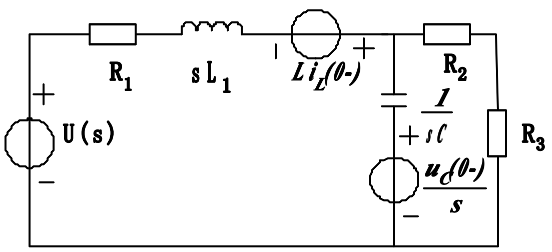
$R_1=30\Omega, R_2=R_3=5\Omega, L_1=0.1H, C=1000\mu F, U_S=140V$，求 $u_K(t)$。



题图 9-6

解：$i_1(0^-)=\dfrac{Us}{R_1+R_2}=4A \qquad u_C(0^-)=i_1(0^-)R_2=20V$

∴画出电路的频域模型



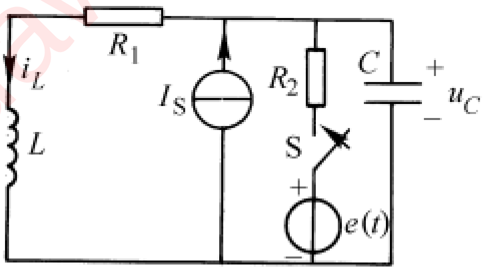
由节点电压法：$U_C(s)=\dfrac{\dfrac{\frac{U_S}{s}+Li(0^-)}{R_1+sL_1}+\dfrac{u_C}{s}\cdot sC}{\dfrac{1}{R_1+sL_1}+\dfrac{1}{R_2+R_3}+sC}=\dfrac{20s^2+10^4s+140\times10^4}{s\left[s^2+400s+4\times10^4\right]}$

$k_1=35 \qquad k_3=-1000 \qquad k_2=-15$

$$\therefore U_C(S)=\frac{35}{S}-\frac{15}{S+200}-\frac{1000}{(S+200)^2}$$

$$\therefore u_C(t)=(35-15e^{-200t}-1000te^{-200t})\cdot 1(t)V$$

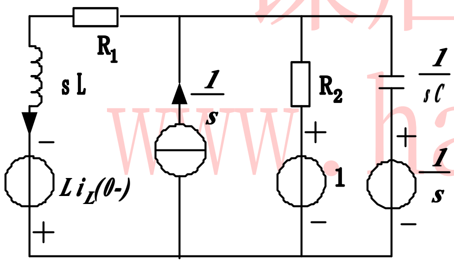
9-8 在题图 9-7 所示电路中，已知 $L=1H, R_1=R_2=1\Omega, C=1F, I_S=1A, e(t)=\delta(t)$。原电路已处于稳态，今在 $t=0$ 时间闭合 K，试作运算电路图，并求 $u_C(t)$ 的运算电压 $U_C(s)$。



题图 9-7

解：$t<0$ 时，$i_L(0^-)=I_S=1A u_C(0^-)=R_1 i_L(0^-)=1V$

作出运算电路图：



$$U_C(s)\cdot\left(sC+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_1+sL}\right)=\frac{1}{s}\cdot sC+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{s}-\frac{Li_L(0^-)}{sL+R_1}$$

$$U_C(s)\cdot\left(s+1+\frac{1}{s+1}\right)=1+1+\frac{1}{s}-\frac{1}{s+1}$$

$$U_C(s)=\frac{2s^2+2s+1}{s(s^2+2s+2)}$$

9-9 已知网络函数 $H(s)=(s+1)/(s^2+5s+6)$，试求冲激响应 $h(t)$ 和阶跃响应 $r(t)$ 。

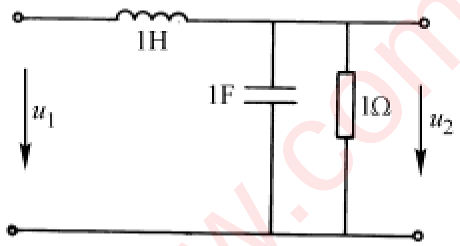
解：$H(s)=\dfrac{s+1}{s^2+5s+6}=\dfrac{-1}{s+2}+\dfrac{2}{s+3}$

