



课后习题答案网

——思路岛下载

【思路岛课后习题答案网】为广大学子提供各科课后习题答案，不用积分，不用注册，就能下载！  
全心打造一流的课后习题答案下载平台！

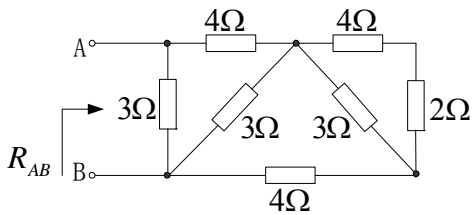
# 电工技术

## 习题 1

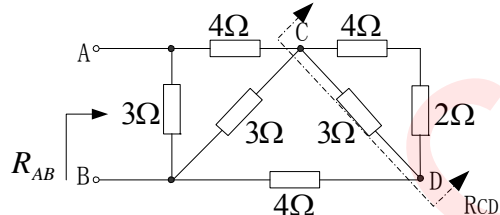
1-1 计算题 1-1 图所示电路的等效电阻  $R_{AB}$ 。

解：由图题 1-1(a)，从 CD 看进去等效电阻为

$$R_{CD} = 3 // (4 + 2) = 2\Omega$$



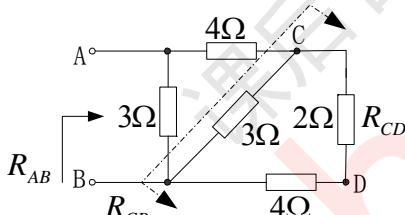
题1-1图



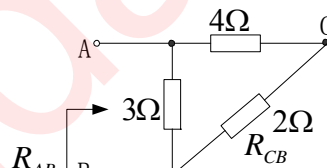
题1-1图 ( a )

其等效电路如图题 1-1(b)，则从 CB 看进去的等效电阻为

$$R_{CB} = 3 // (4 + R_{CD}) = 3 // (4 + 2) = 2\Omega$$



题1-1图 ( b )



题1-1图 ( C )

其等效电路如图题 1-1(c)，则从 AB 看进去的电阻为

$$R_{AB} = 3 // (4 + R_{CB}) = 3 // (4 + 2) = 2\Omega$$

1-2 如图 1-1 所示的某些电路中的各元件，已知其两端的电压与通过的电流正方向及数值，

试计算各元件的功率，并判断是取用功率还是发出功率？是电源元件还是负载元件？

解：对于题 1-2 图 (a)，其元件两端的电压正方向与电流正方向相同，其功率为

$$P = UI = 10 \times (-2) = -20W < 0$$

故是发出功率，是电源元件。

对于题 1-2(b)，其元件两端的电压正方向与电流正方向相反，其功率为

$$P = -UI = -10 \times (-2) = 20 \text{ W} > 0$$

故是取用功率，是负载元件。

对于题 1-2(c)，其元件两端的电压正方向与电流正方向相反，其功率为

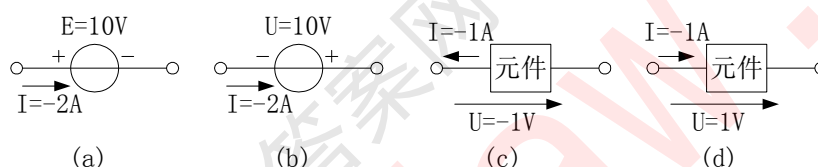
$$P = -UI = -(-1) \times (-1) = -1 \text{ W} < 0$$

故是发出功率，是电源元件。

对于题 1-2(d)，其元件两端的电压正方向与电流正方向相同，其功率为

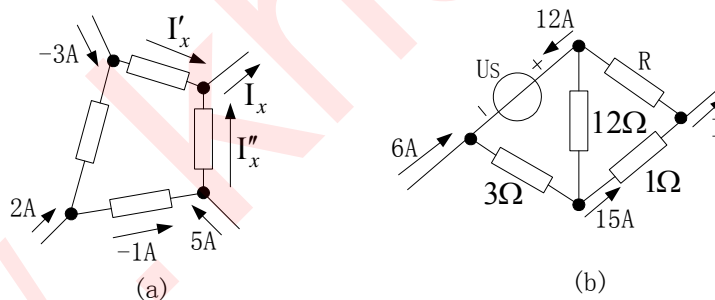
$$P = UI = 1 \times (-1) = -1 \text{ W} < 0$$

故是发出功率，是电源元件。



题1-2 图

1-3 题 1-3 为某些电路的一部分，①计算图 a 中的  $I_x$ 、 $I'_x$ 、 $I''_x$ ；②计算图 b 中  $I$ 、 $U_S$ 、及  $R$ 。



题1-3图

解：①对于题 1-3 图 (a)，虚线圈起来的可以看成是一个假想闭合面，由基尔霍夫电流定律得

$$-3 + 2 + 5 = I_x$$

故  $I_x = 4 \text{ A}$

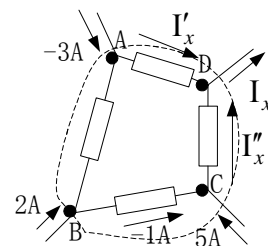
对于 C 点有

$$-1 + 5 = I_x''$$

故  $I_x'' = 4 \text{ A}$

对于 D 点有  $I_x' + I_x'' = I_x$

则  $I_x' = I_x - I_x'' = 0 \text{ A}$



题1-3图(a)

② 对于题 1-3 图 (b)，其各支路电流如题 1-3 图 (c) 所示。对于虚线所围的假想闭合面，由基尔霍夫电流定律可得

$$I = 6 \text{ A}$$

由基尔霍夫电压定律可得（以逆时针为循行方向）

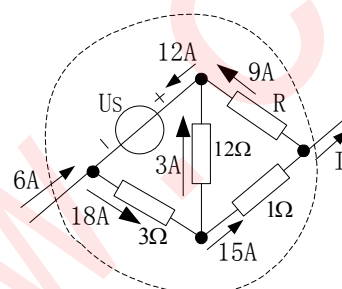
$$18 \times 3 + 3 \times 12 + U_S = 0$$

$$9R - 3 \times 12 + 15 \times 1 = 0$$

故

$$U_S = -90 \text{ V}$$

$$R = \frac{7}{3} \Omega = 2.33 \Omega$$



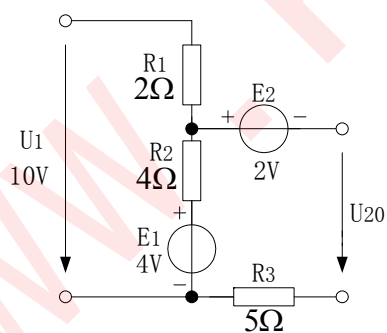
题1-3图(c)

1-4 在题 1-4 图所示电路中， $U_1$  为电源端电压，试求开路电路  $U_{20}$ 。

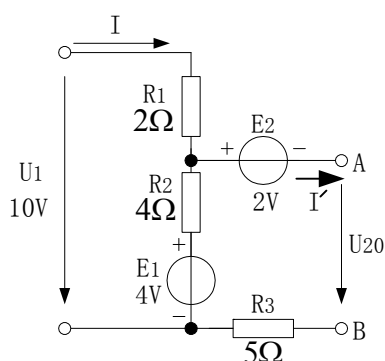
解：如图题 1-4(a)所示，由于 A、B 端是开路

的，故电流

$$I' = 0$$



题1-4图



题1-4图(a)

取顺时针为循行方向，则由基尔霍夫电压定律可列方程

$$I(R_1 + R_2) - U_1 = -E_1$$

代入数值可得

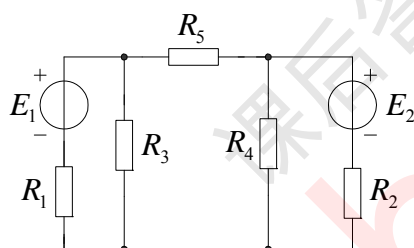
$$I = \frac{U_1 - E_1}{R_1 + R_2} = \frac{10 - 4}{2 + 4} = 1 \text{ A}$$

对于右边的开口电路，由于  $I' = 0$ ，故  $R_3$  上的压降为零，则还是取顺时针为循行方向，由基尔霍夫电压定律

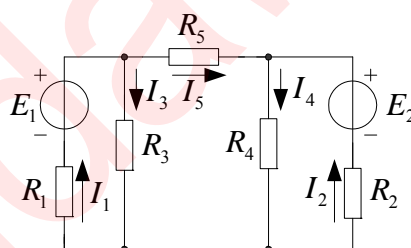
$$U_{20} - IR_2 = E_1 - E_2$$

故  $U_{20} = E_1 - E_2 + IR_2 = 4 - 2 + 1 \times 4 = 6 \text{ V}$

1-5 在题 1-5 图中，已知  $E_1 = 45 \text{ V}$ ， $E_2 = 48 \text{ V}$ ，电阻  $R_1 = 5\Omega$ ， $R_2 = 3\Omega$ ， $R_3 = 20\Omega$ ， $R_4 = 42\Omega$ ， $R_5 = 2\Omega$ ，试用支路电流法求各电阻上流过的电流。



题1-5图



题1-5图(a)

解：先设定各支路电流，如图题 1-5(a)所示，由基尔霍夫定律，可列两个节点电流方程和三个网孔电压方程，即

$$\begin{cases} I_1 = I_3 + I_5 \\ I_2 + I_5 = I_4 \\ I_1 R_1 + I_3 R_3 = E_1 \\ -I_3 R_3 + I_4 R_4 + I_5 R_5 = 0 \\ -I_2 R_2 - I_4 R_4 = -E_2 \end{cases}$$

代入数值：

$$\begin{cases} I_1 = I_3 + I_5 \\ I_2 + I_5 = I_4 \\ 5I_1 + 20I_3 = 45 \\ -20I_3 + 42I_4 + 2I_5 = 0 \\ 3I_2 + 42I_4 = 48 \end{cases}$$

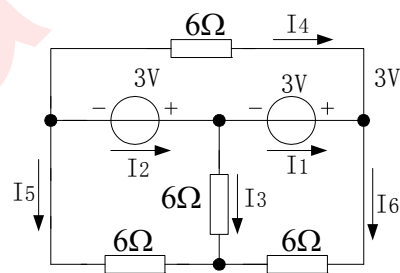
解得

$$\begin{cases} I_1 = 1 \text{ A} \\ I_2 = 2 \text{ A} \\ I_3 = 2 \text{ A} \\ I_4 = 1 \text{ A} \\ I_5 = -1 \text{ A} \end{cases}$$

1-6 试用支路电流法求题 1-6 图所示电路中的各支路电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 、 $I_4$ 、 $I_5$  及  $I_6$ 。

解：本电路有 4 个节点，3 个网孔，故由基尔霍夫定律可列 3 个节点电流方程和 3 个电压方程，即

$$\begin{cases} I_1 + I_4 = I_6 \\ I_2 = I_1 + I_3 \\ I_3 + I_5 + I_6 = 0 \\ 6I_4 = -3 - 3 \\ 6I_3 - 6I_5 = 3 \\ -6I_3 + 6I_6 = 3 \end{cases}$$



习题1-6图

解得

$$\begin{cases} I_1 = 1.5 \text{ A} \\ I_2 = 1.5 \text{ A} \\ I_3 = 0 \text{ A} \\ I_4 = -1 \text{ A} \\ I_5 = -0.5 \text{ A} \\ I_6 = 0.5 \text{ A} \end{cases}$$

1-7 在题 1-7 图所示电路中，已知  $E_1 = 3 \text{ V}$ ， $E_2 = 13 \text{ V}$ ， $I_S = 1.5 \text{ A}$ ， $R_1 = 2 \Omega$ ，

$R_2 = 8\Omega$  ,  $R_3 = 1.5\Omega$  ,  $R_4 = 3\Omega$  ,  $R_5 = 8\Omega$  ,  $R_6 = 0.4\Omega$  , 试用电源等效变换的方法

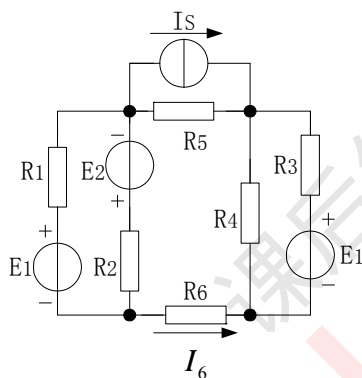
计算  $R_6$  支路的电流  $I_6$ 。

解：首先将三个电压源等效成电流源，将电流源等效成电压源，如图题 1-7(a)所示。各数值为

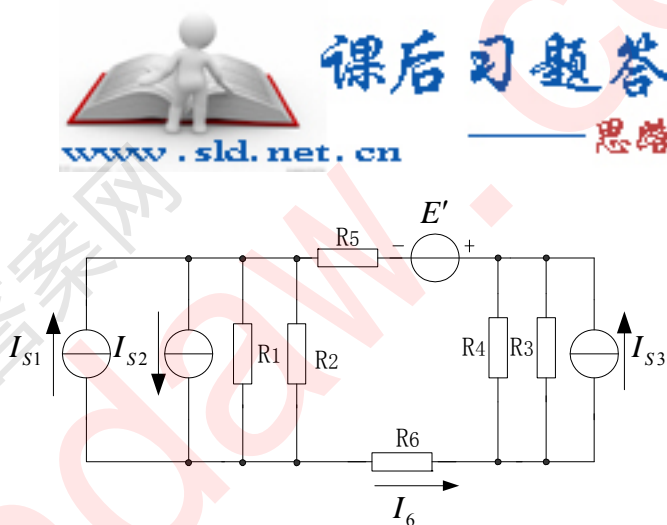
$$E' = I_s R_5 = 1.5 \times 8 = 12 \text{ V}$$

$$I_{s1} = \frac{E_1}{R_1} = \frac{3}{2} = 1.5 \text{ A}$$

$$I_{s2} = \frac{E_2}{R_2} = \frac{13}{8} = 1.625 \text{ A}$$



题1-7图



题1-7图(a)

$$I_{s3} = \frac{E_3}{R_3} = \frac{4.5}{1.5} = 3 \text{ A}$$

将电流源及电阻合并，其等效电路如图题 1.7 图 (b) 所示，其中

$$I_{s4} = I_{s1} - I_{s2} = 1.5 - 1.625 = -0.125 \text{ A}$$

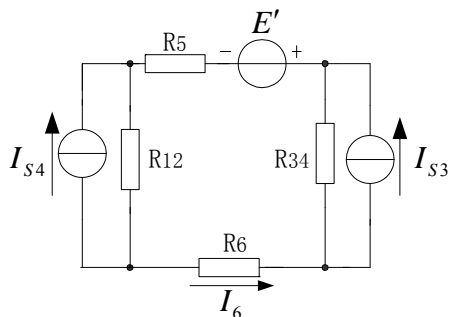
$$R_{12} = R_1 // R_2 = 2 // 8 = \frac{2 \times 8}{2 + 8} = 1.6\Omega$$

$$R_{34} = R_3 // R_4 = 1.5 // 3 = \frac{1.5 \times 3}{1.5 + 3} = 1\Omega$$

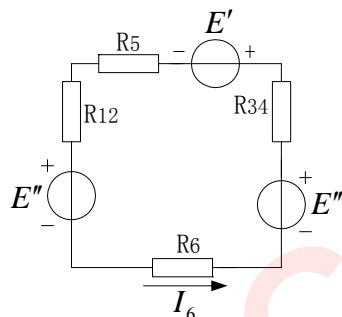
再将电流源等效成电压源，如图题 1.7 图 (c) 所示，其中

$$E'' = I_{S4} R_{12} = (-0.125) \times 1.6 = -0.2 \text{ V}$$

$$E''' = I_{S3} R_{34} = 3 \times 1 = 3 \text{ V}$$



题1-7图(b)



题1-7图(c)

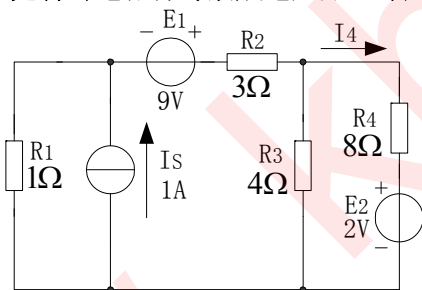
则在题 1-7 图(c)中, 由基尔霍夫电压定律可得 (取循行方向为逆时针)

$$I_6 (R_{12} + R_{34} + R_5 + R_6) = E''' - E'' - E'$$

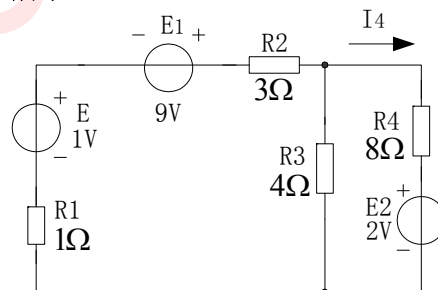
$$I_6 = \frac{E''' - E'' - E'}{R_{12} + R_{34} + R_5 + R_6} = \frac{3 - (-0.2) - 12}{1.6 + 1 + 8 + 0.4} = -0.8 \text{ A}$$

1-8 试用电源等效变换方法计算题 1-8 图所示电路中的电流  $I_4$ 。

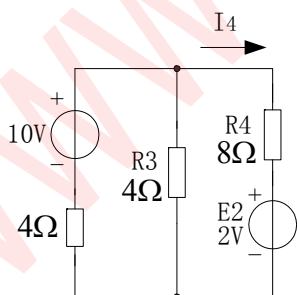
解: 先将对电流源等效成电压源, 即题 1-8 图 (a) 所示。



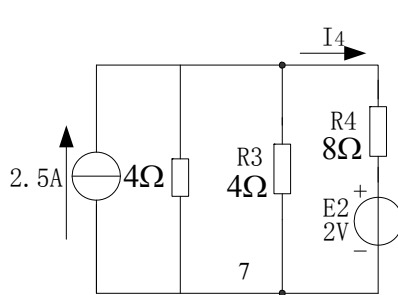
题1-8图



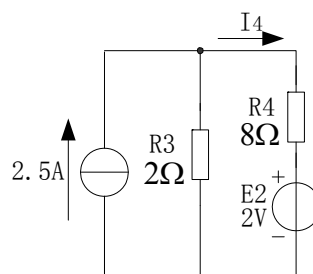
题1-8图(a)



题1-8图(b)



题1-8图(c)

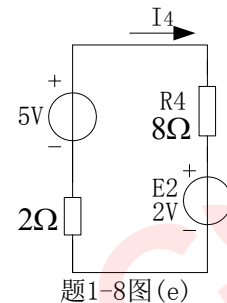


题1-8图(d)



再将两个电压源合并，如题 1-8 图(b)，并把合并后的电压源变换成电流源，即题 1-8 图(c)和(d)。将电流源再等效成电压源，如题 1-8 (e) 所示，则电流  $I_4$  为

$$I_4 = \frac{5 - E_2}{2 + R_4} = \frac{5 - 2}{2 + 8} = 0.3 \text{ V}$$



1-9 试用节点电压法求题 1-9 图所示电路中各支路电流及各电源功率，并验证电路功率平衡。

解：由于  $6\Omega$  的电阻与  $2\text{A}$  的恒流源串联， $10\Omega$  的电阻与  $10\text{V}$  的电压源并联，故在求  $I_3$ 、 $I_4$ 、 $I_5$  可以将它们去掉，其等效电路如图题 1-9 图 (a) 所示。则节点电压  $U$  可由节点电压法可求

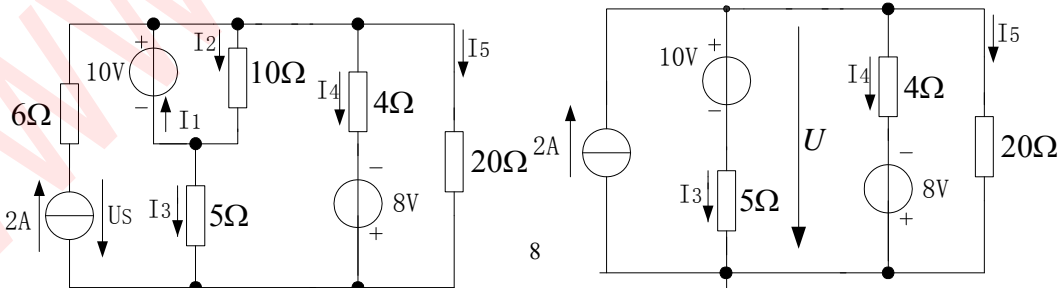
$$U = \frac{\frac{10}{5} - \frac{8}{4} + 2}{\frac{1}{5} + \frac{1}{4} + \frac{1}{20}} = 4 \text{ V}$$

故可求得电流  $I_3$ 、 $I_4$ 、 $I_5$  为

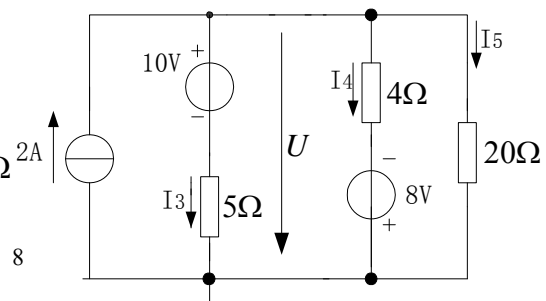
$$I_3 = \frac{4 - 10}{5} = -1.2 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{4 + 8}{4} = 3 \text{ A}$$

$$I_5 = \frac{4}{20} = 0.2 \text{ A}$$



题1-9图



题1-9图(a)

在题 1-9 图中, 电流  $I_2$  为

$$I_2 = \frac{10}{10} = 1 \text{ A}$$

则电流  $I_1$  为

$$I_1 = I_2 - I_3 = 1 - (-1.2) = 2.2 \text{ A}$$

由基尔霍夫电压定律, 并设循行方向为顺时针, 则有

$$2 \times 6 + 5 \times I_3 - U_s = -10$$

故 2A 电流源两端的电压为

$$U_s = 2 \times 6 + 5 \times (-1.2) + 10 = 16 \text{ V}$$

各电阻的功率为

$$6\Omega: \quad P_{6\Omega} = 2^2 \times 6 = 24 \text{ W}$$

$$5\Omega: \quad P_{5\Omega} = I_3^2 \times 5 = (-1.2)^2 \times 5 = 7.2 \text{ W}$$

$$10\Omega: \quad P_{10\Omega} = I_2^2 \times 10 = 1^2 \times 10 = 10 \text{ W}$$

$$4\Omega: \quad P_{4\Omega} = I_4^2 \times 4 = 3^2 \times 4 = 36 \text{ W}$$

$$20\Omega: \quad P_{20\Omega} = I_5^2 \times 20 = 0.2^2 \times 20 = 0.8 \text{ W}$$

各电源的功率为

$$2 \text{ A 的恒流源: } P_{2A} = -2 \times U_s = -2 \times 16 = -32 \text{ W} < 0 \text{ (发出功率)}$$

$$10 \text{ V 的恒压源 } P_{10V} = -10 \times I_1 = -10 \times 2.2 = -22 \text{ W} < 0 \text{ (发出功率)}$$

$$8 \text{ V 的恒压源 } P_{8V} = -8 \times I_4 = -8 \times 3 = -24 \text{ W} < 0 \text{ (发出功率)}$$

则负载消耗功率之和为

$$P_{6\Omega} + P_{5\Omega} + P_{10\Omega} + P_{4\Omega} + P_{20\Omega} = 24 + 7.2 + 10 + 36 + 0.8 = 78 \text{ W}$$

$$\text{电源发出功率为 } P_{2A} + P_{10V} + P_{8V} = (-32) + (-22) + (-24) = -78 \text{ W}$$

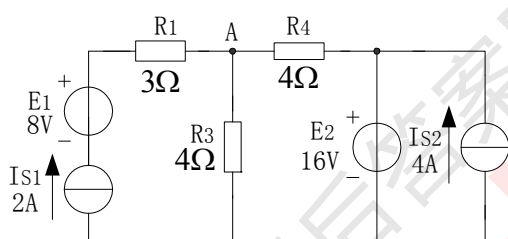
故  $P_{6\Omega} + P_{5\Omega} + P_{10\Omega} + P_{4\Omega} + P_{20\Omega} + P_{2A} + P_{10V} + P_{8V} = 0$

由此验证电路的功率平衡。

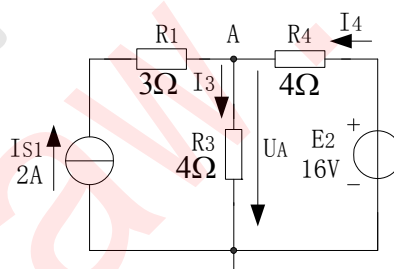
**1-10** 试用节点电压法求题 1-10 图所示电路中 A 点的电位及电源  $E_2$  和  $I_{S1}$  的功率，并判定它们是电源还是负载。

解：由于恒压源  $E_1$  与恒流源  $I_{S1}$  串联，恒流源  $I_{S2}$  与恒压源  $E_2$  并联，故为了求 A 点电位可以去掉  $E_1$  和  $I_{S2}$ ，其等效电路如题 1-10(a) 所示。则由节点电压可得

$$U_A = \frac{\frac{E_2}{R_4} + I_{S1}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{\frac{16}{4} + 2}{\frac{1}{4} + \frac{1}{4}} = 12V$$



题1-10图

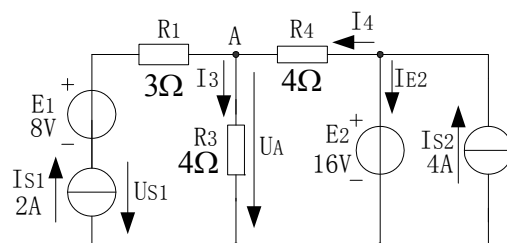


题1-10图 (a)

则电阻  $R_3$  和  $R_4$  的电流为

$$I_3 = \frac{U_A}{R_3} = \frac{12}{4} = 3A$$

$$I_4 = \frac{E_2 - U_A}{R_4} = \frac{16 - 12}{4} = 1A$$



题1-10图 (b)

在题 1-10 (b) 图中，则由基尔霍夫定律可求

$$I_3 R_3 + I_{S1} R_1 - U_{S1} = E_1$$

$$U_{S1} = I_3 R_3 + I_{S1} R_1 - E_1$$

$$= 3 \times 4 + 2 \times 3 - 8 = 10V$$

$$I_{E2} = I_{S2} - I_4 = 4 - 1 = 3 \text{ A}$$

那么由于  $E_2$  两端电压与电流的正方向为关联方向,  $I_{S1}$  两端的电压与电流的方向为非关联方向, 故电源  $E_2$  及  $I_{S1}$  的功率为

$$P_{E2} = I_{E2} E_2 = 3 \times 16 = 48 \text{ W} > 0$$

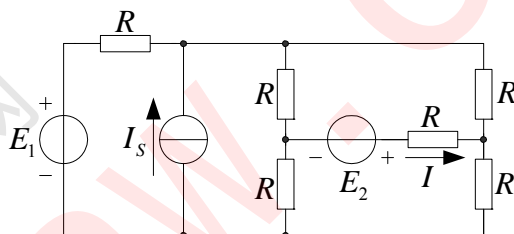
$$P_{I_{S1}} = -I_{S1} U_{S1} = -2 \times 10 = -20 \text{ W} < 0$$

则电源  $E_2$  是负载元件, 吸收功率;  $I_{S1}$  为电源元件, 产生功率。

1-11 在题 1-11 图所示电路中, 已知  $R = 1\Omega$ ,  $E_1 = 2\text{V}$ ,  $E_2 = 2\text{V}$ ,  $I_S = 1\text{A}$ , 试用叠加原理求电流  $I$ 。

解: 由叠加原理

(1) 当  $E_1$  单独作用时, 恒流源  $I_S$  断开, 恒压源  $E_2$  短路, 其等效电路如题 1-11 图 (a) 所示。



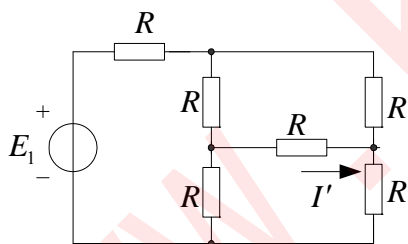
题1-11图

根据电桥平衡原理

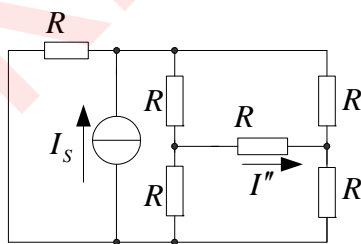
$$I' = 0$$

(2) 当  $I_S$  单独作用时, 恒压源  $E_1$ 、 $E_2$  作短路处理, 其等效电路如题 1-11(b)所示, 则此时所求电流为

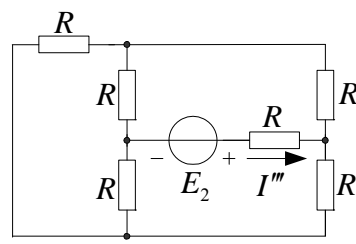
$$I'' = 0$$



题1-11图(a)



题1-11图(b)



题1-11图(c)

(3) 当  $E_2$  单独作用时, 恒流源  $I_S$  断路, 恒压源  $E_1$  短路, 其等效电路如题 1-11(c)所示。由于电桥平衡, 故左边的电阻  $R$  中的电流为零, 可以看成是短路, 也可看成是开路, 其等效电路

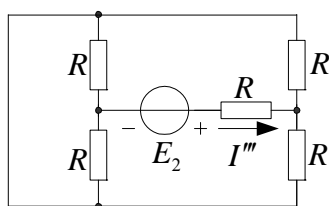
如题 1-11(d)和题 1-11(e)所示，则对于 (d) 图，电流  $I'''$  为

$$I''' = \frac{E_2}{R + R // R + R // R} = \frac{E_2}{2R}$$

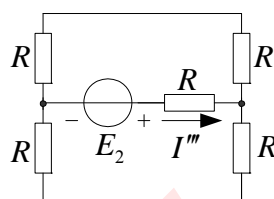
$$= \frac{2}{2 \times 1} = 1\text{A}$$

对于 (e) 图，电流  $I'''$  为

$$I''' = \frac{E_2}{R + (R + R) // (R + R)} = \frac{E_2}{2R} = \frac{2}{2 \times 1} = 1\text{A}$$



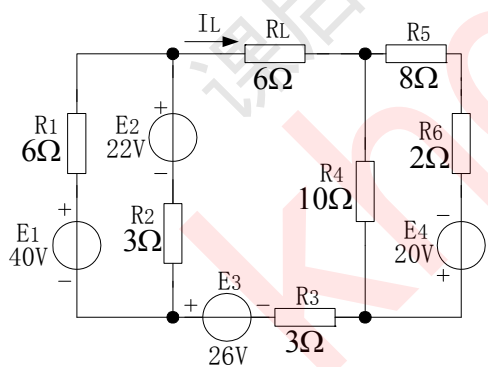
题1-11图(d)



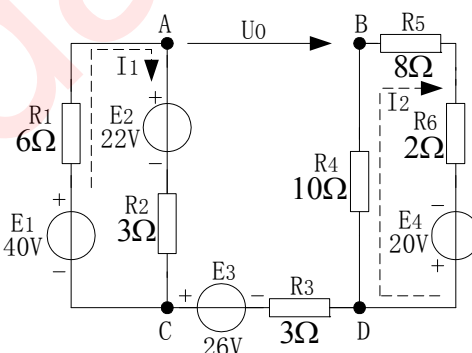
题1-11图(e)

**1-12 用戴维南定理** 题 1-12 图所示电路中  $R_L$  支路的电流  $I_L$ 。

解：先移去所求支路，如题 1-12 图 (a) 所示，求 A、B 两点的开路电压。先求电流  $I_1$  和  $I_2$ ，



题1-12图



题1-12图(a)

由基尔霍夫电压定律可得

$$I_1 R_1 + I_1 R_2 = E_1 - E_2$$

$$I_1 = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} = \frac{40 - 22}{6 + 3} = 2\text{A}$$

$$I_2 R_4 + I_2 R_5 + I_2 R_6 = E_4$$

$$I_2 = \frac{E_4}{R_4 + R_5 + R_6} = \frac{20}{10 + 8 + 2} = 1 \text{ A}$$

由于 A、B 两端是断开的，故  $R_3$  上无电流流过。对开口电路 ABDCA 利用基尔霍夫电压定律得

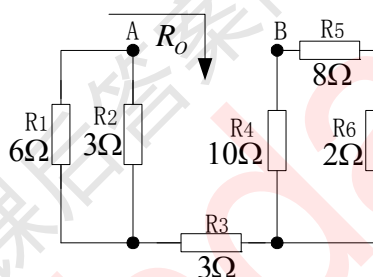
$$U_o - I_2 R_4 - I_1 R_2 = E_3 + E_2$$

$$U_o = E_3 + E_2 + I_1 R_2 + I_2 R_4 = 22 + 26 + 2 \times 3 + 1 \times 10 = 64 \text{ V}$$

