

## 知识点1：三极管的结构与工作原理

C. 发射结反偏，集电结正偏 D. 发射结反偏，集电结反偏

1、三极管又称~~为双极型晶体管~~，因为\_\_\_\_\_。

王伟时电子和空穴两种载流子同时参与导电过程

2、在放大区，晶体管的集电极电流是\_\_\_\_\_（~~少数~~多数）载流子运动产生的。

少数

3、一个 pnp 三极管工作在饱和区，则满足\_\_\_\_\_。

A. 发射结正偏，集电结正偏 B. 发射结反偏，集电结反偏

C. 发射结反偏，集电结正偏 D. 发射结反偏，集电结反偏

A。注意 BJT 的“放大区”对应 MOSFET 的“饱和区”

4、测得某电路中处于放大状态的 BJT 的三个电极 A、B 和 C 的对地电位分别为

$V_A = -9V$ ,  $V_B = -6V$ ,  $V_C = -6.7V$ ，分析 A、B 和 C 分别对应 BJT 三个极中的 \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_，可判断此 BJT 是\_\_\_\_\_管（NPN 或 PNP）。

集电极发射极基极 PNP。处于放大区，则 B、E 相差 0.7V，A 点为 C；C 点电压最低，则管子为 PNP；因此 B 点为 E，C 点为 B。

5、测得 NPN 型三极管上各电极对地电位分别为  $V_E = 2.1V$ ,  $V_B = 2.8V$ ,  $V_C = 4.4V$ ，说明此三极管工作在\_\_\_\_\_。

A. 放大区 B. 饱和区 C. 截止区 D. 反向击穿区

A。  $V_C > V_B - 0.4$ ，所以工作在放大区  
极管是\_\_\_\_\_。

A. NPN 型硅管 B. NPN 型锗管 C. PNP 型硅管 D. PNP 型锗管

A。C 电压最高，所以是 NPN 型；BE 相差 0.7，所以是硅。  
一个工作在放大区的 npn 三极管，需满足\_\_\_\_\_。

A. 发射结正偏，集电结正偏 B. 发射结正偏，集电结反偏

8、已知某晶体管的各极对地电压分别是  $V_B = -6.3V$ ,  $V_E = -7V$ ,  $V_C = -4V$ ，可以判断这个晶体管是\_\_\_\_\_管，工作在\_\_\_\_\_。

A. NPN 管，饱和区 B. PNP 管，放大区

C. PNP 管，饱和区 D. NPN 管，放大区

D. C 电压最高，所以是 NPN 型； $V_C > V_B - 0.4$ ，所以工作在放大区。

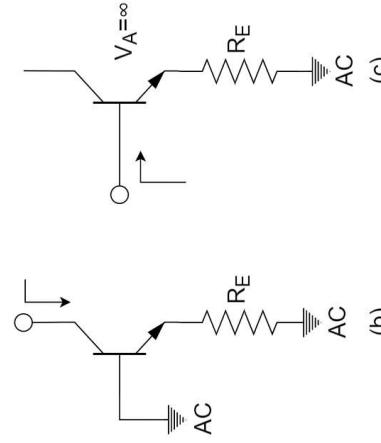
## 知识点2：三极管的工作特性及其等效模型

1、为使高内阻信号源与低阻负载组成电路，可以在信号源与负载间接入\_\_\_\_\_。

A. 共射电路 B. 共基电路 C. 共集电路 D. 共集-共基串联电路

C. 共集电路，即射极跟随电路，用作电压 Buffer，提供大输入电阻和小输出电阻

2、不考虑管子的频率响应，求下列 2 个典型电路沿箭头方向的小信号等效电阻。



(b)  $r_o + (1 + g_m r_o)(R_E // r_\pi)$ 。注意 BJT  $R_E$  需与  $r_\pi$  并联，而 MOSFET 为  $R_S$ 。