$$\therefore h(t)=(-e^{-2t}+2e^{-3t})\cdot 1(t)$$

$$R(s)=H(s)\cdot\frac{1}{s}=\frac{s+1}{s(s+2)(s+3)}=\frac{\frac{1}{6}}{s}+\frac{\frac{1}{2}}{s+2}-\frac{\frac{2}{3}}{s+3}$$

$$\therefore g(t)=\frac{1}{6}+0.5e^{-2t}-\frac{2}{3}e^{-3t}$$

9-10 在题图 9-8 所示电路中，设 u_1 为输入，u_2 为输出，试求网络函数 $H(s)$，并作零极点图。



题图 9-8

解： $H(s)=\dfrac{U_2(s)}{U_1(s)}=\dfrac{\dfrac{1}{s+1}}{s+\dfrac{1}{1+s}}=\dfrac{1}{s^2+s+1}$，无零点，两个极点为 $-\dfrac{1}{2}\pm j\dfrac{\sqrt{3}}{2}$

第十章　分布参数电路　习题解答

10-1　某三相传输线长 300km，$R_0 = 0.08\Omega/\text{km}$，$\omega L_0 = 0.4\Omega/\text{km}$，$\omega C_0 = 2.8\mu\text{S/km}$，$G_0$ 略去不计，求线的特性阻抗 Z_C 和传播系数。

解：

单位长度的串联阻抗为：

$$Z_0 = R_0 + j\omega L_0 = (0.08 + j0.4)\Omega/\text{km} = 0.408\angle 78.7^\circ \Omega/\text{km}$$

单位长度的并联导纳为：

$$Y_0 = G_0 + j\omega C_0 = 2.8\times10^{-6}\angle 90^\circ \text{S/km}$$

特性阻抗：
$$Z_C = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}} = 381.7\angle -5.65^\circ\ \Omega$$

传播系数：
$$\gamma = (Z_0 Y_0)^{1/2} = 1.07\times10^{-3}\angle 84.35^\circ\ 1/\text{km}$$

10-2　上题，已知负载端线电压为 $220\sin\omega t$ kV，吸收功率 100MW，功率因数 0.90（感性），求输入端的线电压、电流、输入功率和传输效率。

解：

$$\gamma l = 1.07\times10^{-3}\angle 84.35^\circ \times 300 = 0.321\angle 84.35^\circ = 0.0316 + j0.319$$

$$e^{\gamma l} = e^{0.0316} e^{j0.319} = 1.032\angle 18.28^\circ = 0.980 + j0.324$$

$$e^{-\gamma l} = \frac{1}{1.032}\angle -18.28^\circ = 0.920 - j0.304$$

$$ch\gamma l = \frac{1}{2}(e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}) = 0.950 + j0.010 = 0.950\angle 0.59^\circ$$

$$sh\gamma l = \frac{1}{2}(e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}) = 0.030 + j0.314 = 0.315\angle 84.59^\circ$$

取终端线电压 $\dot{U}_2$ 作为参考相量，即 $\dot{U}_2 = \frac{220\times10^3}{\sqrt{2}\times\sqrt{3}}\angle 0^\circ = 89.81\times10^3\angle 0^\circ\text{V}$，则终端相电流为：

$$I_2 = \frac{P_2}{3U_2\cos\varphi_2} = \frac{100\times10^6}{3\times89.81\times10^3\times0.9}\text{A} = 412.4\text{A}$$

$$\varphi_2 = \arccos 0.9 = 25.84^\circ$$

所以：　　$\dot{I}_2 = 412.4\angle -25.84^{\circ}$ A

始端相电压为：

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 ch\gamma l + Z_C \dot{I}_2 sh\gamma l$$
$$= 89.81\times 10^3 \times 0.950\angle 0.59^{\circ} + 381.7\angle -5.65^{\circ}\times 412.4\angle -25.84^{\circ}\times 0.315\angle 84.59^{\circ}\ \text{V}$$
$$= 121.84\times 10^3\angle 19.52^{\circ}\ \text{V}$$