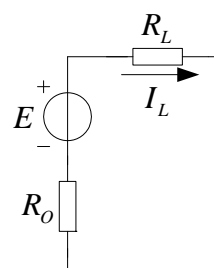
则等效电源电动势  $E = U_o = 64 \text{ V}$

对于题 1-12 图 (a)，再将恒压源  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ 、 $E_4$  短路，其等效电路如题 1-12(b)所示，

则从 A、B 两端看进去的等效电阻为



题1-12图 (b)



题1-12图 (c)

$$R_o = R_1 // R_2 + R_3 + R_4 // (R_5 + R_6)$$

$$= 6 // 3 + 3 + 10 // (8 + 2)$$

$$= 10 \Omega$$

对于题 1-12 图，除了  $R_L$  支路，其余的电路可用电压源来代替，如题 1-12(c)所示。则电流  $I_L$  为

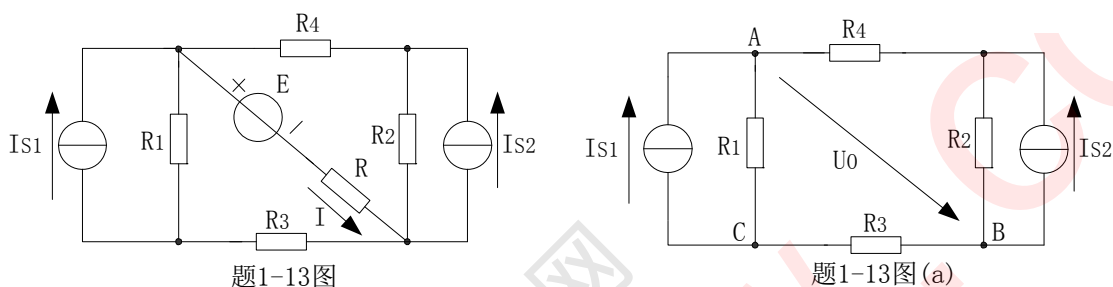
$$I_L = \frac{E}{R_o + R_L} = \frac{64}{10 + 6} = 4 \text{ A}$$

1-13 电路如题 1-13 图所示,  $I_{S1} = 2.5 \text{ A}$ ,  $I_{S2} = 6 \text{ A}$ ,  $R_1 = 4\Omega$ ,  $R_2 = 5\Omega$ ,  $R_3 = 5\Omega$ ,

$R_4 = 1\Omega$ 。利用戴维南定理计算下列条件下的电流  $I$ 。

①  $E = 2 \text{ V}$ ,  $R = 1.4\Omega$ ; ②  $E = 4 \text{ V}$ ,  $R = 2.4\Omega$ ; ③  $E = 0 \text{ V}$ ,  $R = 0.4\Omega$ ; ④  $E = -14 \text{ V}$ ,  $R = 0\Omega$ 。

解: 根据戴维南定理, 先将所求电流支路移去, 求其开路电压  $U_o$ , 如题 1-13 图 (a) 所示,



即为所求等效电源电动势  $E_o$ 。

将题 1-13 图(a)中的电流源等效成电压源, 即如题 1-13 图(b)所示, 其中

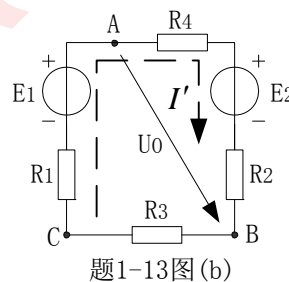
$$E_1 = I_{S1} R_1 = 2.5 \times 4 = 10 \text{ V}$$

$$E_2 = I_{S2} R_2 = 6 \times 5 = 30 \text{ V}$$

在题 1-13 图 (b) 中, 由基尔霍夫电压定律可得

$$I'(R_1 + R_2 + R_3 + R_4) = E_1 - E_2$$

$$I' = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = \frac{10 - 30}{4 + 5 + 5 + 1} = -\frac{4}{3} \text{ A}$$



对于  $U_o$ 、 $R_1$ 、 $R_3$  及  $E_1$  所构成的开口电路, 有

$$U_o + I'(R_1 + R_3) = E_1$$

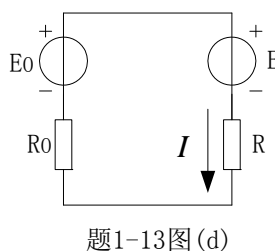
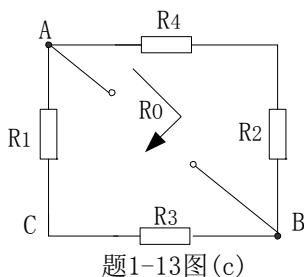
$$U_o = E_1 - I'(R_1 + R_3) = 10 - \left(-\frac{4}{3}\right) \times (4 + 5) = 22 \text{ V}$$

即等效电源电动势  $E_o = 22 \text{ V}$

对于题 1-13(a)所示电路，将恒流源  $I_{S1}$  和  $I_{S2}$  断开，如题 1-13 图(c)所示，则从 A、B 看进去的等效电阻为

$$R_o = (R_1 + R_3) // (R_2 + R_4) = (4 + 5) // (5 + 1) = 3.6\Omega$$

则由戴维南定理可知，题 1-13 图可等效成题 1-13 图 (d) 所示的电路，那么电流  $I$  为



$$I = \frac{E_o - E}{R_o + R}$$

将题中所给数值代入上式，可得

$$\textcircled{1} \quad I = \frac{22 - 2}{3.6 + 1.4} = 4 \text{ A}$$

$$\textcircled{2} \quad I = \frac{22 - 4}{3.6 + 2.4} = 3 \text{ A}$$

$$\textcircled{3} \quad I = \frac{22 - 0}{3.6 + 0.4} = 5.5 \text{ A}$$

$$\textcircled{4} \quad I = \frac{22 - (-14)}{3.6 + 0} = 10 \text{ A}$$

**1-14** 在题 1-14 图所示电路中，当  $R = 4\Omega$  时，电流  $I = 1 \text{ A}$ 。试求当  $R$  加大到  $12\Omega$  时，流过该电阻的电流是多少？

解：利用戴维南定理，将除了所求支路之外的电路用电压源来代替，即如题 1-14 图 (a)。在题 1-14 图中，去掉所求支路，即将两端断开，同时将剩余电路的电源除去（恒压源短路，恒流源开路），如题 1-14 图 (b) 所示，则等效电源的内阻为

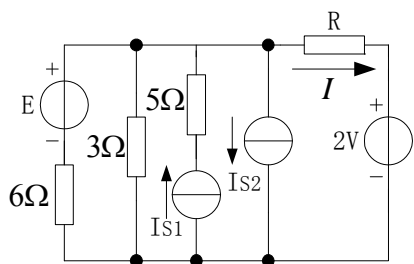
$$R_o = 6 // 3 = 2\Omega$$

由题 1-14 图(a)可得

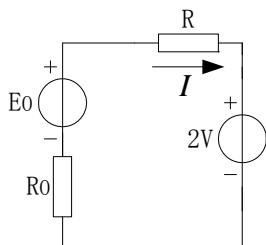


$$I(R_o + R) = E_o - 2$$

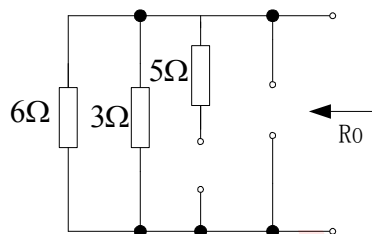
$$I = \frac{E_o - 2}{R_o + R}$$



题1-14图



题1-14图(a)



题1-14图(b)

将  $R = 4\Omega$ ,  $I = 1\text{A}$  代入上式

$$1 = \frac{E_o - 2}{2 + 4}$$

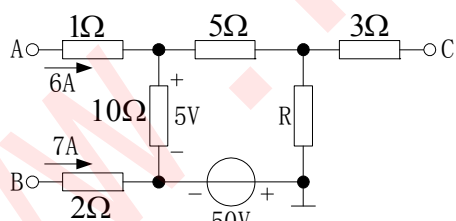
则等效电源电动势为

$$E_o = 1 \times (2 + 4) + 2 = 8\text{V}$$

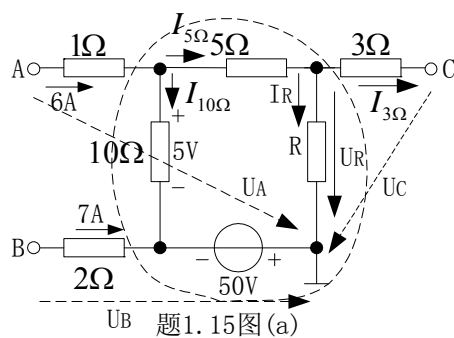
则当  $R = 12\Omega$  时, 电流  $I$  为

$$I = \frac{E_o - 2}{R_o + R} = \frac{8 - 2}{2 + 12} = \frac{3}{7}\text{A}$$

1-15 如题 1-15 图所示为某电路的部分电路, 试求 A、B、C 各点的电位及电阻  $R$ 。



题1-15图



题1.15图(a)

解: 将题 1-15 图的是个节点看成一个虚的大节点, 如题 1-15 图 (a) 所示, 根据基尔霍夫电

流定律可得

$$6 + 7 = I_{3\Omega}$$

$$I_{3\Omega} = 13 \text{ A}$$

由欧姆定理得

$$I_{10\Omega} = \frac{5}{10} = 0.5 \text{ A}$$

由基尔霍夫电流定律可知

$$6 = I_{5\Omega} + I_{10\Omega}$$

故  $I_{5\Omega} = 6 - I_{10\Omega} = 6 - 0.5 = 5.5 \text{ A}$

又  $I_{5\Omega} = I_R + I_{3\Omega}$

故  $I_R = I_{5\Omega} - I_{3\Omega} = 5.5 - 13 = -7.5 \text{ A}$

由基尔霍夫电压定律可列方程为

$$I_{5\Omega} \times 5 + U_R - 5 = -50$$

$$U_R = -50 + 5 - 5.5 \times 5 = -72.5 \text{ V}$$

则  $6 \times 1 + 5 - 50 - U_A = 0$

$$U_A = 6 \times 1 + 5 - 50 = -39 \text{ V}$$

$$7 \times 2 - 50 - U_B = 0$$

$$U_B = 7 \times 2 - 50 = -36 \text{ V}$$

$$I_{3\Omega} \times 3 + U_C - U_R = 0$$

$$U_C = U_R - I_{3\Omega} \times 3 = -72.5 - 13 \times 3 = -111.5 \text{ V}$$

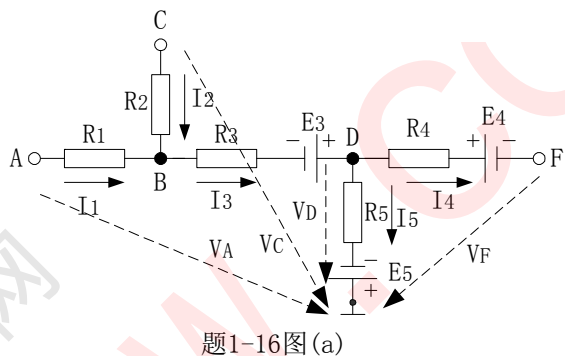
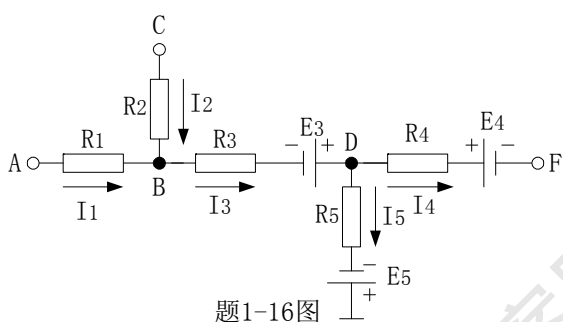
$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{-72.5}{-7.5} = \frac{29}{3} = 9.67 \Omega$$

**1-16** 题 1-16 图为某一复杂电路的一部分，已知  $I_1 = 2\text{ A}$ ， $I_2 = 2\text{ A}$ ， $I_5 = 1\text{ A}$ ， $E_3 = 3\text{ V}$ ， $E_4 = 4\text{ V}$ ， $E_5 = 6\text{ V}$ ， $R_1 = 2\Omega$ ， $R_2 = 3\Omega$ ， $R_3 = 4\Omega$ ， $R_4 = 5\Omega$ ， $R_5 = 6\Omega$ ，求电压  $U_{AF}$  和  $C$ 、 $D$  两点的电位  $V_C$  及  $V_D$ 。

解：由基尔霍夫电流定律得

$$I_3 = I_1 + I_2 = 2 + 2 = 4\text{ A}$$

$$I_4 = I_3 - I_5 = 4 - 1 = 3\text{ A}$$



则对于题 1-16 图(a)所示，由基尔霍夫电压定律可得

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 + I_5 R_5 - V_A = E_3$$

$$V_A = I_1 R_1 + I_3 R_3 + I_5 R_5 - E_3 - E_5 = 2 \times 2 + 4 \times 4 + 1 \times 6 - 3 - 6 = 17\text{ V}$$

$$V_F - I_5 R_5 + I_4 R_4 = -E_4 - E_5$$

$$V_F = -E_4 - E_5 - I_4 R_4 + I_5 R_5 = -4 - 6 - 3 \times 5 + 1 \times 6 = -19\text{ V}$$

$$U_{AF} = V_A - V_F = 17 - (-19) = 36\text{ V}$$

$$I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_5 R_5 - V_C = E_3 + E_5$$

$$V_C = I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_5 R_5 - E_3 - E_5 = 2 \times 3 + 4 \times 4 + 1 \times 6 - 3 - 6 = 19\text{ V}$$

$$I_5 R_5 - V_D = E_5$$

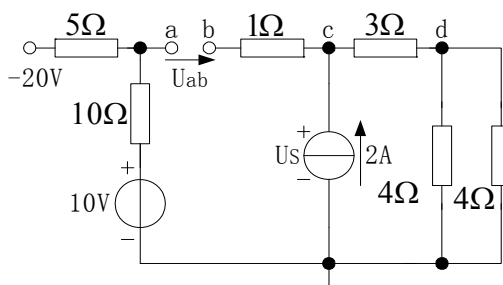
$$V_D = I_5 R_5 - E_5 = 1 \times 6 - 6 = 0\text{ V}$$

1-17 电路如题 1-17 图所示, 试求 A、B、C、D 各点的电位  $V_A$ 、 $V_B$ 、 $V_C$ 、 $V_D$ 、电压  $U_{AB}$  及恒流源端电压  $U_S$ 。

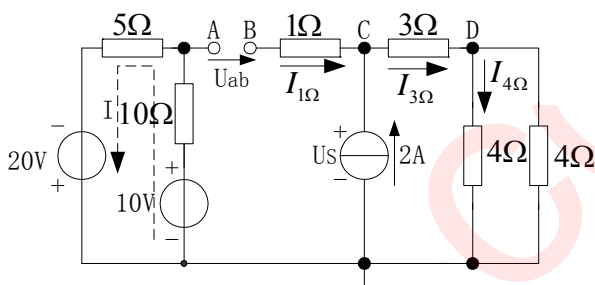
解: 题 1-17 图可还原成题 1-17 图 (a), 由基尔霍夫定律

$$5I + 10I = 10 + 20$$

$$I = \frac{30}{15} = 2 \text{ A}$$



题1-17图



题1-17图(a)

由于 A、B 两点是断开的, 故  $I_{1\Omega} = 0$ , 因此  $I_{3\Omega} = 2 \text{ A}$ ,  $I_{4\Omega} = \frac{1}{2} I_{3\Omega} = 1 \text{ A}$ , 则所求的量为

$$V_A = -I \times 10 + 10 = -2 \times 10 + 10 = -10 \text{ V}$$

$$V_B = 1 \times I_{1\Omega} + V_C = V_C = 3I_{3\Omega} + 4I_{4\Omega} = 3 \times 2 + 4 \times 1 = 10 \text{ V}$$

$$V_C = U_S = 10 \text{ V}$$

$$V_D = 4 \times I_{4\Omega} = 4 \times 1 = 4 \text{ V}$$

$$U_{AB} = V_A - V_B = -10 - 10 = -20 \text{ V}$$

## 习题 2

2-1 在图 2-1 所示的正弦交流电路中, 电压表的读数为  $U = 220 \text{ V}$ , 电流表的读数为  $I = 10 \text{ A}$ , 频率  $f = 50 \text{ Hz}$ , 相位上  $u$  超前  $i$  为  $\varphi = 30^\circ$ 。试写出  $u$  与  $i$  的三角函数式、相量式, 并画出相量图及波形图。



解：设  $U$  为参考正弦量，即其初相角  $\psi_u = 0^\circ$ ，则电流的初相角  $\psi_i = -30^\circ$ ，角频率  $\omega = 2\pi f = 2 \times 3.14 \times 50 = 314 \text{ rad/s}$ ，电压的最大值为  $U_m = \sqrt{2}U = 220\sqrt{2} \text{ V}$ ，电流的最大值为  $I_m = \sqrt{2}I = 10\sqrt{2} \text{ A}$ ，则电压  $u$  与电流  $i$  的三角函数式为

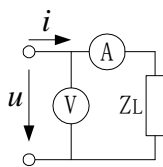
$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u) = 220\sqrt{2} \sin 314t \text{ V}$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i) = 10\sqrt{2} \sin(314t - 30^\circ) \text{ A}$$

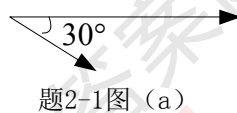
相量式为  $\dot{U} = 220 \angle 0^\circ \text{ V}$

$$\dot{I} = 10 \angle -30^\circ \text{ A}$$

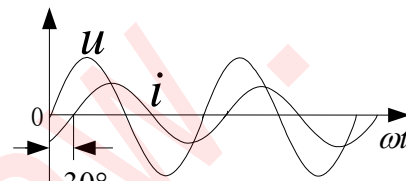
其相量图和波形图如题 2-1 图 (a) 和题 2-1 图 (b) 所示。



题2-1图



题2-1图 (a)



题2-1图 (b)

2-2 已知电流  $\dot{I}_1 = (4 + j3) \text{ A}$ ， $\dot{I}_2 = (6 - j8) \text{ A}$ ， $\dot{U} = (100 + j100) \text{ V}$ 。求：①  $\dot{I}_3 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$ ；

$\dot{I}_4 = \dot{I}_1 - \dot{I}_2$ ； $Z_1 = \frac{\dot{U}}{\dot{I}_3}$ ；② 电流  $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$ 、 $\dot{I}_3$ 、 $\dot{I}_4$  及电压  $\dot{U}$  的有效值；③ 电压与各电

流的相位差  $\varphi_1$ 、 $\varphi_2$ 、 $\varphi_3$ 、 $\varphi_4$ ；④ 画出电流  $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$ 、 $\dot{I}_3$ 、 $\dot{I}_4$  及电压  $\dot{U}$  的相量图；⑤

瞬时值  $i_1$ 、 $i_2$ 、 $i_3$ 、 $i_4$  及  $u$ 。

解：①  $\dot{I}_3 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 4 + j3 + 6 - j8 = 10 - j5 = 11.18 \angle -26.6^\circ \text{ A}$

$$\dot{I}_4 = \dot{I}_1 - \dot{I}_2 = 4 + j3 - (6 - j8) = -2 + j11 = 11.18 \angle 100.3^\circ \text{ A}$$

$$Z_1 = \frac{\dot{U}}{\dot{I}_3} = \frac{100 + j100}{11.18 \angle -26.6^\circ} = \frac{141.4 \angle 45^\circ}{11.18 \angle -26.6^\circ} = 12.65 \angle 71.6^\circ \Omega$$

②  $I_1 = 5\text{ A}$  ;  $I_2 = 10\text{ A}$  ;  $I_3 = 11.18\text{ A}$  ;  $I_4 = 11.18\text{ A}$  ;  $U = 141.4\text{ V}$

③  $\psi_1 = \tan^{-1} \frac{3}{4} = 37^\circ$  ;  $\psi_2 = \tan^{-1} \frac{-8}{6} = -53^\circ$  ;  $\psi_3 = -26.6^\circ$  ;  $\psi_4 = 100.3^\circ$  ;  $\psi_u = 45^\circ$  , 故电压与各电流的相位差为

$$\varphi_1 = \psi_u - \psi_1 = 45^\circ - 37^\circ = 8^\circ$$

$$\varphi_2 = \psi_u - \psi_2 = 45^\circ - (-53^\circ) = 98^\circ$$

$$\varphi_3 = \psi_u - \psi_3 = 45^\circ - (-26.6^\circ) = 71.6^\circ$$

$$\varphi_4 = \psi_u - \psi_4 = 45^\circ - 100.3^\circ = -55.3^\circ$$

④ 电流  $\dot{I}_1$  、  $\dot{I}_2$  、  $\dot{I}_3$  、  $\dot{I}_4$  及电压  $\dot{U}$  的相量图如题 2-2 图所示。

⑤ 各电流与电压的瞬时值为

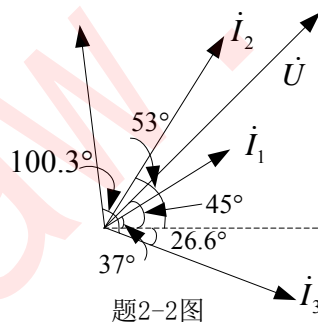
$$i_1 = 5\sqrt{2} \sin(\omega t + 37^\circ) \text{ A}$$

$$i_2 = 10\sqrt{2} \sin(\omega t - 53^\circ) \text{ A}$$

$$i_3 = 11.18\sqrt{2} \sin(\omega t - 26.6^\circ) \text{ A}$$

$$i_4 = 11.18\sqrt{2} \sin(\omega t + 100.3^\circ) \text{ A}$$

$$u = 200 \sin(\omega t + 45^\circ) \text{ V}$$



题2-2图

2-3 在题 2-3 图所示电路中, 已知三个支路电流及电压为:  $i_1 = I_{m1} \sin(\omega t - 60^\circ) \text{ A}$  ,

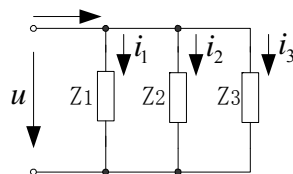
$i_2 = I_{m2} \sin(\omega t + 120^\circ) \text{ A}$  ,  $i_3 = I_{m3} \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ A}$  ,  $u = U_m \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ V}$  。试判别 3 个

支路各是什么性质?

解: 由于三个支路是并联的, 所加的电压相同, 故对于  $Z_1$  支路, 电压  $u$  与电流  $i_1$  的相位差为

$$\varphi_1 = 30^\circ - (-60^\circ) = 90^\circ > 0$$

即电压  $u$  超前电流  $i_1$  , 此支路为感性;



题2-3图

对于  $Z_2$  支路，电压  $u$  与电流  $i_2$  的相位差为

$$\varphi_2 = 30^\circ - 120^\circ = -90^\circ < 0$$

即电压  $u$  滞后电流  $i_2$ ，此支路为容性；

对于  $Z_3$  支路，电压  $u$  与电流  $i_3$  的相位差为

$$\varphi_3 = 30^\circ - 30^\circ = 0^\circ$$

即电压  $u$  与电流  $i_3$  同相位，此支路为阻性。

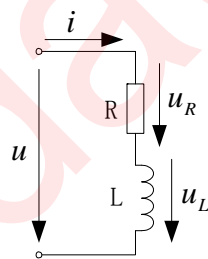
**2-4** 一个电感线圈接到 110 V 的直流电源时，测出通过线圈的电流为 2.2 A。然后又接到 110 V、50 Hz 的正弦交流电源上，测出通过线圈的电流为  $I = 1.1$  A。计算电感线圈的电阻  $R$  和电感  $L$ 。

解：对于电感线圈可以用题 2-4 图的等效电路来表示，即相当于一个电阻和一个纯电感相串联。

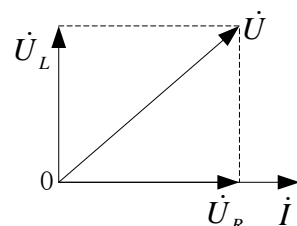
则当电感线圈接到直流电源时，电感可以看成短路，由欧姆定律可得

$$R = \frac{U}{I} = \frac{110}{2.2} = 50\Omega$$

当电感线圈接到交流电源时，不仅电阻上有压降，而且电感上也有压降，由于是串联电路，电阻和纯电感通过的为同一电流，故设电流  $i$  为参考相量，电阻两端电压  $u_R$  与电流  $i$  同相



题2-4图 (a)



题2-4图 (b)

位，纯电感两端电压  $u_L$  超前电流  $i$   $90^\circ$ ，可画出

相量图如题 2-4 图 (b) 所示，由矢量合成法可得总的电压  $u$ ，各个电压的模根据勾股定理可得

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$$

其中  $U_R = IR$ ， $U_L = IX_L$ ， $I = 1.1$  A， $U = 110$  V，代入上式可得

$$110 = \sqrt{(1.1 \times 50)^2 + (1.1X_L)^2}$$

则 
$$X_L = \omega L = \frac{\sqrt{110^2 - 55^2}}{1.1} = 86.6\Omega$$

电感  $L$  为

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{86.6}{2 \times 3.14 \times 50} = 0.276\text{mH}$$

2-5 一电容元件两端电压  $u_C = 220\sqrt{2}\sin(314t + 40^\circ)\text{V}$ ，通过它的电流  $I_C = 5\text{A}$ 。求电容  $C$  的值及电流的初相角  $\varphi_i$ ，绘出电压、电流的相量图，并计算无功功率。

解：由题意电容元件两端电压的有效值为  $U_C = 220\text{V}$ ，则容抗为

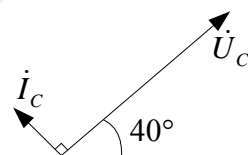
$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{U_C}{I_C} = \frac{220}{5} = 44\Omega$$

电容  $C$  为 
$$C = \frac{1}{\omega X_C} = \frac{1}{314 \times 44} = 72.4\mu\text{F}$$

由于电容元件两端的电压与电流的相位差为  $-90^\circ$ ，即电压滞后电流  $90^\circ$ ，故电流的初相角为

$$\varphi_i = 40^\circ + 90^\circ = 130^\circ$$

其电压、电流的相量图如题 2-5 图所示



题2-5图

无功功率为  $Q_C = -U_C I_C = -220 \times 5 = -1100\text{Var}$

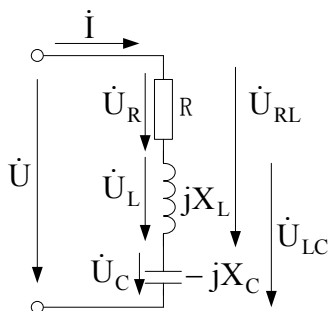
2-6 在题 2-6 图所示的电路中，已知  $R = 40\Omega$ ， $L = 223\text{mH}$ ， $C = 79.6\mu\text{F}$ ， $u = 311\sin(314t)\text{V}$ 。试求：① 电路的复数阻抗  $Z$ ；②  $\dot{I}$ 、 $\dot{U}_R$ 、 $\dot{U}_L$ 、 $\dot{U}_C$ 、 $\dot{U}_{RL}$ 、 $\dot{U}_{LC}$ ；③ 电路的有功功率  $P$ 、无功功率  $Q$ 、视在功率  $S$  及功率因数  $\cos\varphi$ ；④ 画相量图；⑤ 若在该电路中加入直流电压  $220\text{V}$ ，结果又如何？

解：① 感抗  $X_L$  和容抗  $X_C$  为

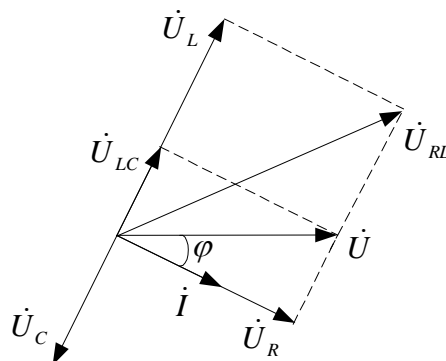
$$X_L = \omega L = 314 \times 223 \times 10^{-3} = 70\Omega$$



$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{314 \times 79.6 \times 10^{-6}} = 40 \Omega$$



题2-6图



题2-6图 (a)

则电路的复数阻抗为

$$Z = R + j(X_L - X_C) = 40 + j(70 - 40) = 40 + j30 \Omega$$

阻抗模为

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{40^2 + (70 - 40)^2} = 50 \Omega$$

阻抗角为

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{X_L - X_C}{R} = \tan^{-1} \frac{70 - 40}{40} = 36.87^\circ > 0$$

说明电路两端的电压超前电流  $36.87^\circ$ ，电路呈感性。

② 电路两端的电压  $u$  的有效值为  $U = \frac{311}{\sqrt{2}} = 220 \text{ V}$ ，相量为  $\dot{U} = 220 \angle 0^\circ \text{ V}$ ，则电流  $\dot{I}$  为

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{220 \angle 0^\circ}{50 \angle 37^\circ} = 4.4 \angle -36.87^\circ \text{ A}$$

所求的各电压为

$$\dot{U}_R = \dot{I}R = 4.4 \angle -37^\circ \times 40 = 176 \angle -36.87^\circ \text{ V}$$

$$\dot{U}_L = j\dot{I} \cdot X_L = 4.4 \angle -36.87^\circ \times 70 \angle 90^\circ = 308 \angle 53.13^\circ \text{ V}$$

$$\dot{U}_C = -j\dot{I} \cdot X_C = 4.4 \angle -36.87^\circ \times 40 \angle -90^\circ = 176 \angle -126.87^\circ \text{ V}$$

由题 2-6 图 (a) 所示的电路相量图可知, 电压  $\dot{U}_{RL}$  的模为

$$U_{RL} = \sqrt{U_L^2 + U_R^2} = \sqrt{308^2 + 176^2} = 354.74 \text{ V}$$

辐角为

$$\psi_{RL} = \text{tg}^{-1} \frac{U_L}{U_R} - \varphi = \text{tg}^{-1} \frac{308}{176} - 36.87^\circ = 23.4^\circ$$

则电压  $\dot{U}_{RL}$  为  $\dot{U}_{RL} = 354.74 \angle 23.4^\circ \text{ V}$

电压  $\dot{U}_{LC} = (U_L - U_C) \angle 53.13^\circ = (308 - 176) \angle 53.13^\circ = 132 \angle 53.13^\circ \text{ V}$

③ 电路的有功功率为

$$P = UI \cos \varphi = 220 \times 4.4 \times \cos 36.87^\circ = 774.4 \text{ W}$$

或者  $P = I^2 R = 4.4^2 \times 40 = 774.4 \text{ W}$

电路的无功功率为

$$Q = UI \sin \varphi = 220 \times 4.4 \times \sin 36.87^\circ = 580.8 \text{ Var}$$

或者  $Q = I^2 (X_L - X_C) = 4.4^2 \times (70 - 40) = 580.8 \text{ Var}$

电路的视在功率为

$$S = UI = 220 \times 4.4 = 968 \text{ VA}$$

④ 电路的相量图如题 2-6 图 (a) 所示;

⑤ 若在该电路中通入 220 V 的直流电压, 则电容相当于开路, 电感相当于短路, 电流  $I = 0$ ,

$$U_C = U = 220 \text{ V}, U_L = U_R = 0, \text{ 功率全为零。}$$

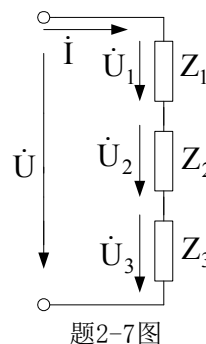
2-7 在题 2-7 图中, 有三个复数阻抗相串联, 电源电压  $\dot{U} = 220 \angle 30^\circ \text{ V}$ 。已知  $Z_1 = 3.2 + j8\Omega$ ,

$Z_2 = 2.4 + j4.2\Omega$ ,  $Z_3 = 2.6 + j2.8\Omega$ 。求: ① 电路的等效复数阻抗  $Z$ , 电流  $\dot{I}$  和电压  $\dot{U}_1$ 、