(c)  $r_\pi + (\beta + 1)R_E$ 。注意，从 B 看进去，计算电阻时除以  $i_B$ ，而连接 E 处的电阻压降为电阻乘以  $i_C$ ，故连接 E 处的电阻需放大  $(\beta + 1)$  倍；若从 E 看进去，计算电阻时除以  $i_C$ ，而连接 B 处的电阻压降为电阻乘以  $i_B$ ，故连接 B 处的电阻需缩小  $(\beta + 1)$  倍；

3、为实现电流的放大，同时电压基本不变，选择的单管放大器为\_\_\_\_\_。

A. 共射放大电路 B. 共集放大电路

C. 共基放大电路 D. 前三种放大电路都行

B. 电压基本不变，即电压 Buffer，为射极跟随器。

4. 直接耦合放大电路产生零漂的原因主要是 \_\_\_\_\_。

A. 电阻阻值有误差 B. 晶体管参数的分散性

C. 晶体管参数受温度影响 D. 受输入信号的变化影响

C。

放大电路的零漂 (Zero Drift) 是指在没有输入信号时，放大器的输出偏离零点（或基准电平）的现象。这种现象通常是由电路中的不稳定因素引起的，比如温度变化、电源电压波动、电子元件的老化、内部偏置电流的变化等。零漂对于精密放大电路来说是一个重要的性能指标，因为它会影响电路的精确度和稳定性。

零漂的主要特点和影响因素包括：

1. **温度影响：**放大电路中的元件（如晶体管、电阻、集成电路等）的特性可能会随温度而变化，从而引起输出偏移。

2. **电源电压波动：**电源的不稳定或电源电压的变化也可能导致放大器的输出产生漂移。

3. **元件老化：**随着时间的推移，电子元件的特性可能会慢慢改变，这也可能导致零点的漂移。

4. **输入偏置电流：**放大器的输入端通常有一定的偏置电流，这些电流的变化也会导致零漂。

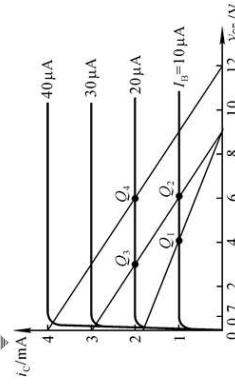
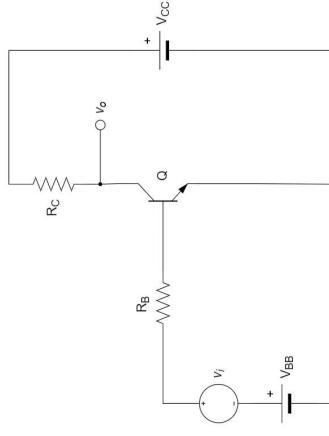
为了减小零漂，电路设计者会采取各种措施，比如使用高稳定性的元件、设计温度补偿电路、使用差动放大电路来减少对电源波动的敏感性等。在一些高精度的应用中，还会使用特别设计的低漂移放大器来确保长期稳定性。零漂的控制对于精密测量和信号处理应用尤为重

要。

5. 一个电压放大器的输入电阻越小，对信号源的影响则 \_\_\_\_\_；输出电阻越小，带负载的能力则越 \_\_\_\_\_。

A. 越大，越强 B. 越小，越强 C. 越大，越弱 D. 越小，越弱  
电容分压，负载从放大的输出获得大的电阻分压。

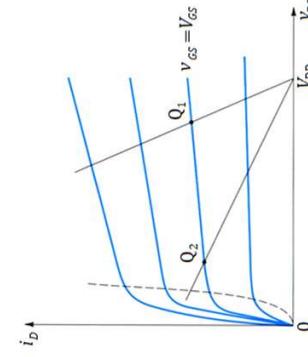
6. 如下图所示的放大电路以及晶体管的输出特性曲线、负载线，静态工作点 \_\_\_\_\_ 情况下最易产生截止失真，静态工作点 \_\_\_\_\_ 情况下最易产生饱和失真，静态工作点 \_\_\_\_\_ 情况下输出电压摆幅最大。