始端相电流为：

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 ch\gamma l + \frac{\dot{U}_2}{Z_C} sh\gamma l = 412.4\angle -25.84^{\circ}\times 0.950\angle 0.59^{\circ} + \frac{89.81\times 10^3}{381.7\angle -5.65^{\circ}}\times 0.315\angle 84.59^{\circ}\ \text{A}$$
$$= 366.0\angle -14.72^{\circ}\ \text{A}$$

始端线电压幅值为 $\boldsymbol{U}_{1l} = 121.84\times\sqrt{3}\times\sqrt{2} = 298.4$ kV，始端线电流为 366.0A，

始端功率 P_1 为：

$$P_1 = 3U_1 I_1 \cos\varphi_1 = 3\times 121.84\times 10^3\times 366.0\times\cos(19.52^{\circ}+14.72^{\circ})\text{W} \approx 111\text{MW}$$

传输效率：　　$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{100\times 10^6}{111\times 10^6} = 90.1\%$

10-9　在 $f = 300$ MHz 的高频无损线路中，为了得到 $C = 4\times 10^{-3}\ \mu$F 的电容，利用短于 $\lambda/4$ 的开路线来代替，设波速是光速，特性阻抗 $Z_C = 600\Omega$，求线的长度。

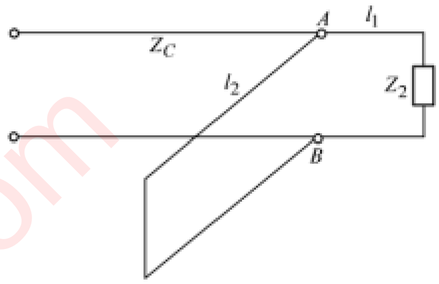
解：

无损开路线入端阻抗为：　$Z_i = -jZ_C ctg\alpha l = -jX_C = -j\frac{1}{\omega C} = -j\frac{1}{2\pi f\cdot C}$

即：　$Z_C ctg\alpha l = \frac{1}{2\pi f\cdot C}$

得：　$l = \frac{1}{\alpha}\cdot ctg^{-1}\left(\frac{1}{2\pi f\cdot C\cdot Z_C}\right) = 0.25\text{m}$

10-12 题图中无损线的特性阻抗 $Z_C = 60\Omega$，终端负载 $Z_2 = 70\Omega$，为使负载匹配，在距终端 l_1 处接同样参数的无损短路线，长度 l_2。设信号波长为 5m，求 l_1、l_2 应为多少？



解：

在 AB 端可看成两个阻抗并联，一个阻抗为：$Z_{i1}=Z_C\dfrac{R_2+\mathrm{j}Z_C\mathrm{tg}\ \alpha l_1}{Z_C+\mathrm{j}R_2\mathrm{tg}\ \alpha l_1}$

另一个阻抗为：　$Z_{id2}=\mathrm{j}Z_C\mathrm{tg}\alpha l_2=\mathrm{j}Z_C\mathrm{tg}\dfrac{2\pi}{\lambda}l_2$

为使负载匹配，则 AB 端处的总阻抗应等于无损耗线的特性阻抗 60 Ω，其中：

$$Y_{i1}=\frac{1}{Z_{i1}}=\frac{1}{Z_C}\frac{Z_C+\mathrm{j}R_2\mathrm{tg}\ \alpha l_1}{R_2+\mathrm{j}Z_C\mathrm{tg}\ \alpha l_1}=G(l_1)-\mathrm{j}B(l_1)$$

$$Y_{id2}=\frac{1}{Z_{id2}}=\frac{1}{\mathrm{j}Z_C\mathrm{tg}\dfrac{2\pi}{\lambda}l_2}$$