$\dot{U}_2$ 、 $\dot{U}_3$ ; ② 画出电压、电流的相量图; ③ 计算电路的有功功率  $P$ 、无功功率  $Q$  和视在功率  $S$ 。

解：① 由于为三个复数阻抗相串联，故等效复数阻抗为

$$\begin{aligned} Z &= Z_1 + Z_2 + Z_3 \\ &= 3.2 + j8 + 2.4 + j4.2 + 2.6 + j2.8 \\ &= 8.2 + j15 \\ &= 17.1 \angle 61.34^\circ \Omega \end{aligned}$$



则电流  $\dot{i}$  为

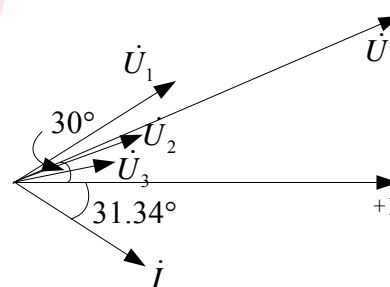
$$\dot{i} = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{220 \angle 30^\circ}{17.1 \angle 61.34^\circ} = 12.87 \angle -31.34^\circ \text{ A}$$

各部分电压为

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{i}Z_1 = 12.87 \angle -31.34^\circ \times (3.2 + j8) \\ &= 12.87 \angle -31.34^\circ \times 8.62 \angle 68.2^\circ \\ &= 110.94 \angle 36.86^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= \dot{i}Z_2 = 12.87 \angle -31.34^\circ \times (2.4 + j4.2) \\ &= 12.87 \angle -31.34^\circ \times 4.84 \angle 60.26^\circ \\ &= 62.3 \angle 28.92^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_3 &= \dot{i}Z_3 \\ &= 12.87 \angle -31.34^\circ \times 3.82 \angle 47.12^\circ \\ &= 49.16 \angle 15.78^\circ \text{ V} \end{aligned}$$



② 电压与电流的相量图如题 2-7 图 (a) 所示。

③ 电路的有功功率为

$$\begin{aligned} P &= UI \cos \varphi = 220 \times 12.87 \times \cos 61.34^\circ \\ &= 1.36 \text{ KW} \end{aligned}$$

或者

$$P = \sum I^2 R = 12.87^2 \times (3.2 + 2.4 + 2.6) \\ = 1.36 \text{ KW}$$

电路的无功功率为

$$Q = UI \sin \varphi = 220 \times 12.87 \times \sin 61.34^\circ \\ = 2.49 \text{ KVar}$$

或者

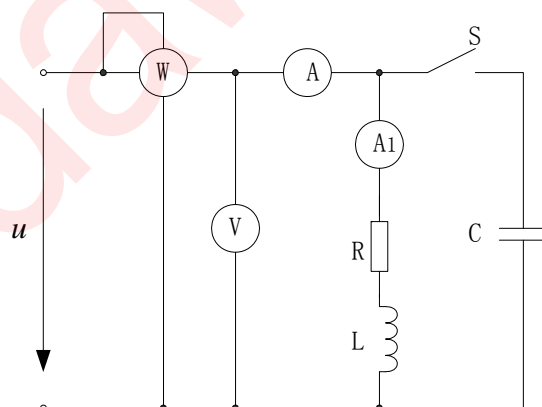
$$Q = \sum I^2 X = 12.87^2 (8 + 4.2 + 2.8) = 2.49 \text{ KVar}$$

电路的视在功率为

$$S = UI = 220 \times 12.87 = 2.83 \text{ KVA}$$

2-8 在题 2-8 图所示电路中, 电源电压  $u$  为工频正弦电压。在  $S$  未闭合前, 电压表的读数为  $220 \text{ V}$ , 两个电流表  $A$  与  $A_1$  的读数均为  $10 \text{ A}$ , 功率表的读数为  $900 \text{ W}$ 。今维持电源电压不变, ① 试问  $S$  闭合并入电容  $C = 100 \mu\text{F}$  后, 各电表的读数应如何变化? 试求此时它们的读数; ② 计算并联电容前后电路的功率因数。

解: ① 当  $S$  闭合并入电容后, 由于电源电压不变, 且电容元件不消耗有功功率, 故线圈的电流、电路的功率都不变, 即电压表的读数仍为  $220 \text{ V}$ , 电流表  $A_1$  的读数仍为  $10 \text{ A}$ , 功率表的读数仍为  $900 \text{ W}$ 。而电路总的电流减少, 即电流表  $A$  的读数下降。



题2-8图

由有功功率公式可知

$$P = UI \cos \varphi_1$$

并联电容之前电路的功率因数为

$$\cos \varphi_1 = \frac{P}{UI} = \frac{900}{220 \times 10} = 0.409$$

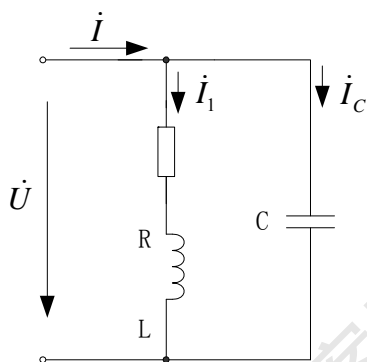
功率因数角为

$$\varphi_1 = \cos^{-1} 0.409 = 65.86^\circ$$

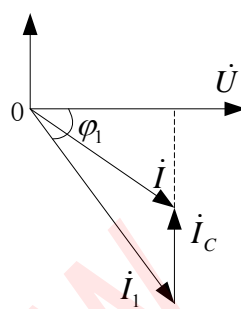
在并入电容后其电路如题 2-8 图(a)所示, 电容支路的电流为

$$I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{U}{1/\omega C} = U \cdot 2\pi f C = 220 \times 2\pi \times 50 \times 100 \times 10^{-6} \\ = 6.91 \text{ A}$$

由电路相量图题 2-8 图(b)可得



题2-8图(a)



题2-8图(b)

$$I = \sqrt{(I_1 \cos \varphi_1)^2 + (I_1 \sin \varphi_1 - I_C)^2} \\ = \sqrt{(10 \times \cos 65.86^\circ)^2 + (10 \times \sin 65.86^\circ - 6.91)^2} \\ = 4.65 \text{ A}$$

故并联电容后电流表 A 的读数为 4.65 A。

② 并联电容前电路的功率因数为

$$\cos \varphi_1 = 0.409$$

并联电容后, 有功功率、电路两端的电压均不变, 则由有功功率的公式可得

$$\cos \varphi_2 = \frac{P}{UI} = \frac{900}{220 \times 4.65} = 0.88$$

2-9 在题 2-9 图所示电路中, 已知  $i = 5\sqrt{2} \sin(\omega t + \frac{\pi}{4}) \text{ mA}$ ,  $\omega = 10^6 \text{ rad/s}$ ,  $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$ ,



www.sld.net.cn

课后习题答案网

—— 思路岛下载

$L = 2\text{mH}$ ,  $R_1 = 1\text{K}\Omega$ 。试求: ① 当电容  $C$  的值为多少时,  $i$  与  $u$  同相; ② 此时电路中的  $u_{AB}$ 、 $i_R$  及  $u$ ; ③ 电阻  $R_2$  消耗的功率  $P_2$ 。

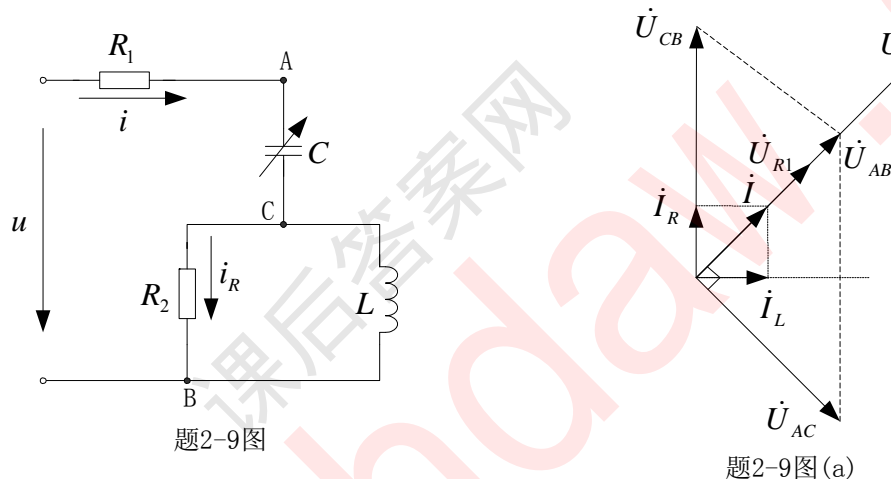
解: 由于电容的容抗为

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{U_C}{I} = \frac{U_{AC}}{I}$$

所以 
$$C = \frac{I}{\omega U_{AC}}$$

故只要求出电容两端的电压  $U_{AC}$  即可。

先做出  $i$  与  $u$  同相时的电路相量图, 如题 2-9 图(a)所示。



电感的感抗  $X_L = \omega L = 10^6 \times 2 \times 10^{-3} = 2\text{K}\Omega$ , 即  $X_L = R_2$ , 而电阻  $R_2$  和电感  $L$  并联,

两端的电压相同, 故电流的有效值也相同, 即  $I_R = I_L = \sqrt{2}I = \frac{5}{2}\sqrt{2}\text{mA}$ 。则电压  $U_{CB}$  为

$$U_{CB} = I_R R_2 = \frac{5}{2}\sqrt{2} \times 10^{-3} \times 2 \times 10^3 = 5\sqrt{2}\text{V}$$

而由相量图可知  $U_{AC} = U_{CB} \cos 45^\circ = 5\sqrt{2} \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 5\text{V}$ , 故

$$C = \frac{5 \times 10^{-3}}{10^6 \times 5} = 0.001\mu\text{F}$$

② 由相量图可知

$$U_{AB} = U_{AC} = 5 \text{ V}$$

$$U = IR_1 + U_{AB} = 5 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^3 + 5 = 10 \text{ V}$$

则

$$u_{AB} = 5\sqrt{2} \sin(\omega t + 45^\circ) \text{ V}$$

$$i_R = \frac{5}{2} \sqrt{2} \times \sqrt{2} \sin(\omega t + 90^\circ) = 5 \sin(\omega t + 90^\circ) \text{ mA}$$

$$u = 10\sqrt{2} \sin(\omega t + 45^\circ) \text{ V}$$

③ 电阻  $R_2$  消耗的功率  $P_2$  为

$$P_2 = I_R^2 R_2 = \left(\frac{5}{2} \sqrt{2} \times 10^{-3}\right)^2 \times 2 \times 10^3 = 25 \text{ mW}$$

2-10 电路如题 2-10 图所示, 已知  $R_1 = 15 \Omega$ ,  $X_L = 20 \Omega$ ,  $R_2 = 15 \Omega$ ,  $X_C = 20 \Omega$ ,

$\dot{U} = 100 \angle 0^\circ \text{ V}$ 。试求: ①  $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$ 、 $\dot{I}$  及  $\dot{U}_{AB}$ ; ② 有功功率  $P$ 、无功功率  $Q$  及视在功率  $S$ 。

解: ①  $\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{R_1 + jX_L} = \frac{100 \angle 0^\circ}{15 + j20} = \frac{100 \angle 0^\circ}{25 \angle 53.13^\circ}$

$$= 4 \angle -53.13^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}}{R_2 - jX_C} = \frac{100 \angle 0^\circ}{15 - j20} = \frac{100 \angle 0^\circ}{25 \angle -53.13^\circ}$$

$$= 4 \angle 53.13^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 4 \angle -53.13^\circ + 4 \angle 53.13^\circ = 2.4 - j3.2 + 2.4 + j3.2 = 4.8 \angle 0^\circ \text{ A}$$

$$\dot{U}_{AB} = \dot{I}_1 \cdot (jX_L) - \dot{I}_2 R_2 = 4 \angle -53.13^\circ \times 20 \angle 90^\circ - 4 \angle -53.13^\circ \times 15$$

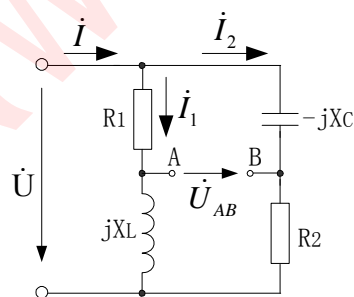
$$= 80 \angle 36.87^\circ - 60 \angle 53.13^\circ = 64 + j48 - 36 - j48 = 28 \angle 0^\circ \text{ V}$$

②  $P = UI \cos \varphi = 100 \times 4.8 \times \cos 0^\circ = 480 \text{ W}$

或者

$$P = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = 4^2 \times 15 + 4^2 \times 15 = 480 \text{ W}$$

$$Q = UI \sin \varphi = 100 \times 4.8 \sin 0^\circ = 0$$



题2-10图

$$S = UI = 100 \times 4.8 = 480 \text{ VA}$$

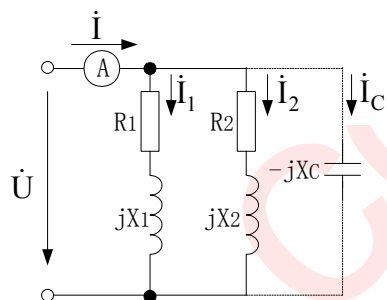
2-11 如题 2-11 图所示的电路中, 已知  $U = 220 \text{ V}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ ,  $R_1 = 10 \Omega$ ,  $X_1 = 10\sqrt{3} \Omega$ ,  $R_2 = 5 \Omega$ ,  $X_2 = 5\sqrt{3} \Omega$ 。① 求电流表的读数  $I$  和电路的功率因数  $\cos \varphi_1$ ; ② 要使电路的功率因数提高到 0.866, 则需并联多大的电容? ③ 并联电容后电流表的读数为多少?

解: ① 并联电容前, 设  $\dot{U} = 220 \angle 0^\circ \text{ V}$ , 则各电流为

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \frac{\dot{U}}{R_1 + jX_1} = \frac{220 \angle 0^\circ}{10 + j10\sqrt{3}} \\ &= \frac{220 \angle 0^\circ}{20 \angle 60^\circ} = 11 \angle -60^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_2 &= \frac{\dot{U}}{R_2 + jX_2} = \frac{220}{5 + j5\sqrt{3}} \\ &= \frac{220}{10 \angle 60^\circ} = 22 \angle -60^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 11 \angle -60^\circ + 22 \angle -60^\circ = 33 \angle -60^\circ \text{ A}$$



题2-11图

故电流表的读数为 33 A, 电路的功率因数  $\cos \varphi_1 = \cos 60^\circ = 0.5$ 。

② 若使电路的功率因数提高到  $\cos \varphi_2 = 0.866$ , 即  $\varphi_2 = 30^\circ$ 。而电路的有功功率为

$$P = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = 11^2 \times 10 + 22^2 \times 5 = 3630 \text{ W}$$

则需并联的电容为

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (tg \varphi_1 - tg \varphi_2) = \frac{3630}{2\pi \times 50 \times 220^2} (tg 60^\circ - tg 30^\circ) = 276 \mu\text{F}$$

③ 由于并联电容前后电路所消耗的有功功率不变, 即

$$P = UI \cos \varphi_2 = 3630 \text{ W}$$

故并联电容后电路总电流为

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi_2} = \frac{3630}{220 \times \cos 30^\circ} = 19.05 \text{ A}$$

即并联电容后电流表的读数为 19.05 A。



2-12 在题 2-12 图所示的并联电路中, 已知  $i_1 = 31.11\sin(628t + 6.87^\circ) \text{ A}$ ,  $R_1 = 6\Omega$ ,

$X_1 = 8\Omega$ ,  $R_2 = 4\Omega$ ,  $X_C = 3\Omega$ 。求: ① 并联电路的等效复数阻抗  $Z$ ; ② 电流  $\dot{I}$ 、 $\dot{I}_2$  和电

压  $\dot{U}$ ; ③ 画出电压、电流的相量图。

解: ① 电路的等效复数阻抗为

$$\begin{aligned} Z &= \frac{(R_1 + jX_1)(R_2 - jX_C)}{R_1 + jX_1 + R_2 - jX_2} \\ &= \frac{(6 + j8)(4 - j3)}{6 + j8 + 4 - j3} \\ &= \frac{10\angle 53.13^\circ \times 5\angle -36.87^\circ}{11.18\angle 26.57^\circ} \\ &= 4.47\angle -10.31^\circ \Omega \end{aligned}$$

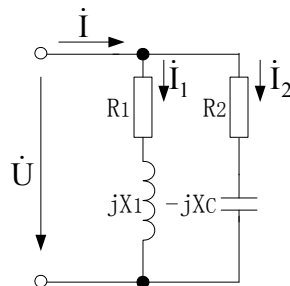
② 电流  $i_1$  的有效值为  $I_1 = \frac{31.11}{\sqrt{2}} = 22 \text{ A}$ , 相量形式为  $\dot{I}_1 = 22\angle 6.87^\circ \text{ A}$ , 则电压  $\dot{U}$  为

$$\begin{aligned} \dot{U} &= \dot{I}_1(R_1 + jX_1) = 22\angle 6.87^\circ \times (6 + j8) = 22\angle 6.87^\circ \times 10\angle 53.13^\circ \\ &= 220\angle 60^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

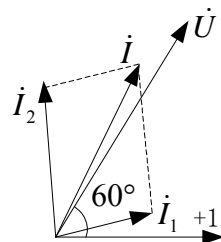
则电流  $\dot{I}$  和  $\dot{I}_2$  为

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{220\angle 60^\circ}{4.47\angle -10.31^\circ} = 49.22\angle 70.31^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}}{(R_2 - jX_C)} = \frac{220\angle 60^\circ}{4 - j3} = \frac{220\angle 60^\circ}{5\angle -36.87^\circ} = 44\angle 96.87^\circ \text{ A}$$



题2-12图

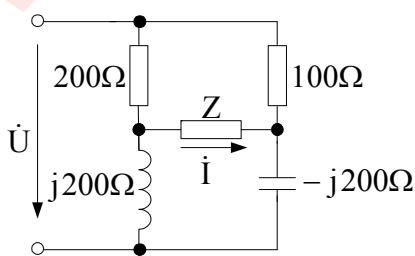


题2-12图 (a)

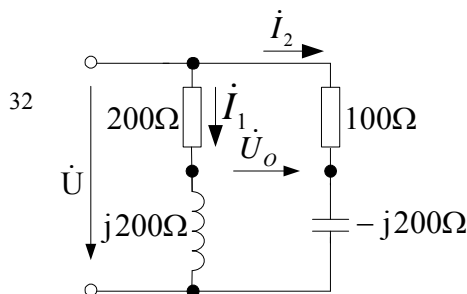
③ 电路的电压与电流的相量图如题 2-12 图 (a) 所示。

2-13 电路如题 2-13 图所示, 电源电压为  $220 \text{ V}$ , 复数阻抗中含有  $50\Omega$  的电阻。① 试问当  $Z$  中的电流  $I$  为最大时,  $Z$  应为什么性质? 其值为多少? ② 试求电流  $I$  的最大值。

解: ① 根据戴维南定理, 先除去  $Z$ , 求其两端的开路电压  $\dot{U}_o$ , 如题 2-13 图 (a) 所示。设



题2-13图



题2-13图 (a)



$\dot{U} = 220\angle 0^\circ \text{V}$ ，则电流  $\dot{I}_1$  和  $\dot{I}_2$  为

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{200 + j200} = \frac{220\angle 0^\circ}{200\sqrt{2}\angle 45^\circ} = 0.78\angle -45^\circ \text{A}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}}{100 - j200} = \frac{220\angle 0^\circ}{223.6\angle -63.44^\circ} = 0.98\angle 63.44^\circ \text{A}$$

则开路电压  $\dot{U}_o$  为

$$\begin{aligned}\dot{U}_o &= \dot{I}_1 \times j200 - \dot{I}_2 \times (-j200) \\ &= 0.78\angle -45^\circ \times 200\angle 90^\circ - 0.98\angle 63.44^\circ \times 200\angle -90^\circ \\ &= 110.29 + j110.29 - 175.34 + j87.64 = -65.05 + j197.93 \\ &= 208.35\angle 108.19^\circ \text{V}\end{aligned}$$

由题 2-13 图 (b) 可求等效电源的复数阻抗  $Z_o$  为

$$Z_o = 200 // (j200) + 100 // (-j200) = 180 + j60\Omega$$

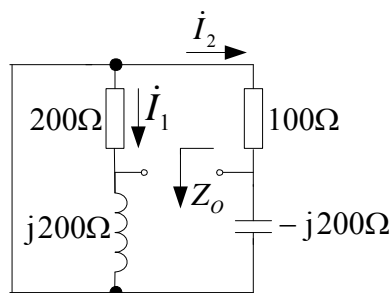
设  $Z = 50 + jX$ ，则电流  $\dot{I}$  为

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_o}{Z_o + Z} = \frac{\dot{U}_o}{180 + j60 + 50 + jX}$$

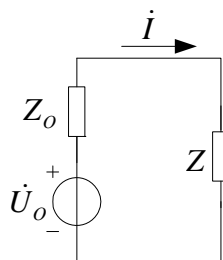
其有效值为

$$I = \frac{U_o}{\sqrt{(180 + 50)^2 + (60 + X)^2}}$$

若使电流  $I$  的值最大，则应使  $60 + X = 0$ ，即  $X = -60 < 0$ ，也就是  $Z = 50 - j60\Omega$  为电容性质。



题2-13图 (b)



题2-13图 (c)

② 此时电流  $I$  的值为

$$I_{MAX} = \frac{U_o}{230} = \frac{208.35}{230} = 0.91 \text{ A}$$

2-14 在题 2-14 图中，已知  $\dot{U} = 100\angle 0^\circ \text{ V}$ ， $X_C = 500\Omega$ ， $X_L = 1000\Omega$ ， $R = 2000\Omega$ ，求电流  $\dot{I}$ 。

解：根据戴维南定理，先断开所求支路，即除去电阻  $R$ ，求其两端的开路电压  $\dot{U}_o$  如题 2-14 图 (a) 所示，各电流为

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}}{jX_L - jX_C} = \frac{100\angle 0^\circ}{j1000 - j500} = 0.2\angle -90^\circ \text{ A}$$

则开路电压  $\dot{U}_o$  为

$$\begin{aligned} \dot{U}_o &= \dot{I}_1(jX_L) - \dot{I}_2(-jX_C) = \dot{I}_1 \times j(X_L + X_C) \\ &= 0.2\angle -90^\circ \times (1000 + 500)\angle 90^\circ = 300\angle 0^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

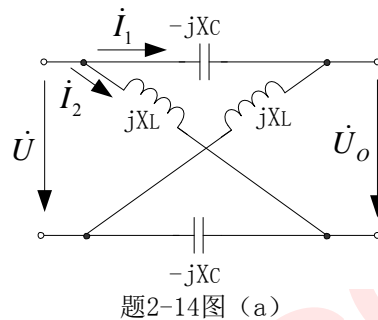
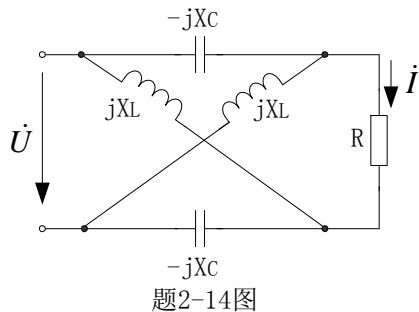
由题 2-14 图(b)可求得

戴维南定理的等效电阻，即

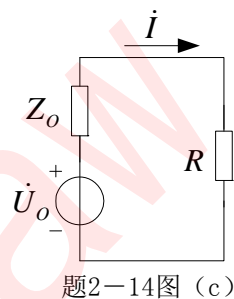
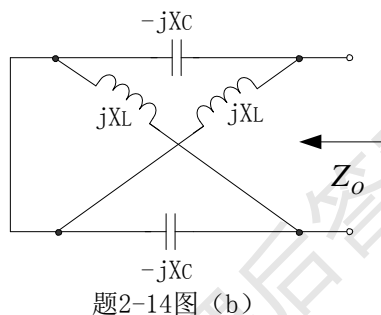
$$\begin{aligned} Z_o &= 2 \times (jX_L) // (-jX_C) \\ &= 2 \times \frac{jX_L \times (-jX_C)}{jX_L - jX_C} \end{aligned}$$

$$= 2 \times \frac{j1000 \times (-j500)}{j1000 - j500}$$

$$= -j2000\Omega$$



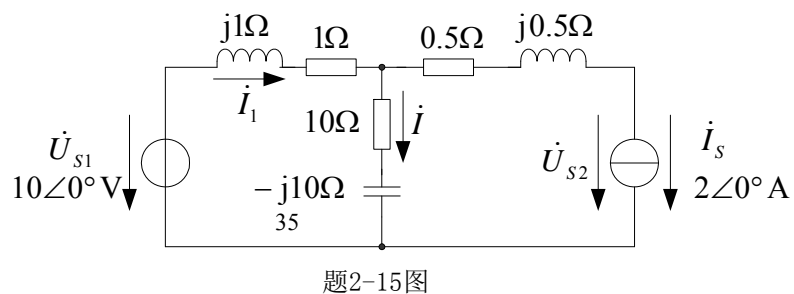
其等效电路如题 2-14 图 (c) 所示，其电流为



$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_o}{Z_o + R} = \frac{300\angle 0^\circ}{-j2000 + 2000} = 0.106\angle 45^\circ \text{ A}$$

2-15 已知电路如题 2-15 图所示。① 用叠加原理求  $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}$  和  $\dot{U}_{s2}$ ，并判断恒流源是电源还是负载；② 用戴维南定理求电流  $\dot{I}$ 。

解：① 由叠加原理，当电压源  $\dot{U}_{s1}$  单独作用时，恒流源  $\dot{I}_s$  断开，其等效电路如题 2-15 图(a) 所示。则



$$\dot{I}'_1 = \dot{I}' = \frac{\dot{U}_{s1}}{(1+10) + j(1-10)} = \frac{10\angle 0^\circ}{11-j9} = \frac{10\angle 0^\circ}{14.21\angle -39.29^\circ} = 0.704\angle 39.29^\circ \text{ A}$$

$$\dot{U}'_{s2} = \dot{I}'(10-j10) = 0.704\angle 39.29^\circ \times 10\sqrt{2}\angle -45^\circ = 9.96\angle -5.71^\circ \text{ V}$$

当电流源  $\dot{I}_s$  单独作用时，恒压

源  $\dot{U}_{s1}$  用短路线代替，如题 2-15(b) 所

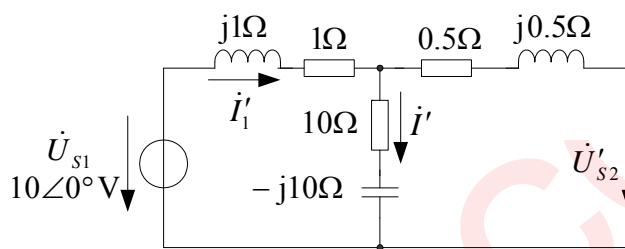
示。则

$$\dot{I}''_1 = \frac{10-j10}{1+j1+10-j10} \cdot \dot{I}_s$$

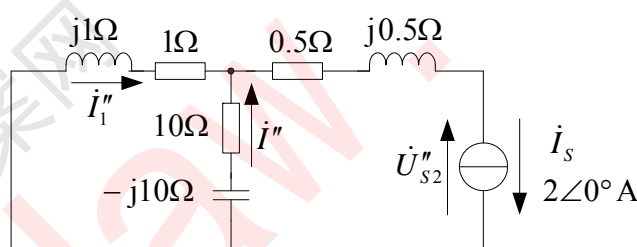
$$= \frac{10\sqrt{2}\angle -45^\circ}{11-j9} \cdot 2\angle 0^\circ$$

$$= \frac{10\sqrt{2}\angle -45^\circ}{14.21\angle -39.29^\circ} \cdot 2\angle 0^\circ$$

$$= 1.99\angle -5.71^\circ \text{ A}$$



题2-15图 (a)



题2-15图 (b)

$$\dot{I}''_1 = \frac{1+j1}{1+j1+10-j10} \cdot \dot{I}_s = \frac{\sqrt{2}\angle 45^\circ}{11-j9} \cdot \dot{I}_s = \frac{\sqrt{2}\angle 45^\circ}{14.21\angle -39.29^\circ} \cdot 2\angle 0^\circ = 0.2\angle 84.29^\circ \text{ A}$$

$$\dot{U}''_{s2} = \dot{I}'' \cdot (10-j10) + \dot{I}_s (0.5+j0.5) = 0.2\angle 84.29^\circ \times 10\sqrt{2}\angle -45^\circ + 2\angle 0^\circ \times 0.5\sqrt{2}\angle 45^\circ$$

$$= 2.83\angle 39.29^\circ + 1.414\angle 45^\circ = 2.19 + j1.79 + 1 + j1$$

$$= 3.19 + j2.79 = 4.24\angle 41.17^\circ \text{ V}$$

将上述各分量进行叠加，即可得

$$\dot{I}_1 = \dot{I}'_1 + \dot{I}''_1 = 0.704\angle 39.29^\circ + 1.99\angle -5.71^\circ = 0.55 + j0.45 + 1.98 - j0.2$$

$$= 2.53 + j0.25 = 2.54\angle 5.64^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I} = \dot{I}' - \dot{I}'' = 0.704\angle 39.29^\circ - 0.2\angle 84.29^\circ = 0.55 + j0.45 - 0.02 - j0.199$$

$$= 0.53 + j0.25 = 0.58\angle 25.25^\circ \text{ A}$$

$$\dot{U}_{s2} = \dot{U}'_{s2} - \dot{U}''_{s2} = 9.96\angle -5.71^\circ - 4.24\angle 41.17^\circ = 9.91 - j0.99 - 3.19 - j2.79$$

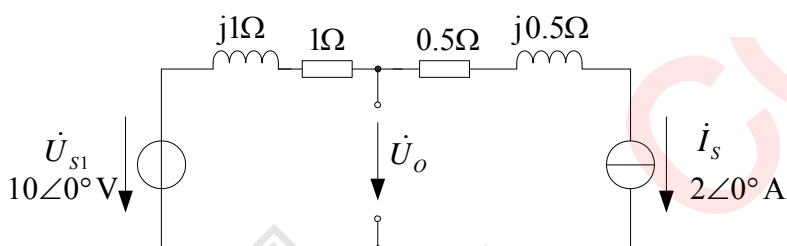
$$= 6.72 - j3.78 = 7.71\angle -29.36^\circ \text{ V}$$

由于  $\dot{U}_{s2}$  和  $\dot{I}_s$  为关联方向，且近似为同相位，故为负载元件。

② 由戴维南定理，首先

断开电流  $\dot{I}$  所在的支路，并求两端的开路电

压  $\dot{U}_o$ ，即如题 2-15 图



题2-15图(c)

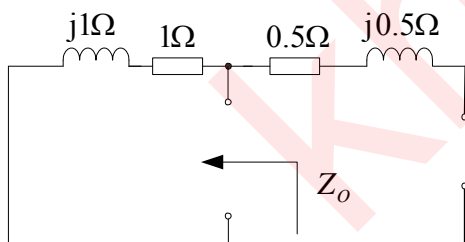
(c) 所示。则开路电压

$\dot{U}_o$  为

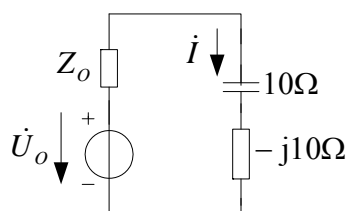
$$\dot{U}_o = \dot{U}_s - \dot{I}_s(1 + j1) = 10\angle 0^\circ - 2\angle 0^\circ \times \sqrt{2}\angle 45^\circ = 10 - 2 - j2 = 8 - j2$$

$$= 8.25\angle -14.04^\circ \text{ A}$$

在题 2-15(d)图中，可得等效电源的内复数阻抗为



题2-15图(d)



题2-15图(e)

$$Z_o = 1 + j1 = \sqrt{2}\angle 45^\circ \Omega$$

其等效电路如题 2-15(e)所示，则所求电流为

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \frac{\dot{U}_o}{Z_o + 10 - j10} = \frac{8.25 \angle 14.04^\circ}{1 + j1 + 10 - j10} = \frac{8.25 \angle 14.04^\circ}{11 - j9} \\ &= \frac{8.25 \angle -14.04^\circ}{14.21 \angle -39.29^\circ} = 0.58 \angle 25.25^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