A. Q<sub>1</sub> B. Q<sub>2</sub> C. Q<sub>3</sub> D. Q<sub>4</sub>

B C D. 曲线上靠近右下侧为截止区，靠近左上侧为饱和区，居中则输出摆幅最大；Q<sub>2</sub> 最靠近右下侧，Q<sub>3</sub> 最靠近左上侧，Q<sub>4</sub> 居中，且左右摆幅最大。

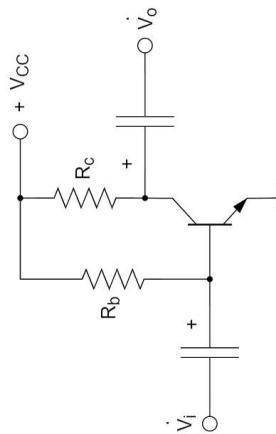
7. 下图是某晶体管的输出特性曲线，说出图中Q<sub>1</sub>和Q<sub>2</sub>两个直流工作点的设置分别存在的问题。直流工作点Q<sub>1</sub>存在的问题是：\_\_\_\_\_；直流工作点Q<sub>2</sub>存在的问题是：\_\_\_\_\_。



易于截止或输出摆幅受限易于进入变阻区或易于饱和或输出摆幅受限  
解释参见上题。

知识点3：三极管放大电路的分析计算

1、如下图所示放大电路，其中  $R_b = 470\text{k}\Omega$ ,  $R_c = 2\text{k}\Omega$ , 若已知  $I_C = 1\text{mA}$ ,  $V_{CE} = 7\text{V}$ ,  $V_{BE} = 0.7\text{V}$ ,  $r_{be} = 1.6\text{k}\Omega$ ,  $V_T = 26\text{mV}$ , 则说明\_\_\_\_\_。



$$A_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \frac{V_{CE}}{V_{BE}} = \frac{7}{0.7} = 10$$

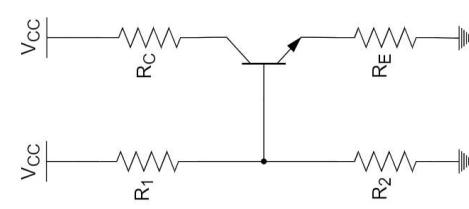
$$B. A_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \frac{-I_c R_e}{V_{BE}} = \frac{-1 \times 2}{0.7} \approx -3$$

$$C. A_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \frac{-I_c R_e}{I_b R_i} = -\beta \frac{R_e}{R_i} = -\beta \frac{R_c}{R_b / r_{be}} \approx -62.5$$

$$D. A_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = -\beta \frac{R_e}{r_{be}} \approx -76.9$$

D.  $g_m = \frac{I_C}{V_T}$ , 增益:  $-g_m R_C = -\frac{1\text{mA}}{26\text{mV}} \times 2\text{k}\Omega = -76.9$ , 注意  $r_{be} = \frac{\beta}{g_m}$

2、如下图所示电路，已知  $V_{CC} = 9\text{V}$ ，假设晶体管的  $\beta$  值非常大，此时  $R_E$  和  $R_C$  上的压降均为  $\frac{1}{3}V_{CC}$ ,  $I_E = 0.5\text{mA}$ , 通过分压电阻  $R_1$ 、 $R_2$  的电流为  $0.2I_E$ , (a) 求  $R_1$ 、 $R_2$  ; (b) 保持电路不变，求当晶体管的  $\beta = 100$  时，求  $I_E$  的实际值。



(a)

