

6.1 试说明晶体三极管参数的含义及互相之间的关系。

(1)  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $I_{CBO}$ 、 $I_{CEO}$  及其互相关系；

(2)  $g_m$  定义， $g_m$  与  $r_{be}$  之间的关系；

(3)  $f_\beta$ 、 $f_T$  的含义，以及二者之间的关系。

解 (1)  $\alpha$  表示共基极电流放大倍数，有  $\alpha = \frac{I_{CN}}{I_{BN}}$ 。 $\beta$  表示共射极电流放大倍数，

有  $\beta = \frac{I_C}{I_B}$ 。 $\alpha$  和  $\beta$  两种电流放大倍数均表示 BJT 的电流控制作用，它们的值主要

取决于基区、集电区和发射区的杂质浓度以及器件的几何结构。而 BJT 内部载流子的传输过程是一样的，所以  $\alpha$  和  $\beta$  可换算。

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

$I_{CBO}$  为发射极开路时，集电极与基极之间的反向饱和电流。

$I_{CEO}$  为基极开路时，集电极与发射极之间的穿透电流。

$I_{CBO}$ 、 $I_{CEO}$  均由本征激发产生的少子形成，它们的大小直接反映管子的热稳定性。

(2)  $g_m$  被称为跨导（单位 S），是一个电路单元的输出电流与该单元的输入电压的比值。

$$g_m = \frac{\beta}{r_{be}} = \frac{I_{EQ} \text{ mA}}{26 \text{ mV}}$$

(3)  $f_\beta$  表示共射极截止频率。当  $|A_v|$  值下降到  $\beta_0$  的 0.707 倍时的频率  $f_\beta$  定义为三极管的共射极截止频率。

$f_T$  表示特征频率。当  $|A_v|$  值下降到 1 时的频率  $f_T$  定义为三极管的特征频率。

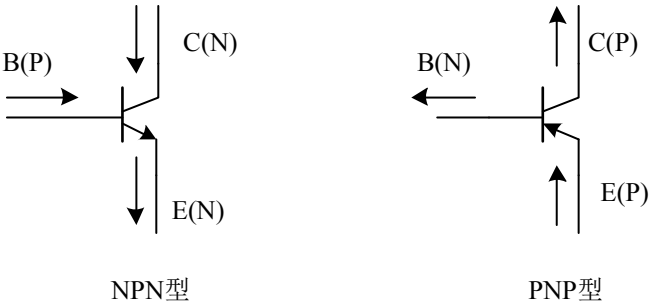
当  $f = f_T$  时，有

$$f_T = \beta_0 \cdot f_\beta$$

6.2 测得放大电路中 4 只晶体管各级电位如题表 6.2 所示，试判断管型（NPN 或 PNP）、材料（硅或锗），并确定 B、E、C 极。

题表 6.2

序号	$V_1$	$V_2$	$V_3$	管型 (NPN或PNP)	硅或锗	B、E、C
A	0V	0.3V	-5V			
B	8V	2V	2.7V			
C	-2V	5V	-2.3V			
D	-10V	-2.3V	-3V			



解 由于晶体管均处于放大区，所以：

对于 NPN 管来说，有  $V_C > V_B > V_E$ ；而对于 PNP 管来说，有  $V_E > V_B > V_C$ 。

若有  $|V_E - V_B| = 0.3\text{V}$ ，则为锗管；若有  $|V_E - V_B| = 0.7\text{V}$ ，则为硅管。

分析：可以首先通过 3 个电压，任两个相减取绝对值，若有 0.7V 情况，则为硅管；如有 0.3V 情况，则为锗管。再依次根据电压的大小确定极性。

(1) 根据上面的分析方法，易知为锗管。若 B、E 依次为  $V_1$ 、 $V_2$ ，则 C 为  $V_3$ ，即为 PNP 管，满足  $V_E > V_B > V_C$  的条件；若 B、E 依次为  $V_1$ 、 $V_2$ ，则 C 为  $V_3$  即为 NPN 管，不满足  $V_C > V_B > V_E$  的条件，所以不是 PNP 管。

综上有，此管为 NPN 管，且为锗管，B、E、C 依次为  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$

(2) 根据上面的分析方法，易知为硅管。若 B、E 依次为  $V_3$ 、 $V_2$ ，则 C 为  $V_1$ ，即为 NPN 管，满足  $V_C > V_B > V_E$  的条件；若 B、E 依次为  $V_2$ 、 $V_3$ ，则 C 为  $V_1$  即为 PNP 管，不满足  $V_E > V_B > V_C$  的条件，所以不是 PNP 管。

综上有，此管为 NPN 管，且为硅管，B、E、C 依次为  $V_3$ 、 $V_2$ 、 $V_1$

(3) 根据上面的分析方法，易知为锗管。若 B、E 依次为  $V_1$ 、 $V_3$ ，则 C 为  $V_2$ ，即

为 NPN 管，满足  $V_C > V_B > V_E$  的条件；若 B、E 依次为  $V_3$ 、 $V_1$ ，则 C 为  $V_3$  即为 PNP 管，不满足  $V_E > V_B > V_C$  的条件，所以不是 PNP 管。

综上有，此管为 NPN 管，且为锗管，B、E、C 依次为  $V_1$ 、 $V_3$ 、 $V_2$

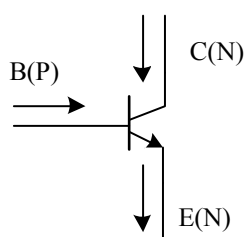
(4) 根据上面的分析方法，易知为硅管。若 B、E 依次为  $V_3$ 、 $V_2$ ，则 C 为  $V_1$ ，即为 PNP 管，满足  $V_E > V_B > V_C$  的条件；若 B、E 依次为  $V_2$ 、 $V_3$ ，则 C 为  $V_1$  即为 NPN 管，不满足  $V_C > V_B > V_E$  的条件，所以不是 NPN 管。

综上有，此管为 PNP 管，且为硅管，B、E、C 依次为  $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_1$

6.3 测得 3 只晶体管（NPN）的各极电压如题表 6.3 所示，试判断各管的工作状态（放大区、饱和区、截止区）？

题表 6.3

序号	各极电压			工作状态
	$V_B$	$V_C$	$V_E$	
A	-3V	5V	-3.7V	
B	6V	5.5V	5.3V	
C	-2V	8V	-0.7V	



解 判断三极管的工作状态，就是看 PN 结的导通状态 ( $P \rightarrow N$  正偏)。

(A) 由  $V_B > V_E$  知，发射结正偏；由  $V_B < V_C$  知集电结反偏，所以处于放大区。

(B) 由  $V_B > V_E$  知，发射结正偏；由  $V_B > V_C$  知集电结正偏，所以处于饱和区。

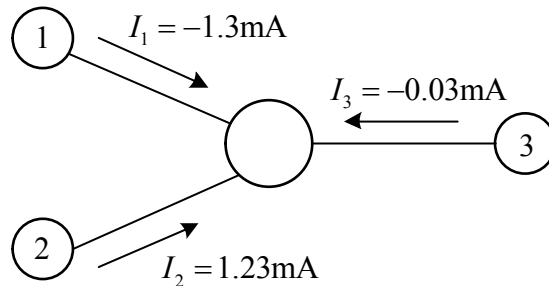
(C) 由  $V_B < V_E$  知，发射结反偏；由  $V_B < V_C$  知集电结反偏，所以处于截止区。

6.4 在某放大电路中，晶体管三个电极的电流如题图 6.4 所示。由此可知：

(1) 电极①、②、③分别为\_\_\_\_\_。

(2) 约为\_\_\_\_\_。

(3) 管子类型为\_\_\_\_\_。



题图 6.4

解 由图知,  $I_2$  流入,  $I_1$ 、 $I_3$  流出, 所以此管子是 PNP 型, 2 是发射极(E); 又  $|I_1| \gg$  ,

所以 1 是集电极(C), 3 是基极(B)。  $\beta = \frac{I_1}{I_3} = 43$ 。

答案: (1) C、E、B; (2) 43; (3) PNP 型

6.5 某晶体管的极限参数  $P_{CM} = 150\text{mW}$ ,  $I_{CM} = 100\text{mA}$ ,  $U_{(BR)CEO} = 30\text{V}$ , 若其工

作电压  $U_{CE} = 10\text{V}$ , 则工作电流不得超过\_\_\_\_\_mA; 若工作电压  $U_{CE} = 1\text{V}$ ,

则工作电流不得超过\_\_\_\_\_mA; 若工作电流  $I_C = 1\text{mA}$ , 则工作电压不得超过\_\_\_\_\_V。

解 由题意,  $I_{C1} = \frac{150\text{mW}}{10\text{V}} = 15\text{mA}$ ; 因为  $I_{C2} = \frac{150\text{mW}}{1\text{V}} = 150\text{mA} > I_{CM} = 100\text{mA}$ , 所以

$I_{C2(\text{max})} = 100\text{mA}$ ; 因为  $U_{CE01} = \frac{150\text{mW}}{1\text{mA}} = 150\text{V} > U_{(BR)CEO} = 30\text{V}$ , 所以  $U_{CE01} = 30\text{V}$ 。

答案: 15; 100; 30

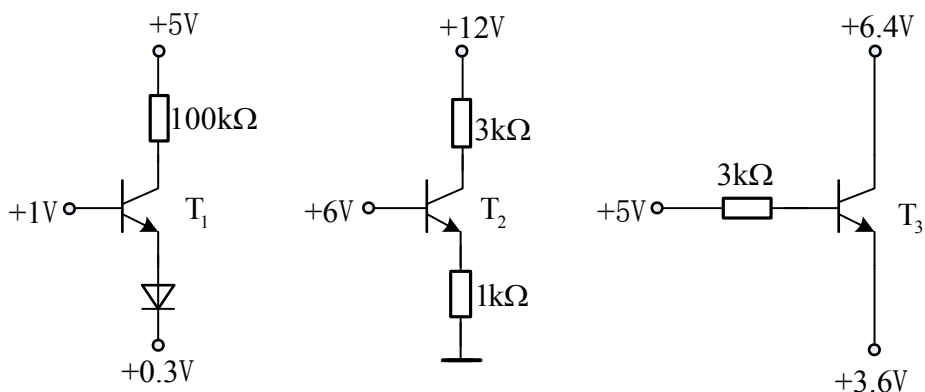
6.6 温度升高时, 晶体管的电流放大系数 和反向饱和电流  $I_{CBO}$  将\_\_\_\_, 发射

结正向压降  $U_{CE}$  将\_\_\_\_; 共射极输入特性曲线将\_\_\_\_, 输出特性曲线将\_\_\_\_,

而且输出特性曲线之间的间隔将\_\_\_\_\_。

答案: 增大; 下降; 左移; 上升; 增大

6.7 设所有的二、三极管均为硅管, 请判断题图 6.7 中各三极管的工作状态。



题图 6.7

解 (1) 由若二极管导通, 则  $V_E = 0.3 + 0.7 = 1V$ , 此时三极管 PN 结却截止, 所以电路中  $I_B = 0mA$ , 发射结零偏, 三极管截止;

(2) 由图易知, 发射结与集电结均正偏, 所以三极管处于饱和状态;

(3) 由图算得,  $V_B = 3.6 + 0.7 = 4.3V$ , 所以  $I_B > 0$ ,  $I_C = \beta I_B > 0$ , 发射结与集电结均正偏, 三极管处于饱和状态。

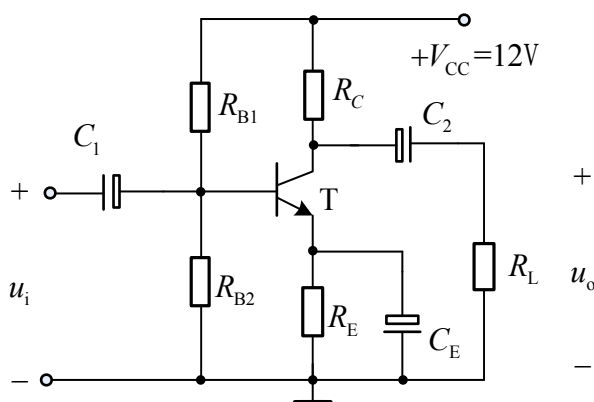
#### 6.8 有哪些方法可以增大放大电路的输入阻抗?