### 习题 3

3-1 有日光灯 120 只，每只功率  $P_N = 40 \text{ W}$ ，额定电压  $U_N = 220 \text{ V}$ 。若接在电压为  $380 \text{ V}/220 \text{ V}$  的三相四线制电源上，问日光灯应如何连接？当全部灯都点亮时，其线电流与相电流是多少？

解：由于日光灯的额定电压与电源的相电压相同，故应将日光灯平均分成三份，每份接在相线与零线之间以星形形式接在三相电源上

当全部灯点亮时，每只灯的电阻为

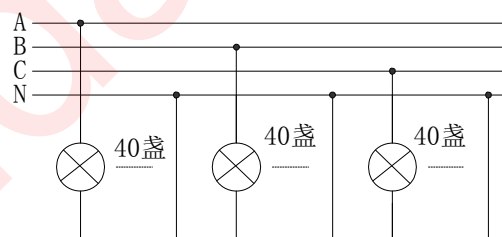
$$\begin{aligned} R &= \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{40} \\ &= 1210 \Omega \end{aligned}$$

每相负载为

$$\begin{aligned} R_A = R_B = R_C &= \frac{1210}{40} \\ &= 30.25 \Omega \end{aligned}$$

由于负载为星形联结，线电流与相电流相等，故

$$I_l = I_p = \frac{U_p}{R_A} = \frac{220}{30.25} = 7.27 \text{ A}$$



题3-1图

3-2 三相对称负载的额定电压  $U_N = 380\text{ V}$ ，每相负载的复数阻抗  $Z = 26.87 + j26.87\Omega$ ，

三相四线制电源，其相电压  $u_A = 220\sqrt{2}\sin(\omega t - 30^\circ)\text{ V}$ 。① 此三相负载应如何接入三相电源中？② 计算负载的相电流和线电流；③ 画出相量图。

解：① 根据负载的额定电压可知，三相负载应以三角形的形式接入三相电源。如题 3-2 图所示。

② 三相电源的线电压为

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

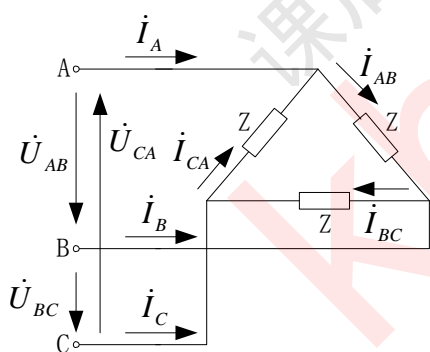
负载为三角形联结时，其相电压等于电源的线电压，故负载的相电流为

$$I_p = \frac{U_l}{|Z|} = \frac{380}{\sqrt{26.87^2 + 26.87^2}} = 10\text{ A}$$

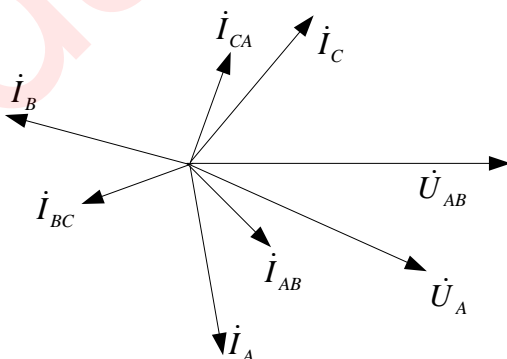
线电流为

$$I_l = \sqrt{3}I_p = \sqrt{3} \times 10 = 17.32\text{ A}$$

③ 电压与电流的相量图如题 3-2 图 (a)



题3-2图



题3-2图(a)

3-3 三相交流电路如题 3-3 图所示。电源线电压  $u_{AB} = 380\sqrt{2}\sin(\omega t + 30^\circ)\text{ V}$ ，三相负载  $Z_A = 10\Omega$ ， $Z_B = 6 - j8\Omega$ ， $Z_C = 8.66 + j5\Omega$ ，计算线电流  $I_A$ 、 $I_B$ 、 $I_C$ 、中线电流  $I_N$  及三相负载的有功功率，并画出相量图。



解：线电压  $u_{AB}$  的相量为  $\dot{U}_{AB} = 380\angle 30^\circ \text{ V}$ ，则相电压  $u_A$  的相量为

$$\dot{U}_A = \frac{380}{\sqrt{3}} \angle 30^\circ - 30^\circ = 220\angle 0^\circ \text{ V}$$

根据对称性可得其它两相电压为

$$\dot{U}_B = 220\angle -120^\circ \text{ V}$$

$$\dot{U}_C = 220\angle 120^\circ \text{ V}$$

则所求的电流为

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_A} = \frac{220\angle 0^\circ}{10} = 22\angle 0^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{Z_B} = \frac{220\angle -120^\circ}{6 - j8} = \frac{220\angle -120^\circ}{10\angle -53.13^\circ} = 22\angle -66.87^\circ \text{ A}$$

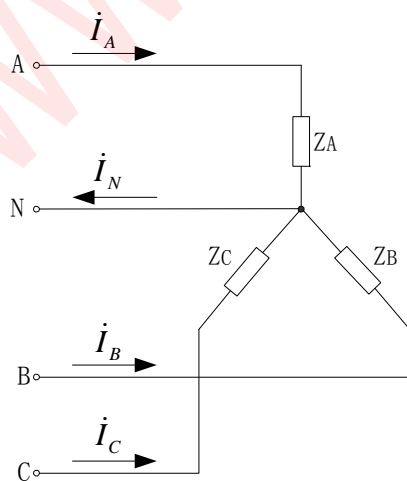
$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{Z_C} = \frac{220\angle 120^\circ}{8.66 + j5} = \frac{220\angle 120^\circ}{10\angle 30^\circ} = 22\angle 90^\circ \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_N &= \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 22\angle 0^\circ + 22\angle -66.87^\circ + 22\angle 90^\circ \\ &= 22 + 8.64 - j20.23 + j22 = 30.64 + j1.77 = 30.69\angle 3.31^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

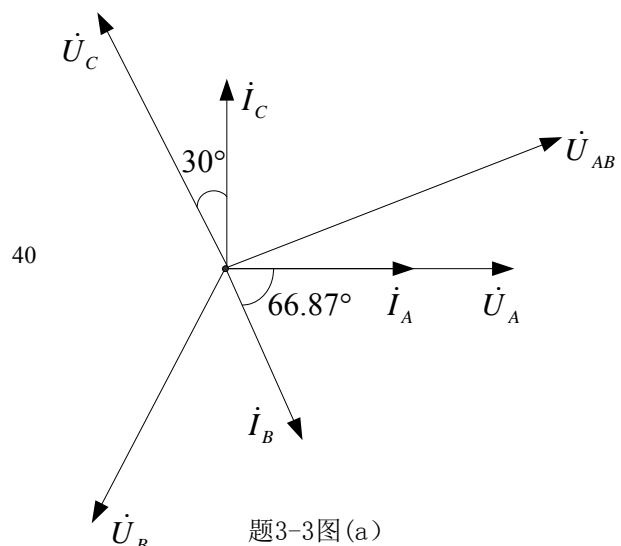
$$\begin{aligned} P &= U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C \\ &= 220 \times 22 \cos 0^\circ + 220 \times 22 \cos(-53.13^\circ) + 220 \times 22 \times \cos 30^\circ \\ &= 11.94 \text{ KW} \end{aligned}$$

或

$$\begin{aligned} P &= I_A^2 R_A + I_B^2 R_B + I_C^2 R_C = 22^2 \times 10 + 22^2 \times 6 + 22^2 \times 8.66 \\ &= 11.94 \text{ KW} \end{aligned}$$



题3-3题



题3-3图(a)



3-4 三相交流电路如题 3-4 图所示, 电源线电压  $U_l = 380\text{ V}$ 。三相负载  $Z_{AB} = 20\angle 90^\circ\Omega$ ,

$Z_{BC} = 19 + j32.9\Omega$ ,  $Z_{CA} = 20\Omega$ 。① 试计算相电流  $\dot{I}_{AB}$ 、 $\dot{I}_{BC}$ 、 $\dot{I}_{CA}$ ; ② 计算线电流  $\dot{I}_A$ 、 $\dot{I}_B$ 、

$\dot{I}_C$ ; ③ 画相量图; ④ 计算三相负载的有功功率。

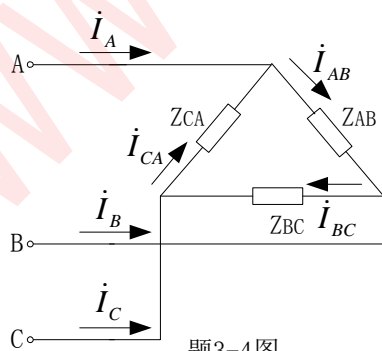
解: ① 设  $\dot{U}_{AB} = 380\angle 0^\circ\text{ V}$ , 则  $\dot{U}_{BC} = 380\angle -120^\circ\text{ V}$ ,

$\dot{U}_{CA} = 380\angle 120^\circ\text{ V}$ , 故各相电流为

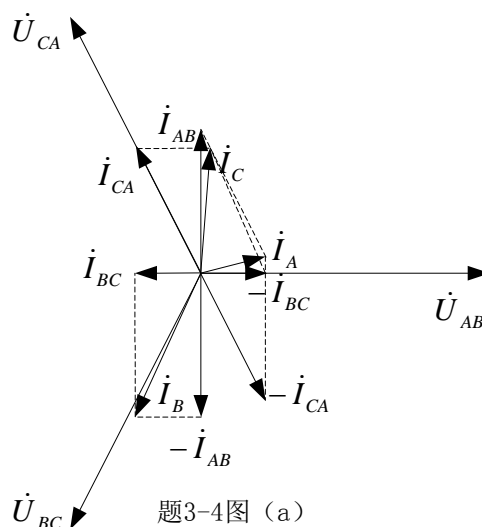
$$\begin{aligned}\dot{I}_{AB} &= \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{AB}} = \frac{380\angle 0^\circ}{20\angle -90^\circ} \\ &= 19\angle 90^\circ\text{ A}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_{BC} &= \frac{\dot{U}_{BC}}{Z_{BC}} = \frac{380\angle -120^\circ}{19 + j32.9} \\ &= \frac{380\angle -120^\circ}{38\angle 60^\circ} = 10\angle -180^\circ\text{ A}\end{aligned}$$

$$\dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{Z_{CA}} = \frac{380\angle 120^\circ}{20} = 19\angle 120^\circ\text{ A}$$



题3-4图



题3-4图 (a)

② 各线电流为

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} = 19\angle 90^\circ - 19\angle 120^\circ = j19 + 9.5 - j16.46 \\ &= 9.5 + j2.54 = 9.84\angle 14.97^\circ \text{ A}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_B &= \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} = 10\angle -180^\circ - 19\angle 90^\circ = -10 - j19 \\ &= 21.47\angle -115.85^\circ \text{ A}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_C &= \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} = 19\angle 120^\circ - 10\angle -180^\circ = -9.5 + j7.79 + 10 \\ &= 0.5 + j7.79 = 7.81\angle 86.33^\circ \text{ A}\end{aligned}$$

③ 相量图如题 3-4 图 (a) 所示。

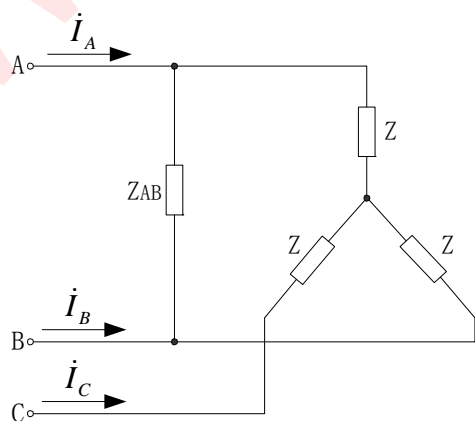
④ 三相负载的有功功率为

$$\begin{aligned}P &= U_{AB} I_{AB} \cos \varphi_{AB} + U_{BC} I_{BC} \cos \varphi_{BC} + U_{CA} I_{CA} \cos \varphi_{CA} \\ &= 380 \times 19 \cos(-90^\circ) + 380 \times 10 \cos 60^\circ + 380 \times 19 \cos 0^\circ \\ &= 9.12 \text{ KW}\end{aligned}$$

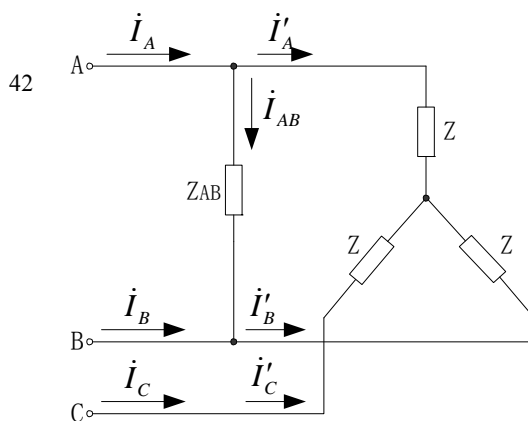
或者

$$\begin{aligned}P &= I_{AB}^2 R_{AB} + I_{BC}^2 R_{BC} + I_{CA}^2 R_{CA} \\ &= 19^2 \times 0 + 10^2 \times 19 + 19^2 \times 20 = 9.12 \text{ KW}\end{aligned}$$

3-5 三相交流电路如题 3-5 图所示，对称三相电源的线电压  $U_l = 380 \text{ V}$ 。对称三相负载的复数阻抗  $Z = 38.1 + j22\Omega$  和一单相负载  $Z_{AB} = 9.8 + j36.7\Omega$ 。试计算线电流  $\dot{I}_A$ 、 $\dot{I}_B$ 、 $\dot{I}_C$ ，并画出相量图。



题3-5图



题3-5图(a)

解：在题 3-5 图（a）中，设三相电源的线电压  $\dot{U}_{AB} = 380\angle 0^\circ \text{V}$ ，则相电压为

$\dot{U}_A = 220\angle -30^\circ \text{V}$ 。则单相负载的电流为

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{AB}} = \frac{380\angle 0^\circ}{9.8 + j36.7} = \frac{380\angle 0^\circ}{38\angle 75.05^\circ} = 10\angle -75.05^\circ \text{A}$$

三相星形联接对称负载中的电流为

$$\dot{I}'_A = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z} = \frac{220\angle -30^\circ}{38.1 + j22} = \frac{220\angle -30^\circ}{44\angle 30^\circ} = 5\angle -60^\circ \text{A}$$

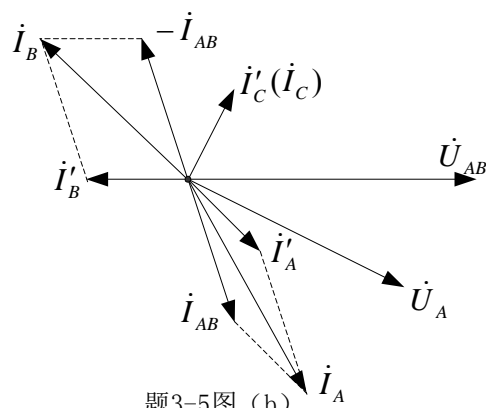
$$\dot{I}'_B = 5\angle -180^\circ \text{A}$$

$$\dot{I}'_C = 5\angle 60^\circ \text{A}$$

则所求线电流为

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= \dot{I}_{AB} + \dot{I}'_A = 10\angle -75.05^\circ + 5\angle -60^\circ \\ &= 2.58 - j9.66 + 2.5 - j4.33 = 5.08 - j13.99 \\ &= 14.88\angle -70.04^\circ \text{A}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_B &= \dot{I}'_B - \dot{I}_{AB} \\ &= 5\angle -180^\circ - 10\angle -75.05^\circ \\ &= -5 - 2.58 + j9.66 \\ &= -7.58 + j9.66 \\ &= 12.28\angle 128.12^\circ \text{A}\end{aligned}$$



题3-5图（b）

$$\dot{I}_C = \dot{I}'_C = 5\angle 60^\circ \text{ A}$$

相量图如题 3-5 图 (b) 所示。

3-6 某三相对称负载  $Z_1 = 10\sqrt{3} + j10\Omega$  和另一单相负载  $Z_2 = 8 - j6\Omega$ ，接在三相四线制电源上，电路如题 3-6 图所示。已知电源相电压  $U_p = 220 \text{ V}$ 。① 说明负载  $Z_1$  是什么接法？② 求电流  $\dot{I}_{AB}$ 、 $\dot{I}_{A1}$ 、 $\dot{I}_{A2}$  及  $\dot{I}_A$ ；③ 计算电路的有功功率  $P$ 、无功功率  $Q$ 、视在功率  $S$  及功率因数  $\cos \varphi$ 。

解：① 负载  $Z_1$  的接法为三角形联接。

② 设电源相电压  $\dot{U}_A = 220\angle 0^\circ \text{ V}$ ，则线电压

$\dot{U}_{AB} = 380\angle 30^\circ \text{ V}$ ，各电流为

$$\begin{aligned}\dot{I}_{AB} &= \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_1} = \frac{380\angle 30^\circ}{10\sqrt{3} + j10} \\ &= \frac{380\angle 30^\circ}{20\angle 30^\circ} = 19\angle 0^\circ \text{ A}\end{aligned}$$

$$\dot{I}_{A1} = \sqrt{3}\dot{I}_{AB}\angle -30^\circ = \sqrt{3} \times 19\angle 0^\circ \times \angle -30^\circ = 32.91\angle -30^\circ \text{ A}$$

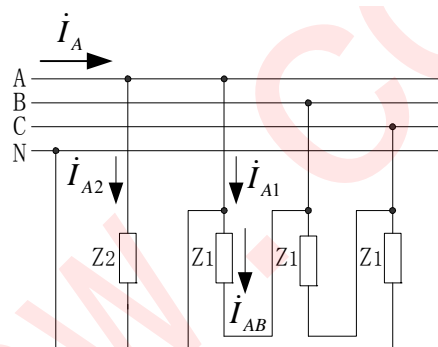
$$\dot{I}_{A2} = \frac{\dot{U}_A}{Z_2} = \frac{220\angle 0^\circ}{8 - j6} = \frac{220\angle 0^\circ}{10\angle -36.87^\circ} = 22\angle 36.87^\circ \text{ A}$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} = 32.91\angle -30^\circ + 22\angle 36.87^\circ \\ &= 28.5 - j16.46 + 17.6 + j13.2 = 46.1 - j3.26 = 46.22\angle -4.05^\circ \text{ A}\end{aligned}$$

③ 电路的有功功率  $P$  为

$$\begin{aligned}P &= P_{\text{单}} + P_{\text{三}} = U_A I_{A2} \cos \varphi_2 + \sqrt{3} U_l I_{A1} \cos \varphi_2 \\ &= 220 \times 22 \cos(-36.87^\circ) + \sqrt{3} \times 380 \times 32.91 \cos 30^\circ \\ &= 22.53 \text{ KW}\end{aligned}$$

无功功率  $Q$  为



题3-6图

$$Q = Q_{\text{单}} + Q_{\text{三}} = 220 \times 22 \sin(-36.87^\circ) + \sqrt{3} \times 380 \times 32.91 \sin 30^\circ$$

$$= 7.93 \text{ Kvar}$$

视在功率  $S$  为

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{22.53^2 + 7.93^2} = 23.89 \text{ KVA}$$

(注:  $S \neq UI$ )

电路的功率因数为

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{22.53}{23.89} = 0.94$$

3-7 有一三相对称负载, 每相电阻  $R = 8\Omega$ , 感抗  $X_L = 6\Omega$ 。设电源的线电压  $U_l = 380 \text{ V}$ 。

① 若将负载联成星形, 试求线电流、相电流及有功功率; ② 若将负载联成三角形, 试求线电流、相电流及有功功率; ③ 比较上述计算结果, 可以从中得出什么结论?

解: ① 若负载联成星形, 则负载的线电流与相电流相等, 为

$$I_l = I_p = \frac{U_p}{|Z|} = \frac{220}{\sqrt{8^2 + 6^2}} = 22 \text{ A}$$

有功功率为  $P_Y = \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi = \sqrt{3} \times 380 \times 22 \times \frac{8}{\sqrt{8^2 + 6^2}} = 11.58 \text{ KW}$

② 当负载联成三角形时, 负载的相电压等于电源的线电压, 则相电流为

$$I_p = \frac{U_l}{|Z|} = \frac{380}{\sqrt{8^2 + 6^2}} = 38 \text{ A}$$

那么线电流为  $I_l = \sqrt{3} I_p = \sqrt{3} \times 38 = 65.82 \text{ A}$

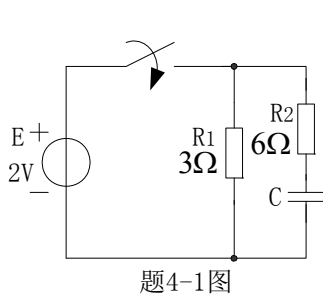
有功功率为  $P = \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi = \sqrt{3} \times 380 \times 65.82 \times \frac{8}{\sqrt{8^2 + 6^2}} = 34.66 \text{ KW}$

③ 负载联成三角形时的线电流及有功功率都是联成星形时的 3 倍, 而相电流为星形联结时的  $\sqrt{3}$  倍。故一台额定时星形联结的三相电动机, 错接成三角形时是会被烧毁的。

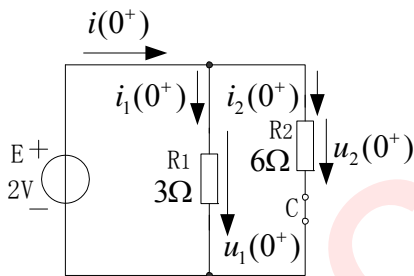
## 习题 4

4-1 在题 4-1 图所示的电路中，电容元件原未储能。① 求开关  $S$  闭合后瞬间各元件上的电压、电流的初始值；② 求开关  $S$  闭合后电路达到稳定状态各元件上的电压、电流的值。

解：① 由于开关闭合前，电容元件未储能，故由换路定律可知， $u_C(0^+) = u_C(0^-) = 0$ 。开关闭合后，电容元件相当短路，其等效电路如题 4-1 图 (a) 所示，则在  $t = 0^+$  时各电压、电流为



题4-1图



题4-1图(a)

$$i(0^+) = \frac{E}{R_1 // R_2} = \frac{12}{3 // 6} = 6 \text{ A}$$

$$i_1(0^+) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i(0^+) = \frac{6}{3 + 6} \times 6 = 4 \text{ A}$$

$$i_2(0^+) = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i(0^+) = \frac{3}{3 + 6} \times 6 = 2 \text{ A}$$

$$u_1(0^+) = u_2(0^+) = E = 12 \text{ V}$$

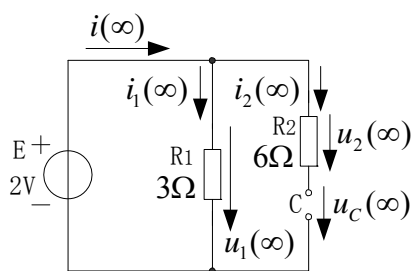
② 开关  $S$  闭合后电路达到稳定状态时，电容元件相当于断路，其等效电路如题 4-1 图 (b) 所示。则当  $S$  闭合后  $t = \infty$  时各电压、电流为

$$i(\infty) = i_1(\infty) = \frac{E}{R_1} = \frac{12}{3} = 4 \text{ A}$$

$$i_2(\infty) = 0$$

$$u_1(\infty) = E = 12 \text{ V}$$

$$u_2(\infty) = 0$$



题4-1图(b)

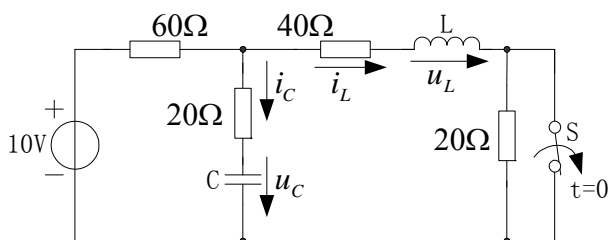
$$u_C(\infty) = E = 12 \text{ V}$$

4-2 求题 4-2 图所示电路中标明的各电流、电压的初始值及稳态值。

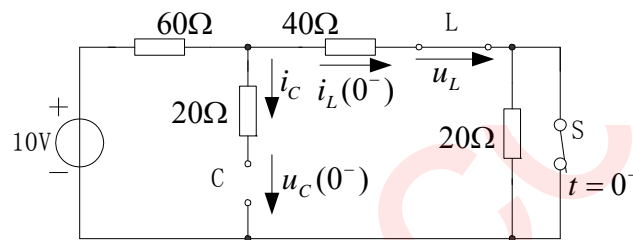
解: ① 求初始值:

在开关  $S$  断开之前电路处于稳定状态, 电容相当于断路, 电感相当于短路, 其等效电路如

题 4-2 图 (a) 所示。则  $t = 0^-$  时电容两端的电压及电感中的电流为



题4-2图



题4-2图 (a)

$$u_C(0^-) = \frac{40}{60+40} \times 10 = 4 \text{ V}$$

$$i_L(0^-) = \frac{10}{60+40} = \frac{1}{10} \text{ A}$$

由换路定律可知:  $u_C(0^+) = u_C(0^-) = 4 \text{ V}$ ,  $i_L(0^+) = i_L(0^-) = \frac{1}{10} \text{ A}$

那么开关  $S$  断开的瞬间即  $t = 0^+$  时, 电容元件相当于恒压源, 电感元件相当于恒流源, 其等效电路如题 4-2(b)所示。根据节点

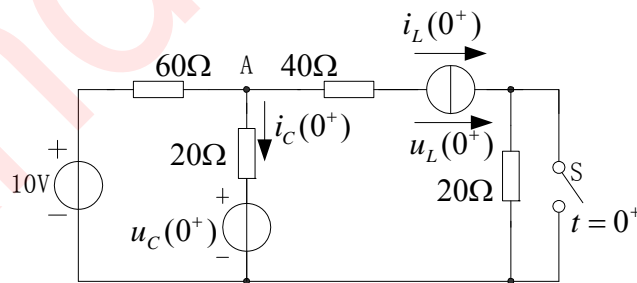
电压法, A 和 B 两点之间的电压为

$$u_{AB} = \frac{\frac{10}{60} + \frac{u_C(0^+)}{20} - i(0^+)}{\frac{1}{60} + \frac{1}{20}}$$

$$= \frac{\frac{10}{60} + \frac{5}{20} - \frac{1}{10}}{\frac{1}{60} + \frac{1}{20}} = 4 \text{ V}$$

则

$$i_C(0^+) = \frac{u_{AB} - u_C(0^+)}{20} = \frac{4-4}{20} = 0$$



B 题4-2图 (b)



$$u_L(0^+) = u_{AB} - i_L(0^+) \times (40 + 20) = 4 - \frac{1}{10} \times 60 = -2 \text{ V}$$

② 求稳态值:

在开关  $S$  断开后电路达到稳定状态时, 电容相当于断路, 电感相当于短路, 等效电路如题

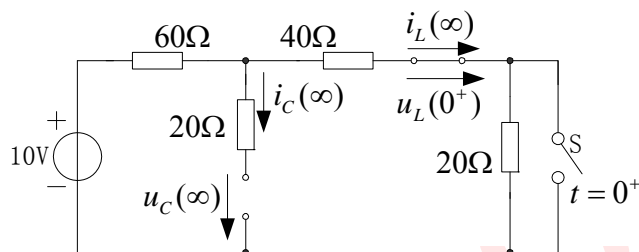
4-2 图(c)所示。则

$$u_C(\infty) = \frac{40 + 20}{60 + 40 + 20} \times 10 = 5 \text{ V}$$

$$i_C(\infty) = 0$$

$$u_L(\infty) = 0$$

$$i_L(\infty) = \frac{10}{60 + 40 + 20} = \frac{1}{12} \text{ A}$$



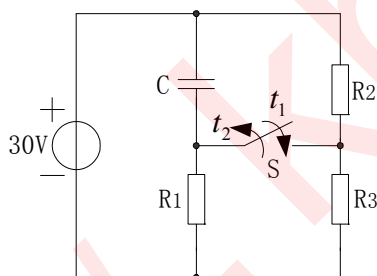
题4-2图 (c)

4-3 在题 4-3 图所示电路中, 已知  $R_1 = 10\Omega$ ,  $R_2 = 20\Omega$ ,  $R_3 = 10\Omega$ ,  $C = 0.25\mu\text{F}$ 。开关  $S$  在  $t_1$  时刻接通, 而在  $t_2$  时刻又断开。试分别求两次换路后的时间常数  $\tau_1$  和  $\tau_2$ 。

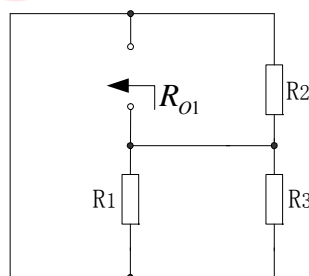
解: ① 当开关  $S$  在  $t_1$  时刻接通时, 其时间常数为

$$\tau_1 = C \cdot R_{O1}$$

其中  $R_{O1}$  为从电容元件  $C$  两端看进去的等效电源的内阻。由题 4-3 图 (a) 的电路可得



题4-3图

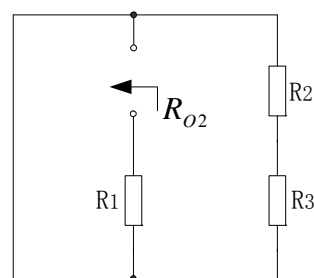


题4-3图 (a)

$$R_{O1} = R_1 // R_2 // R_3 = 10 // 20 // 10 = 4\Omega$$

故

$$\tau_1 = 0.25 \times 10^{-6} \times 4 = 1 \times 10^{-6} \text{ s}$$



题4-3图 (b)

② 当开关  $S$  在  $t_2$  时刻由接通到断开后，其时间常数为

$$\tau_2 = C \cdot R_{O2}$$

其中  $R_{O2}$  为由题 4-3 图 (b) 所求的等效电源的内阻，即

$$R_{O2} = R_1 = 10\Omega$$

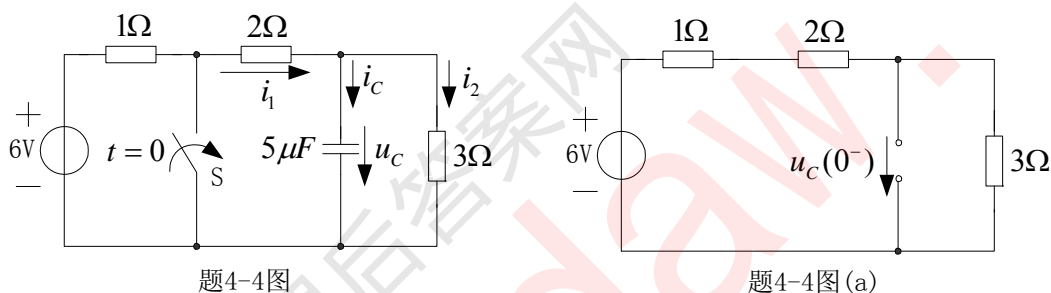
$$\tau_2 = 0.25 \times 10^{-6} \times 10 = 2.5 \times 10^{-6} s$$

4-4 如题 4-4 图所示电路，开关  $S$  闭合前电路已处于稳态。在  $t = 0$  时，将开关闭合。试求  $t \geq 0$

时电压  $u_C$  和电流  $i_C$ 、 $i_1$  及  $i_2$ 。

解：解一：三要素法

在开关闭合前，电路已处于稳态，电容相当于断路，等效电路如题 4-4 图 (a) 所示。

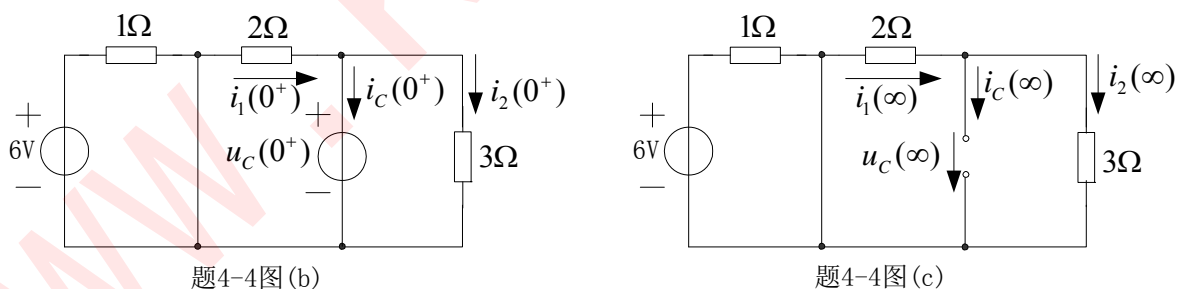


则

$$u_C(0^-) = \frac{3}{1+2+3} \times 6 = 3V$$

在开关闭合后，由换路定律得  $u_C(0^+) = u_C(0^-) = 3V$ 。在  $t = 0^+$  时，电容相当于恒压源，等

效电路如题 4-4(b)所示。则



$$i_C(0^+) = -\frac{u_C(0^+)}{2//3} = -\frac{3}{6/5} = -2.5A$$

$$i_1(0^+) = -\frac{u_C(0^+)}{2} = -\frac{3}{2} = -1.5 \text{ A}$$

$$i_2(0^+) = \frac{u_C}{3} = \frac{3}{3} = 1 \text{ A}$$

当开关闭合后达到稳定状态时，电容相当于断路，其等效电路如题 4-4(c)所示。则

$$u_C(\infty) = 0, \quad i_C(\infty) = 0, \quad i_1(\infty) = 0, \quad i_2(\infty) = 0$$