$V_C = 6\text{V}$ ,  $V_E = 3\text{V}$ ,  $I_E = 0.5\text{mA}$  :  $R_E = \frac{3}{0.5} = 6\text{k}\Omega$   
当  $\beta$  非常大时,  $I_C = I_E$

$$\therefore R_C = 6\text{k}\Omega$$

$$I = 0.2I_E = 0.1\text{mA}$$

$$\therefore R_1 + R_2 = 90\text{k}\Omega$$

$$\text{而 } R_2 I = 3 + 0.7$$

$$\text{得到 } R_2 = 37\text{k}\Omega$$

$$\therefore R_1 = 53\text{k}\Omega$$

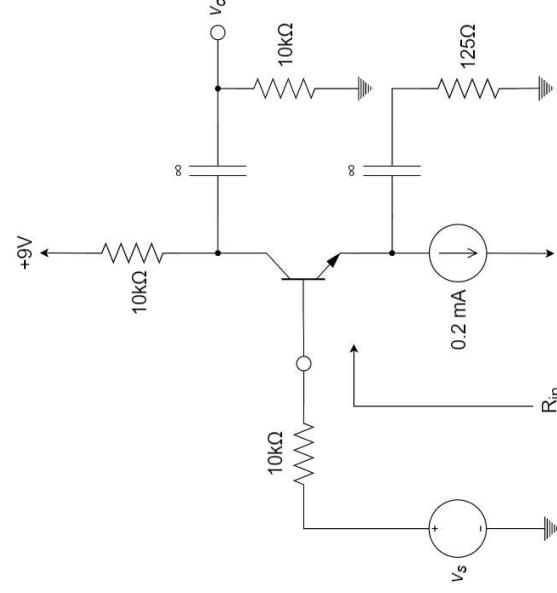
(b)

基于戴维南等效，偏置电路的开路电压为  $3.7\text{V}$ , 等效电阻为  $R_1 \parallel R_2$ , 于是:

$$I_B \times R_1 \parallel R_2 + 0.7 + I_E \times 6 = 3.7\text{V}$$

$$\text{得到 } I_E \approx 0.483\text{mA}$$

3、电路如下图所示， $v_s$  是均值为零的正弦波小信号，假设晶体管的  $\beta = 50$ ，计算电路的输入电阻  $R_{in}$  和电压增益  $v_o/v_s$ 。若  $v_{be}$  的信号振幅被限定在  $5\text{mV}$  以内，则计算信号源信号的最大值  $v_{smax}$  和输出信号的最大值  $v_{omax}$  (忽略  $r_{ds'}$ )。 $V_T$  取  $26\text{mV}$ 。



$$\beta = 50 \quad \alpha = 0.98$$

$$I_E = 0.2\text{mA} \quad I_C = \alpha I_E = 0.196\text{mA} \quad g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{0.196}{26} = \frac{1}{130}$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{50 \times 26}{0.196} \approx 6.63\text{k}\Omega$$

$$\therefore R_{in} = r_\pi + (1 + \beta) \cdot 0.125 = 6.63 + 6.38 \approx 13.01\text{k}\Omega$$

$$A_{vs} = -\frac{\beta R_C || R_L}{R_S + R_{in}} = \frac{-50 \times 5}{10 + 13.01} \approx -10.86\text{V/V}$$

$$v_{s\max} = \frac{v_{be}}{r_\pi} \times (R_S + R_{in}) = \frac{5}{6.63} \times (10 + 13.01) \approx 17.35mV$$

$$v_{o\max} = v_{s\max} \cdot A_{vs} \approx 188.42mV$$

4、测量某放大电路负载开路时输出电压为 3 V，接入  $2k\Omega$  负载后，测得输出电压为 1 V，则该放大电路的输出电阻为 \_\_\_\_\_。

- A.  $0.5 k\Omega$  B.  $1.0 k\Omega$  C.  $2.0 k\Omega$  D.  $4.0 k\Omega$

D.  $1V$  为负载和放大器输出电阻分压得到。

5、某放大电路负载开路时，输出电压  $v_o = 6V$ ，接入  $6 k\Omega$  负载后，输出电压  $v_o = 4V$ ，说明该放大电路的输出电阻  $R_o =$  \_\_\_\_\_。