可得：　$G(l_1)=\dfrac{1}{Z_C}$，　$-\mathrm{j}B(l_1)+Y_{id2}=0$

解得：　$l_1=0.66\ \ \mathrm{m}$，　$l_2=1.13\ \ \mathrm{m}$

第十一章　非线性电路　习题解答

11-6　将图 11-2-2a 中的理想二极管反向，求总的合成特性。

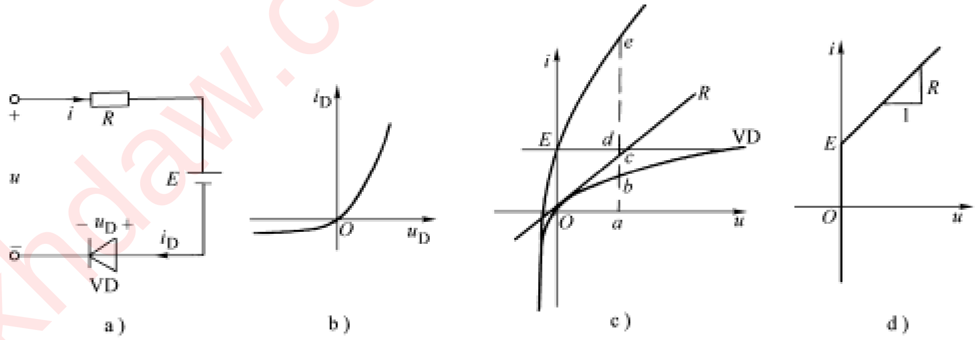


图 11-2-2

解：

$$E > u,\quad i = \frac{u - E}{R}$$

$$E \le u,\quad i = 0$$

11-7　将图 11-2-4 中的理想二极管反向，求总的合成特性。

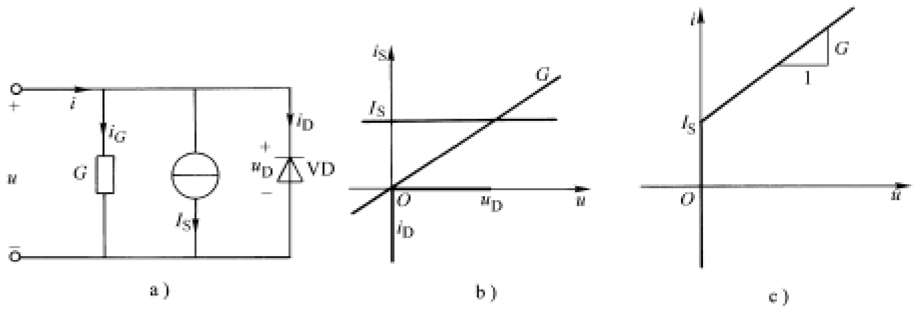


图 11-2-4

解：

$$i \ge I_S,\quad u = 0$$

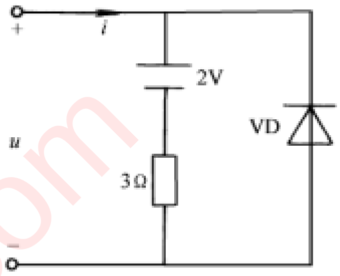
$$i < I_S,\quad u = \frac{i - I_S}{G}$$

11-10　题图 11-4 电路中，VD 为理想二极管，求 $u - i$ 特性；当 $i = 3\sin\omega t\,\mathrm{A}$ 时，画出 u 的波形图。

解：

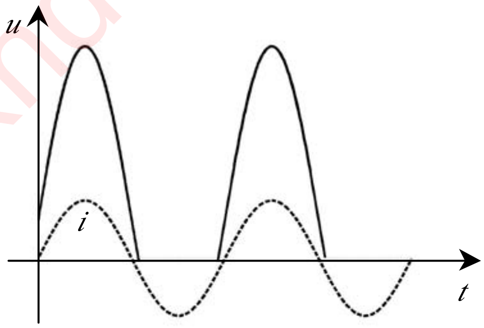
$$u > 0,\quad i_R = \frac{u-2}{3},\quad i_D = 0,\quad i = i_R$$