电路的时间常数为

$$\tau = C \cdot R_o$$

其中  $R_o$  为从电容元件两端看进去的无源二端网络的等效电阻。由题 4-4 图 (d) 的电路可得

$$R_o = 2 // 3 = 1.2 \Omega$$

$$\tau = 5 \times 10^{-6} \times 1.2 = 6 \times 10^{-6} \text{ s}$$

那么所求的各量为

$$\begin{aligned} u_C &= u_C(\infty) + [u_C(0^+) - u_C(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \\ &= 0 + [3 - 0]e^{-\frac{t}{6 \times 10^{-6}}} = 3e^{-1.67 \times 10^5 t} \text{ V} \end{aligned}$$

$$i_C = i_C(\infty) + [i_C(0^+) - i_C(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} = 0 + [-2.5 - 0]e^{-\frac{t}{6 \times 10^{-6}}} = -2.5e^{-1.67 \times 10^5 t} \text{ A}$$

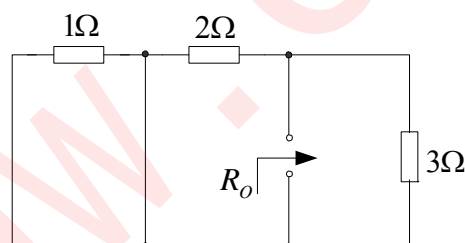
$$i_1 = i_1(\infty) + [i_1(0^+) - i_1(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} = 0 + [-1.5 - 0]e^{-\frac{t}{6 \times 10^{-6}}} = -1.5e^{-1.67 \times 10^5 t} \text{ A}$$

$$i_2 = i_2(\infty) + [i_2(0^+) - i_2(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} = 0 + [1 - 0]e^{-\frac{t}{6 \times 10^{-6}}} = e^{-1.67 \times 10^5 t} \text{ A}$$

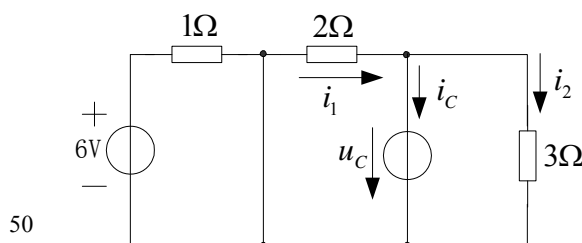
解二：根据三要素法求得  $u_C = 3e^{-1.67 \times 10^5 t} \text{ V}$ 。在开关闭合后，用恒压源代替电容，如题 4-4

图 (e)，其电压为  $u_C$ 。则

$$i_1 = -\frac{u_C}{2} = -\frac{3e^{-1.67 \times 10^5 t}}{2}$$



题4-4图 (d)



题4-4图 (e)

$$= -1.5e^{-1.67 \times 10^5} \text{ A}$$

(负号说明所设的正方向和实际方向相反)

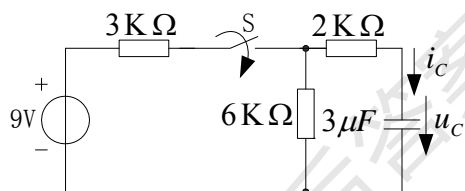
$$i_2 = \frac{u_C}{3} = \frac{3e^{-1.67 \times 10^5}}{3} = e^{-1.67 \times 10^5} \text{ A}$$

$$i_C = i_1 - i_2 = -1.5e^{-1.67 \times 10^5} - e^{-1.67 \times 10^5} = -2.5e^{-1.67 \times 10^5} \text{ A}$$

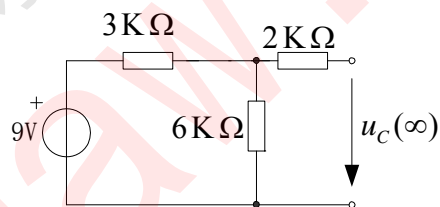
4-5 如题 4-5 图所示的  $RC$  电路, 电容元件无初始储能。①  $t = 0$  时闭合开关  $S$ , 试求  $t \geq 0$  后的  $u_C$  和电流  $i_C$ ; ② 求  $u_C$  增加到  $3 \text{ V}$  时所需的时间  $t$ ; ③ 当开关  $S$  闭合后电路达到稳定状态, 又将  $S$  断开, 试求  $S$  断开后的电容电压  $u_C$  和电流  $i_C$ 。

解: ① 在  $t = 0^-$  时, 电容元件无初始储能, 即  $u_C(0^-) = 0$ , 则根据换路定律

$$u_C(0^+) = u_C(0^-) = 0$$



题4-5图

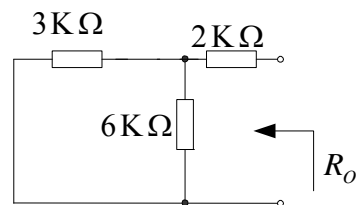


题4-5图 (a)

在开关  $S$  闭合后电路达到稳定状态, 电容  $C$  相当于断路, 等效电路如题 4-5 图 (a) 所示, 则

$$u_C(\infty) = \frac{6}{3+6} \times 9 = 6 \text{ V}$$

时间常数  $\tau$



题4-5图 (b)

$$\tau = R_o C = (3 // 6 + 2) \times 10^3 \times 3 \times 10^{-6} = 1.2 \times 10^{-2} \text{ s}$$

其中  $R_o$  为题 4-5 图 (b) 中等效电阻。

由三要素法可得

$$u_C = u_C(\infty) + [u_C(0^+) - u_C(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}}$$

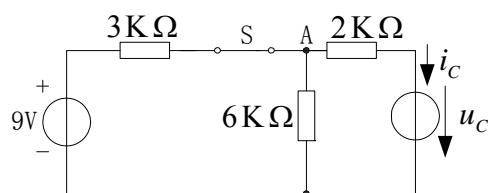
$$= 6 + [0 - 6]e^{-\frac{t}{1.2 \times 10^{-2}}}$$

$$= 6 - 6e^{-83.33t} \text{ V}$$

开关闭合后，把电容元件用恒压源代替，其电压为  $u_C$ ，如题 4-5 图 (c)。由节点电压法可得

$$u_{AB} = \frac{\frac{9}{3 \times 10^3} + \frac{u_C}{2 \times 10^3}}{\frac{1}{3 \times 10^3} + \frac{1}{6 \times 10^3} + \frac{1}{2 \times 10^3}}$$

$$= \frac{18 + 3(6 - 6e^{-83.33t})}{6} = 6 - 3e^{-83.3t} \text{ V}$$



题4-5图(c)

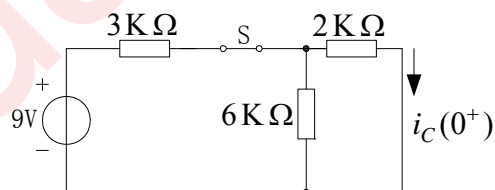
则电流  $i_C$  为

$$i_C = \frac{u_{AB} - u_C}{2 \times 10^3} = \frac{6 - 3e^{-83.3t} - 6 + 6e^{-83.3t}}{2 \times 10^3} = 1.5e^{-83.3t} \text{ mA}$$

注：  $i_C$  也可由三要素法求得，由于电容换路前无储能，故换路后即开关  $S$  闭合后电容相当于短路，如题 4-5 图 (d) 所示。则

$$i_C(0^+) = \frac{9}{(3 + 6 // 2) \times 10^3} \times \frac{6}{6 + 2}$$

$$= 1.5 \text{ A}$$



题4-5图(d)

在换路后  $t = \infty$  时，电容相当于断开，则  $i_C(\infty) = 0$ 。由三要素法可得

$$i_C = i_C(\infty) + [i_C(0^+) - i_C(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$= 0 + [1.5 - 0]e^{-\frac{t}{1.2 \times 10^{-2}}} = 1.5e^{-83.3t} \text{ mA}$$

② 将  $u_C(t) = 3 \text{ V}$  代入  $u_C$  函数中，即

$$3 = 6 - 6e^{-83.3t}$$

求得  $t = 8.32 \text{ ms}$

③ 当电路达到稳定状态时，断开开关  $S$ ，此时为电容的放电过程，其初始值为  $u_C(\infty)$ 。电路的时间常数为

$$\tau' = R'_O C = (6 + 2) \times 10^3 \times 3 \times 10^{-6} = 2.4 \times 10^{-2} \text{ s}$$

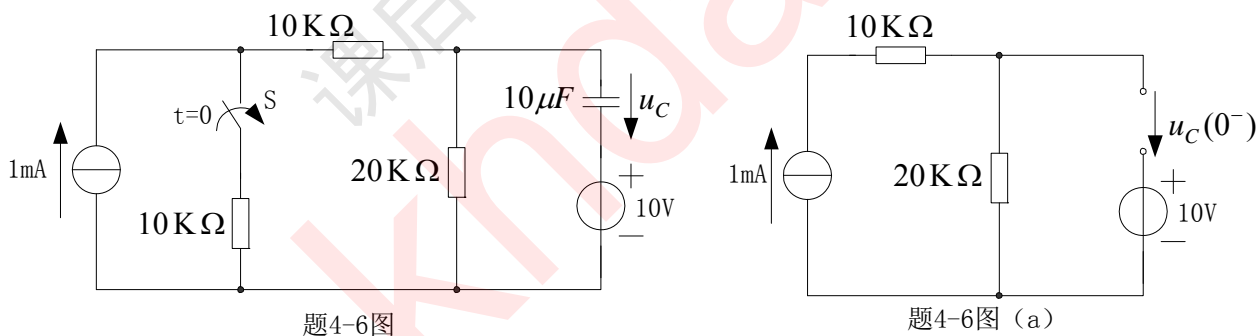
则  $u_C = u_C(\infty) e^{-\frac{t}{\tau'}} = 6 e^{-\frac{t}{2.4 \times 10^{-2}}} = 6 e^{-41.67t} \text{ V}$

$$i_C = -\frac{u_C}{(6 + 2) \times 10^3} = -0.75 e^{-41.67t} \text{ mA}$$

负号说明所设正方向和实际方向相反。

**4-6** 电路如题 4-6 图所示，若换路前电路已处于稳定状态，在  $t = 0$  时闭合开关  $S$ 。试求换路后电容两端的电压  $u_C$ ，并画出其随时间变化的曲线。

解：在  $t = 0^-$  时，电路已处于稳定状态，此时电容相当于开路。其等效电路如题 4-6 图 (a)



所示。则电容两端的电压为

$$u_C(0^-) = 1 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^3 - 10 = 10 \text{ V}$$

由换路定律得

$$u_C(0^+) = u_C(0^-) = 10 \text{ V}$$

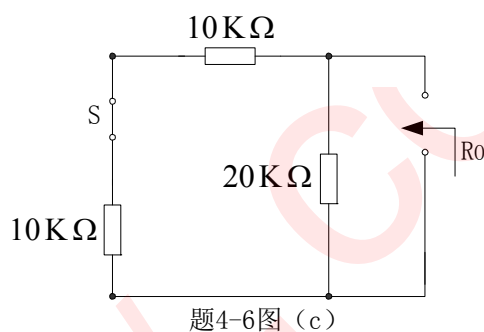
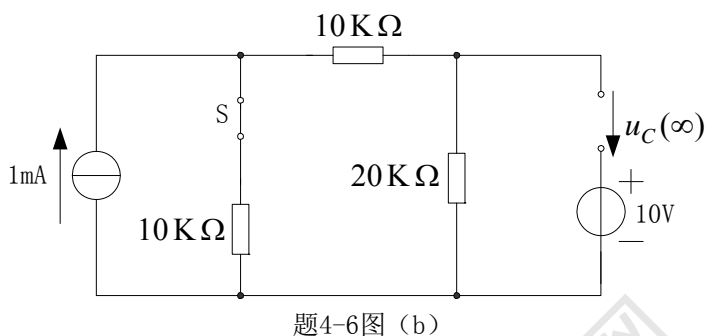
在  $t = \infty$  时, 开关  $S$  闭合, 电容相当于断路, 此时的等效电路如题 4-6 图 (b) 所示。则

$$u_C(\infty) = \frac{10}{10+10+20} \times 1 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^3 - 10 = -5 \text{ V}$$

电路的时间常数为

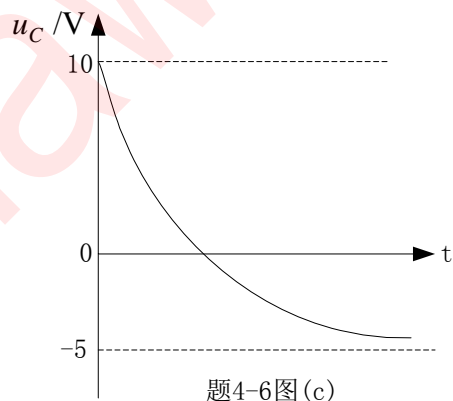
$$\tau = R_O C = (10+10) // 20 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-6} = 10^{-1} \text{ s}$$

其中  $R_O$  为题 4-6 图 (c) 所示电路的等效电阻。



则由三要素法可得

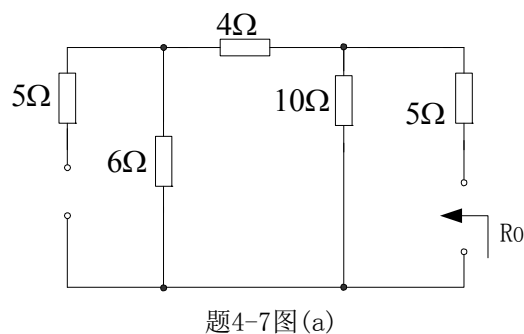
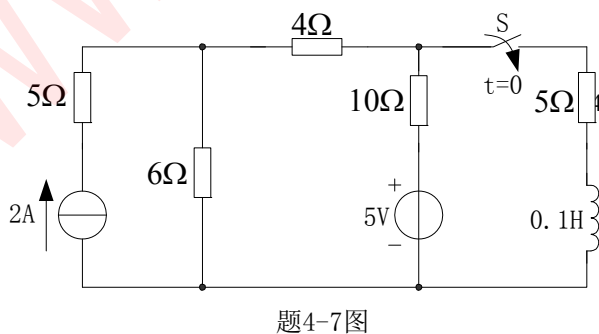
$$\begin{aligned} u_C &= u_C(\infty) + [u_C(0^+) - u_C(\infty)] e^{-\frac{t}{\tau}} \\ &= -5 + [10 - (-5)] e^{-\frac{t}{10^{-1}}} \\ &= -5 + 15 e^{-10t} \text{ V} \end{aligned}$$



$u_C$  随时间变化的曲线如题 4-6 图 (c) 所示。

4-7 试求题 4-7 图所示电路的时间常数  $\tau$ 。

解: 对于题 4-7 图所示电路, 当开关  $S$  闭合后将电感移去后, 从这两端看进去, 除去其中的电源 (恒压源短路, 恒流源开路), 其等效电路如题 4-7 图 (a) 所示, 则无源两端网络的等效电阻为





$$R_O = 5 + (6 + 4) // 10 = 10\Omega$$

故电路的时间常数为

$$\tau = \frac{L}{R_O} = \frac{0.1}{10} = 0.01s$$

4-8 在题 4-8 图所示的电路中, 开关  $S$  处于位置 “1” 时电路已处于稳定状态, 在  $t = 0$  时刻, 开关  $S$  由位置 “1” 转到位置 “2”。求  $t \geq 0$  时的电压  $u_R$  及  $u_L$ , 并画出他们随时间变化的波形图。

解: 在  $t = 0^-$  时, 电感元件相当于短路, 其等效电路如题 4-8 图 (a) 所示。则

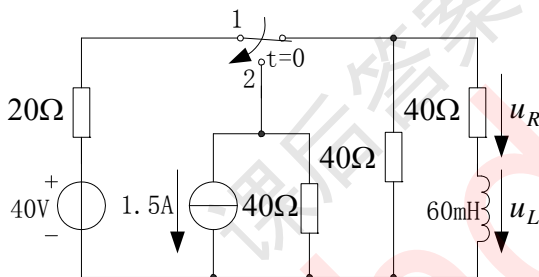


图4-8图

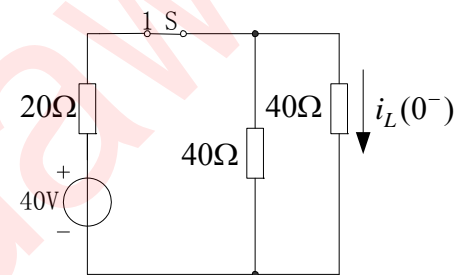


图4-8图 (a)

$$i_L(0^-) = \frac{40}{20 + 40 // 40} \times \frac{40}{40 + 40} = 0.5 \text{ A}$$

由换路定律可得,  $i_L(0^+) = i_L(0^-) = 0.5 \text{ A}$ , 在  $t = 0^+$  时, 电感元件相当于恒流源, 如题 4-8 图 (b) 所示。则

$$u_R(0^+) = i_L(0^+) \times 40 = 0.5 \times 40 = 20 \text{ V}$$

$$u_L(0^+) = -i_L(0^+) \times (40 + 40) = -0.5 \times 80 = -40 \text{ V}$$

此电路为电感的放电过程, 故在  $t = \infty$  时, 电感相当于短路,  $i_L(\infty) = 0$ , 则

$u_R(\infty) = u_L(\infty) = 0$ 。电路的时间常数为



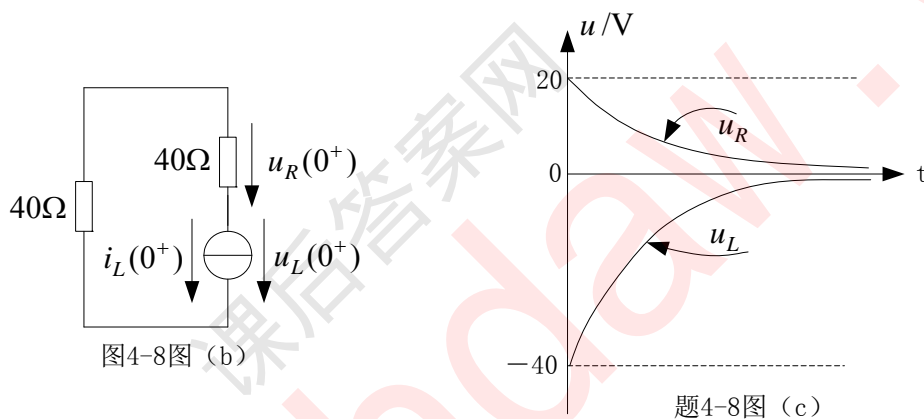
$$\tau = \frac{L}{R_O} = \frac{60 \times 10^{-3}}{40 + 40} = \frac{3}{4} \times 10^{-3} = 0.75 \times 10^{-3} \text{ s}$$

由三要素法可得

$$\begin{aligned} u_R &= u_R(\infty) + [u_R(0^+) - u_R(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \\ &= 0 + [20 - 0]e^{-\frac{t}{0.75 \times 10^{-3}}} = 20e^{-1.33 \times 10^3 t} \text{ V} \\ u_L &= u_L(\infty) + [u_L(0^+) - u_L(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \\ &= 0 + [-40 - 0]e^{-\frac{t}{0.75 \times 10^{-3}}} = -40e^{-1.33 \times 10^3 t} \text{ V} \end{aligned}$$

上式的负号说明  $u_L$  所设的正方向与实际方向相反。电压  $u_R$  和  $u_L$  随时间变化的曲线如题 4-8

图 (c) 所示。



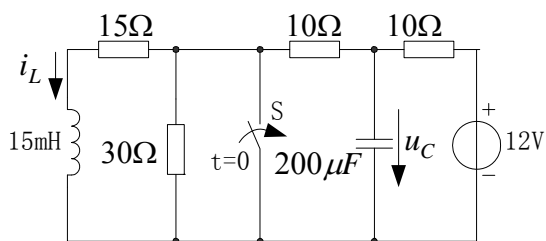
**4-9** 题 4-9 图所示的电路在开关  $S$  闭合前电路已处于稳态。试求开关  $S$  闭合后电感中的电流  $i_L$  及电容两端的电压  $u_C$ ，并画出它们随时间变化的曲线。

解：在  $t = 0^-$  时，开关  $S$  断开，电路处于稳定状态，此时电容相当于开路，电感相当于短路，其等效电路如题 4-9 图 (a) 所示。 则

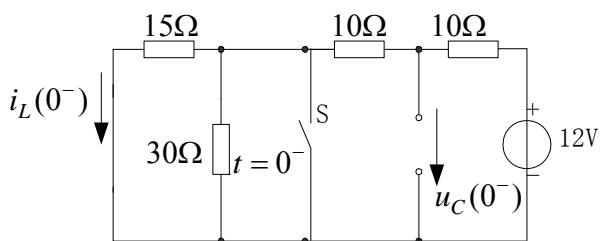
$$i_L(0^-) = \frac{12}{10 + 10 + 15 // 30} \times \frac{30}{15 + 30} = \frac{4}{15} \text{ A}$$

$$u_C = \frac{10 + 15 // 30}{15 // 30 + 10 + 10} \times 12 = 8 \text{ V}$$

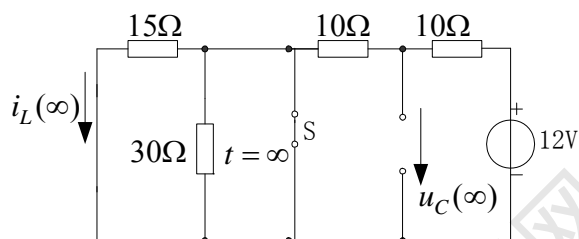
在开关  $S$  闭合后  $t = \infty$  时, 电容也是相当于断开, 电感相当于短路, 其等效电路如题 4-9 图 (b) 所示, 则



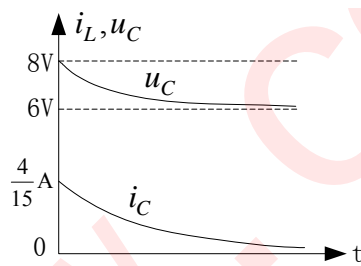
题4-9图



题4-9图 (a)



题4-9图 (b)



题4-9图 (c)

$$i_L(\infty) = 0$$

$$u_C(\infty) = \frac{10}{10+10} \times 12 = 6\text{V}$$

对于电感元件, 其时间常数为

$$\tau_L = \frac{L}{R_{OL}} = \frac{15 \times 10^{-3}}{15} = 10^{-3} \text{ s}$$

对于电容元件, 其时间常数为

$$\tau_C = R_{OC} C = 10 // 10 \times 200 \times 10^{-6} = 10^{-3} \text{ s}$$

则由暂态电路的三要素法可得

$$i_L = i_L(\infty) + [i_L(0^+) - i_L(\infty)] e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$= 0 + \left[ \frac{4}{15} - 0 \right] e^{-\frac{t}{10^{-3}}} = \frac{4}{15} e^{-10^3 t} \text{ A}$$

$$\begin{aligned} u_C &= u_C(\infty) + [u_C(0^+) - u_C(\infty)] e^{-\frac{t}{\tau}} \\ &= 6 + [8 - 6] e^{-\frac{t}{10^{-3}}} = 6 + 2 e^{-10^3 t} \text{ V} \end{aligned}$$

## 习题 5

5-1 有一台额定容量为  $50 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 、额定电压为  $3300 \text{ V} / 220 \text{ V}$  的变压器。原绕组为  $6000$  匝。

试求：① 低压绕组的匝数；② 原边与副边的额定电流；③ 当原边保持额定电压不变、副边达到额定电流、输出功率  $39 \text{ kW}$ 、功率因数  $\cos \varphi = 0.8$  时的副边端电压  $U_2$ 。

解：① 根据变压器的额定电压可知  $\frac{U_{1N}}{U_{2N}} = \frac{N_1}{N_2}$ ，则低压绕组的匝数为

$$N_2 = \frac{U_{2N} \cdot N_1}{U_{1N}} = \frac{220 \times 6000}{3300} = 400 \text{ 匝}$$

② 由  $S_N = U_{2N} \cdot I_{2N} \approx U_{1N} \cdot I_{1N}$  可得

$$I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} = \frac{50 \times 10^3}{3300} = 15.15 \text{ A}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} = \frac{50 \times 10^3}{220} = 227.27 \text{ A}$$

③ 由  $P = U_2 I_2 \cos \varphi$  得

$$U_2 = \frac{P_2}{I_{2N} \cos \varphi} = \frac{39 \times 10^3}{227.27 \times 0.8} = 214.5 \text{ V}$$

5-2 有一台额定容量为  $2 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 、电压为  $380 \text{ V}/110 \text{ V}$  的单相变压器。试求：① 原、副边的额定电流；② 若负载为  $110 \text{ V}$ 、 $15 \text{ W}$  的灯泡时，问在满载运行时可接多少盏？③ 若改接  $110 \text{ V}$ 、 $15 \text{ W}$ 、 $\cos \varphi = 0.8$  的小型电动机，问满载运行时可接几台？

解：① 由  $S_N = U_{2N} \cdot I_{2N} \approx U_{1N} \cdot I_{1N}$  得

$$I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} = \frac{2 \times 10^3}{380} = 5.26 \text{ A}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} = \frac{2 \times 10^3}{110} = 18.18 \text{ A}$$

② 每盏灯泡的额定电流为

$$I_L = \frac{P_L}{U_L} = \frac{15}{110} = 0.136 \text{ A}$$

则在满载运行时可带的灯泡数为

$$N = \frac{I_{2N}}{I_L} = \frac{18.18}{0.136} = 133 \text{ 盏}$$

③ 若为小型电动机，其每台额定电流为

$$I_L = \frac{P_L}{U_L \cos \varphi} = \frac{15}{110 \times 0.8} = 0.17 \text{ A}$$

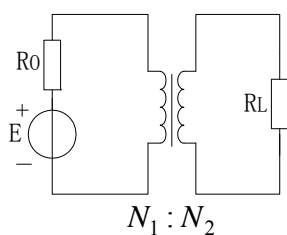
则在满载运行时，可带电机的台数为

$$N = \frac{I_{2N}}{I_L} = \frac{18.18}{0.17} = 106 \text{ 台}$$

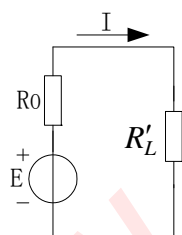
5-3 电阻为  $8\Omega$  的扬声器接在某变压器的副边，其原边与电动势为  $E = 10\text{V}$ 、内阻为  $R_O = 200\Omega$  的信号源相接。如题 5-3 图所示。变压器的原、副绕组的匝数比为  $500/100$ 。试求：① 扬声器等效到原边的电阻  $R'_L$  和它所获得的功率；② 扬声器直接接到信号源所获得的功率；③ 若副边改接  $16\Omega$  的扬声器，为使扬声器获得最大功率，则变压器的变比应是多少？

解：① 扬声器等效到原边的电阻为

$$R'_L = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_L = \left(\frac{500}{100}\right)^2 \times 8 = 200\Omega$$



题5-3图



题5-3图 (a)

则负载等效到原边的电路如题 5-3 图 (a) 所示，其所获得的功率为

$$P = I^2 R'_L = \left(\frac{E}{R_O + R'_L}\right)^2 R'_L = \left(\frac{10}{200 + 200}\right)^2 \times 200 = 0.125\text{ W}$$

② 若扬声器直接接到信号源，其所获得的功率为

$$P = I^2 R_L = \left(\frac{E}{R_O + R_L}\right)^2 R_L = \left(\frac{10}{200 + 8}\right)^2 \times 8 = 0.0185\text{ W}$$

③ 若使负载获得最大功率，这应使等效到原边的电阻与电源的内阻相等，即  $R'_L = R_O$ ，则当改接  $16\Omega$  的扬声器时，应有

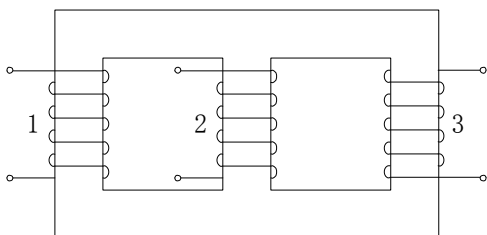
$$R'_L = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_L = R_O = 200$$

故此时变压器的匝比应为

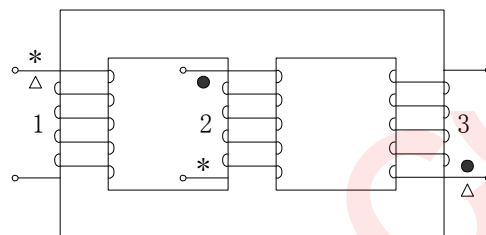
$$k = N_1 : N_2 = \sqrt{\frac{200}{R_L}} = \sqrt{\frac{200}{16}} = 3.54$$

5-4 某变压器 3 个线圈的绕向如题 5-4 图所示，试分别用 3 种记号标出线圈 1 和 2、2 和 3 及 3 和 1 的同名端。

解：线圈 1 和 2 的同名端用 “\*” 表示，线圈 2 和 3 的同名端用 “。” 表示，线圈 3 和 1 的同名端用 “△”，如题 5-4 图（a）所示。



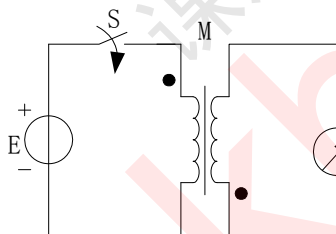
题5-4图



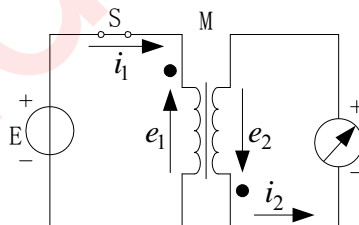
题5-4图(a)

5-5 在题 5-5 图中，试画出开关  $S$  闭合瞬间，原、副边回路中感应电动势的极性及电流的实际方向。副边直流毫安表将如何偏转？

解：开关  $S$  闭合瞬间，原、副边回路中感应电动势的极性及电流的实际方向如题 5-5 图（a）所示，毫安表将反向偏转。



题5-5图

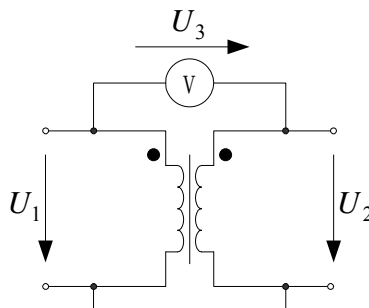


题5-5图(a)

5-6 电路如题 5-6 图所示，今用交流表测得  $U_1 = 220\text{ V}$ ， $U_2 = 36\text{ V}$ ，则  $U_3$  为多少？ $\dot{U}_3$  和  $\dot{U}_2$  的相位关系如何？

解：根据题 5-6 图所标的同名端可得，电压  $U_3$  为

$$U_3 = U_1 - U_2 = 220 - 36 = 184\text{ V}$$

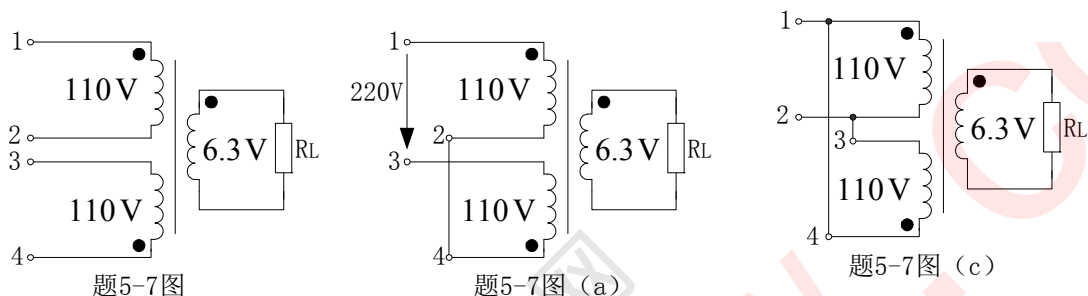


题5-6图

$\dot{U}_3$  和  $\dot{U}_2$  为同相位。

5-7 题 5-7 图所示的变压器有额定电压均为 110 V 的两个绕组，其同名端如图所示。副绕组的额定电压为 6.3 V。① 若电源电压为 220 V，试说明原绕组应如何连接？② 若电源电压是 110 V，再说明原绕组的接法；③ 设负载不变，在上述两种情况下，副绕组的端电压和电流有无不同？每个绕组的电流有无不同？