3  $k\Omega$ 。解释同上。

6、某放大电路负载开路时，输出电压  $V_o = 6V$ ，接入  $3 k\Omega$  负载后， $V_o = 4V$ ，说明该放大电路的输出电阻  $R_o =$  \_\_\_\_\_。如果该放大电路接  $0.5 k\Omega$  的负载，输出电压  $V_o =$  \_\_\_\_\_。

$\frac{I_E}{12I} \times 100 + 0.7 + 3 \cdot 3I_E = 5$   
 $\therefore I_E \approx 1.04mA$

$r_e = \frac{V_T}{I_E} \approx 24\Omega$

$$R_i = (1 + \beta)(r_e + R_e // R_L) \approx 95.76k\Omega$$

$$R_o = R_e // \left( r_e + \frac{R_S}{1+\beta} \right) \approx 0.676k\Omega$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{3.3/1}{\frac{R_S+r_e+3.3/1}{1+\beta}} \approx 0.47$$

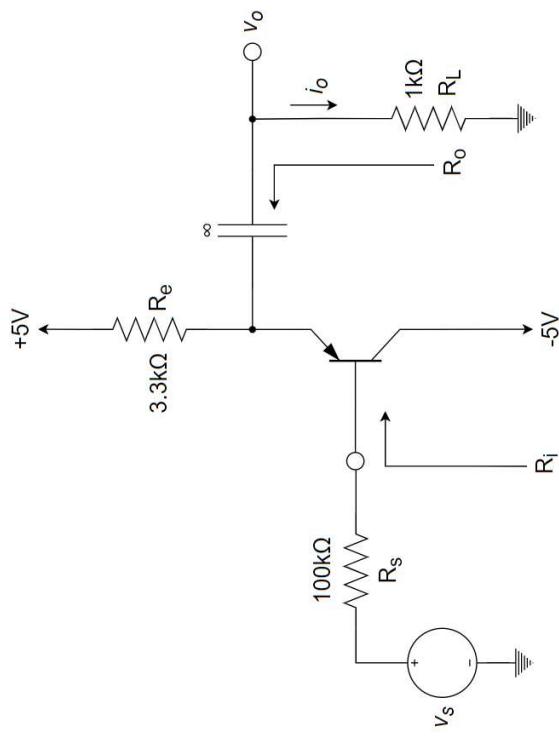
9、已知一射极放大器工作在放大区， $\beta = 100$ ， $I_C = 1mA$ ，集电极电阻  $R_C = 5k\Omega$ ，负载电阻  $R_L = 5k\Omega$ ，不考虑厄雷效应和基区电阻，则该共射放大器的小信号增益为 \_\_\_\_\_ V/V。 $(V_T \approx 25mV)$

$$-100。 g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1mA}{25mV}， -g_m(R_C \parallel R_L) = -\frac{2500}{25} = -100$$

10、放大电路如下图所示，已知： $V_{CC} = 12V$ ， $R_S = 10k\Omega$ ， $R_{B1} = 120k\Omega$ ， $R_{B2} = 39k\Omega$ ， $R_C = 3.9k\Omega$ ， $R_E = 2.1k\Omega$ ， $R_L = 3.9k\Omega$ ， $r_{bb'} = 200\Omega$ ， $\beta = 50$ ，电路中电容容量足够大，已知  $V_T = 25mV$ 。求：