解 根据输入阻抗的概念, 增大输入阻抗方法:

(1) 增加输入电压; (2) 减小输入电流; (3) 串联负反馈等。

6.9 题图 6.9 中的电路出现故障, 且经测量得知  $U_E = 0$ ,  $U_C = V_{CC}$ 。故障的原因是以下四种之一。请判明是\_\_\_\_\_。

- A.  $R_C$  开路      B.  $R_C$  短路      C.  $R_E$  短路      D.  $R_{B1}$  开路



题图 6.9

解 由于  $U_E = 0$ ,  $U_C = V_{CC}$ , 所以  $I_E = 0$ ,  $I_C = 0$ ; 因此,  $I_B = 0$ , 说明由  $R_{B1}$ ,  $R_{B2}$

(近似串联)提供的电流为零,所以只有可能是 $R_{B1}$ 断开,导致三极管截止,没有工作。所以选择D。

6.10 某放大电路在负载开路时的输出电压的有效值为4V,接入 $3k\Omega$ 负载电阻后,输出电压的有效值降为3V,据此计算放大电路的输出电阻。

解 设放大电路的输出电阻为 $R_o$ ,则

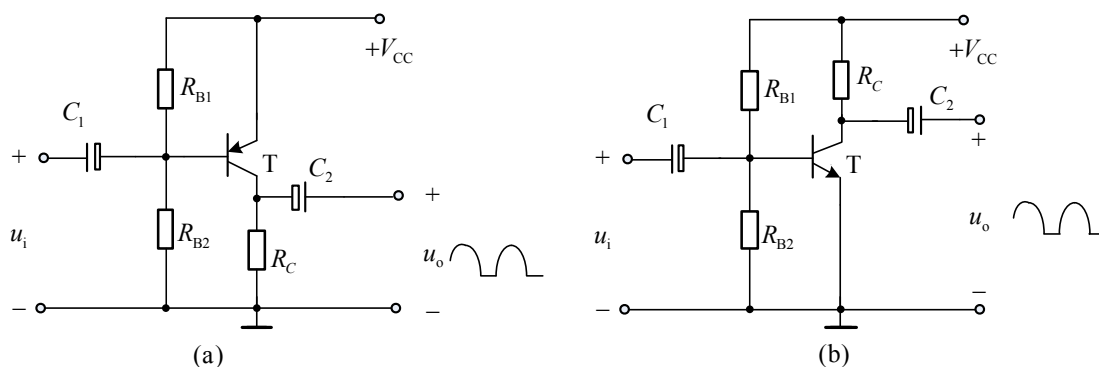
$$\frac{4V}{R_o} = \frac{3V}{R_o // 3k}$$

解得:  $R_o = 1k\Omega$

6.11 题图 6.11 给出两个放大电路,若它们的输出发生同样的波形失真,试回答:

(1)各发生了什么失真?

(2)若使其不失真,应该调节什么元件?



题图 6.11

解 (1)由(a)图可知,其静态工作点的位置Q较低,所以发生截止失真;(b)图的静态工作点的位置Q较高,所以发生饱和失真。

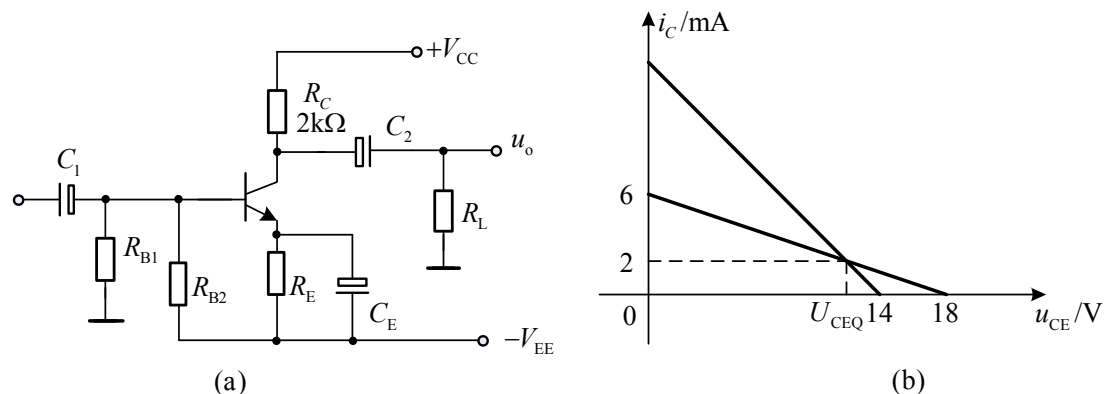
(2)(a)增大 $R_{B1}$ ; (b)减小 $R_{B1}$

6.12 放大器如题图 6.12(a)所示,  $V_{CC} = |V_{EE}|$ , 要求其交、直流负载线如题图

6.12(b)所示。试回答下述问题:

(1)  $V_{CC} = |V_{EE}| = ?$   $R_E = ?$   $U_{CEQ} = ?$   $R_{B1} = ?$   $R_{B2} = ?$   $R_L = ?$

(2)如果输入信号的幅度较大,将会首先发生什么失真? 动态范围 $V_{opp} = ?$ 若要减少失真,增大动态范围,则应如何调节电路元器件?



题图 6.12

解 (1) 由图(b)知, 静态工作点为,  $I_C = 2\text{mA}$ ,  $U_{CEQ} = 12\text{V}$ 。所以,

$$\text{直流负载线为: } I_C = 6 - \frac{1}{3}U_{CE},$$

$$V_{CC} = I_C(R_C + R_E) + U_{CEQ} - V_{EE}$$

$$\text{交流负载线为: } i_c = 14 - u_{CE},$$

$$u_{ce} = -i_c(R_C // R_L)$$

$$u_{ce} = u_{CE} - U_{CEQ}$$

$$i_c = i_C - I_{CQ}$$

$$\text{解得: } R_E = 1\text{k}\Omega, V_{CC} = 9\text{V}, R_L = 2\text{k}\Omega,$$

(2) 由(1)知  $U_{CEQ} > \frac{1}{2}(V_{CC} + V_{EE})$ , 所以静态工作点偏低, 会出现截止失真。增大  $R_{B2}$

即可使静态工作点左移, 从使其上升。

$$U_{BO} = U_{CEQ} - U_{CE(sat)} = 12 - 0.3 = 11.7\text{V}$$

$$U_{OA} = I_{CQ}R_L = 4\text{V}$$

所以

$$U_{omax} = \min\{U_{BO}, U_{OA}\} = 4\text{V}$$

6.13 电路如题图 6.13 所示, 已知  $\beta = 100$ ,  $U_{BEQ} = -0.3\text{V}$ 。试回答:

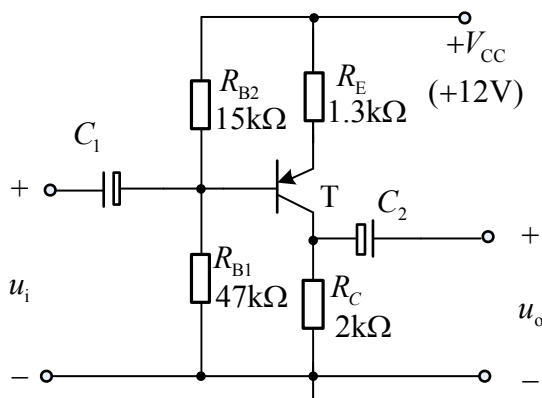
(1) 估算直流工作点  $I_{CQ}$ 、 $U_{CEQ}$ ;

(2) 若  $R_{B1}$  开路, 则  $U_{CQ} = ?$  工作状态如何?

(3) 若  $R_{B2}$  开路, 则  $U_{CQ} = ?$  工作状态如何?

(4) 当  $R_{B2}$  开路时, 要求集电极静态电流  $I_{CQ} = 2\text{mA}$ , 则  $R_{B1}$  应取多大值?

(5) 估算该电路的交流放大倍数  $A_u = \frac{u_o}{u_i} = ?$



题图 6.13

解 由题意, 题图中的直流通路如图 6.13(1), 所以有:

$$V_{BQ} = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} = \frac{47}{47 + 15} \times 12 = 9.1\text{V}$$

$$V_{EQ} = V_{BQ} - U_{BEQ} = 9.1 - (-0.3) = 9.4\text{V}$$

$$I_{EQ} = \frac{V_{CC} - V_{EQ}}{R_E} = \frac{12 - 9.4}{1.3\text{k}} = 2\text{mA}$$

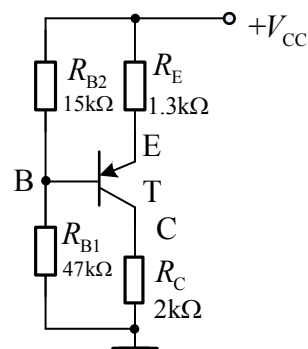


图 6.13(1)

$$(1) \quad I_{CQ} = I_{EQ} = 2\text{mA},$$

$$U_{CEQ} = I_{EQ} R_E + I_{CQ} R_C - V_{CC} = -5.4\text{V}$$

(2) 当  $R_{B1}$  开路时, 直流通路如图 6.13(2),

由  $\beta = 100$ ,  $U_{BEQ} = V_{BQ} - V_{EQ} = -0.3\text{V}$  有:

$$V_{BQ} = V_{CC} - I_{BQ} R_{B2}$$

$$V_{EQ} = V_{CC} - I_{EQ} R_E$$

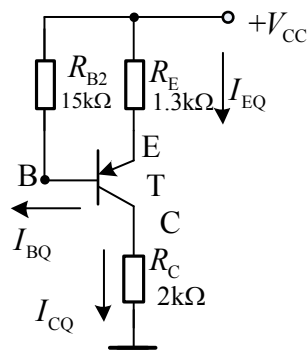


图 6.13(2)



$$I_{EQ} = I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$\text{计算得: } I_{BQ} = -\frac{0.3}{115k} A < 0, \quad I_{EQ} = I_{CQ} = \beta I_{BQ} = -\frac{30}{115k} A < 0$$

所以发射极与集电极均反偏，即出于截止状态。  $U_{CQ} = 0V$

(3) 当  $R_{B2}$  开路时，直流通路如图 6.13(3)，

由  $\beta = 100$ ，  $U_{BEQ} = V_{BQ} - V_{EQ} = -0.3V$  有：

$$V_{BQ} = I_{BQ} R_{B1}$$

$$V_{EQ} = V_{CC} - I_{EQ} R_E$$

$$I_{EQ} = I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$\text{计算得: } I_{BQ} = \frac{11.7}{177k} A > 0,$$

$$I_{EQ} = I_{CQ} = \beta I_{BQ} = \frac{11.7}{1770} A > 0$$

所以发射极与集电极均正偏，即处于饱和状态。  $U_{CQ} = 7.1V$

$$(4) \text{ 由 (3) 知: } I_{CQ} = \beta I_{BQ} = \frac{\beta(V_{CC} - 0.3)}{R_{B1} + \beta R_E}$$

所以解得:  $R_{B1} = 455k\Omega$

(5) 题图的交流通路如图 6.13(4) 所示。

$$r_{be} = 200 + (1 + \beta) \frac{26mV}{I_{EQ}} = 1.513k\Omega$$

$$u_i = i_b r_{be} - (1 + \beta) i_b R_E$$

$$u_o = \beta i_b R_C$$

故：

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{\beta R_C}{r_{be} - (1 + \beta) R_E} = -1.54$$

6.14 放大电路如题图 6.14 所示，设所有电容对交流可视为短路，试回答如下问题：

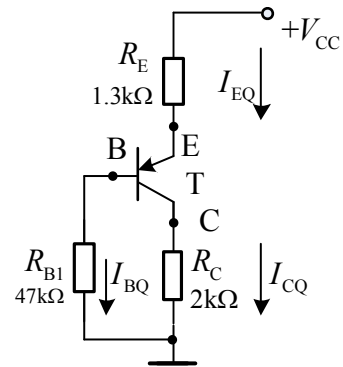


图 6.13(3)