解：① 若电源电压为 220 V，则两个原边绕组应串联相接。如题 5-7 图 (a) 所示。



② 若电源电压是 110 V，则两个原边绕组应并联相接。如题 5-7 图 (b) 所示。

③ 若负载不变，在上述两种情况下，副绕组的端电压和电流不变，每个绕组的电流也不变。

## 习题 6

6-1 三相异步电动机的极数  $p = 2$ ，额定转差率  $s_N = 0.067$ 。若电源频率为  $f_1 = 50 \text{ Hz}$ ，求该异步电动机的同步转速  $n_1$  和额定转速  $n_N$ 。

解：由旋转磁场的转速即同步转速的公式  $n_1 = \frac{60f_1}{p}$  可得

$$n_1 = \frac{60 \times 50}{2} = 1500 \text{ r/min}$$

由于转差率为  $s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1}$ ，则

$$n_N = (1 - s_N)n_1 = (1 - 0.067) \times 1500 = 1400 \text{ r/min}$$

6-2 已知一台三相异步电动机的转速  $n_N = 960 \text{ r/min}$ ，电源频率  $f = 50 \text{ Hz}$ ，转子电阻

$R_2 = 0.03\Omega$ ，感抗  $X_{20} = 0.16\Omega$ ， $E_{20} = 25\text{V}$ 。试求额定转速下转子电路的电动势  $E_2$ 、转子电流  $I_2$  及功率因数  $\cos\varphi_2$ 。

解：由于同步转速与异步转速即电机的额定转速相近，且电源的频率为工频，故电机的同步转速为  $n_1 = 1000\text{r/min}$ ，极数为  $p = 3$ ，其转差率为

$$s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1000 - 960}{1000} = 0.04$$

故在额定转速下转子电路的各参数为

$$E_2 = s_N E_{20} = 0.04 \times 25 = 1\text{V}$$

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + (s_N X_{20})^2}} = \frac{1}{\sqrt{0.03^2 + (0.04 \times 0.16)^2}} = 32.6\text{A}$$

$$\cos\varphi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (s_N X_{20})^2}} = \frac{0.03}{\sqrt{0.03^2 + (0.04 \times 0.16)^2}} = 0.978$$

**6-3 三相异步电动机的额定参数如下：**型号：JW 092-2， $U_N = 380\text{V}$ ，Y 形接法，

$P_N = 600\text{W}$ ， $I_N = 1.39\text{A}$ ， $\cos\varphi_N = 0.8$ ， $n_N = 2880\text{r/min}$ 。若电源线电压为  $U_1 = 220\text{V}$ ，

试问应采用何种接法接入电源才能正常工作？并求此情况下电动机的额定电流  $I_N$ 、额定转矩  $T_N$ 、额定转差率  $s_N$  及额定效率  $\eta_N$ 。

解：由于电动机的额定电压为  $U_N = 380\text{V}$ ，Y 形接法，故每相绕组的额定相电压为

$$U_{PN} = \frac{U_N}{\sqrt{3}} = 220\text{V}，\text{那么若电源线电压 } U_1 = 220\text{V} \text{ 时，电动机的定子绕组应该三角形联结，}$$

以保持绕组的额定相电压为  $220\text{V}$ 。由于绕组的相电压没变，故电动机的输入、输出功率不变，功率因数不变，由

$$P_1 = \sqrt{3}U_N I_N \cos\varphi_N = \sqrt{3} \times 380 \times 1.39 \times 0.8 = 731.87\text{W}$$



得 
$$I_{N\Delta} = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_1 \cos \varphi} = \frac{731.87}{\sqrt{3} \times 220 \times 0.8} = 2.4 \text{ A}$$

$$T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{0.6}{2880} = 1.99 \text{ N}\cdot\text{m}$$

由型号的最末位数字“2”可知，此电动机的极数为  $p=1$ ，故  $n_1=3000 \text{ r/min}$ ，则额定转差率为

$$s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{3000 - 2880}{3000} = 0.04$$

额定效率为

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_1} = \frac{600}{731.87} = 0.82$$

**6-4** 一台三相异步电动机。额定转矩  $T_N = 260 \text{ N}\cdot\text{m}$ ，额定电流  $I_N = 75 \text{ A}$ ，额定电压

$U_N = 380 \text{ V}$ ， $\Delta$ 形接法， $\frac{T_{st}}{T_N} = 1.2$ ， $\frac{I_{st}}{I_N} = 6.5$ 。计算：① 若负载的起动转矩  $T_2 = 275 \text{ N}\cdot\text{m}$ ，

在  $U = U_N$  和  $U = 0.9U_N$  两种情况下，电动机能否直接起动？② 求采用 Y- $\Delta$  换接起动时的起动转矩和起动电流；③ 当负载转矩是额定负载转矩的 30% 和 70% 时，能否用 Y- $\Delta$  换接起动？

解：① 在  $U = U_N$  时，电动机的起动转矩为

$$T_{st} = 1.2T_N = 1.2 \times 260 = 312 \text{ N}\cdot\text{m} > T_2 = 275 \text{ N}\cdot\text{m}$$

故此时电动机可以直接起动。

由于电动机的转矩为  $T = K \frac{sR_2 U_1^2}{R_2^2 + X_2^2}$ ，即和绕组的所加电压平方成正比，故在

$U = 0.9U_N$  时，电动机的起动转矩为

$$T'_{st} = 0.9^2 T_{st} = 0.81 \times 312 = 252.72 \text{ N}\cdot\text{m} < T_2 = 275 \text{ N}\cdot\text{m}$$

故此时电动机不能直接起动。

② 若采用 Y-Δ 换接起动，则起动转矩是直接起动时的  $\frac{1}{3}$ ，即

$$T_{stY} = \frac{1}{3} T_{st} = \frac{1}{3} \times 312 = 104 \text{ N} \cdot \text{m}$$

直接起动时的起动电流为

$$I_{st} = 6.5 I_N = 6.5 \times 75 = 487.5 \text{ A}$$

采用 Y-Δ 换接起动时，起动电流也是直接起动时的  $\frac{1}{3}$ ，即

$$I_{stY} = \frac{1}{3} I_{st} = \frac{1}{3} \times 487.5 = 162.5 \text{ A}$$

③ 当负载转矩是额定转矩的 30% 时，即  $T_2 = 30\% T_N = 30\% \times 260 = 78 \text{ N} \cdot \text{m} < T_{stY}$ ，故可

以用 Y-Δ 换接起动；当负载转矩是额定转矩的 70% 时，即  $T_2 = 70\% T_N = 70\% \times 260$

$= 182 \text{ N} \cdot \text{m} > T_{stY}$ ，故不能用 Y-Δ 换接起动。

6-5 一台鼠笼式三相异步电动机， $\frac{T_{st}}{T_N} = 1.7$ ， $\frac{I_{st}}{I_N} = 6$ ，现负载转矩为  $T_2 = \frac{T_N}{2}$ ，并采用自耦

降压起动，若使起动时电网电流下降为直接起动时的 0.44 倍，试求自耦变压器的变比，并且说明在此负载转矩下电动机能否起动？

解：由于自耦降压起动电流与直接起动电流之比为  $\frac{1}{k^2}$ ，即

$$\frac{I_{1st}}{I_{st}} = \frac{1}{k^2} = 0.44$$

则

$$k = \sqrt{\frac{1}{0.44}} = 1.51$$

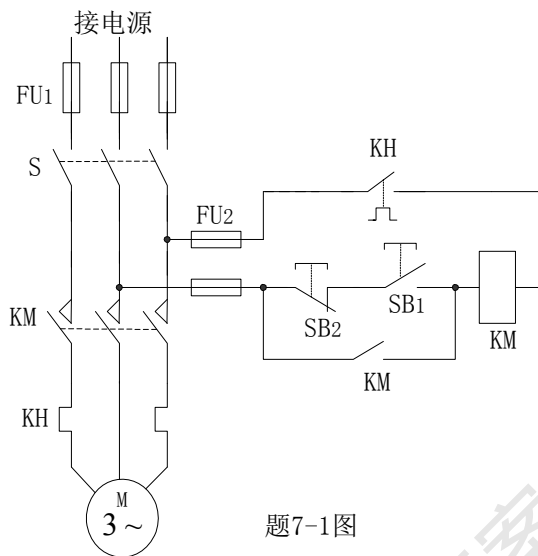
直接起动的起动转矩为  $T_{st} = 1.7 T_N$ ，自耦降压起动时的起动转矩是直接起动的  $\frac{1}{k^2}$ ，即

$T_{st}' = \frac{1}{k^2} T_{st} = 0.44 \times 1.7 T_N = 0.748 T_N > T_2 = \frac{T_N}{2}$ ，故在情况下电动机可以起动。

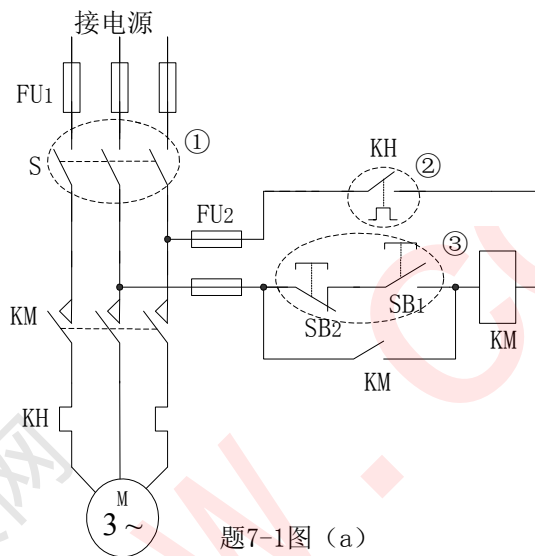
## 习题 7

7-1 题 7-1 图为电动机起动和停止控制电路，试指出其错误所在，并画出正确的电路。

解：错误有三个，如题 7-1 图（a）所示：① 主电路三相开关  $S$  应在熔断器  $FU_1$  的上面；



题7-1图

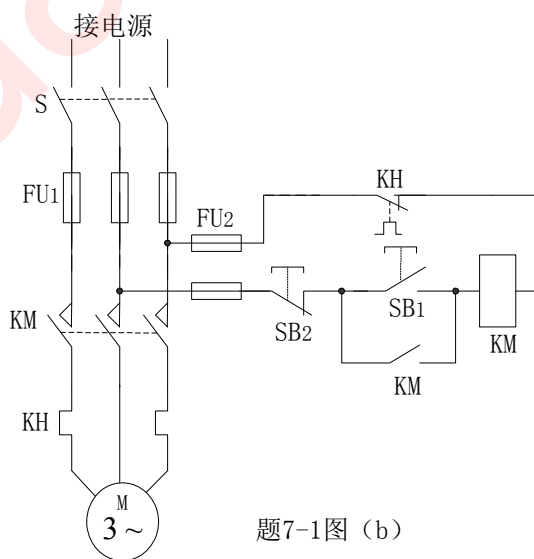


题7-1图 (a)

② 热继电器的触点是常闭触点；③ 停止按钮

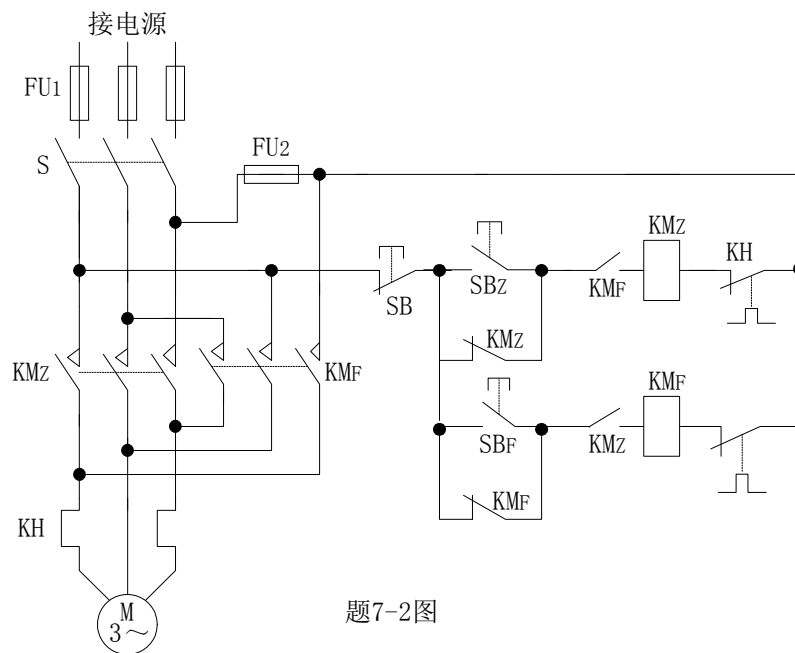
$SB_2$  应在自锁触点的外面。

正确的电路如题 7-1 图（b）所示。



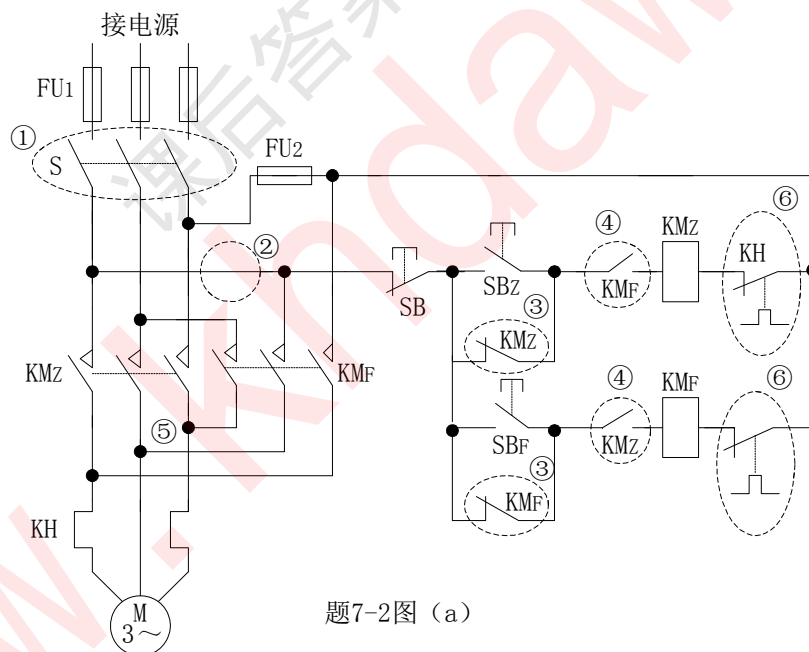
题7-1图 (b)

7-2 题 7-2 图所示为三相异步电动机正反转控制电路，试指出其错误所在，并画出正确的电路图。



题7-2图

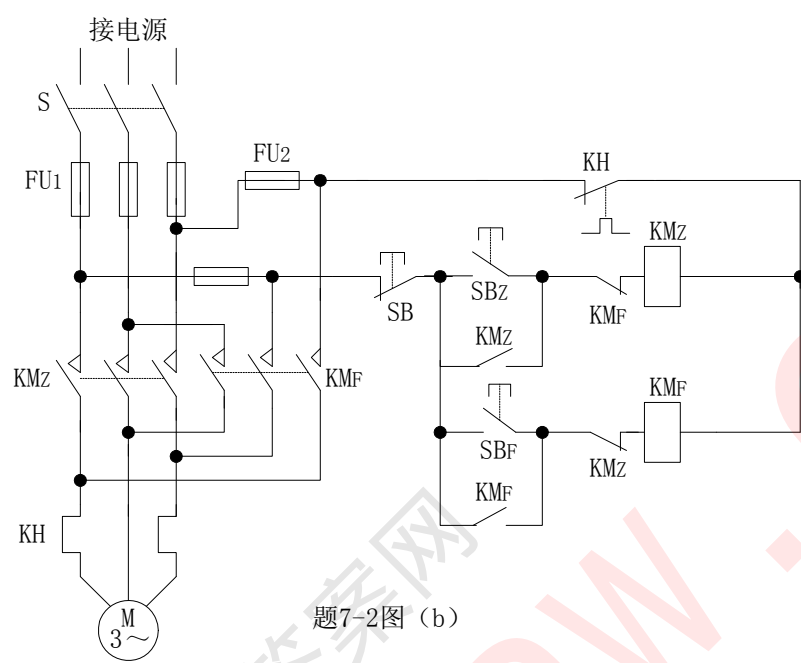
解：错误有六处：① 开关S应画在熔断器的上面；② 控制电路的两根火线均应有熔断器；



题7-2图 (a)

③ 自锁触点应为常开触点；④ 互锁触点应为常闭触点；⑤ 反转时电源对调两根相线，若三

根都调换，则相序不变，不能实现反转；⑥ 热继电器只有一个常闭触点，应接到控制电路的公共线上。正确的接线如题 7-2 图（b）所示。

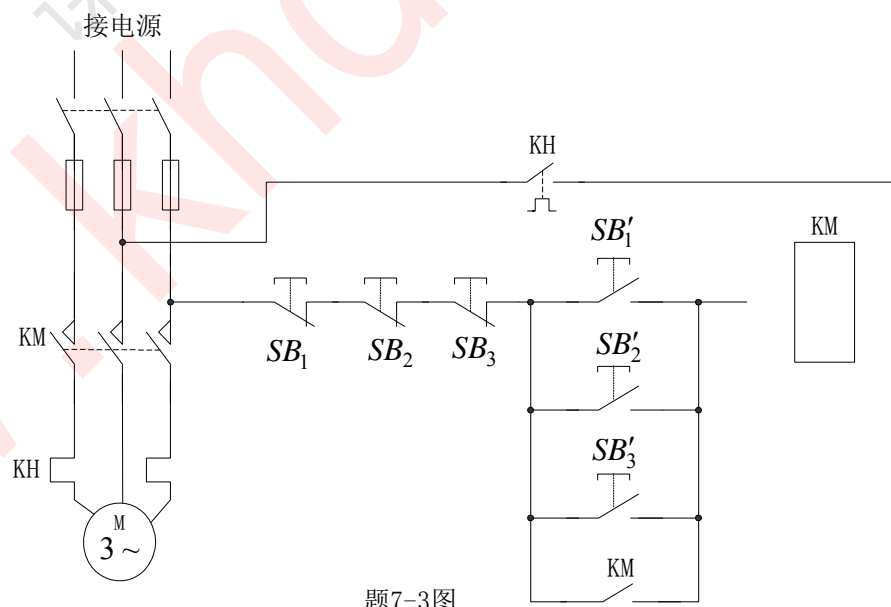


题7-2图（b）

7-3 试设计在三处独立控制一台电动机的电路图。

解：控制电路图如题 7-3 图所示。

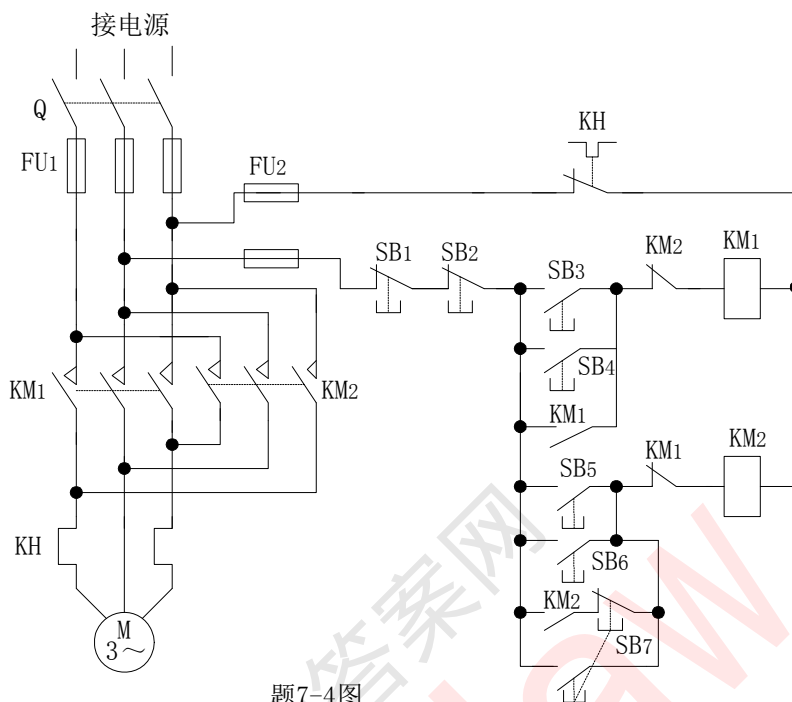
$SB_1$  和  $SB'_1$  为一处控制电机起停按钮； $SB_2$  和  $SB'_2$  为第二处的控制电机起停按钮； $SB_3$  和  $SB'_3$  为第三处控制电机起



题7-3图

停按钮。

7-4 试分析题 7-4 图所示的控制电路。① 说明此电路具有什么功能？② 具有哪些保护环节？用哪些元件实现？③ 简要列写此电路的工作过程。



题7-4图

解：①此电路为两地控制一台电机的停止、正反转起动及点动。其中  $SB_1$  和  $SB_2$  是两地控制一台电机的停止； $SB_3$ 、 $SB_4$  是两处控制电动机的正转， $SB_5$ 、 $SB_6$  是另两处控制电机的反转； $SB_7$  是控制电机的点动。

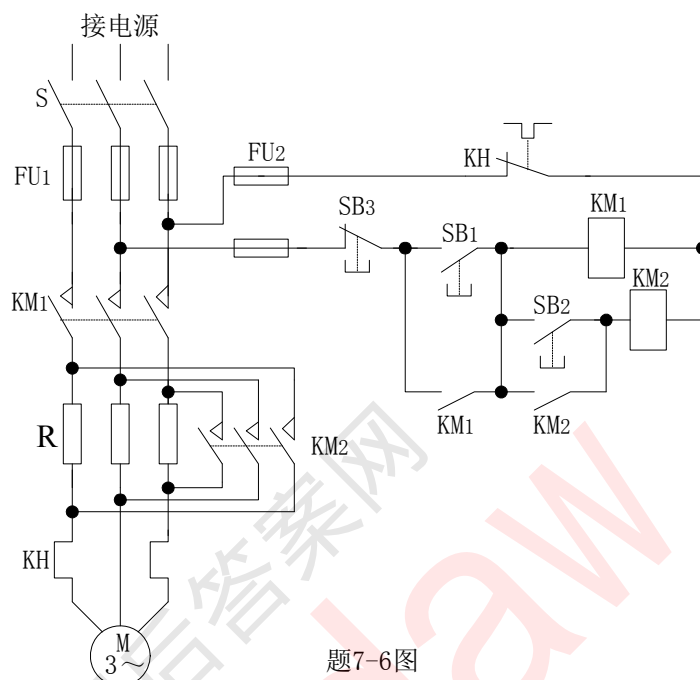
② 此电路具有过流、零压（失压）和短路保护。过流保护是由热继电器  $KH$  实现，零压保护是由交流接触器  $KM$  实现，短路保护是由熔断器  $FU_1$  和  $FU_2$  实现。

③ 先合上开关  $Q$ ，当按下按钮  $SB_3$ （或  $SB_4$ ）时，交流接触器  $KM_1$  线圈通电，其主触点和常开辅助触点闭合，辅助常闭触点断开，电动机正转起动。当按下  $SB_1$ （或  $SB_2$ ），交流接触器  $KM_1$  线圈断电，电机停转。当按下按钮  $SB_5$ （或  $SB_6$ ）时，交流接触器  $KM_2$  线圈通电，其主触点和辅助常开触点闭合，其辅助的常闭触点断开，电动机反转起动。当按下按钮  $SB_7$  时，



→接入降压起动电阻  $R$  →电机降压起动  $\xrightarrow{\text{达到额定转速}}$  →按下按钮  $SB_2$  →  $KM_2$  线圈通电

$\left\{ \begin{array}{l} KM_2 \text{主触点闭合} \rightarrow \text{将降压起动电阻 } R \text{短接} \\ KM_2 \text{辅助常开触点闭合} \end{array} \right. \rightarrow \text{电机在额定转速下运行。}$



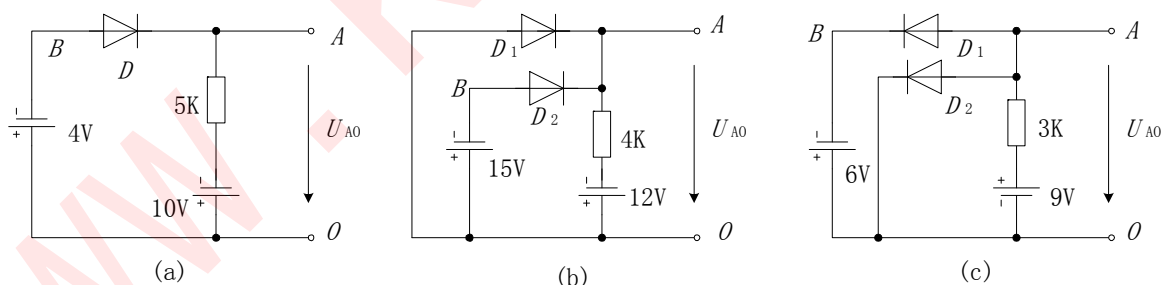
题7-6图

电子

技术

## 习题 8

8-1 试判断题 8-1 图中二极管是导通还是截止，并求  $U_{AO}$  (设二极管为理想器件)。



题8-1图

解：分析此类包含有二极管的电路时，应首先断开二极管，再分别求出其阳极、阴极电位，



从而判断二极管的导通截止状态，在此基础上再求解电路。

(a) 先将二极管  $D$  断开，设  $O$  点电位为  $0$ ，则有：

$$U_B = -4V \quad U_A = -10V$$

$$\text{二极管两端的电压：} U_D = U_{BA} = U_B - U_A = 6V > 0$$

所以二极管导通，其实际的端电压为  $U_D = 0$

$$\text{故：} U_{AO} = U_B = -4V$$

(b) 先将二极管  $D_1$ 、 $D_2$  断开，设  $O$  点电位为  $0$ ，则有：

$$U_B = -15V \quad U_A = -12V$$

$$\text{二极管两端的电压：} U_{D1} = U_{OA} = U_O - U_A = 12V > 0$$

$$U_{D2} = U_{BA} = U_B - U_A = -3V < 0$$

所以二极管  $D_1$  导通， $D_2$  截止。其实际的端电压为  $U_{D1} = 0$

$$\text{故：} U_{AO} = U_{D1} = 0V$$

(c) 先将二极管  $D_1$ 、 $D_2$  断开，设  $O$  点电位为  $0$ ，则有：

$$U_B = -6V \quad U_A = -9V$$

$$\text{二极管两端的电压：} U_{D1} = U_{AB} = U_A - U_B = -3V < 0$$

$$U_{D2} = U_{AO} = U_A - U_O = -9V < 0$$

所以二极管  $D_1$ 、 $D_2$  截止。

$$\text{故：} U_{AO} = U_A = -9V$$

8-2 在题 8-2 图中，求出在下列几种情况下输出端  $F$  的电位(设二极管为理想器件)：

(1)  $U_A = U_B = 0$  ; (2)  $U_A = 3V$ 、 $U_B = 0$  ; (3)  $U_A = U_B = 3V$ 。

解：类似于题 8-1，除了要先断开二极管，求阳极、阴极电位外，此类二极管共阴、共阳电路的题，还需要用到优先导通的概念，即阳极和阴极之间电位差大的二极管优先导通。

先断开二极管  $D_A$ 、 $D_B$ ：

$$(1) \quad U_F = 12V, \quad U_{DA} = U_F - U_A = 12V, \quad U_{DB} = U_F - U_B = 12V$$

两二极管承受相同的正向电压，故两二极管均导通。则有：

$$U_F = U_A = U_B = 0V$$

$$(2) \quad U_F = 12V, \quad U_{DA} = U_F - U_A = 9V, \quad U_{DB} = U_F - U_B = 12V$$

两二极管承受不同的正向电压，承受正向电压大的二极管优先导通。即：

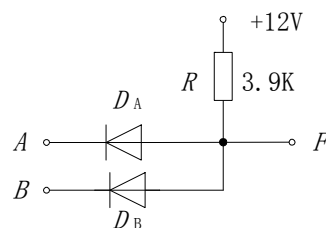
$D_B$  优先导通，使：

$$U_F = U_B = 0V$$

则使：

$$U_{DA} = -3V$$

则二极管  $D_A$  不导通。  $U_F = U_B = 0V$



图题8-2

$$(3) \quad U_F = 12V, \quad U_{DA} = U_F - U_A = 9V,$$

$$U_{DB} = U_F - U_B = 9V$$

两二极管承受相同的正向电压，故两二极管均导通。

$$U_F = U_A = U_B = 9V$$

8-3 在题 8-3 图中，已知  $R_A = R_B = 1K\Omega$ 、 $R = 9K\Omega$ ，二极管为理想器件，求下列几种情况下输出端电电流位及各支路电流。

$$(1) \quad U_A = 10V, \quad U_B = 0; \quad (2) \quad U_A = U_B = 5V; \quad (3) \quad U_A = 6V, \quad U_B = 5.8V.$$