(1) 静态工作点  $I_{BQ}$ 、 $I_{CQ}$  和  $V_{CEQ}$ 。

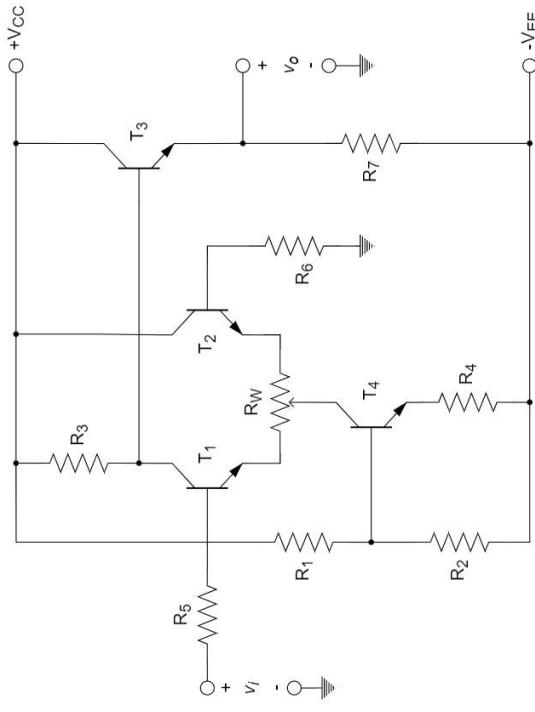
(2) 电压放大倍数  $A_v = v_o/v_i$ ，输入电阻  $R_i$ ，输出电阻  $R_o$ 。



A.  $5.6\text{ k}\Omega$ ,  $10\text{ k}\Omega$  B.  $5.6\text{ k}\Omega$ ,  $510\text{ k}\Omega$  C.  $5.6\text{ k}\Omega$ ,  $1\text{ M}\Omega$  D.  $100\text{ k}\Omega$ ,  $1\text{ M}\Omega$

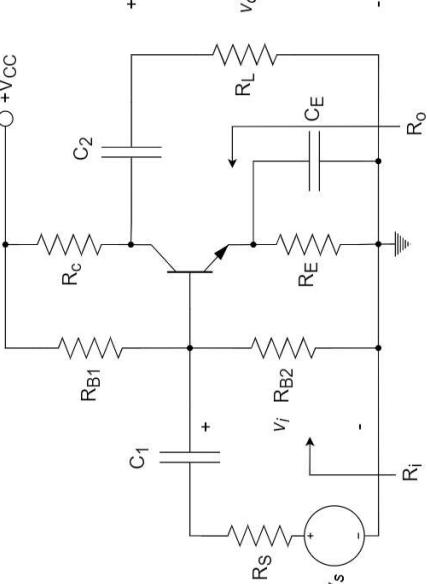
C. 处于放大区，要求  $I_C R_C \downarrow$ ，从而要求  $R_B$  大， $R_C \downarrow$ 。

12. 如下图所示放大电路，已知各晶体管的  $\beta = 50$ ， $V_{BE} = 0.7\text{V}$ ，电阻  $R_1 = 150\text{k}\Omega$ ， $R_3 = 7.8\text{k}\Omega$ ， $R_4 = R_7 = 2\text{k}\Omega$ ， $R_5 = R_6 = 1\text{k}\Omega$ ，电位器  $R_W = 200\Omega$ 。若要求静态时输出电压  $v_O = 0\text{V}$ ，问电阻  $R_2$  应选多大？



注：更严格地，偏置电路应该用戴维南等效计算。

11. 分析下图所示电路，已知三极管的  $\beta = 100$ ，当  $R_C$  和  $R_B$  阻值分别为 \_\_\_\_\_ 时，该三极管工作在放大区。



$$(1) V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \times V_{CC} = \frac{39}{20+39} \times 12 \approx 2.9\text{V}$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 2.9 - 0.7 = 2.2\text{V}$$