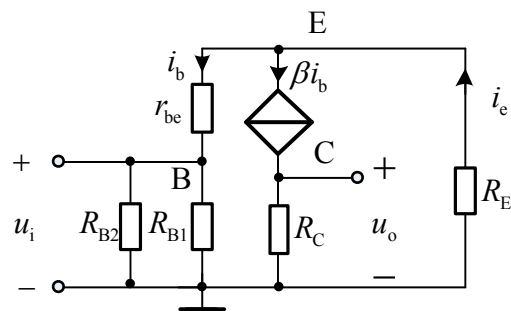
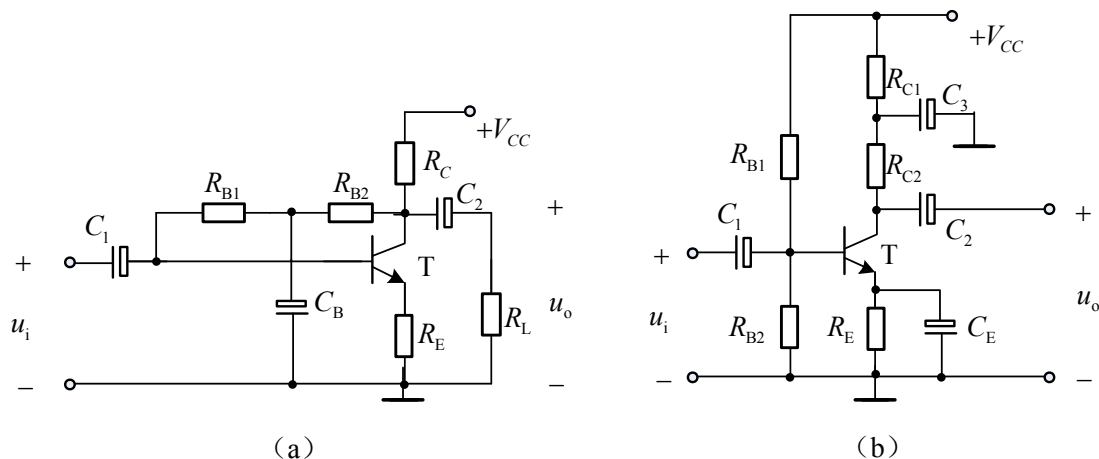


图 6.13(4)

(1) 分别求出图(a)和图(b)的直流工作点  $I_{CQ}$ 、 $U_{CEQ}$  表达式；

(2) 分别求出图(a)和图(b)的  $A_u = \frac{u_o}{u_i}$ 、 $R_i$ 、 $R_o$  表达式。



题图 6.14

解 (1) 题图(a)、(b)的直流通路如图 6.14(1)、(2)所示。

对于图 6.14(1)有：

$$V_{BQ} - V_{EQ} = 0.7V$$

$$V_{EQ} = I_{EQ} R_E,$$

$$V_{CQ} - V_{BQ} = I_{BQ} (R_{B1} + R_{B2}),$$

$$V_{CC} - V_{CQ} = I_{CQ} R_C$$

$$I_{EQ} = I_{BQ} + I_{CQ}, \quad I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$\text{解得：} I_{CQ} = \frac{\beta(V_{CC} - 0.7)}{(1 + \beta)R_E + \beta R_C + R_{B1} + R_{B2}}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C - I_{EQ} R_E = V_{CC} - I_{CQ} \left( R_C + \frac{1 + \beta}{\beta} R_E \right)$$

对于图 6.14(2)有：  $V_{BQ} - V_{EQ} = 0.7V$

$$V_{EQ} = I_{EQ} R_E,$$

$$V_{CC} - V_{CQ} = I_{CQ} (R_{C1} + R_{C2}),$$

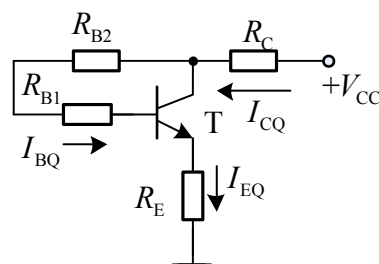


图 6.14(1)

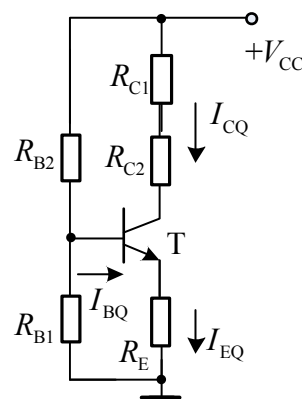


图 6.14(2)

$$V_{BQ} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC}$$

$$I_{EQ} = I_{BQ} + I_{CQ}, \quad I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$\text{解得: } I_{CQ} = \frac{\beta \left( \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} - 0.7 \right)}{(1 + \beta) R_E}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} (R_{C1} + R_{C2} + \frac{1 + \beta}{\beta} R_E)$$

(2) 题图(a)、(b)的交流通路如图 6.14(3), (4) 所示,

对于图 6.14(3) 有:

$$u_o = -\beta i_b (R_{B2} // R_C // R_L)$$

$$u_i = i_b (r_{be} + (1 + \beta) R_E)$$

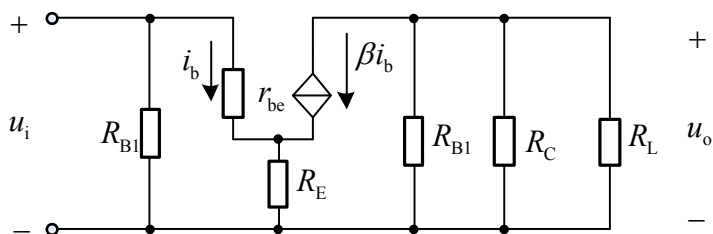


图 6.14(3)

故:

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{\beta (R_{B2} // R_C // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta) R_E}$$

$$R_o = R_{B2} // R_C$$

$$R_i = R_{B1} // (r_{be} + (1 + \beta) R_E)$$

对于图 6.14(4) 有:

$$u_o = -\beta i_b R_{C2}$$

$$u_i = i_b r_{be}$$

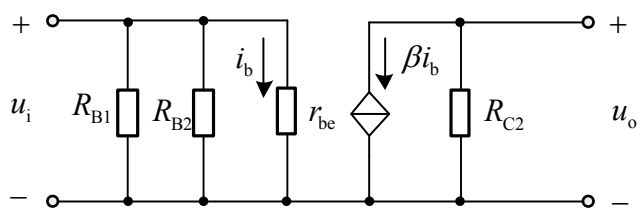


图 6.14(4)

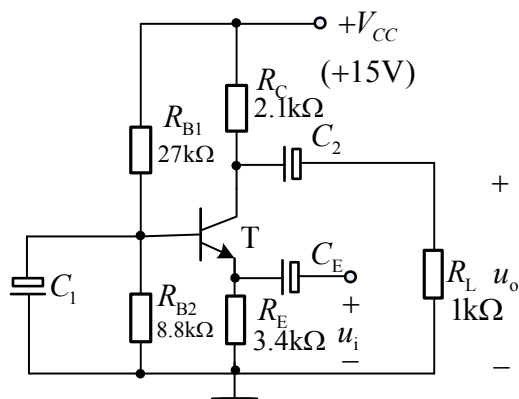
$$\text{故: } A_u = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{\beta R_{C2}}{r_{be}}$$

$$R_o = R_{C2}$$

$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be}$$

6.15 已知一共基极放大电路如题图 6.15 所示, 三极管的  $U_{BEQ} = 0.3V$ ,  $\beta = 100$ 。

计算该放大电路的静态工作点  $I_{EQ}$  和  $U_{CEQ}$ 、放大倍数  $A_u$ 、输入电阻  $R_i$  和输出电阻  $R_o$ 。



题图 6.15

解 直流通路如图 6.15(1) 所示：

$$V_{BQ} - V_{EQ} = 0.3V$$

$$V_{EQ} = I_{EQ} R_E,$$

$$V_{CC} - V_{CQ} = I_{CQ} R_C,$$

$$V_{BQ} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC}$$

$$I_{EQ} = I_{BQ} + I_{CQ}, \quad I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$\text{解得: } I_{CQ} = \frac{\beta \left( \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} - 0.3 \right)}{(1 + \beta) R_E}$$

$$I_{EQ} = \frac{\beta + 1}{\beta} I_{CQ} = \frac{\left( \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} - 0.3 \right)}{R_E} = 1.0 \text{mA}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} \left( R_C + \frac{1 + \beta}{\beta} R_E \right) = 9.5V$$

交流通路如图 6.15(2) 所示：

$$r_{be} = 200 + (1 + \beta) \frac{26 \text{mV}}{1.0 \text{mA}} = 2.826 \text{k}\Omega$$

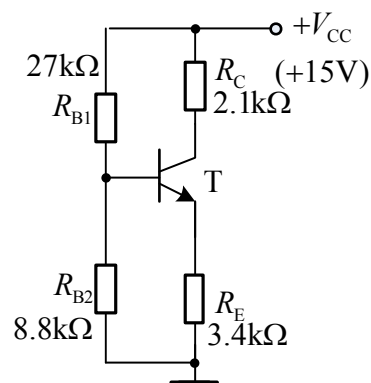


图 6.15(1)

$$u_o = -\beta i_b (R_C // R_L)$$

$$u_i = -i_b r_{be}$$

$$\text{故: } A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be}} = 24$$

$$R_o = R_C = 2.1\text{k}\Omega$$

$$R_i = R_E // \frac{r_{be}}{1+\beta} = 27.8\Omega$$

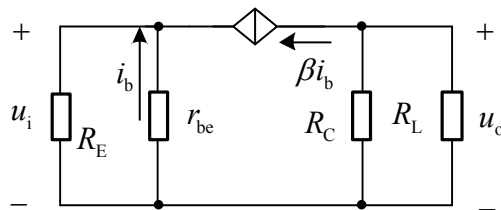
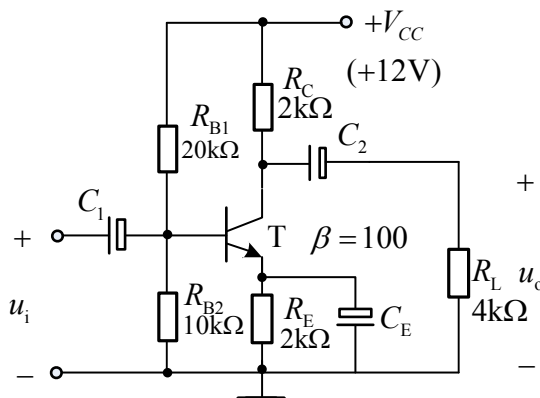


图 6.15 (2)

6.16 电路如图 6.16，已知  $\beta = 50$ ， $r_{be} = 1.5\text{k}\Omega$ ，计算电压放大倍数  $A_u = \frac{u_o}{u_i}$ ；

若保持  $\beta = 50$  不变，将  $R_L$  由  $4\text{k}\Omega$  改为  $2\text{k}\Omega$ ，则电压放大倍数将如何变化？

在其他参数不变的情况下， $\beta$  变为 100，放大倍数将如何变化？



题图 6.16

解 直流通路如图 6.16(1) 所示。

$$V_{BQ} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} = 4\text{V}$$

$$I_{EQ} = \frac{V_{BQ} - U_{BEQ}}{R_E} = 1.65\text{mA}$$

$$r_{be} = 1.5\text{k}\Omega$$

交流通路如图 6.16(2) 所示。

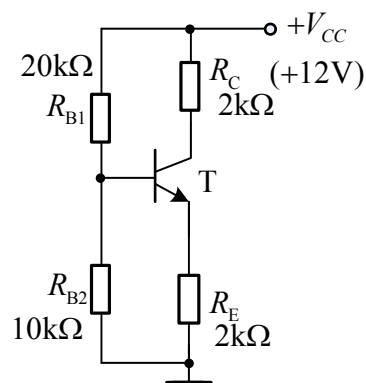


图 6.16 (1)

$$u_i = i_b (R_{B1} // R_{B2} // r_{be})$$

$$u_o = -\beta i_b (R_C // R_L)$$

$$\text{所以, } A_u = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{\beta(R_C // R_L)}{R_{B1} // R_{B2} // r_{be}} = -54$$

当  $R_L$  由  $4k\Omega$  改为  $2k\Omega$  时, 电压放大倍数(绝对值)将减小; 当  $\beta$  变为 100 时, 电压放大倍数将增大。

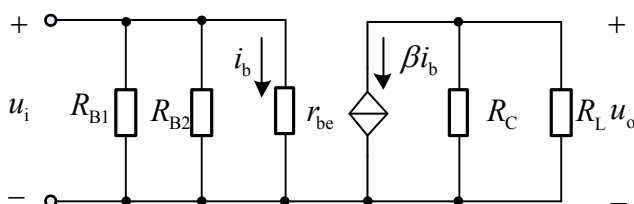
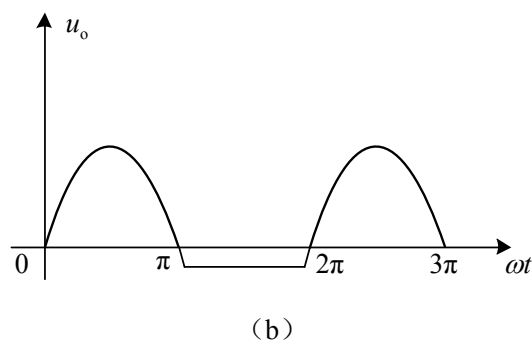
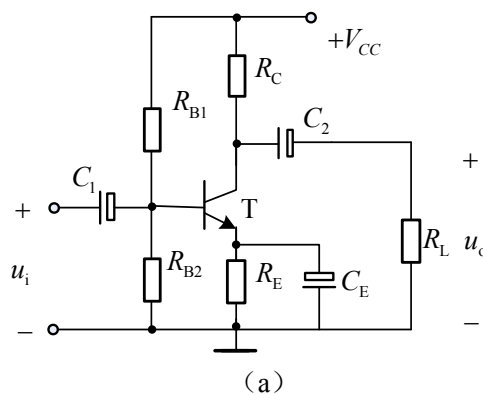


图 6.16 (2)

6.17 共射极放大电路如题图 6.17(a) 所示, 其输出波形产生了如题图 6.17(b) 所示的失真。请问属饱和失真还是截止失真? 消除该种失真最为有效的方法是什么? 如三极管改为 PNP 管, 若出现的仍为底部失真, 上面的答案又怎样?