解：(1) 利用到类似题 8-2 的优先导通概念。

$D_A$  优先导通，使：

$$U_F = U_A R / (R_A + R) = 9V, \text{ 故:}$$

$D_B$  承受反向电压而截止。则有：

$$I_A = I_R = U_A / (R_A + R) = 10 / (1+9) = 1mA$$

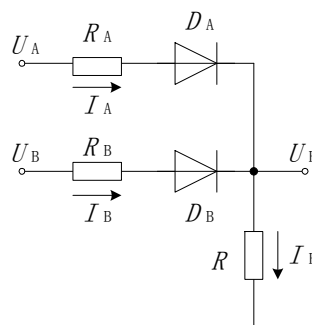
$$I_B = 0A$$

(2)  $D_A$ 、 $D_B$  同时导通，用节点电压法先求出  $U_F$

$$U_F = (U_A / R_A + U_B / R_B) / (1 / R_A + 1 / R_B + 1 / R_C) = 90 / 19V$$

$$I_A = (U_A - U_F) / R_A = 5 / 19mA = I_B$$

(3)  $D_A$  优先导通 由于电阻  $R_A$  上有压降，故  $D_B$  也导通。同样可用节点电压法求  $U_F$ 。



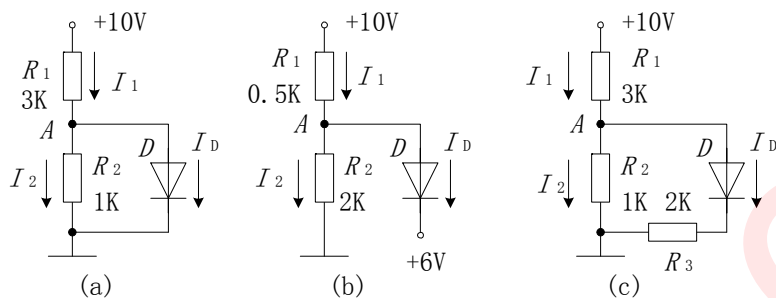
题8-3图

$$U_F = (U_A/R_A + U_B/R_B) / (1/R_A + 1/R_B + 1/R_C) = 5.589V$$

$$I_A = (U_A - U_F) / R_A = 0.411mA$$

$$I_B = (U_B - U_F) / R_B = 0.211mA$$

8-4 试估算题 8-4 图各电路中流过二极管的电流和 A 点电位(设二极管正向管压降为 0.7V)。



题 8-4图

解：对于这类有二极管的题目，都是先断开二极管，求出其阳、阴极电位，判断二极管的通断情况，再进一步求解。

(a) 先断开二极管，有：

$$U_A = 10R_2 / (R_1 + R_2) = 2.5V$$

二极管承受正向电压，故二极管导通。则有：

$$U_A = U_D = 0.7V$$

$$I_1 = (10 - U_A) / R_1 = 3.1mA$$

$$I_2 = U_A / R_2 = 0.7mA$$

$$I_D = I_1 - I_2 = 2.4mA$$

(b) 先断开二极管，有：

$$U_A = 10R_2 / (R_1 + R_2) = 8V$$

二极管承受正向电压，故二极管导通。有：

$$U_A = U_D + 6 = 6.7V$$



$$I_1 = (10 - U_A) / R_1 = 6.6\text{mA}$$

$$I_2 = U_A / R_2 = 3.35\text{mA}$$

$$I_D = I_1 - I_2 = 3.25\text{mA}$$

(c) 先断开二极管，有：

$$U_A = 10R_2 / (R_1 + R_2) = 2.5\text{V}$$

二极管承受正向电压，故二极管导通。由于有电阻，则需要重新解出  $U_A$ 。由节点法，有：

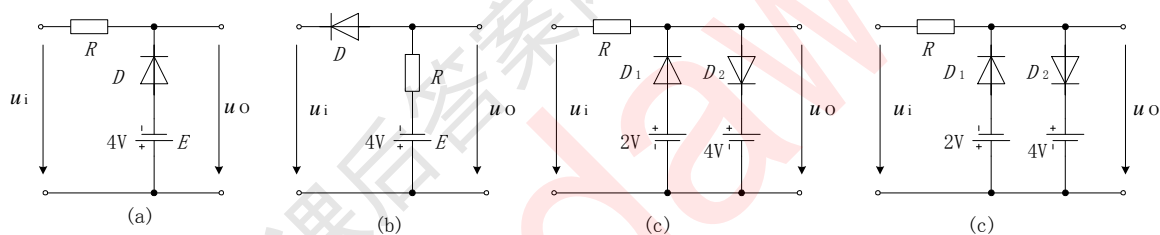
$$U_A = (10/R_1 + U_D / R_3) / (1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3) = 1.827\text{V}$$

$$I_1 = (10 - U_A) / R_1 = 2.724\text{mA}$$

$$I_2 = U_A / R_2 = 1.827\text{mA}$$

$$I_D = I_1 - I_2 = 0.897\text{mA}$$

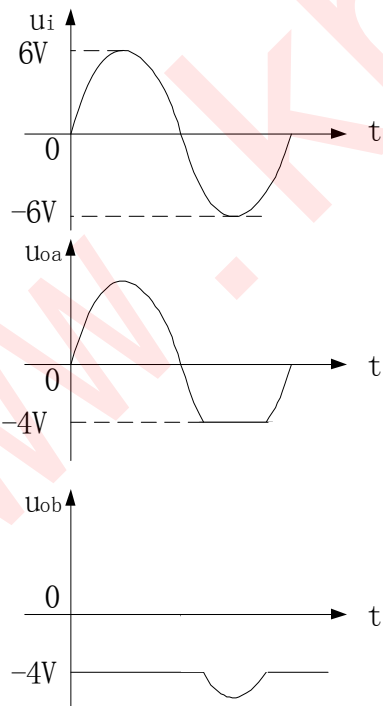
8-5 在题 8-5 图所示的各限幅电路中，已知  $u_i = 6\sin\omega t$  伏，试画出输出电压  $u_o$  波形（设二极管为理想器件）。

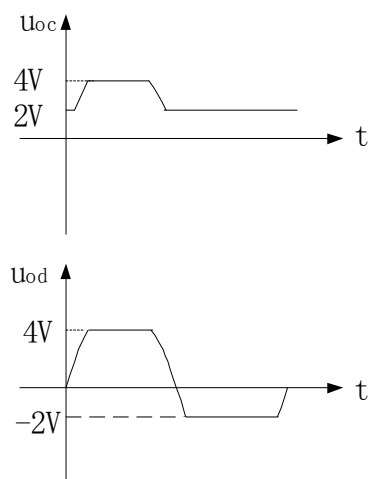


题8-5图

解：

对于这类题目，要找出二极管导通的输入信号范围。各输出波形如题 8-5 图 a 所示。





题 8-5 图 a

- (a) 当  $u_i \leq -E = -4V$  时, 二极管  $D$  导通,  $u_{oa} = -E = -4V$ ; 当  $u_i > -E = -4V$  时, 二极管  $D$  截止,  $u_{oa} = u_i$ 。
- (b) 当  $u_i \leq -E = -4V$  时, 二极管  $D$  导通,  $u_{ob} = u_i$ ; 当  $u_i > -E = -4V$  时, 二极管  $D$  截止,  $u_{ob} = -E = -4V$ 。
- (c) 当  $u_i \leq 2V$  时, 二极管  $D_1$  导通,  $u_{oc} = 2V$ ; 当  $u_i > 4V$  时,  $D_2$  导通,  $u_{oc} = 4V$ ;  
当  $2V < u_i \leq 4V$ , 二极管  $D_1$ 、 $D_2$  截止,  $u_{oc} = u_i$ 。
- (d) 当  $u_i \leq -2V$  时, 二极管  $D_1$  导通,  $u_{od} = -2V$ ; 当  $u_i > 4V$  时,  $D_2$  导通,  $u_{od} = 4V$ ;  
当  $-2V < u_i \leq 4V$ , 二极管  $D_1$ 、 $D_2$  截止,  $u_{od} = u_i$ 。

**8-6** 已知两只硅稳压管的稳定电压分别为  $8V$  和  $7.5V$ 。若将它们串联使用, 可以获得哪几种不同的稳定电压值?

解: (1)  $8V + 0.7V = 8.7V$ ; (2)  $7.5V + 0.7V = 8.2V$ ;  $8V + 7.5V = 15.5V$ ;  $0.7V + 0.7V = 1.4V$ ,

共四种。

8-7 在题 8-7 图中, 已知  $E=20V$ 、 $R_1=0.8K\Omega$ 、 $R_2=1K\Omega$ , 稳压管的稳压值为  $U_Z=10V$ 、最大稳定电流  $I_{ZM}=8mA$ 。试求稳压管中流过的电流  $I_Z$  是否超过  $I_{ZM}=8mA$ ? 如果超过, 应采取什么措施?

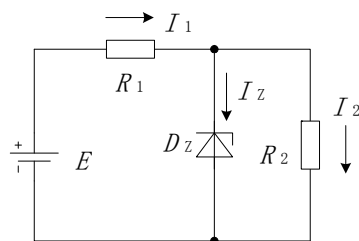
解:  $I_1 = (E - U_Z) / R_1 = 12.5mA$

$$I_2 = U_Z / R_2 = 10mA$$

$$I_Z = I_1 - I_2 = 2.5mA < I_{ZM}$$

故不会超过  $I_{ZM}$ 。

如果超过  $I_{ZM}$ , 可以通过增加  $R_1$  或者减少  $R_2$ , 使  $I_Z$  减少。



题8-7图

8-8 用直流电压表测得 4 个工作于放大状态的三极管的管脚电位如表题 8-8 示。试判断其管脚和管型。

解: 解此类题目, 首先找出 B、E 两个管脚。因为在正常放大状态,  $|U_{BE}|$  近似为常数  $0.7V$  或  $0.3V$ 。

表题 8-8

(A) 因为:  $U_1 - U_2 = 0.7V$ , 故可断定其一个为基极 B、另一个为 E 极。

假设  $U_1$ ——E,  $U_2$ ——B, 为 PNP 型硅管, 则  $U_{BC} = U_2 - U_3 = -4.9V$ , 集电极正偏, 不符合工作在放大状态下的三极管偏置要求。故假设不正确。

|          | A   | B   | C   | D   |
|----------|-----|-----|-----|-----|
| $U_1(V)$ | 2.8 | 2.9 | 5   | 8   |
| $U_2(V)$ | 2.1 | 2.6 | 8   | 5.5 |
| $U_3(V)$ | 7   | 7.5 | 8.7 | 8.3 |

当假设  $U_1$ ——B,  $U_2$ ——E, 为 NPN 硅管, 则  $U_{BC} = U_1 - U_3 = -4.2V$ , 集电极反偏, 符合工作在放大状态下的三极管偏置要求。故假设正确。即为:

$U_1$ ——B、 $U_2$ ——E、 $U_3$ ——C, NPN 硅管。

同理, 有:

(B)  $U_1$ ——B、 $U_2$ ——E、 $U_3$ ——C, NPN 锗管。

(C)  $U_1$ ——C、 $U_2$ ——E、 $U_3$ ——B, PNP 硅管。

(D)  $U_1$ ——B、 $U_2$ ——C、 $U_3$ ——E, PNP 锗管。

8-9 用直流电压表测得6个三极管的 $U_{BE}$ 、 $U_{CE}$ 如表题8-9示。试问其各处于何种工作状态？  
是PNP管还是NPN管？

解：根据三极管的特性，当其处于导通状态时， $|U_{BE}|$ 近似为常数0.7V或0.3V，而在其处于饱和时，且有 $|U_{CE}|$ 近似为常数约为0.3V或0.1V。当 $|U_{BE}|$ 的值不是近似为常数0.7V或0.3V，则一定处于截止状态。所以：

- (A) 截止状态，NPN管
- (B) 饱和状态，NPN硅管
- (C) 放大状态，NPN硅管
- (D) 放大状态，PNP锗管
- (E) 饱和状态，PNP锗管
- (F) 截止状态，PNP管

表题 8-9

|             | A  | B   | C   | D    | E    | F  |
|-------------|----|-----|-----|------|------|----|
| $U_{BE}(V)$ | -2 | 0.7 | 0.7 | -0.3 | -0.3 | 2  |
| $U_{CE}(V)$ | 5  | 0.3 | 5   | -4   | -0.1 | -4 |

8-10 某一晶体管的 $P_{CM}=100mW$ 、 $I_{CM}=20mA$ 、 $U_{(BR)CEO}=15V$ 。试问在下列几种情况下，  
何种是正常工作状态？

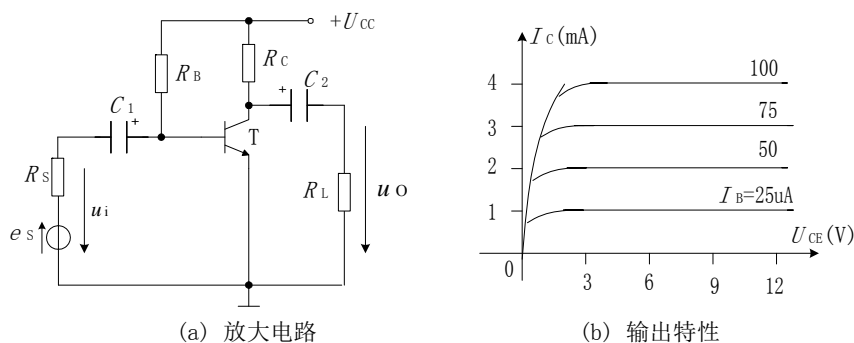
- (1)  $U_{CE}=3V$ 、 $I_C=10mA$ ；(2)  $U_{CE}=2V$ 、 $I_C=40mA$ ；(3)  $U_{CE}=6V$ 、 $I_C=200mA$ 。

解：判断管子是否处于正常工作，主要是看参数是否超过其极限参数。

- (1)  $P_C=U_{CE} \times I_C=30mW < P_{CM}$ ， $I_C < I_{CM}$ ， $U_{CE} < U_{(BR)CEO}$ ，正常状态。
- (2)  $P_C=U_{CE} \times I_C=80mW < P_{CM}$ ， $I_C > I_{CM}$ ，非正常状态。
- (3)  $P_C=U_{CE} \times I_C=120mW > P_{CM}$ ， $I_C > I_{CM}$ ，非正常状态。

## 习题 9

9-1 晶体管放大电路如题9-1图(a)所示。已知 $U_{CC}=12V$ 、 $R_C=3K\Omega$ 、 $R_B=240K\Omega$ 、  
晶体管电流放大系数 $\beta=40$ 。①试用直流通路估算各静态值 $I_B$ 、 $I_C$ 、 $U_{CE}$ ；②在题9-1图  
(b)所示的输出特性曲线上，用图解法作出放大电路的静态工作点；③在静态时( $u_i=0$ ) $C_1$ 、 $C_2$   
上的电压各为多少？



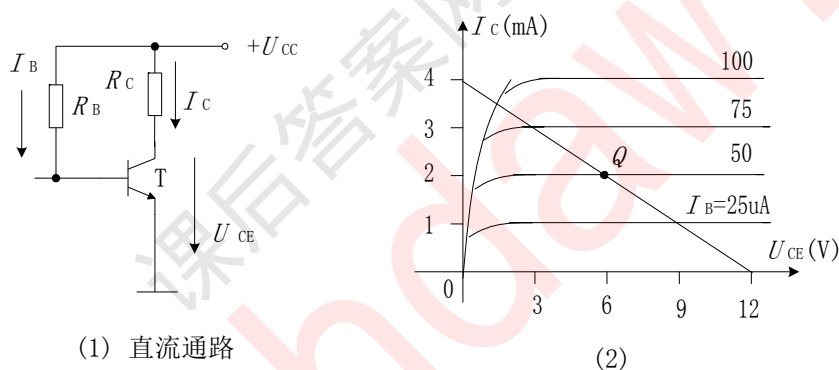
题9-1图

解：(1) 将电容开路，可画出直流通路如题 9-1 图 a (1) 所示。

$$I_B = U_{CC}/R_B = 50\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 2.0 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C = 6V$$



题9-1图a

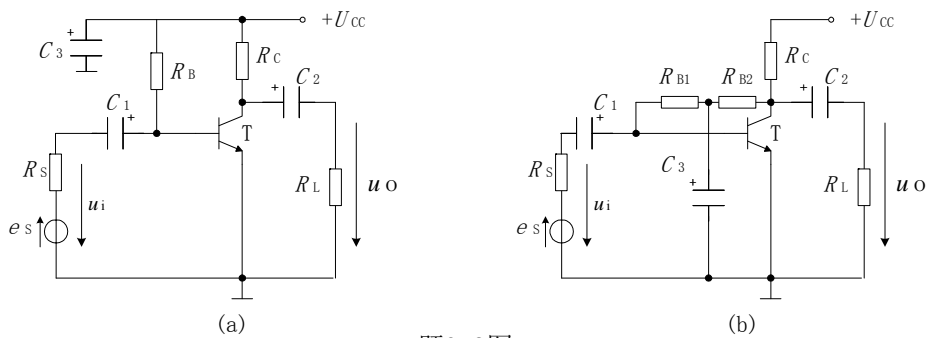
(2) 作直流负载线  $U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C$ ：

取  $I_C = 0$ ,  $U_{CE} = 12V$ , 得点 A；取  $U_{CE} = 0$ ,  $I_C = 4mA$ , 得 B 点。连接 A、B 两点即为直流负载线 AB。AB 与输出特性  $I_B = 50\mu A$  的交点 Q 即为静态工作点，如题 9-1 图 a (1)。从图中可以读得： $U_{CE} = 6V$ ,  $I_C = 2mA$ 。

(3)  $U_{C1} = U_{BE} = 0$ ； $U_{C2} = U_{CE} = 6V$ 。

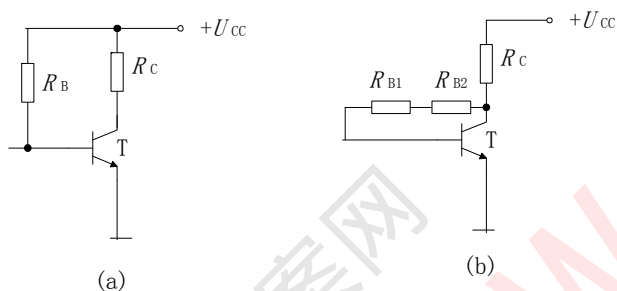
9-2 电路如题 9-2 图所示。要求：①画出直流通路；②画出交流通路。





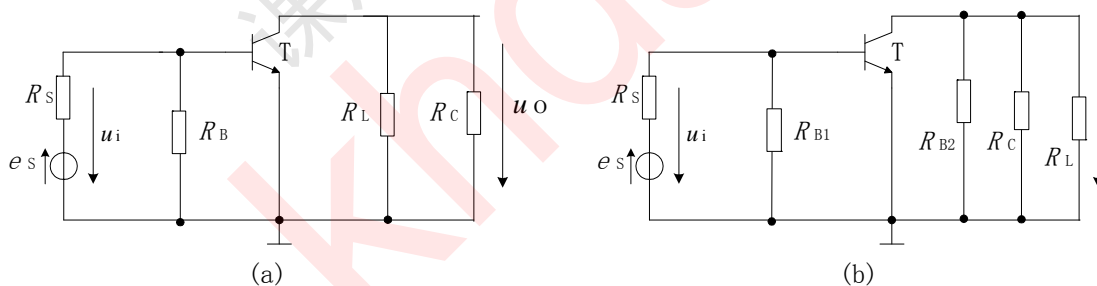
题9-2图

解：① 将电容开路，可画出直流通路如题 9-2 图 a 所示。



题9-2图a 直流通路

② 将电容及直流电源短路，可画出交流通路如题 9-2 图 b 所示。



题9-2图b 交流通路

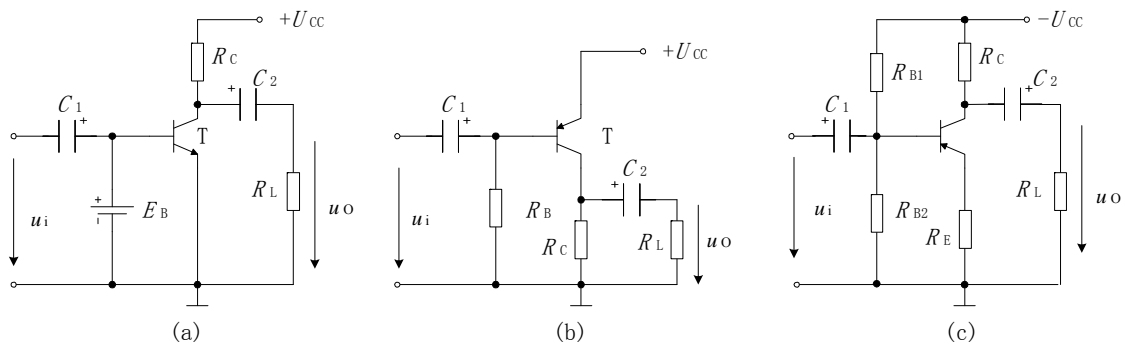
9-3 判断题 9-3 图所示电路是否具有放大作用？为什么？

解：分析一个电路是否具有放大作用，是依据放大电路的组成原则。

(a) 由于信号无法回到输入端（被交流短路），故没有放大作用。

(b) 由于电路可以有正确的偏置（发射极正偏、集电极反偏），信号可以顺利地输入、输出，故具有放大作用。

(c) 结果同 (b)。



题9-3图

9-4 对于如题 9-1a 图所示电路，试画出其微变等效电路，分别求  $R_L = 3\text{K}\Omega$  和  $R_L = 6\text{K}\Omega$  时，电路的电压放大倍数  $\dot{A}_u$ 、输入电阻  $r_i$ 、输出电阻  $r_o$ ，并说明  $R_L$  对它们的影响。

解：微变等效电路如题 9-4 图所示

$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_E} = 0.82\text{K}\Omega$$

$$r_i = R_B // r_{be} \approx r_{be} = 0.82\text{K}\Omega$$

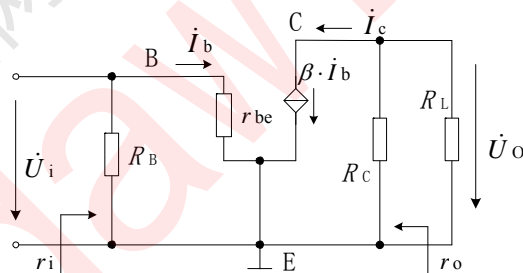
$$r_o = R_C = 3\text{K}\Omega$$

当  $R_L = 3\text{K}\Omega$  时，

$$\dot{A}_u = -\frac{\beta R_C // R_L}{r_{be}} = -73.2$$

当  $R_L = 6\text{K}\Omega$  时，

$$\dot{A}_u = -\frac{\beta R_C // R_L}{r_{be}} = -97.6$$



题9-4图

从上可知， $R_L$  对输入电阻、输出电阻均无影响，但对电压放大倍数有影响， $R_L$  越大， $\dot{A}_u$  越大。

9-5 电路如题 9-5 图所示。三极管的  $\beta = 60$ 、 $U_{CC} = 12\text{V}$ 、 $R_C = 3.3\text{K}\Omega$ 、 $R_{B1} = 30\text{K}\Omega$ 、 $R_{B2} = 10\text{K}\Omega$ 、 $R_{E1} = 200\Omega$ 、 $R_{E2} = 1.3\text{K}\Omega$ 、 $R_S = 500\Omega$ 、 $R_L = 5.1\text{K}\Omega$ 。求①接上和断开电容  $C_E$  两种情况下的静态工作点  $I_B$ 、 $I_C$ 、 $U_{CE}$ ；②若换上一只  $\beta = 100$  的管子，工作点有何变化？

解：① 接上和断开电容  $C_E$  时的等效直流通路是一样的，所以其静态值相同，其直流通路

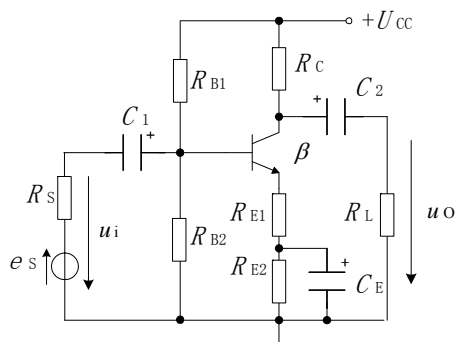
如题 9-5 图 a 所示。

$$U_B = U_{CC} R_{B2} / (R_{B1} + R_{B2}) = 3V$$

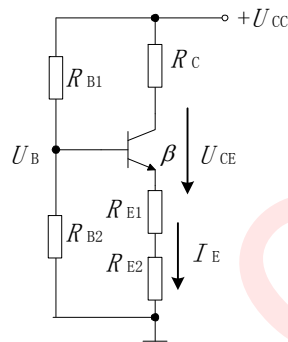
$$I_C = I_E = U_B / (R_{E1} + R_{E2}) = 2mA$$

$$I_B = I_C / \beta = 33.3\mu A$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_E (R_C + R_{E1} + R_{E2}) = 3.4V$$



题 9-5图



题9-5图a 直流通路

② 若换上一个  $\beta$  值不同的管子，对  $U_{CE}$ 、 $I_E$  没影响，在输出特性曲线上，工作点的位置不变，只有  $I_B$  的值发生变化。

9-6 对题 9-5，求接上和断开电容  $C_E$  两种情况下的电压放大倍数  $\dot{A}_u$ 、输入电阻  $r_i$ 、输出电阻  $r_o$  及对信号源的电压放大倍数  $\dot{A}_{us}$ 。

解：接上和断开电容  $C_E$  两种情况下的微变等效电路如题 9-6 图（1）和（2）所示。

$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_E} = 1.1 K\Omega$$

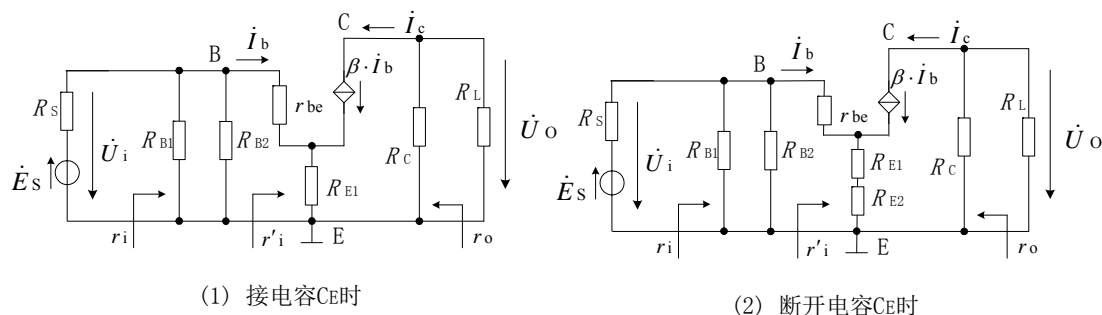
① 接上电容  $C_E$

$$\dot{A}_u = - \frac{\beta R_C // R_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_{E1}} = -9.2$$

$$r_i = R_{B2} // R_{B1} // [r_{be} + (1 + \beta) R_{E1}] = 5 K\Omega$$

$$r_o = R_C = 3.3 K\Omega$$

$$\dot{A}_{us} = - \frac{r_i}{R_S + r_i} A_u = -8.4$$



题9-6图

② 断开电容  $C_E$

$$\dot{A}_u = -\frac{\beta R_C // R_L}{r_{be} + (1 + \beta)(R_{E1} + R_{E2})} = -1.3$$

$$r_i = R_{B2} // R_{B1} // [r_{be} + (1 + \beta)(R_{E1} + R_{E2})] = 6.9 \text{ K}\Omega$$

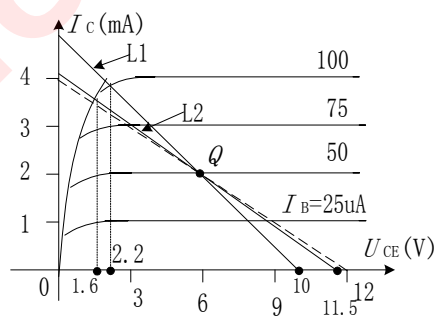
$$r_o = R_C = 3.3 \text{ K}\Omega$$

$$\dot{A}_{us} = -\frac{r_i}{R_S + r_i} \dot{A}_u = -1.2$$

9-7 对 9-1 题, 分别求  $R_L = 3 \text{ K}\Omega$  和  $R_L = 6 \text{ K}\Omega$  时的最大不失真的输出电压和输入电压。

如果出现失真, 首先出现何种失真?

解: 在作出了直流负载线的基础上, 先要作出交流负载线如题 9-7 图所示。交流负载线过静态工作点  $Q$ , 且在横轴的截距为  $U_{CE} + I_E (R_C // R_L)$ 。当  $R_L = 3 \text{ K}\Omega$  时, 交流负载线为  $L1$ , 横轴截距为  $10\text{V}$ 。当  $R_L = 6 \text{ K}\Omega$  时, 交流负载线为  $L2$ , 横轴截距为  $11.5\text{V}$ 。以  $Q$  点为中心, 可分别求出其最大不失真的输出电压范围。



题9-7图

①  $R_L = 3 \text{ K}\Omega$

不进入饱和区的最大输出电压  $U_{om1} = 6 - 2.2 = 3.8\text{V}$

不进入截止区的最大输出电压  $U_{om2} = 10 - 6 = 4\text{V}$

故: 不失真的最大输出电压  $U_{om} = 3.8\text{V}$

不失真的最大输入电压  $U_{im}=U_{om}/A_u=3.8V/73.2=52mV$

首先出现饱和失真。

②  $R_L=6K\Omega$

不进入饱和区的最大输出电压  $U_{om1}=6-1.6=4.4V$

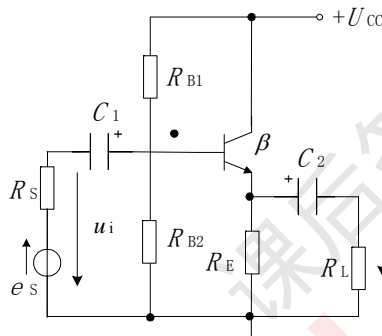
不进入截止区的最大输出电压  $U_{om2}=11.5-6=5.5V$

故：不失真的最大输出电压  $U_{om}=4.4V$

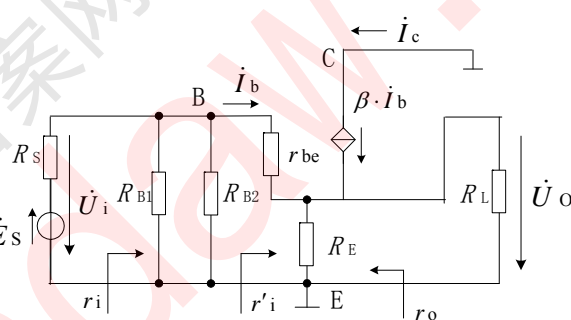
不失真的最大输入电压  $U_{im}=U_{om}/A_u=4.4V/97.6=45mV$

首先出现饱和失真。

9-8 题 9-8 图所示的射极输出器，已知  $\beta=50$ 、 $U_{CC}=12V$ 、 $R_{B1}=100K\Omega$ 、 $R_{B2}=30K\Omega$ 、 $R_E=1K\Omega$ 、 $R_S=50\Omega$ 、 $R_L=1K\Omega$ 、 $r_{be}=1K\Omega$ 。求电压放大倍数  $\dot{A}_u$ 、输入电阻  $r_i$ 、输出电阻  $r_o$ 。



题9-8图



题9-8图a 微变等效电路

解：先画出微变等效电路如题 9-8 图 a 所示。

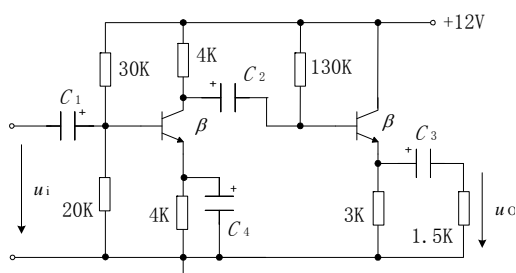
$$\dot{A}_u = \frac{\beta R_E // R_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_E // R_L} = 0.96$$

$$r_i = R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (1 + \beta) R_E // R_L] = 19.3 K\Omega$$

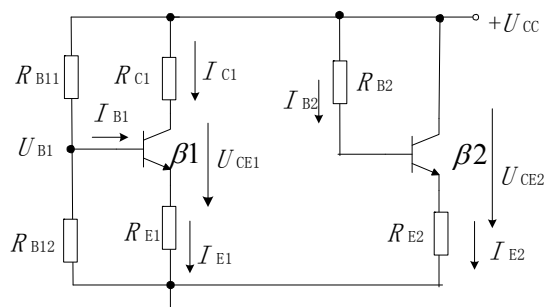
$$r_o = (R_S + r_{be}) / (1 + \beta) = 20.6 \Omega$$

9-9 在题 9-9 图的放大电路中，已知  $\beta_1 = \beta_2 = 50$ 、每个管子的  $U_{BE} = 0.6V$ 。求：①计算前、后级放大电路的静态工作点；②画出微变等效电路；③求放大电路的输入电阻和输出电阻；

④求各级电压放大倍数和总的电压放大倍数；⑤后级采用射极输出器有何好处？



题9-9图



题9-9图 直流通路

解：① 前后级的直流通路互不牵连，可单独计算。其直流通路如图（1）。

$$U_{B1} = U_{CC} R_{B12} / (R_{B11} + R_{B12}) = 12 \times 20 / (30 + 20) = 4.8V$$

$$I_{C1} = I_{E1} = (U_{B1} - U_{BE}) / R_{E1} = 1.05mA$$

$$I_{B1} = I_{C1} / \beta = 21\mu A$$

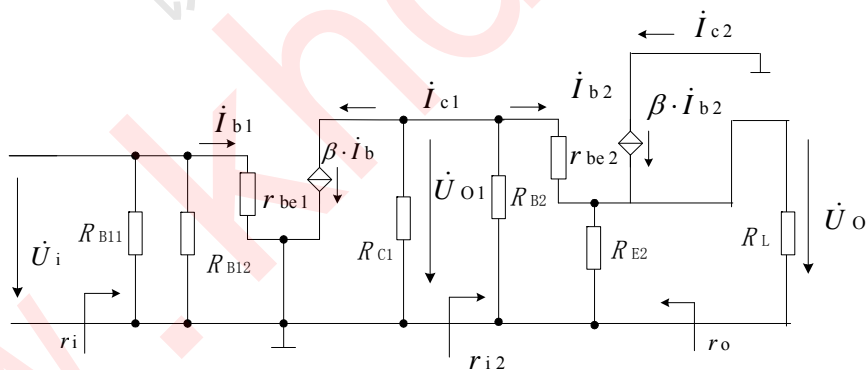
$$U_{CE1} = U_{CC} - I_{E1} (R_{C1} + R_{E1}) = 3.6V$$

$$I_{B2} = (U_{CC} - U_{BE}) / [R_{B2} + (1 + \beta) R_{E2}] = (12 - 0.6) / [130 + (1 + 50) \times 3] = 40.3\mu A$$

$$I_{C2} = I_{E2} = I_{B2} \times \beta = 2.0mA$$

$$U_{CE2} = U_{CC} - I_{E2} \times R_{E2} = 12 - 2.0 \times 3 = 6V$$

② 其微变等效电路如题 9-9 图 b 所示。



题9-9图b 微变等效电路

$$r_{be1} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_{E1}} = 1.56 K\Omega$$

$$r_{be2} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_{E2}} = 0.96 K\Omega$$

$$\textcircled{3} \quad r_i = R_{B12} // R_{B11} // r_{be1} \approx r_{be1} = 1.56 \text{ K}\Omega$$

$$\textcircled{4} \quad r_{i2} = R_{B2} // [r_{be2} + (1 + \beta_2)R_{E2} // R_L] = 37 \text{ K}\Omega$$

$$r_o \approx \frac{R_{E2} // (R_{C1} // R_{B2} + r_{be2})}{1 + \beta_2} = 36 \Omega$$

$$\dot{A}_{u1} = -\frac{\beta_1 \cdot (R_{C1} // r_{i2})}{r_{be1}} = -115.7$$

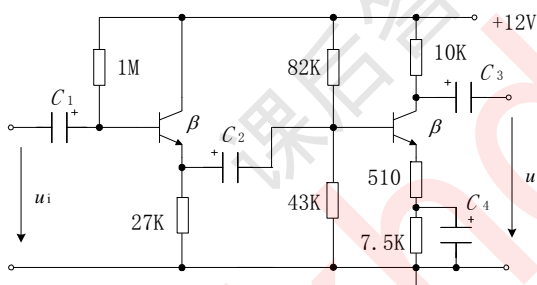
$$\dot{A}_{u2} = \frac{(1 + \beta_2)(R_{E2} // R_L)}{r_{be2} + (1 + \beta_2)R_{E2} // R_L} = 0.98$$