$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{V_E}{R_E} = \frac{2.2}{2.1} \approx 1.05\text{mA}$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{EQ}}{\beta} = \frac{1.05}{50} \approx 0.02\text{mA}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - (R_C + R_E) \times I_C = 12 - (3.9 + 2.1) \times 1.05 = 5.7\text{V}$$

$$r_{be} = r_{be} + (\beta + 1) \times \frac{V_T}{I_C} \approx 1.4\text{k}\Omega$$

$$(2) A_v = -\frac{\beta(R_C//R_E)}{r_{be}} \approx \frac{-50 \times (3.9//3.9)}{1.4} \approx -70$$

$$R_i = R_{B1}//R_{B2}//r_{be} \approx 120//39//1.4 \approx 1.3\text{k}\Omega$$

$$R_O = R_C = 3.9\text{k}\Omega$$

若要求静态时， $v_O = 0\text{V}$ ，则

$$\bar{I}_{B3} = \frac{v_O - (-V_{EE})}{R_7} = \frac{0\text{V} - (-10\text{V})}{2\text{k}\Omega} = 5\text{mA}$$

$$\bar{I}_{B3} = \frac{I_{C3}}{\beta} \approx \frac{I_{E3}}{\beta} = \frac{5\text{mA}}{50} = 0.1\text{mA}$$

$$\bar{I}_{R_3} = \frac{V_{CC} - V_{BE3}}{R_3} = \frac{10\text{V} - 0.7\text{V}}{7.8\text{k}\Omega} \approx 1.2\text{mA}$$

$$I_{C1} = \bar{I}_{R_3} - \bar{I}_{B3} = 1.2\text{mA} - 0.1\text{mA} = 1.1\text{mA}$$

$$I_{E4} \approx I_{C4} \approx I_{C1} + I_{C2} = 2I_{C1} = 2.2\text{mA}$$

串接  $R_2$  两端电压：

$$V_{R_2} = V_{BE4} + I_{E4} R_4 = 0.7\text{V} + 2.2\text{mA} \times 2\text{k}\Omega = 5.1\text{V}$$

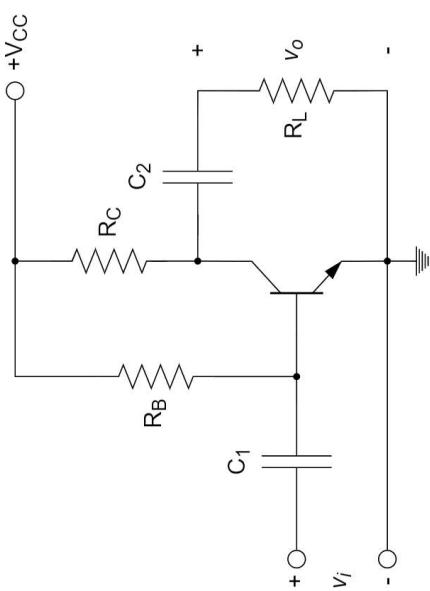
另一方面：

$$V_{R_2} \approx [V_{CC} - (-V_{EE})] \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 2V_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

解出

$$R_2 = \frac{R_1 V_{R_2}}{2V_{CC} - V_{R_2}} = \frac{150\text{k}\Omega \times 5.1\text{V}}{2 \times 10\text{V} - 5.1\text{V}} \approx 51.3\text{k}\Omega$$