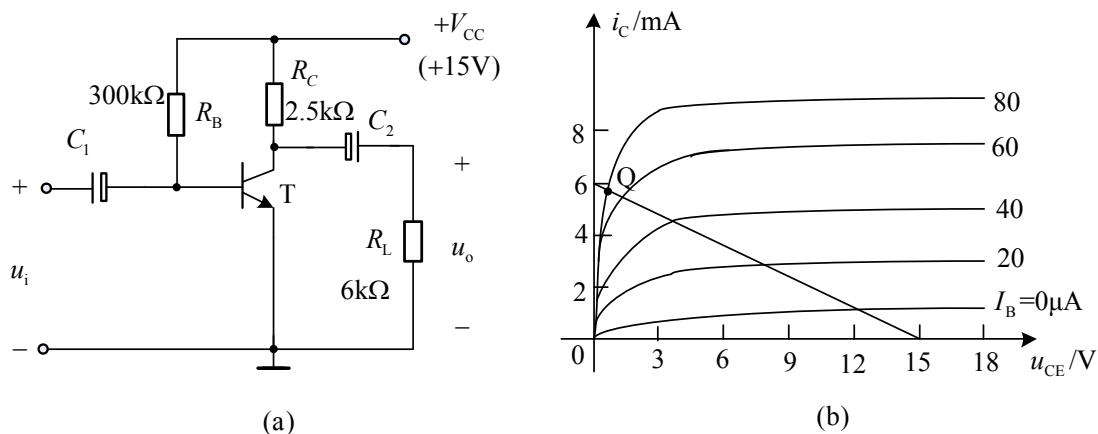
题图 6.17

解 属于饱和失真(截止失真属于波形顶部失真, 饱和失真属于波形底部失真)。此时要减小  $I_{CQ}$  或者增大  $U_{CEQ}$ , 所以可以增大或者  $R_{B1}$  减小  $R_{B2}$ ; 若为 PNP 管, 则减小  $R_{B1}$  或者增大  $R_{B2}$

6.18 已知共射极放大电路和三极管输出特性曲线如题图 6.18 所示,  $\beta = 80$ , 其

他参数如图标注。求：

- (1) 画出直流和交流通路；
- (2) 作出直流负载线和交流负载线；
- (3) 分析当足够大时，先出现何种失真？如何消除它？



题图 6.18

解 (1) 直流、交流通路分别如图 6.18(1)、(2) 所示。

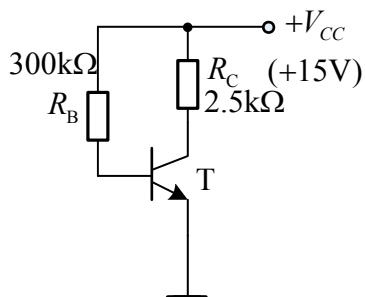


图 6.18(1)

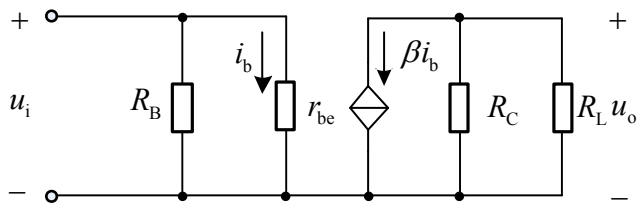


图 6.18(2)

(2) 交、直流负载线如图 6.18(3) 所示。

静态工作点：

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - 0.7}{R_B} = 0.048\text{mA}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 3.8\text{mA}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 5.5\text{V}$$

直流负载线：  $U_{CE} = 15 - 2.5I_C$

动态工作点：

$$u_{ce} = -i_c(R_C // R_L)$$

$$u_{ce} = u_{CE} - U_{CEQ}$$

$$i_c = i_C - I_{CQ}$$

交流负载线:  $i_C = 6.925 - 0.57u_{CE}$

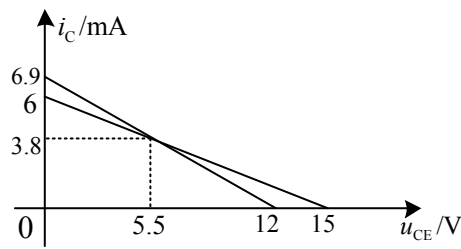


图 6.18(3)

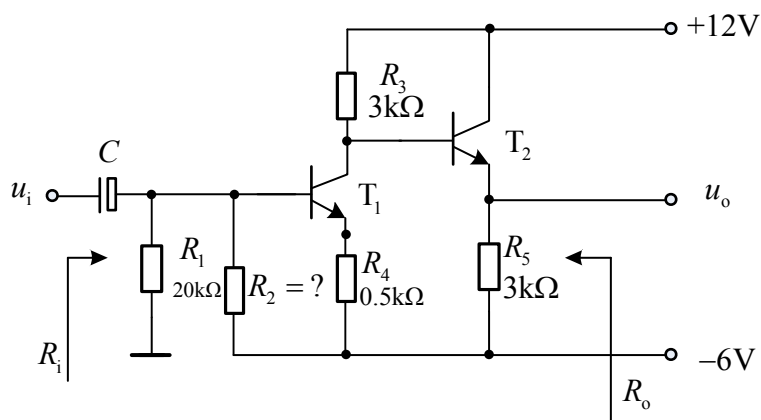
(3) 由于  $U_{CEQ} = 5.5V < \frac{1}{2}V_{CC}$ , 所以静态工作点 Q 偏高, 会出现饱和失真。可以通过增大  $R_B$  来消除。

6.19 电路如题图 6.19 所示, 已知  $U_{BEQ} = 0.7V$ ,  $\beta = 100$ , 试回答:

(1) 若要求  $U_{oQ} = 0$ , 估算偏置电阻  $R_2$  应取何值?

(2) 若  $u_i = 100\sin\omega t mV$ , 试求  $u_o$ 。

(3) 求输入电阻  $R_i$  和输出电阻  $R_o$ 。



题图 6.19

解 (1) 静态工作时,



$$U_{oQ} = 0, \text{ 则 } V_{C1} = U_{oQ} + 0.7 = 0.7V,$$

$$I_{C1} = \frac{12 - 0.7}{3k} = 3.78mA$$

$$V_{B1} = -6 + 0.7 + I_{C1}R_4 = -3.4V$$

$$R_2 = \frac{6 + V_{B1}}{-V_{B1}} R_1 = 15.3k\Omega$$

(2) 题图的交流通路如图 6.19(1) 所示。

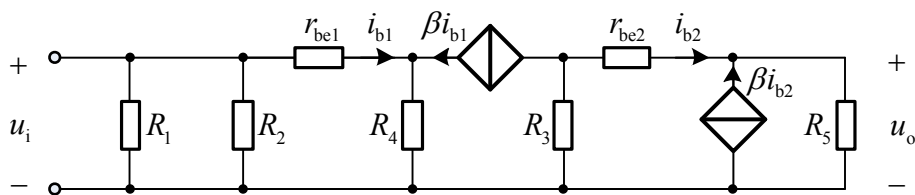


图 6.19(1)

$$u_{i1} = -i_{b1}(R_1 // R_2), \quad u_{o1} = i_{b1}(1 + \beta)R_4$$

$$u_{i2} = -(\beta i_{b1} + i_{b2})R_3, \quad u_{o2} = i_{b2}(1 + \beta)R_5$$

$$-(\beta i_{b1} + i_{b2})R_3 = i_{b2}r_{be2} + u_{o2} = i_{b2}[r_{be2} + (1 + \beta)R_5] \approx i_{b2}(1 + \beta)R_5$$

$$\text{解得: } A_u = A_{u1}A_{u2} = -5.8$$

$$\text{所以, } u_o = A_u u_i = -580 \sin \omega t mV$$

$$(3) \quad R_1 = R_1 // R_2 // [r_{be1} + (1 + \beta)R_4] = 7.35k\Omega$$

$$\text{用外加电源法求得: } R_o = \frac{R_3 + r_{be2}}{1 + \beta} = \frac{4313\Omega}{101} = 43\Omega$$

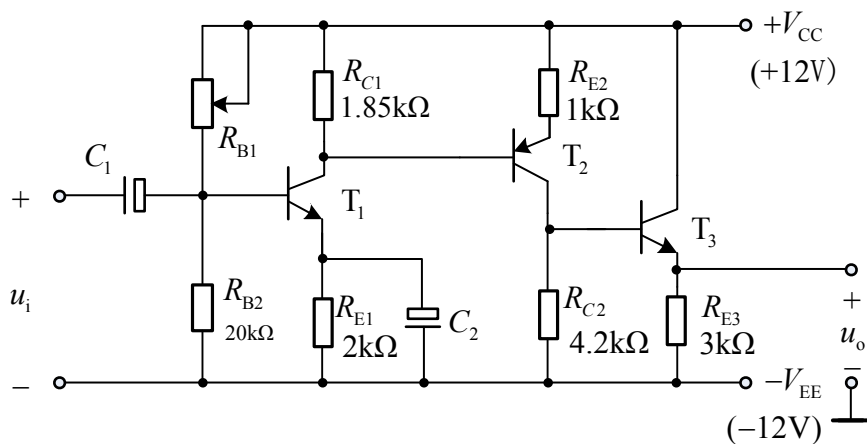
6.20 电路如题图 6.20 所示, 已知  $\beta = 100$ ,  $U_{BEQ} = 0.7V$ ,  $r_{bb}$  可忽略。试回答:

(1)  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  各是何种组态电路?