$$u < 0,\quad i_R = 0,\quad i = i_D$$

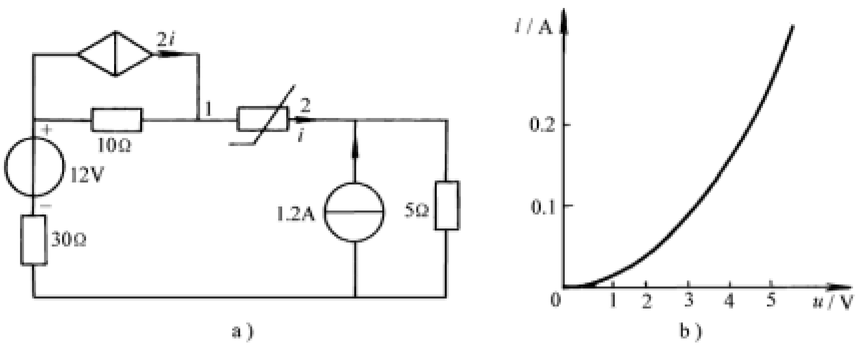


题图 11-4

当 $i = 3\sin\omega t$A 时，u 的波形如图所示。



11-19　题图 11-8a 电路中，非线性电阻的特性如题图 11-8b 所示，可近似表示为 $i = 0.01u^2$，求其上的 u、i。



题图 11-8

解：

将端口 1、2 处除非线性电阻外的其余部分看成有源二端网络，求端口特性。

开路电压：　　$u_0 = 12 - 1.2 \times 5 = 6\text{V}$

将 1、2 端短路，求短路电流。

回路方程为：$10i + 12 = 30i + 5i + 6 \quad \Rightarrow \quad i = \dfrac{6}{25} = 0.24\text{A}$

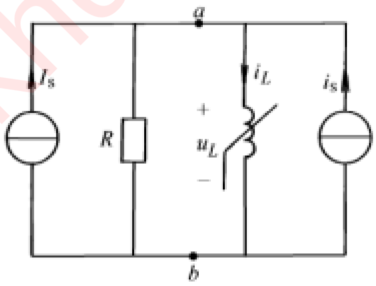
等值电阻为：$\dfrac{6}{0.24} = 25\Omega$

端口方程为： $u=6-25i$； 非线性电阻特性为： $i=0.01u^2$

联立求解： $u^2+4u-24=0$

得：$u=3.29\text{V}$， $i=0.108\text{A}$ （$u=-7.29\text{V}$ 舍去）

11-32 题图 11-17 电路中，直流 $I_S=4\text{A}$，小信号 $i_S=\sqrt{2}\times 0.2\sin t\ \text{A}$， $R=8\Omega$，非线性电感特性为 $\Psi=1+0.5i_L^{1/2}$， Ψ 是磁链，电感电压为 $\dfrac{d\Psi}{dt}$，求 i_L、 u_{ab} 的稳态值。



题图 11-17

解：

设 $i_S=0$，只有 $I_S=4\text{A}$，此时：

$$I_L=I_S=4\text{A}，\quad \Psi=1+0.5\sqrt{4}=2，\quad 动电感\ L_d=\left.\frac{d\Psi}{dt}\right|_{i=4\,A}=2H$$

再考虑 i_S:

R 与 ωL_d 并联，等值阻抗为：

$$Z=\frac{R\cdot j\omega L_d}{R+j\omega L_d}=\frac{8\cdot(j3\times 2)}{8+j3\times 2}=4.8\angle 53.13^\circ\Omega$$

小信号电压：$\dot{U}_{ab}=0.2\times 4.8\angle 53.13^\circ=0.96\angle 53.13^\circ\ \text{V}$

小信号电流； $\dot{I}_L=\dfrac{\dot{U}_{ab}}{j\omega L_d}=0.16\angle -36.86^\circ\ \text{A}$

所以： $u_{ab}=\sqrt{2}\times 0.96\sin(3t+53.13^\circ)\ \text{V}$， $i_L=4+\sqrt{2}\times 0.16\sin(3\,t-36.86^\circ)\ \text{A}$