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \dot{A}_{u2} = -113.4$$

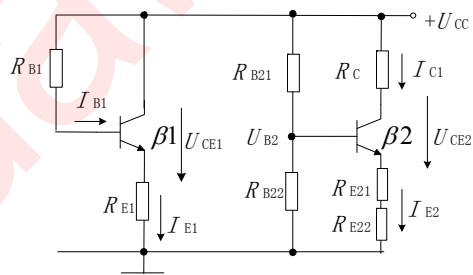
⑤ 输出电阻小，带负载能力强。

9-10 在题 9-10 图的放大电路中，已知  $\beta_1 = \beta_2 = 50$ 、每个管子的  $U_{BE} = 0.6 \text{ V}$ 。求：

① 计算前、后级放大电路的静态工作点；② 画出微变等效电路；③ 求放大电路的输入电阻和输出电阻；④ 求各级电压放大倍数和总的电压放大倍数；⑤ 前级采用射极输出器有何好处？



题 9-10 图



题9-10图a 直流通路

解：① 其直流通路如题 9-10 图 a 所示，则各级静态工作点为

$$I_{B1} = (U_{CC} - U_{BE}) / [R_{B1} + (1 + \beta_1)R_{E1}] = (12 - 0.6) / [1000 + (1 + 50) \times 27] = 4.8 \mu\text{A}$$

$$I_{C1} = I_{E1} = I_{B1} \times \beta_1 = 0.24 \text{ mA}$$

$$U_{CE1} = U_{CC} - I_{E1} \times R_{E1} = 12 - 0.24 \times 27 = 5.52 \text{ V}$$

$$U_{B2} = U_{CC} R_{B22} / (R_{B21} + R_{B22}) = 12 \times 43 / (43 + 82) = 4.13 \text{ V}$$

$$I_{C2} = I_{E2} = (U_{B2} - U_{BE}) / (R_{E21} + R_{E22}) = (4.13 - 0.6) / (7.5 + 0.51) = 0.436 \text{ mA}$$

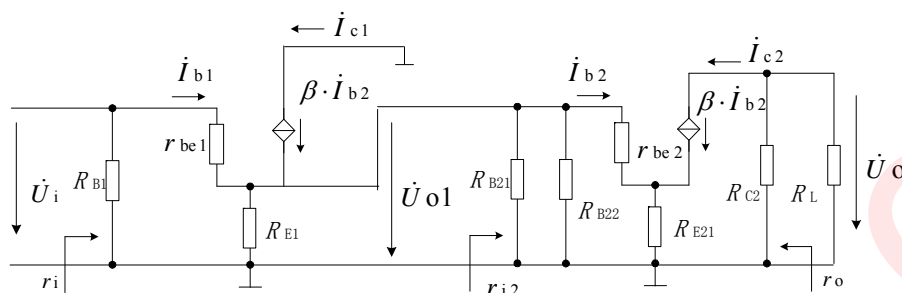
$$I_{B2} = I_{C2} / \beta_2 = 8.7 \mu A$$

$$U_{CE2} = U_{CC} - I_{E2} (R_C + R_{E21} + R_{E22}) = 12 - 0.436 (10 + 0.51 + 7.5) = 4.1 V$$

② 画出微变等效电路如题 9-10 图 b。

$$r_{be1} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_{E1}} = 5.8 K \Omega$$

$$r_{be2} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_{E2}} = 3.3 K \Omega$$



题9-10图b 微变等效电路

③  $r_{i2} = R_{B21} // R_{B22} // [r_{be2} + (1 + \beta_2) R_{E21}] = 14.4 K \Omega$

$$r_i = R_{B1} // [r_{be1} + (1 + \beta_1) R_{E1} // r_{i2}] = 326.5 K \Omega$$

$$r_o = R_C = 10 K \Omega$$

④  $\dot{A}_{u1} \approx 1$

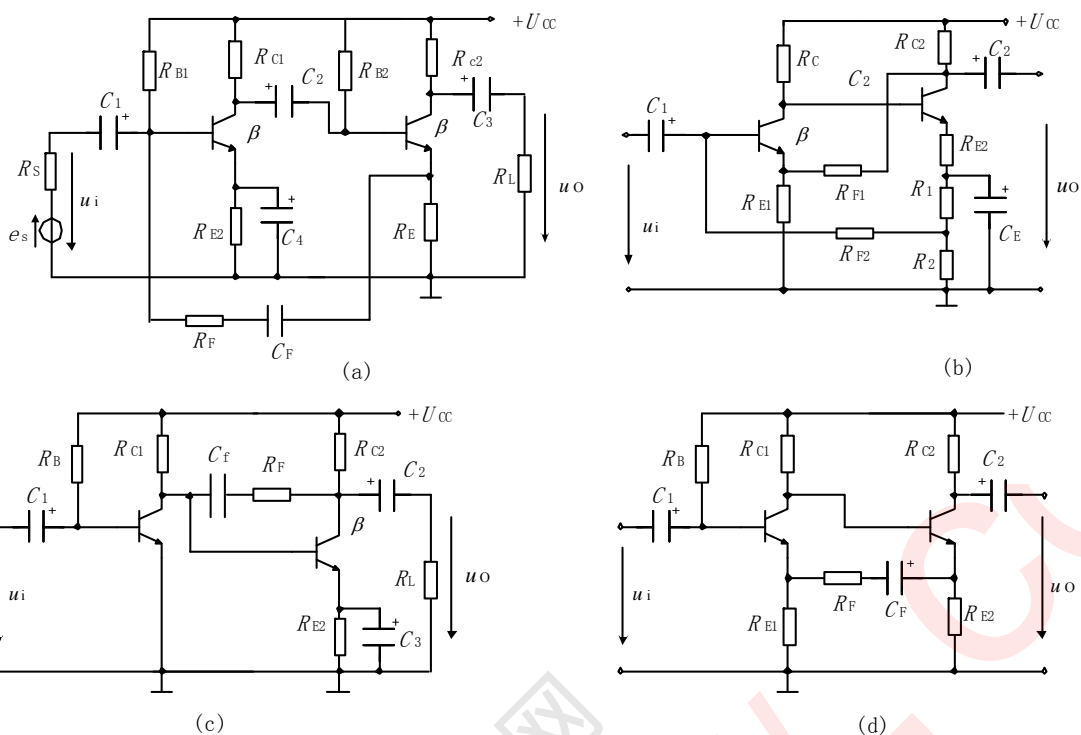
$$\dot{A}_{u2} = - \frac{(1 + \beta_2) R_C}{r_{be2} + (1 + \beta_2) R_{E21}} = -17.4$$

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \dot{A}_{u2} = -17.4$$

⑤ 输入电阻大，向信号源取用的电流小，利于放在多级放大电路的第一级。

9-11 在图题 9-11 中，判断级间反馈的类型（正或负、串联或并联、电压或电流、交流或直流），若无级间反馈的，判断本级反馈类型。它们起何作用？





图题 9-11

解：(a) 由  $R_F$ 、 $C_F$ 、 $R_E$  构成了级间反馈网络。其为并联电流交流负反馈，稳定输出电流。

(b) 由  $R_{F2}$ 、 $R_2$  构成了级间反馈网络，其为直流并联电流负反馈，其稳定静态工作点。

由  $R_{F1}$ 、 $R_{E1}$  构成了级间反馈网络。其为串联电压交、直流负反馈，稳定输出电压和静态工作点。

(c) 由  $R_F$ 、 $C_F$  构成了本级反馈网络。其为并联电压交流负反馈，稳定输出电压。

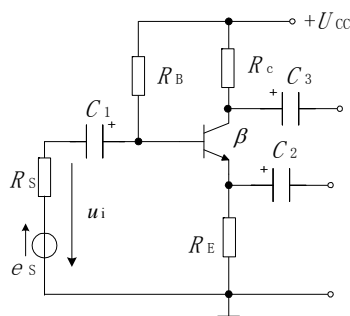
(d) 由  $R_F$ 、 $C_F$ 、 $R_{E1}$ 、 $R_{E2}$  构成了级间反馈网络。其为串联电流交流正反馈。

9-12 试分析题 9-12 图电路中  $R_E$  的反馈类型和作用：①电路从集电极输出；②电路从发射极输出。

解：① 串联电流负反馈，稳定输出电流。

② 串联电压负反馈，稳定输出电压。

9-13 如果实现下列要求，在交流放大电路中应引入哪种类型的反馈？①输出电压基本稳定，并能提高输入电阻；②输出电流  $i_c$  基本稳定，并能减少输入电阻；③



题9-12图

输出电流  $i_c$  基本稳定，并能提高输入电阻。

解：① 交流串联电压负反馈。

② 交流并联电流负反馈。

③ 交流串联电流负反馈。

9-14 有一负反馈放大电路，已知  $A=300$ ， $F=0.01$ 。试求：①闭环放大倍数  $A_f$  为多少？②如果  $A$  发生  $\pm 20\%$  的变化， $A_f$  的相对变化为多少？

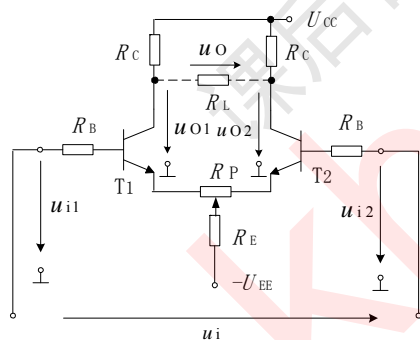
解：(1)  $A_f = A / (1 + AF) = 75$

(2)  $dA / A = 0.4/300 = 0.13\%$

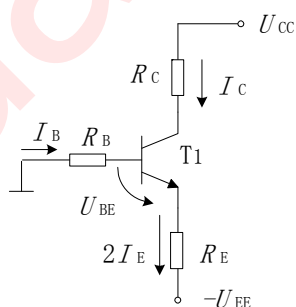
$dA_f / A_f = [1 / (1 + AF)] (dA / A) = 0.033\%$

## 习题 10

10-1 对于题 10-1 图所示的典型差动放大电路，若  $U_{CC} = U_{EE} = 6V$ ， $R_E = R_C = 5.1K\Omega$ 、 $R_B = 10K\Omega$ 、 $R_P = 100\Omega$ 、 $\beta = 50$ 、 $U_{BE} = 0.7V$ 。试求：①静态工作点；②差模和共模电压放大倍数，差模输入电阻和输出电阻；③若在两管的集电极之间接上负载  $R_L = 5.1K\Omega$ （如图虚线所示），则差模和共模电压放大倍数又为多少？



题 10-1 图



题10-1图 (a) 直流通路

解：① 由于电路是对称的，只需要计算一个管子的静态值即可，画出直流通路题 10-1 图 (a) 所示。由输入回路有

$$I_B R_B + U_{BE} + 2I_E R_E = U_{EE}$$

上式中前两项比第三项小得多，故可略去。则有

$$I_C = I_E \approx \frac{U_{EE}}{2R_E} = \frac{6}{2 \times 5.1} = 0.59 \text{ mA}$$

$$U_E = 2I_E R_E - U_{EE} \approx 0$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \approx \frac{U_{EE}}{2\beta R_E} = 11.8 \mu A$$

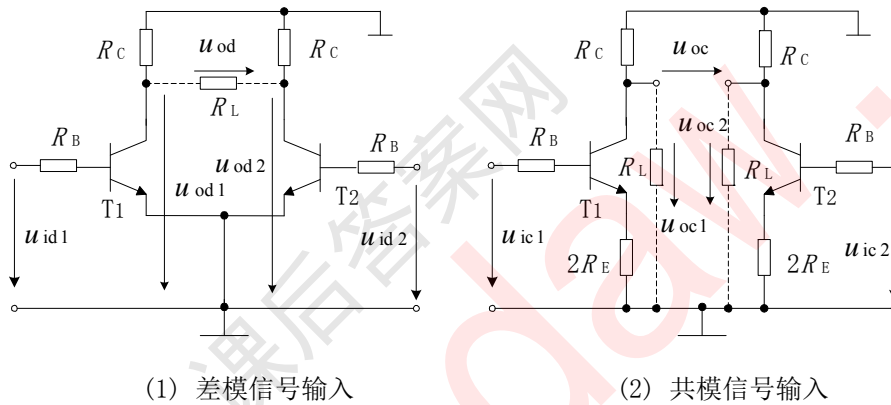
$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C = 6 - 0.59 \times 5.1 = 3 V$$

(2) 在差模输入时,  $R_E$  相当于短路; 在共模输入时,  $R_E$  相当于  $2R_E$  (对每一个管子而言), 其交流通路如题 10-1 图 (b)

$$u_{id1} = -u_{id2} \quad u_{id} = u_{id1} - u_{id2}$$

$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_E} = 2.55 K\Omega$$

$$A_{ud} = A_{u1} = A_{u2} = -\frac{\beta R_C}{R_B + r_{be}} = -20.3$$



题10-1图 (b) 交流等效电路

$$A_{uc} = \frac{u_{Oc}}{u_{ic}} = 0$$

$$r_{id} = 2(R_B + r_{be}) = 25.1 K\Omega$$

$$r_{od} = 2R_C = 10.2 K\Omega$$

$$(3) \quad A_{ud} = -\frac{\beta(R_C // \frac{R_L}{2})}{R_B + r_{be}} = -6.77$$

$$A_{uc} = \frac{u_{Oc}}{u_{ic}} = 0$$

10-2 对于题 10-1, 试求: ①单端输入--双端输出时的差模和共模电压放大倍数; ②单端输

入—单端输出时的差模和共模电压放大倍数；③单端输入—单端输出时的差模输入电阻和输出电阻。

解：（1）单端输入时的情况和双端输入时的一样，和 10-1 结果相同。

$$(2) \text{ 单端输出时 } A_{ud} = \frac{1}{2} A_{u1} = -10.1$$

$$A_{uc1} = \frac{u_{Oc}}{u_{ic}} = -\frac{\beta R_C}{R_B + r_{be} + (1 + \beta)(2R_E + 0.5R_P)} = -0.48$$

$$(3) \quad r_{id} = 2(R_B + r_{be}) = 25.1 \text{ K}\Omega$$

$$r_{od} = R_C = 10.2 \text{ K}\Omega$$

10-3 对于题 10-1，试求：①当  $u_{i1} = 12 \text{ mA}$ 、 $u_{i2} = 8 \text{ mA}$  时， $u_o = ?$  ②这时的  $u_{C1}$ 、 $u_{C2}$  各为多少？

$$\text{解：① } u_o = A_{ud} \cdot u_{id} + A_{uc} \cdot u_{ic} = A_{ud}(u_{i1} - u_{i2}) + A_{uc} \frac{u_{i1} + u_{i2}}{2} = -20.3(12 - 8) + 0 = -81.2 \text{ mV}$$

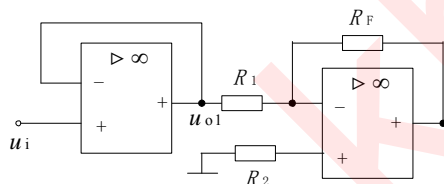
$$\text{② } u_{C1} = U_{C1} + A_{ud} \cdot u_{i1} = 3 + (-20.3) \cdot 0.012 = 2.76 \text{ V}$$

$$u_{C2} = U_{C2} + A_{ud} \cdot u_{i2} = 3 + (20.3) \cdot 0.008 = 3.18 \text{ V}$$

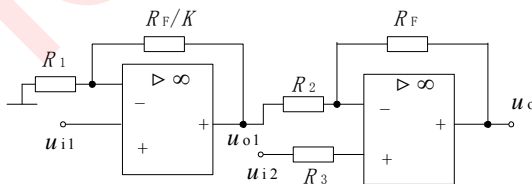
10-4 在题 10-4 图中，已知  $R_F = 2R_1$ ， $u_i = 2 \text{ V}$ ，求输出电压  $u_o$ 。

$$\text{解： } u_{O1} = u_i = 2 \text{ V}$$

$$u_o = -\frac{R_F}{R_1} u_{O1} = -4 \text{ V}$$



题10-4图



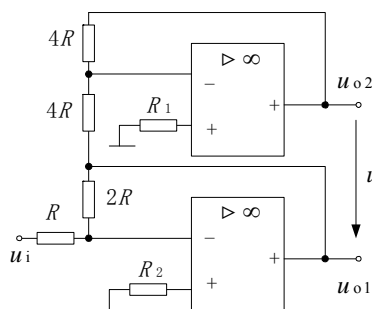
题10-5图

10-5 题 10-5 图是利用两个运算放大器组成的高输入电阻的差动放大电路。试求  $u_o$  与  $u_{i1}$ 、 $u_{i2}$  的关系。

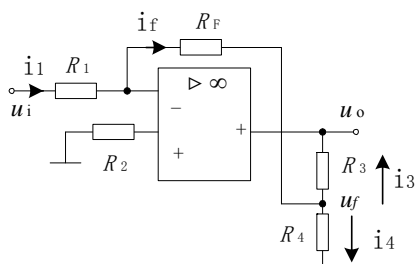
$$\text{解： } u_{O1} = \left(1 + \frac{R_F}{KR_1}\right) u_{i1}$$

$$u_o = -\frac{R_F}{R_2}u_{o1} + (1 + \frac{R_F}{R_2})u_{i2} = -\frac{R_F}{R_2}(1 + \frac{R_F}{KR_1})u_{i1} + (1 + \frac{R_F}{R_2})u_{i2}$$

10-6 在题 10-6 图中, 试求  $u_o$  与  $u_i$  的关系。



题10-6图



题10-7图

解:

$$u_{o2} = -\frac{2R}{R}u_i = -2u_i$$

$$u_{o1} = -\frac{4R}{4R}u_{o2} = 2u_i$$

$$u_o = u_{o2} - u_{o1} = -4u_i$$

10-7 为了获得较高的电压放大倍数, 而又可避免采用高值电阻  $R_F$ , 将反比例放大器改为图题 10-7 所示的电路, 并设  $R_F \gg R_3$ 。试求证:  $A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{R_F}{R_1}(1 + \frac{R_3}{R_4})$ 。

证明: 由虚断、虚短有:  $i_1 = i_f = i_3 + i_4$

即:  $\frac{u_i}{R_1} = -\frac{u_f}{R_F} = \frac{u_f}{R_4} + \frac{u_f - u_o}{R_3}$

整理有:  $u_f = -\frac{R_F}{R_1}u_i$

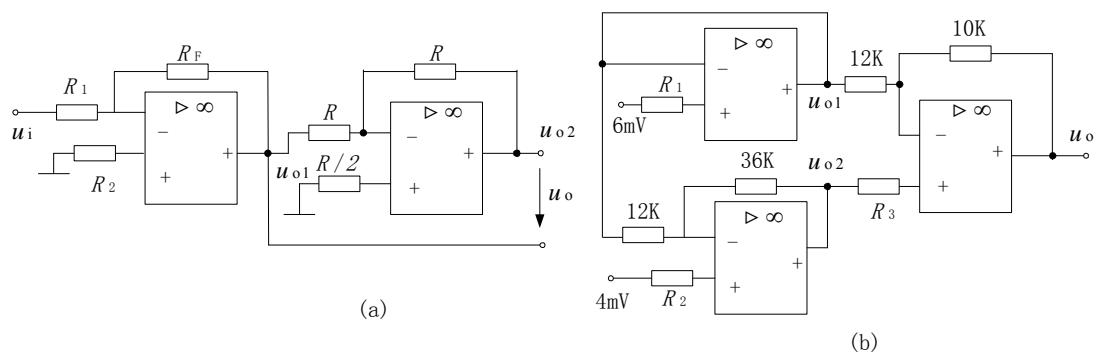
$$u_o = u_f(1 + \frac{R_3}{R_4} + \frac{R_3}{R_F}) = -\frac{R_F}{R_1}(1 + \frac{R_3}{R_4} + \frac{R_3}{R_F})u_i$$

显然, 当  $R_F \gg R_3$  时, 有:

$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{R_F}{R_1}(1 + \frac{R_3}{R_4})$$

证毕。

10-8 计算题 10-8 图中的输出电压  $u_o$ 。



题10-8 图

解: (a)  $u_{o1} = -\frac{R_F}{R_1} u_i$

$$u_{o2} = -\frac{R}{R} u_{o1} = \frac{R_F}{R_1} u_i$$

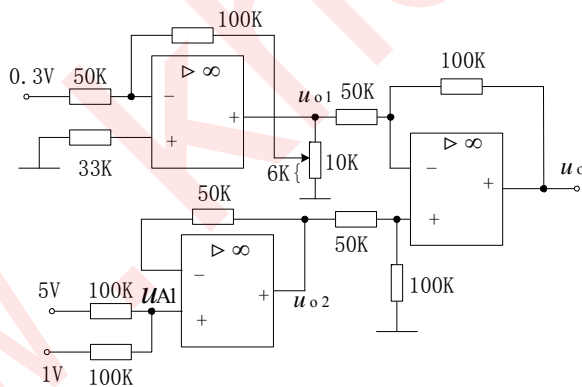
$$u_o = u_{o2} - u_{o1} = 2 \frac{R_F}{R_1} u_i$$

(b)  $u_{o1} = 6\text{mV}$

$$u_{o2} = -\frac{36}{12} u_{o1} + (1 + \frac{36}{12}) 4\text{mV} = -3 \times 6 + 4 \times 4 = -2\text{mV}$$

$$u_o = -\frac{10}{12} u_{o1} + (1 + \frac{10}{12}) u_{o2} = -\frac{10}{12} \times 6 + \frac{22}{12} \times (-2) = -\frac{26}{3}\text{mV}$$

10-9 电路如题 10-9 图所示, 试求  $u_{o1}$ 、 $u_{o2}$ 、 $u_o$ 。



题10-9图

解: 利用题 10-7 的结果, 有:

$$u_{o1} = -\frac{100}{50} (1 + \frac{4}{6}) 0.3 = -1\text{V}$$

$$u_{O2} = u_{A2} = 1 + \frac{5-1}{100+100} 100 = 3 \text{ V}$$

$$u_O = -\frac{100}{50} u_{O1} + (1 + \frac{100}{50}) \frac{100}{50+100} u_{O2} = -2 \times (-1) + 3 \times \frac{2}{3} \times 3 = 8 \text{ V}$$

**10-10** 按下列各运算关系式画出运算电路，并计算各电阻的阻值（括号中的反馈电阻和电容是给定的）。

(1)  $u_o = -3u_i$  ( $R_F = 50 \text{ K}\Omega$ )

(2)  $u_o = -(u_{i1} + 0.4u_{i2})$  ( $R_F = 100 \text{ K}\Omega$ )

(3)  $u_o = 10u_i$  ( $R_F = 50 \text{ K}\Omega$ )

(4)  $u_o = 3u_{i1} - 2u_{i2}$  ( $R_F = 10 \text{ K}\Omega$ )

(5)  $u_o = -200 \int u_i dt$  ( $C_F = 0.1 \mu\text{F}$ )

(6)  $u_o = -10 \int u_{i1} dt - 5 \int u_{i2} dt$  ( $C_F = 1 \mu\text{F}$ )

解：各运算电路如题 10-10 图所示，各参数选择如下

(1)  $R_1 = (50/3) \text{ K}\Omega$

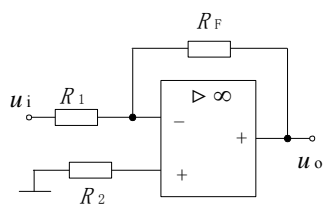
(2)  $R_{11} = 100 \text{ K}\Omega$       $R_{12} = 250 \text{ K}\Omega$

(3)  $R_1 = (50/9) \text{ K}\Omega$

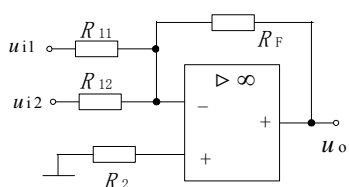
(4)  $R_1 = 5 \text{ K}\Omega$

(5)  $R = 50 \text{ K}\Omega$

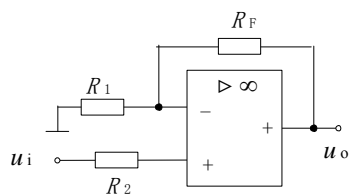
(6)  $R_{11} = 100 \text{ K}\Omega$       $R_{12} = 200 \text{ K}\Omega$



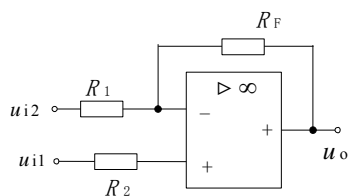
图(1)



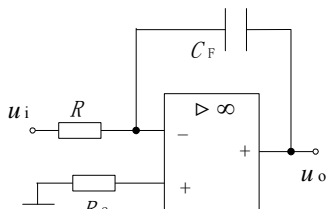
图(2)



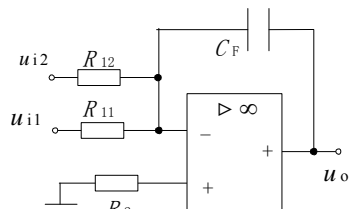
图(3)



图(4)



图(5)



图(6)

题10-10图

**10-11** 题 10-11 图为运算放大器测量电压的电路,试确定不同量程时的电阻  $R_{11}$ 、 $R_{12}$ 、 $R_{13}$  的阻值 (已知电压表的量程和为  $0\sim 5V$ )。

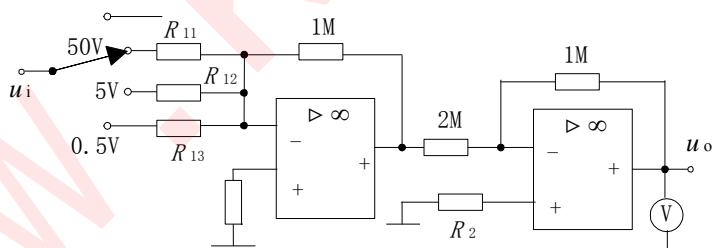
解: 根据题意, 当  $u_i = 50V$  时,  $u_o = 5V$ , 求  $R_{11}$  的值。

因为:  $u_o = -\frac{1}{2} \left( -\frac{1}{R_{11}} \right) u_i$

所以:  $R_{11} = \frac{u_i}{2u_o} = \frac{50}{2 \times 5} = 5M\Omega$

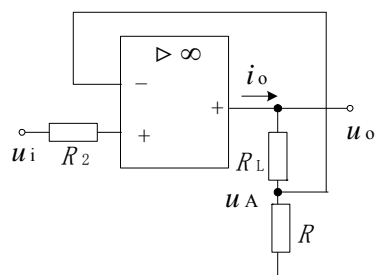
同理: 当  $u_i = 5V$  时,  $R_{12} = \frac{u_i}{2u_o} = \frac{5}{2 \times 5} = 500K\Omega$

当  $u_i = 0.5V$  时,  $R_{13} = \frac{u_i}{2u_o} = \frac{0.5}{2 \times 5} = 50K\Omega$



题10-11图

**10-12** 题 10-12 图是电压-电流变换电路,  $R_L$  是负载电



题10-12图



阻（一般  $R_L \ll R$ ）。试求负载电流  $i_o$  与输入电压  $u_i$  的关系。

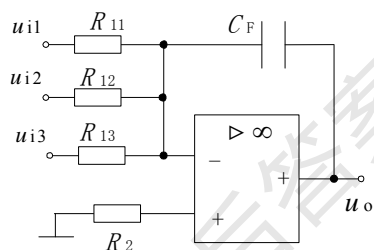
解：  $u_A = u_- = u_+ = u_i$

$$i_o = \frac{u_o - u_A}{R_L} = \frac{u_A}{R}$$

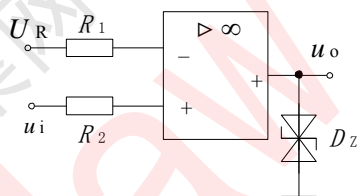
有：  $u_o = (1 + \frac{R_L}{R})u_A$

则：  $i_o = \frac{(1 + \frac{R_L}{R})u_A - u_A}{R_L} = \frac{u_A}{R} = \frac{u_i}{R}$

10-13 试写出题 10-13 图所示积分电路输出电压  $u_o$  的表达式。



题10-13图



题10-14图

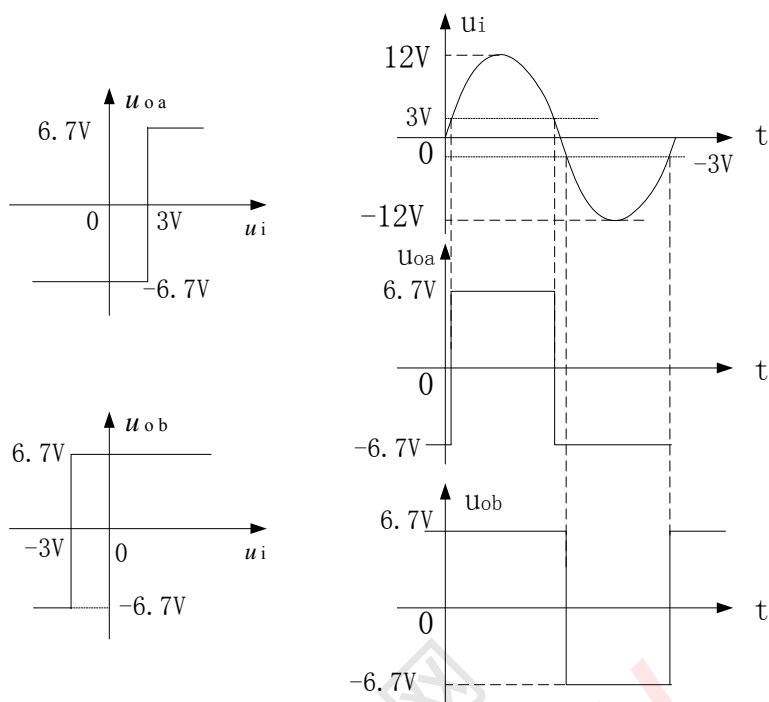
解：因为：  $u_- = u_+ = 0$

所以：  $i_f = \frac{u_{i1}}{R_{11}} + \frac{u_{i2}}{R_{12}} + \frac{u_{i3}}{R_{13}} = -C_F \frac{du_o}{dt}$

则：  $u_o = -\frac{1}{C_F} \int (\frac{u_{i1}}{R_{11}} + \frac{u_{i2}}{R_{12}} + \frac{u_{i3}}{R_{13}}) dt$

10-14 在题 10-14 图所示电路中，运算放大器的最大输出电压  $U_{OPP} = \pm 12V$ ，稳压管的稳定电压为  $U_Z = 6V$ ，其正向压降  $U_D = 0.7V$ ， $u_i = 12 \sin \omega t V$ 。当参考电压  $U_R = +3V$  和  $-3V$  两种情况时，试画出传输特性和输出电压  $u_o$  的波形。

解：传输特性及波形如题 10-14 图 (a) 所示。 $u_{oa}$  是  $U_R = 3V$  时的输出电压； $u_{ob}$  是  $U_R = -3V$  时的输出电压。



题10-14图 (a)