(2) 若要求输出直流电位为零 ( $U_{oQ} = 0$ ), 则  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  的集电极电流各等于多少? 第一级偏置电阻  $R_{B1}$  应调到多大?

$$(3) \text{ 计算总放大倍数 } A_u = \frac{u_o}{u_i};$$

(4) 计算总输入电阻和输出电阻。



题图 6.20

解 (1) 共射极、共射极、共集极；

$$(2) I_{C3Q} = I_{E3} = \frac{12}{3k} = 4mA ;$$

$$I_{C2Q} = \frac{I_{C3}R_{E3} + 0.7}{R_{C2}} = 3mA ;$$

$$I_{C1Q} = \frac{12 - (12 - I_{C2}R_{E2} - 0.7)}{R_{C1}} = 2mA$$

$$V_{B1} = I_{C1}R_{E1} + 0.7 = 4.7V$$

$$R_{B1} = \frac{12 - V_{B1}}{V_{B1}} R_{B2} = 31k\Omega$$

(3) 题图的交流通路如图 6.20(1) 所示。由(2)求得：

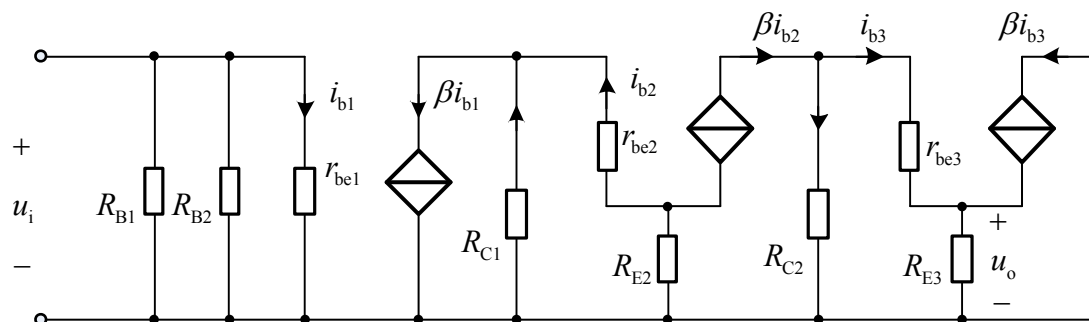


图 6.20(1)

$$r_{be1} = 200 + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{E1}} = 1513\Omega$$

$$r_{be2} = 200 + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{E2}} = 1075\Omega$$

$$r_{be3} = 200 + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{E3}} = 856.5\Omega$$

$$u_{i1} = i_{b1} r_{be1}, \quad u_{o1} = -\beta i_{b1} \{R_{C1} // [r_{be2} + (1 + \beta) R_{E2}]\}$$

$$\text{解得: } A_{u1} = -121.1$$

$$u_{i2} = -i_{b2} [r_{be2} + (1 + \beta) R_{E2}], \quad u_{o2} = \beta i_{b2} \{R_{C2} // [r_{be3} + (1 + \beta) R_{E3}]\}$$

$$\text{解得: } A_{u1} = -4.06$$

$$u_{i3} = i_{b3} [r_{be3} + (1 + \beta) R_{E3}], \quad u_{o1} = i_{b3} (1 + \beta) R_{E3}$$

$$\text{解得: } A_{u1} \approx 1$$

$$\text{所以, } A_u = A_{u1} \cdot \quad \cdot \quad \quad \quad ?$$

$$(4) \quad R_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be1} = 1.3\text{k}\Omega$$

$$R_i = \frac{R_{C2} + r_{be3}}{1 + \beta} = 50\Omega$$

6.21 某放大电路的幅频特性如题图 6.21 所示。当分别输入以下信号时，试判断放大电路的输出是否产生线性失真。

$$(1) \quad u_i = 10 \sin 20\pi t \text{ mV};$$

$$(2) \quad u_i = 30 \cos 2\pi \times 10^6 t \text{ mV};$$

$$(3) \quad u_i = 10 \sin 20\pi t + 30 \cos 2\pi \times 10^6 t \text{ mV};$$

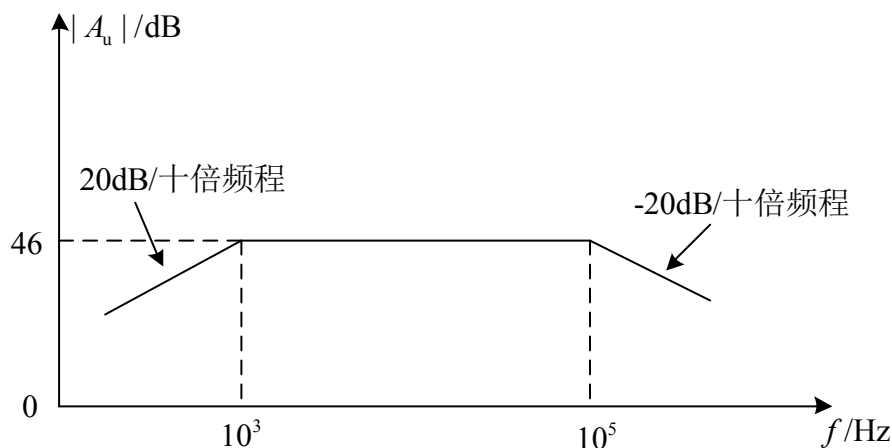
$$(4) \quad u_i \text{ 为语音信号};$$

$$(5) \quad u_i \text{ 为频率等于 } 20\text{kHz} \text{ 的方波信号};$$

$$(6) \quad u_i \text{ 为视频信号}。$$

解 当输入信号包含多次谐波时，输出波形就会产生失真。

- (1) 属于单次谐波，不产生失真；
- (2) 属于单次谐波，不产生失真；
- (3) 属于多次谐波，产生失真，且为相频失真；
- (4) 语音信号包含各种频率信号，故会产生失真；
- (5) 方波信号的频率在跳变，所以会产生失真；
- (6) 视频信号包含各种频率信号，故会产生失真；



题图 6.21

6.22 测得某放大管 3 个电极上的静态电流分别为  $2\text{mA}$ ， $2.02\text{mA}$ ， $0.02\text{mA}$ 。已知该管的  $r_{be} = 1.5\text{k}\Omega$ ， $C_\mu = 5\text{pF}$ ， $f_T = 180\text{MHz}$ 。试求该管混合  $\pi$  型等效电路的参数  $r_{be}$ ， $r_{bb'}$ ， $g_m$  和  $C_\pi$ 。

解  $r_{be} = r_{b'e} + r_{bb'}$ ， $r_{bb'} = 200\Omega$

所以， $r_{b'e} = 1.3\text{k}\Omega$

由 3 个电极上的静态电流大小可以判断：

$$I_{EQ} = 2.02\text{mA}, \quad I_{CQ} = 2.0\text{mA}, \quad I_{BQ} = 0.02\text{mA}$$

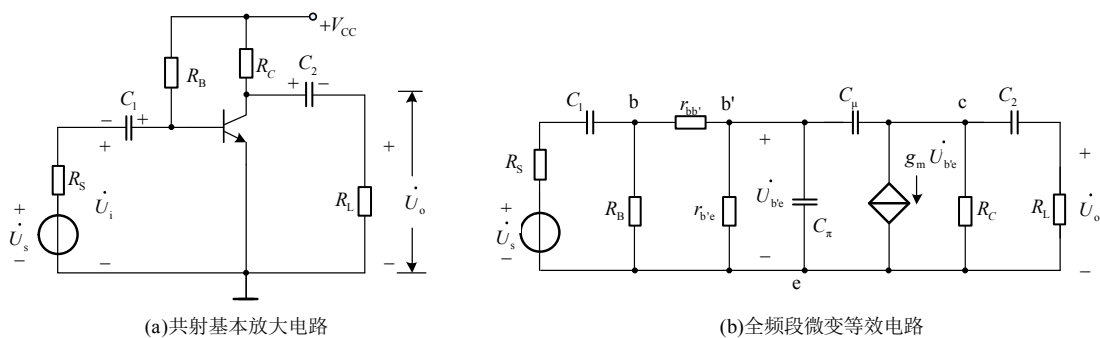
$$\text{所以, } \beta = \frac{r_{b'e} I_{EQ}}{26\text{mV}} - 1 = 100, \quad g_m = \frac{I_{EQ}}{26\text{mV}} = 77\text{mS}, \quad C_\pi \approx \frac{g_m}{2\pi f_T} = 68\text{pF}$$

6.23 题图 6.23 所示电路中  $R_B = 377\text{k}\Omega$ ， $R_C = 6\text{k}\Omega$ ， $R_S = 1\text{k}\Omega$ ， $R_L = 3\text{k}\Omega$ ， $C_1 = 2\mu\text{F}$ ，

$C_2 = 5\mu\text{F}$ ，晶体管  $\beta = 36$ ， $r_{bb'} = 100\Omega$ ， $r_{be} = 1\text{k}\Omega$ ， $f_T = 150\text{MHz}$ ， $C_\mu = 5\text{pF}$ 。

计算放大电路的中频源电压放大倍数  $\dot{A}_{usm}$ ，上下限截止频率  $f_H$ ， $f_L$  及增益

带宽积  $BW_{0.7}$ , 并画出幅频和相频特性曲线。



题图 6.23

解 中频段耦合电容容抗较小, 可视为短路, 极间电容容抗很大, 可视为开路, 题图(b)的混合  $\pi$  型等效电路如图 6.23(1) 所示。

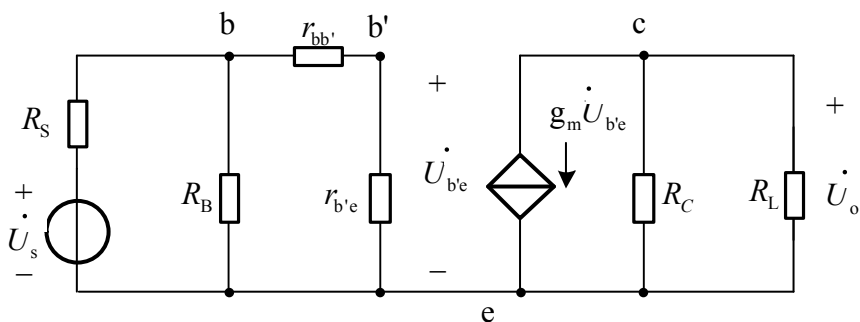


图 6.23(1) 中频段微变等效电路

(1) 在图 6.23(1) 中,  $\dot{U}_o = -g_m \dot{U}_{b'e} (R_C // R_L)$ ,  $\dot{U}_i = \frac{r_{bb'} + r_{b'e}}{r_{b'e}} \dot{U}_{b'e}$ ,  $R_i = R_B // r_{b'e} \approx r_{b'e}$

$$\text{所以, } \dot{A}_{um} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{g_m \dot{U}_{b'e} (R_C // R_L)}{\frac{r_{bb'} + r_{b'e}}{r_{b'e}} \dot{U}_{b'e}} = -\frac{g_m (R_C // R_L) r_{b'e}}{r_{bb'} + r_{b'e}}$$

将  $g_m = \frac{\beta}{r_{b'e}}$  带入上式有,

$$\dot{A}_{um} = -\frac{\beta (R_C // R_L)}{r_{bb'} + r_{b'e}} = -\frac{\beta (R_C // R_L)}{r_{be}}$$

故

$$\dot{A}_{usm} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \cdot \frac{\dot{U}_i}{\dot{U}_s} = \dot{A}_{um} \frac{R_i}{R_i + R_s} = -36 \quad \text{①}$$

低频区耦合电容容抗较大, 其分压作用较大, 不可忽略, 极间电容容抗很大, 可

认为开路，题图(b)的混合 $\pi$ 型等效电路如图 6.23(2)所示。

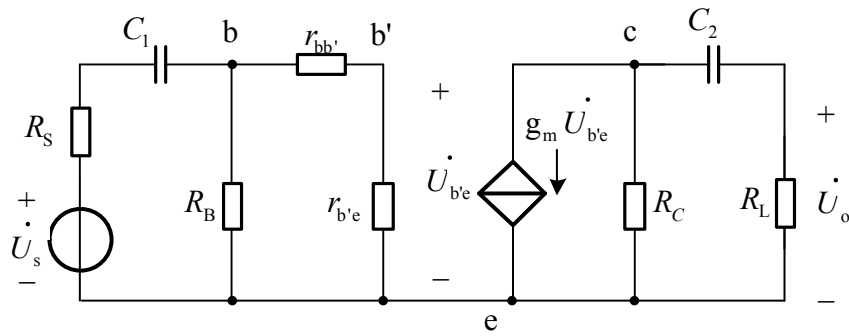


图 6.23(2) 低频段微变等效电路

(2) (A) 确定源电压放大倍数  $\dot{A}_{uml}$

$$\dot{U}_o = -g_m \dot{U}_{b'e} [R_C // (R_L - j \frac{1}{\omega C_2})]$$

$$\dot{U}_i = \frac{v_o}{r_{b'e}}$$

$$R_i = R_B // r_{be} \approx r_{be}$$

$$\dot{A}_{ul} = - \frac{\beta [R_C // (R_L - j \frac{1}{\omega C_2})]}{r_{bb'} + r_{b'e}} = - \frac{\beta [R_C // (R_L - j \frac{1}{\omega C_2})]}{r_{be}} = - \frac{\beta (R_C // R_L)}{r_{be}} \cdot \frac{1 - j \frac{1}{\omega R_L C_2}}{1 - j [\frac{1}{\omega (R_C + R_L) C_2}]}$$

$$\dot{A}_{usl} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} = \frac{\dot{U}_i}{\dot{U}_s} \cdot \dot{A}_{ul} = \frac{\dot{U}_i}{\dot{U}_s} \cdot \frac{1}{R_i + (R_S - j \frac{1}{\omega C_1})} \cdot \dot{A}_{ul} = \frac{1}{R_i + R_S} \cdot \frac{1}{1 - j \frac{1}{\omega (R_i + R_S) C_1}} \quad (2)$$