**【注】** 差分对电路，只要保证两个管子处于放大区，C 处电阻大小的改变基本不影响  $i_C$ （忽略厄雷效应）。

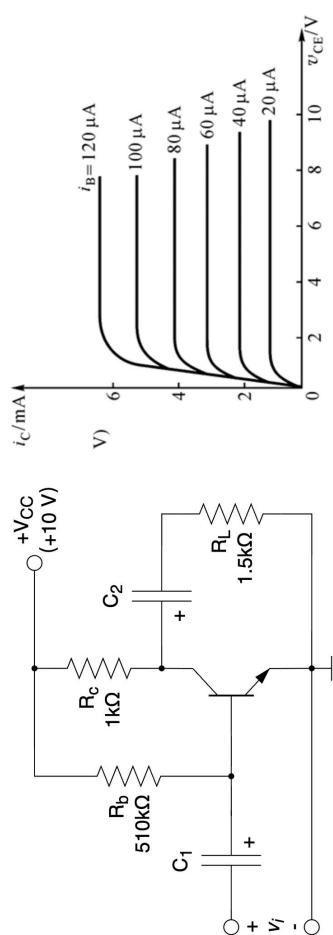


13、下图所示为共射放大电路及对应三极管的伏安特性图。

(1) 用图解法求出电路的静态工作点，并判断这个工作点选得是否合适？

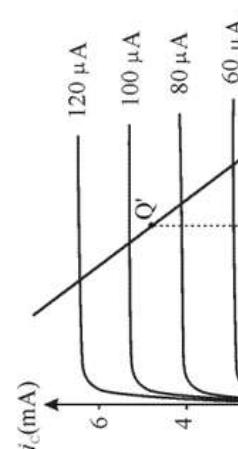
(2) 在  $V_{CC}$ 、 $R_c$  和三极管参数不变的情况下，为了使  $I_{CQ} = 2\text{mA}$ ,  $V_{CEQ} = 2\text{V}$ , 如何改变电路参数？(电阻值近似取整)

(3) 在  $V_{CC}$  和三极管参数不变的情况下，为了使  $I_{CQ} = 2\text{mA}$ ,  $V_{CEQ} = 2\text{V}$ , 如何改变电路参数？(电阻值近似取整)



$$(1) I_B = \frac{10 - 0.7}{510} = 18.2\mu\text{A}$$

由图可知：基极电流太小，静态工作点不合适。



Last updated: 2024/11/29 19:05

(2) 为了把三极管的集电极电压  $V_{CEQ}$  提高到 5V 左右。

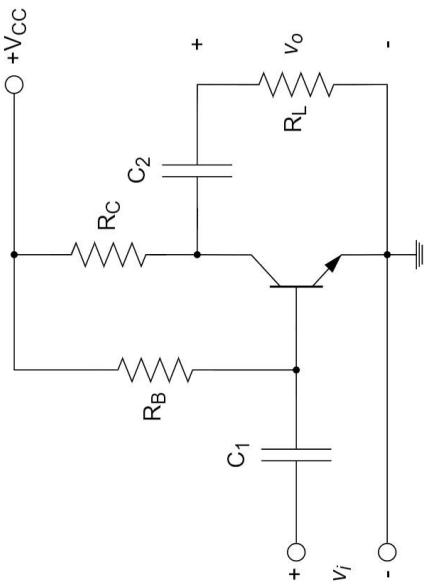
$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CEQ}}{R_c} = \frac{10 - 5}{10} = 5\text{mA}$$

可将静态工作点设置在  $Q'$  点，取  $R_b = 100\text{k}\Omega$ ，使  $I_B = 90\mu\text{A}$ 。

(3) 应将静态工作点设置在  $Q''$  点

$$R_c = \frac{V_{CC} - V_{CEQ}}{I_{CQ}} = \frac{10 - 2}{2} = 4\text{k}\Omega$$

15、分析如下所示电路：



(1) 若  $R_B = 100\text{k}\Omega$ ,  $R_C = 1.5\text{k}\Omega$ , 三极管  $\beta = 80$ , 在静态时, 三极管工作在 \_\_\_\_\_。

A. 放大状态 B. 饱和状态 C. 截止状态 D. 状态不定

(2) 若用直流电压表测得  $V_{CE} \approx V_{CC}$ , 有可能是因为 \_\_\_\_\_。

A.  $R_B$  开路 B.  $R_L$  短路 C.  $R_C$  开路 D.  $R_B$  过小

B A. 假设工作在放大区,  $R_C$  上的电压降大于  $R_B$  上的电压降 ( $1.5 \times 81 = 121.5 > 100$ ) , 矛盾, 所以工作在饱和区; 说明  $I_C$  很小但不是开路。

Previous page  
06- 二极管及其应用电路

Next page  
08- 场效应晶体管及其放大电路