令  $\tau_L = (R_S + R_i)C_1 = 4\text{ms}$  ,  $R_i = R_B // r_{be} \approx r_{be}$  则有

$$f_L = \frac{1}{2\pi\tau_L} = 40\text{Hz}$$

比较①、②式可得

$$\dot{A}_{usl} = \dot{A}_{usm} \cdot \frac{1 - j \frac{1}{\omega (R_C + R_L) C_2}}{1 - j \frac{1}{\omega (R_i + R_S) C_1}} = \dot{A}_{usm} \cdot \frac{1}{f - j3.5} \cdot \frac{1}{1 - j \frac{f_L}{f}}$$

幅频特性

$$A_{\text{usl}}(f) = A_{\text{usm}} \cdot \frac{f^2 - 14.1f_L - 37.1}{f^2 + 10.6^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + \left[ \frac{14.1f + f \cdot f_L - 37.1f_L / f}{f^2 - 14.1f_L - 37.1} \right]^2}}$$

幅频和相频特性曲线略。

高频区耦合电容容抗较小, 可视为短路, 极间电容容抗很小, 不可忽略, 题图(b)的混合  $\pi$  型等效电路如图 6.23(3) 所示。

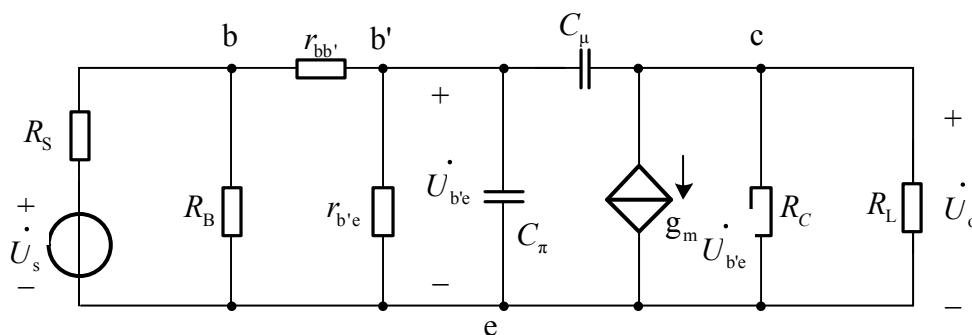


图 6.23(3) 高频段微变等效电路

(3) 设  $R' = r_{b'e} // [r_{bb'} + (R_s // R_B)]$ ,  $C'_\pi = C_\pi + (1 - A)C_\mu$ , 则

$$f_H = \frac{1}{2\pi R' C'_\pi} = 0.72 \text{ MHz}$$

$$\text{BW}_{0.7} \approx f_H = 0.72 \text{ MHz}$$

幅频和相频特性曲线略。

6.24 题图 6.24 功放电路中  $T_1$ 、 $T_2$  的  $U_{\text{CE(sat)}} = 2\text{V}$ ,  $R_L = 16\Omega$ 。求:

(1) 负载上的最大输出功率;

(2) 确定功放管  $T_1$ 、 $T_2$  的极限参数  $P_{\text{CM}}$ 、 $U_{\text{BR(CEO)}}$  和  $I_{\text{CM}}$ 。

解 (1) 输出功率:

$$P_o = U_o I_o = \frac{1}{2} U_{\text{om}} I_{\text{om}} = \frac{1}{2} U_{\text{cem}} I_{\text{cm}} = \frac{1}{2} \frac{U_{\text{cem}}^2}{R_L}$$

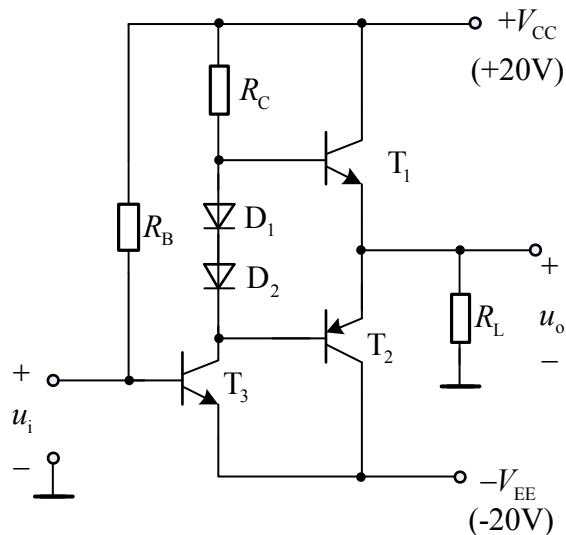
饱和压降  $U_{\text{CE(sat)}} = 2\text{V}$  不可忽略, 所以  $U_{\text{cem(max)}} = V_{\text{CC}} - U_{\text{CE(sat)}}$ , 因此最大不失真输出功率为

$$P_{o \text{ max}} = \frac{1}{2} \frac{U_{\text{cem max}}^2}{R_L} = \frac{(V_{\text{CC}} - U_{\text{CE(sat)}})^2}{2R_L} = 10.125 \text{ W}$$

$$(2) P_{CM} > 0.2P_{omax} = 2.025W$$

$$I_{CM} > \frac{V_{CC} - U_{CE(sat)}}{R_L} = 1.125A$$

$$U_{BR(CEO)} > 2V_{CC} - U_{CE(sat)} = 38V$$



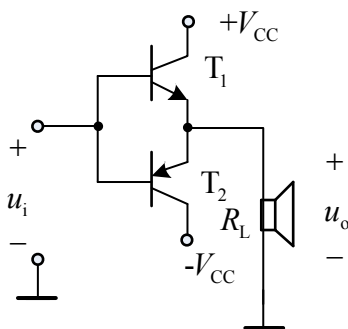
题图 6.24

6.25 题图 6.25 为 OCL 电路，已知  $V_{CC} = 12V$ ， $R_L = 8\Omega$ ，输入  $u_i$  为正弦电压。求：

(1) 在  $U_{CE(sat)} \approx 0$  的情况下负载可能得到的最大输出功率；

(2) 每个管子的管耗  $P_{CM}$ ；

(3) 每个管子的耐压  $|U_{BR(CEO)}|$  至少应该为多大？



题图 6.25

解 (1) 由题意：

$$P_0 = U_0 I_0 = \frac{1}{2} U_{om} I_{om} = \frac{1}{2} U_{cem} I_{cm} = \frac{1}{2} \frac{U_{cem}^2}{R_L}$$



由于  $U_{CE(sat)} \approx 0$ ，则  $U_{CE(max)} = V_{CC}$ ，因此最大不失真输出功率为

$$P_{o\max} = \frac{1}{2} \frac{U_{cem(max)}^2}{R_L} \approx \frac{V_{CC}^2}{2R_L} = 9W$$

$$(2) P_{CM} > 0.2P_{o\max} = 1.8W$$

$$(3) |U_{(BR)CEO}| > 2V_{CC} = 24V$$

6.26 在题图 6.25 所示的电路中，已知  $u_i$  为正弦电压， $R_L = 16\Omega$ ，要求最大输出

功率为 10W。试在晶体管的饱和压降可以忽略不计条件下，列出下列各值：

- (1) 正、负电源  $V_{CC}$  的最小值（取整数）；
- (2) 根据  $V_{CC}$  最小值，得到的晶体管  $I_{CM}$ ， $|U_{(BR)CEO}|$  的最小值；
- (3) 当输出功率最大（10W）时，电源供给的功率；
- (4) 每个管子的管耗  $P_{CM}$  的最小值；
- (5) 当输出功率最大时的输入电压有效值。

解 (1) 由 6.25 题 (1) 知：

$$V_{CC} = \sqrt{2P_{o\max} R_L} = 18V$$

(2) 易知：

$$I_{CM} > \frac{V_{CC}}{R_L} = 1.125A$$

$$|U_{(BR)CEO}| > 2V_{CC} = 36V$$

(3) 直流电源供给功率：

$$P_V = 2 \cdot \int_0^\pi i_{C1} d(\omega t) = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi V_{CC} (i_{cm} \sin \omega t) d(\omega t) = \frac{2}{\pi} V_{CC} I_{cm} = \frac{2U_{cem} V_{CC}}{\pi R_L}$$

当  $U_{cem(max)} = V_{CC} = 18V$  时， $P_V$  达到最大值：

$$P_{V\max} \approx \frac{2V_{CC}^2}{\pi R_L} = 12.89W$$

(4) 由题意：

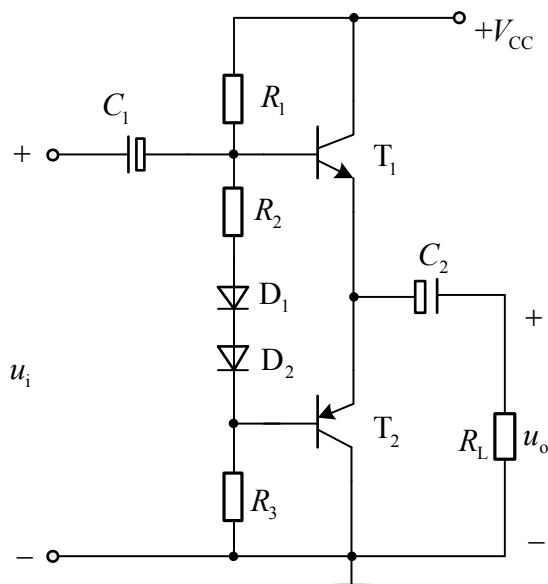
$$P_{CM} > 0.2P_{o\max} = 2W$$

(5) 由题意，此时输入电压的有效值为：

$$U = \frac{V_{CC}}{\sqrt{2}} = 12.7V$$

6.27 OTL 放大电路如题图 6.27 所示，设  $T_1$ 、 $T_2$  的特性完全对称， $u_i$  为正弦电压， $V_{CC} = 10V$ ， $R_L = 16\Omega$ 。试回答以下问题：

- (1) 静态时，电容  $C_2$  两端电压是多少？调整哪个电阻能满足这个要求？
- (2) 动态时，若输出电压波形出现交越失真，应调节哪个电阻？如何调节？
- (3) 若  $R_1 = R_3 = 1.2k\Omega$ ， $T_1$ 、 $T_2$  管的  $\beta = 50$ ， $|U_{BE}| = 0.7V$ ， $P_{CM} = 200mW$ ，假设  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $R_2$  中任一开路，将产生什么后果？



题图 6.27

解 (1) 由于  $T_1$ 、 $T_2$  管特性完全对称，故：

通过调节  $R_1$  或  $R_3$  使得 K 点电位， $V_K = V_C = \frac{V_{CC}}{2} = 5V$

(2) 动态时，出现交越失真，说明输入信号的幅值低于死区电压， $T_1$  与  $T_2$  均截止。此时需增大输入信号的幅值，由于 K 点电位不变，故只有增大  $V_{B1}$  和  $V_{B2}$ ，即通过调节  $R_2$ ，当  $R_2$  增大时，输入信号的幅值将增大，可以消去交越失真。

(3) 当  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $R_2$  中任意一个开路时，则有：

$$I_{B1} = I_{B2} = \frac{\frac{V_{CC}}{2} - 0.7}{R_1} = 3.38\text{mA}$$

$$I_C \approx I_E = \beta I_B = 180\text{mA}$$

此时，有：

$$P_{\text{CMO}} = \frac{1}{2} V_{CC} I_C = 900\text{mW} \gg 100\text{mW}$$

故此时三极管将被烧坏。

6.28 OTL 电路同如题图 6.27，已知  $V_{CC} = 35\text{V}$ ， $R_L = 35\Omega$ ，流过负载电阻的电流

$$i_o = 0.45 \cos \omega t \text{A 为。求：}$$

(1) 负载上得到的输出功率  $P_o$ ；

(2) 电源提供的平均功率  $P_V$ ；

(3) 管子  $T_1$ 、 $T_2$  的管耗  $P_{T1}$ 、 $P_{T2}$ 。

$$\text{解 (1) } P_o = I_{\text{om}}^2 R_L = \left(\frac{0.45}{\sqrt{2}}\right)^2 \times 35 = 3.5\text{W}$$

$$(2) P_V \approx \frac{(V_{CC} - U_{\text{CE(sat)}})^2}{2\pi R_L} = 5\text{W}$$

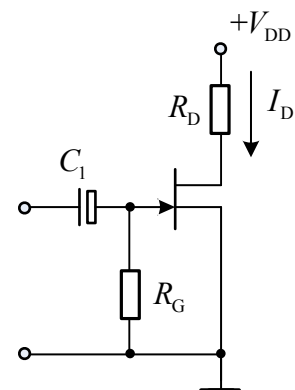
$$(3) P_{T1} = P_{T2} = \frac{P_V - P_o}{2} = 0.75\text{W},$$

6.29 电路如题图 6.29 所示  $I_{\text{DSS}} = 3\text{mA}$ ， $U_{\text{GS(off)}} = -3\text{V}$ ，，

分别求出  $R_D = 0$ ， $R_D = 3.9\text{k}\Omega$  和  $R_D = 10\text{k}\Omega$  时的  $I_D$ ，并

分别指出场效应管的工作区域。

解 由题意及题图易知，分别处于击穿区、饱和区、非饱和区。



题图 6.29

6.30 场效应管跨导  $g_m$  的定义，物理意义是什么？ $g_m$  与

漏极电流的关系如何？与晶体管  $g_m$  比较，哪个大？

为什么？

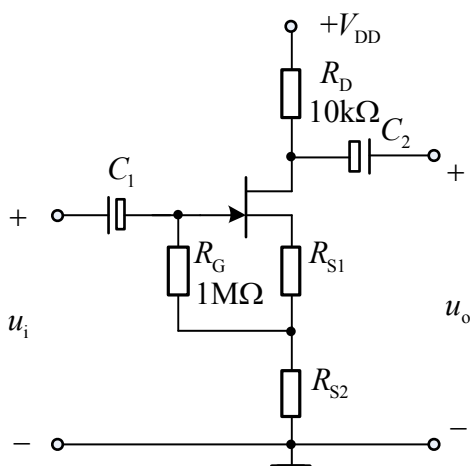
解 低频跨导  $g_m$  定义为  $g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_Q$ ，表征栅源电压  $u_{gs}$  对漏极电流  $i_d$  的控制能力。

$g_m$  实际上就是转移特性曲线在 Q 点处切线的斜率。晶体管  $g_m$  大。

6.31 设有一个场效应管放大器如题图 6.31 所示，已知  $I_{DSS} = 4\text{mA}$ ， $U_{GSQ} = -2\text{V}$ ，

$U_{GS(\text{off})} = -4\text{V}$ ， $V_{DD} = 20\text{V}$ 。试求：

- (1) 静态漏极电流  $I_{DQ}$ ；
- (2)  $R_{S1}$ ；
- (3)  $R_{S2}$  的最大值；
- (4) 电压放大倍数；
- (5) 输入电阻和输出电阻。



题图 6.31

解 (1)  $I_{DQ} = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GSQ}}{U_{GS(\text{off})}}\right)^2 = 1\text{mA}$

(2)  $R_{S1} = -\frac{U_{GSQ}}{I_{DQ}} = \frac{2\text{V}}{1\text{mA}} = 2\text{k}\Omega$

(3) 当  $U_{DSQ} = 2\text{V}$  时， $R_{S2}$  有最大值， $R_{S2 \max} = \frac{V_{DD} - U_{DSQ}}{I_{DQ}} - R_D - R_{S1} = 6\text{k}\Omega$

(4) 题图的微变等效电路如图 6.31(1) 所示。  $g_m = -\frac{2I_{\text{DSS}}}{U_{\text{GS(off)}}} \left(1 - \frac{U_{\text{GSQ}}}{U_{\text{GS(off)}}}\right) = 1\text{mS}$

$$u_i = u_{\text{gs}}[1 + (R_{\text{S1}} + R_{\text{S2}})g_m], \quad u_o = -g_m u_{\text{gs}} R_{\text{D}}$$

$$\text{所以, } A_u = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{g_m R_{\text{D}}}{1 + (R_{\text{S1}} + R_{\text{S2}})g_m} = -\frac{10000}{3000 + R_{\text{S2}}}$$

(5)  $R_i = R_{\text{G}} + 334R_{\text{S2}}, \quad R_o = R_{\text{D}} = 10\text{k}\Omega$

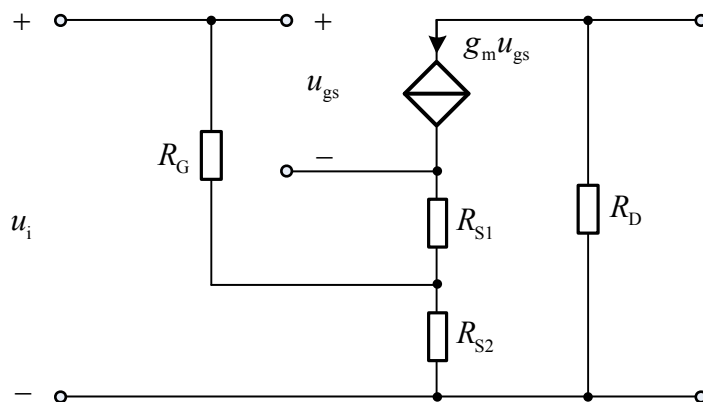


图 6.31(1)

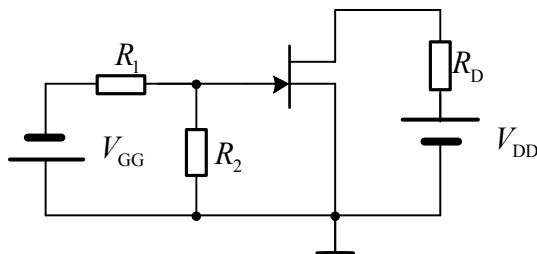
6.32 电路如题图 6.32 所示, 已知  $V_{\text{DD}} = 12\text{V}$ ,  $V_{\text{GG}} = 5\text{V}$ ,  $R_1 = 300\text{k}\Omega$ ,  $R_2 = 200\text{k}\Omega$ ,

$R_{\text{D}} = 10\text{k}\Omega$ , 场效应管  $I_{\text{DSS}} = 2\text{mA}$ ,  $U_{\text{GS(off)}} = -3\text{V}$ 。试求:

(1) 栅源电压  $U_{\text{GS}}$ ;

(2) 漏极电流  $I_{\text{DQ}}$ , 漏极电压  $U_{\text{DSQ}}$ ;

(3) 跨导  $g_m$ 。



题图 6.32

解 (1)  $R_1$  与  $R_2$  近似串联, 故有,

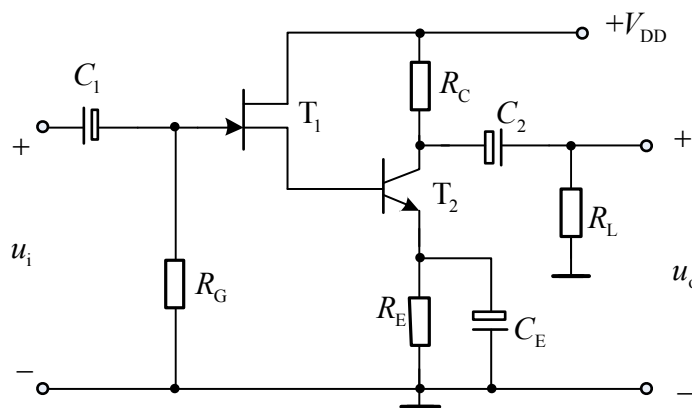
$$\frac{U_{\text{GSQ}}}{R_2} = \frac{-V_{\text{GG}} - U_{\text{GSQ}}}{R_1}$$

解得：  $U_{GSQ} = -2V$

$$(2) \quad I_{DQ} = I_{DDs} \left(1 - \frac{U_{GSQ}}{U_{GS(off)}}\right)^2 = 0.22mA, \quad U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ}R_D = 9.8V$$

$$(3) \quad g_m = -\frac{2I_{DDs}}{U_{GS(off)}} \left(1 - \frac{U_{GSQ}}{U_{GS(off)}}\right) = 0.44mS$$

6.33 电路如题图 6.33 所示，求两级电压放大倍数  $A_u = \frac{u_o}{u_i}$ ，输入电阻  $R_i$  及输出电阻  $R_o$ 。



题图 6.33

解 题图 6.33 的微变等效电路如图 6.33(1) 所示。

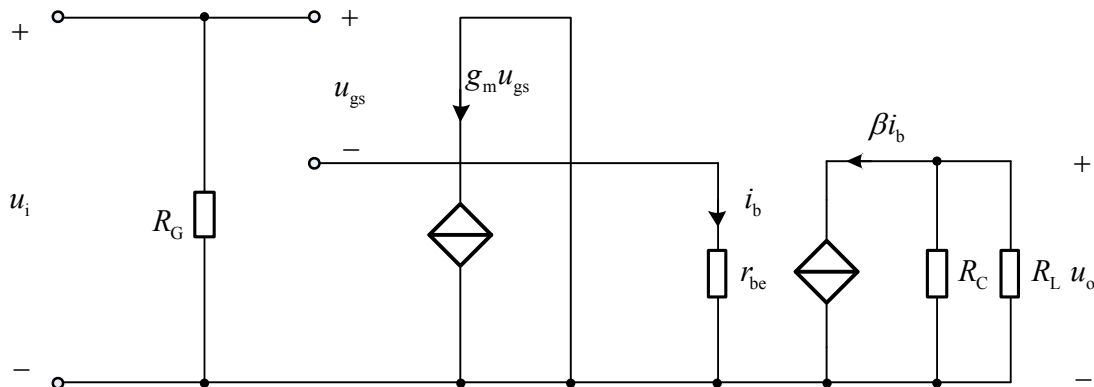


图 6.33(1)

$$u_i = u_{gs} + g_m u_{gs} r_{be}, \quad u_{o1} = g_m u_{gs} r_{be}$$

$$u_{i2} = i_b r_{be}, \quad u_o = -\beta i_b (R_C // R_L)$$

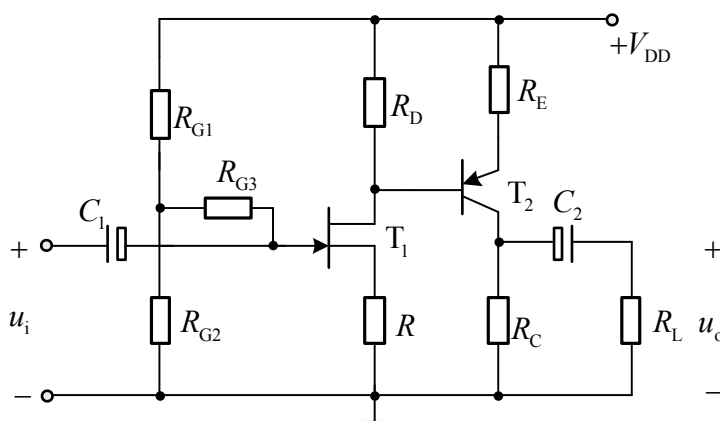
$$\text{故, } A_u = -\frac{\beta g_m (R_C // R_L)}{1 + g_m r_{be}}$$

$$R_i = R_G$$

$$R_o = R_C // R_L$$

6.34 电路如题图 6.34 所示, 场效应管和晶体管都工作在放大状态, 写出电压放

大倍数  $A_u = \frac{u_o}{u_i}$ , 输入电阻  $R_i$ , 输出电阻  $R_o$  的表达式。



题图 6.34

解 题图 6.34 的微变等效电路如图 6.34(1) 所示。

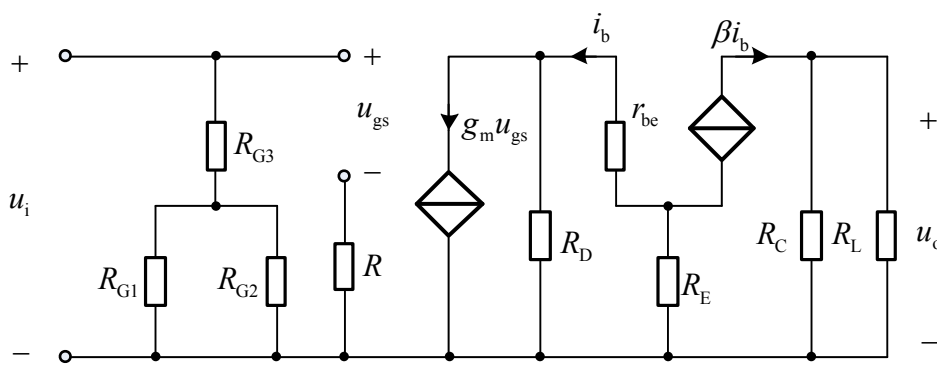


图 6.34(1)

$$u_i = u_{gs} + g_m u_{gs} R, \quad u_{o1} = -g_m u_{gs} [R_D // (r_{be} + (1 + \beta) R_E)]$$

$$u_{i2} = -i_b (r_{be} + (1 + \beta) R_E), \quad u_o = \beta i_b (R_C // R_L)$$

$$\text{故, } A_u = \frac{g_m [R_D // (r_{be} + (1 + \beta) R_E)]}{1 + g_m R} \cdot \frac{\beta (R_C // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta) R_E}$$

$$R_i = R_{G3} + R_{G1} // R_{G2}$$

$$R_o = R_C // R_L$$

6.35 简述抑制零漂的几种方法，它们各有什么特点？

解 (1) 引入直流负反馈，稳定静态工作点。

(2) 选用高质量的硅管。硅管的  $I_{CBO}$  要比锗管小几个数量级，因此目前高质量的直流放大电路几乎都采用硅管。另外晶体管的制造工艺不够严格，半导体表面不干净，将会使漂移程度增加。所以必须严的挑选合格的半导体器件。

(3) 采用温度补偿的方法。此方法简单实用，但效果不尽理想，适用于对温度要求不高的电路。

(4) 采用调制手段。这种方式电路结构复杂、成本高、频率特性差。实现这种方法成本投入较高。

(5) 采用差动式放大电路。受温度补偿法的启发，可以利用 2 只型号和特性都相同的晶体管来进行补偿，抑制零点漂移的效果较好。

6.36 简述差动放大电路抑制零漂的原理。

解 差动放大电路又叫差分电路，它不仅能有效的放大直流信号，而且还能有效的减小由于电源波动和晶体管随温度变化而引起的零点漂移，因而获得广泛的应用，特别是大量的应用于集成运放电路，其常被用作多级放大器的前置级。

6.37 差动放大电路如题图 6.37 所示。已知  $V_{CC} = V_{EE} = 12V$ ， $\beta_1 = \beta_2 = 50$ ，

$$R_{C1} = R_{C2} = 3k\Omega, R_{B1} = R_{B2} = 10k\Omega, R_E = 5.6k\Omega, R_L = 20k\Omega。求：$$

(1) 静态工作点；

(2) 电压放大倍数；

(3) 输入、输出电阻。

解 (1) 由图可知：静态时， $u_i = 0$ ，两边的电路完全对称，则

$$U_{BE1Q} = U_{BE2Q} = U_{BEQ} = 0.7V, I_{E1Q} = I_{E2Q} = I_{EQ}$$

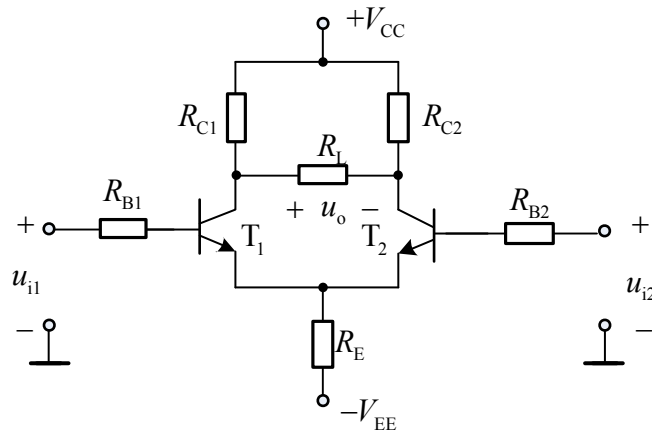
$$I_{C1Q} = I_{C2Q} = I_{CQ}, U_{CE1Q} = U_{CE2Q} = U_{CEQ}$$

根据电路有

$$V_{EE} = I_{BQ}R_B + U_{BEQ} + 2I_{EQ}R_E$$



由  $\beta = 50 \gg 1$  ,  $V_{EE} \gg U_{BEQ}$  ,  $I_{EQ}R_E \gg U_{BEQ}$  , 则



题图 6.37

$$I_{EQ} \approx \frac{V_{EE}}{2R_E} = 1.07\text{mA}$$

相应地有

$$I_{CQ} = I_{EQ}, \quad I_{CQ} = \beta I_{BQ}, \quad U_{CEQ} = V_{CC} - (-V_{EE}) - I_{CQ}R_C - 2I_{EQ}R_E$$

则

$$U_{CEQ} = 8.8\text{V}$$

(2) 由图可知，其为双端输入双端输出差模放大电路，则

$$A_{ud} = -\frac{\beta(R_C // \frac{R_L}{2})}{R_E + r_{be}} = -11.3$$

(3) 由题意：

$$R_{id} = 2(R_B + r_{be}) = 23.052\text{k}\Omega$$

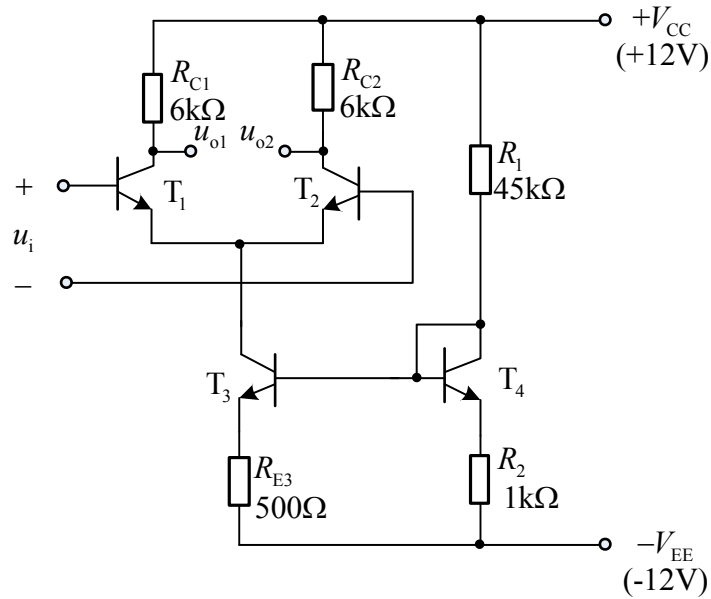
$$R_o = 2R_C = 6\text{k}\Omega$$

6.38 差动放大电路如题图 6.38 所示。已知  $\beta = 100$  ,  $U_{BEQ} = 0.7\text{V}$  ,  $r_{bb}$  影响可忽略。试求：

(1) 各管的静态工作点  $I_{CQ}$  和  $U_{CEQ}$  ；

(2) 最大差模输入电压  $U_{id\max}$  （设管子发射结反向击穿电压  $U_{BE(CBR)} = 6\text{V}$  ）；

(3) 最大正向共模输入电压  $U_{ic\max}$ ，最大负向共模输入电压  $U_{ic\min}$ 。



题图 6.38

解 (1) 首先分析  $T_3$  与  $T_4$ ，则

$$I_{C4Q} = \frac{V_{CC} - V_{BQ}}{R_1}, \quad I_{E4Q} = \frac{V_{BQ} - 0.7 - (-V_{EE})}{R_2}$$

由  $I_{C4Q} \approx I_{E4Q}$  得：

$$V_{BQ} = -10.8V$$

从而：

$$I_{C3Q} = I_{E3Q} = \frac{V_{BQ} - 0.7 + V_{EE}}{R_{E3}} = 1.0mA, \quad I_{C4Q} = I_{E4Q} = \frac{V_{BQ} - 0.7 + V_{EE}}{R_2} = 0.5mA$$

有差动电路的对称性知：

$$I_{C1Q} = I_{C2Q} = \frac{1}{2} I_{C3Q} = 0.5mA$$

$$V_{C1Q} = V_{C2Q} = V_{CC} - I_{C1Q} R_{C1} = 9V, \quad V_{E1Q} = V_{E2Q} = -U_{BEQ} = -0.7V$$

从而：

$$U_{CE1Q} = U_{CE2Q} = V_{C1Q} - V_{E1Q} = 9.7V$$

$$U_{CE3Q} = 10.8V, \quad U_{CE4Q} = 0.7V$$

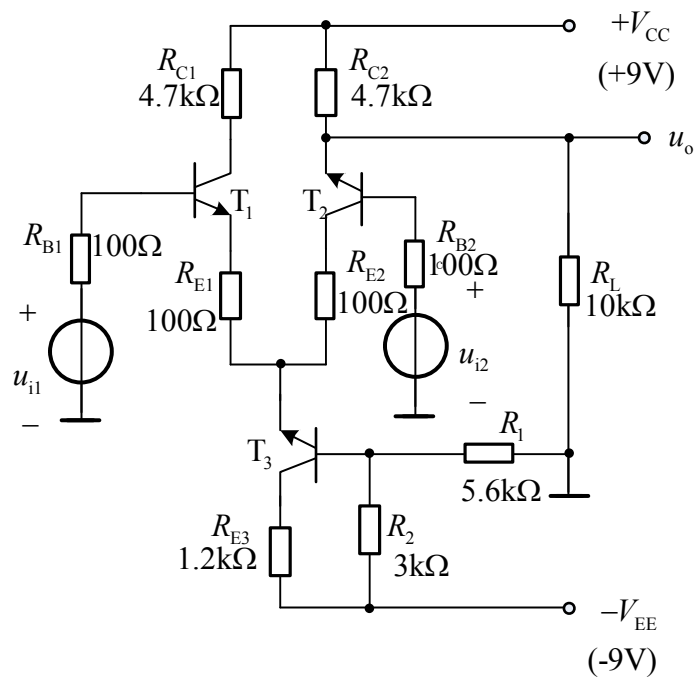
$$(2) U_{id\max} = 0.112V$$

$$(3) U_{ic\max} = 0.056V$$

6.39 差动放大电路如题图 6.39 所示。试求：

(1)  $u_o$  的直流电位  $U_{oQ}$ ；

(2) 差模电压增益  $A_u = \frac{u_o}{u_{i1} - u_{i2}}$ 。



题图 6.39

解 (1) 由于  $I_{BQ} \ll$  ，所以

$$U_{R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} |V_{EE}| = 3.14V$$

从而

$$I_{R_{E3}} = \frac{U_{R_2} - 0.7}{R_{E3}} = 2.03mA$$

由差动电路的对称性有：

$$I_{C1Q} = I_{C2Q} = \frac{1}{2} I_{R_{E3}} = 1.0mA$$

对支点 M 由 KCL 有

$$\frac{u_o}{R_L} + I_{C2Q} = \frac{V_{CC} - u_o}{R_{C2}}$$

解得：

$$u_o = 2.9V$$

$$(2) \text{ 差模电压增益 } A_u = \frac{\beta(R_C // R_L)}{2[R_{B1} + r_{be1} + (1 + \beta)R_{E1}]}$$

6.40 理想运放应具有什么条件？

解 理想运放的各项主要参数：

(1) 开环差模电压放大倍数  $A_u \rightarrow \infty$ ；

(2) 差模输入电阻  $R_{id} \rightarrow \infty$ ；

(3) 输出电阻  $R_o \rightarrow \infty$ ；

(4) 共模抑制比  $K_{CMR} \rightarrow \infty$ ；

(5) 输入偏置电流  $I_{IB} \rightarrow \infty$ ；

(6) 输入失调电压  $U_{IO}$ 、失调电流  $I_{IO}$  及它们的温漂均为零。

6.41 理想运放工作在线性区和非线性区的重要结论是什么？

解 理想运放工作在线性区：

(1) 理想化集成运放的差模输入电压等于零，即有

$$u_+ = u_- \text{ (虚短)}$$

(2) 理想化集成运放的输入电流等于零，即有

$$i_+ = i_- = 0 \text{ (虚断)}$$

理想运放工作在非线性区：

(1) 理想化集成运放的输出电压的取值只有两种可能：

当  $u_+ > u_-$  时，  $u_o = U_{OH}$  ( $U_{OH}$  为正向最大输出电压)。

当  $u_+ < u_-$  时，  $u_o = U_{OL}$  ( $U_{OL}$  为负向最大输出电压)。

$u_+ = u_-$  为两种取值的转换点。

(2) 理想化集成运放的输入电流等于零。

由于理想化运放的输入电阻无穷大，所以运放的输入电流仍可认为等于零，即有

$$i_+ = i_- = 0$$