

知识点1: 三极管的结构与工作原理

- 1、三极管又称为双极型晶体管，因为_____。
工作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. 发射结正偏，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

- 6、在某放大电路中，测得三极管三个电极的静态电位分别为 0V、-10V 和 -9.3V, 则这只三极管是_____。

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

A. C 点电压最高，所以是 NPN 型; BE 相差 0.7, 所以是硅。

- 7、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

- C. 发射结反偏，集电结正偏 D. 发射结反偏，集电结反偏

B. 根据定义

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

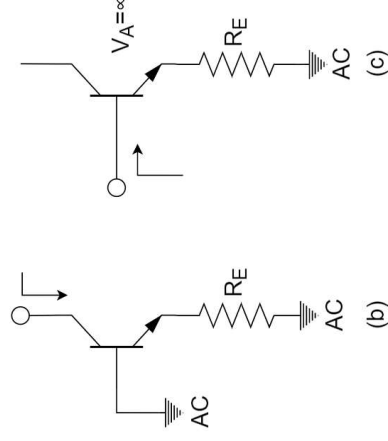
知识点2: 三极管的工作特性及其等效模型

- 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) $r_o + (1 + g_m r_o)(R_E / \tau_\pi)$ 。注意 BJT R_E 需与 r_π 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, 为射极跟随电路。
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) 是指在无输入信号时, 放大器的输出偏离零点 (或基准电平) 的现象。这种现象通常是由于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:

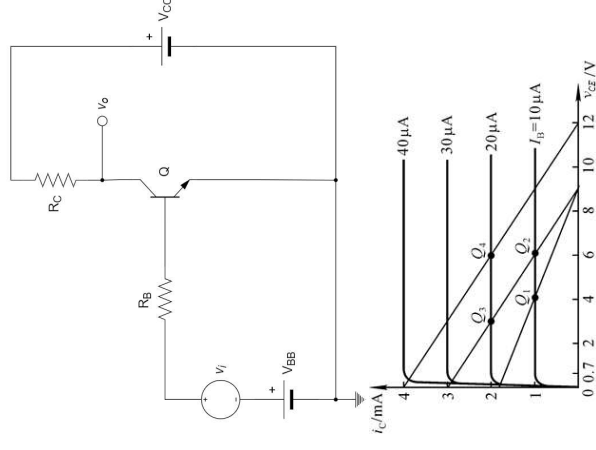
1. **温度影响:** 放大电路中的元件 (如晶体管、电阻、集成电路等) 的特性可能会随温度而变化, 从而引起输出偏移。
2. **电源电压波动:** 电源的不稳定或电源电压的变化也可能导致放大器的输出产生漂移。
3. **元件老化:** 随着时间的推移, 电子元件的特性可能会慢慢改变, 这也可能导致零点的漂移。
4. **输入偏置电流:** 放大器的输入端通常有一定的偏置电流, 这些电流的变化也会导致零漂。

为了减小零漂, 电路设计师会采取各种措施, 比如使用高稳定性的元件、设计温度补偿电路、使用差分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, 越弱 C. 越大, 越弱 D. 越小, 越强

A. 电压电压放大器要求输入电阻大, 输出电阻小, 目的是使放大器的输入从信号源获得大的电阻分压, 负载从放大器的输出获得大的电阻分压。

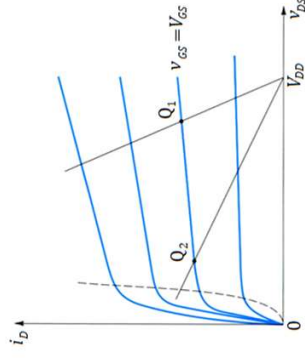
6. 如下图所示的放大电路以及晶体管的输出特性曲线、负载线, 静态工作点_____ 情况下最易产生截止失真, 静态工作点_____ 情况下最易产生饱和失真, 静态工作点_____ 情况下输出电压摆幅最大。



A. Q_1 B. Q_2 C. Q_3 D. Q_4

B C D. 曲线中靠近右侧为截止区, 靠近左侧为饱和区, 居中则输出摆幅最大; Q_2 最靠近右侧, Q_3 最靠近左侧, Q_4 居中, 且左右摆幅最大。

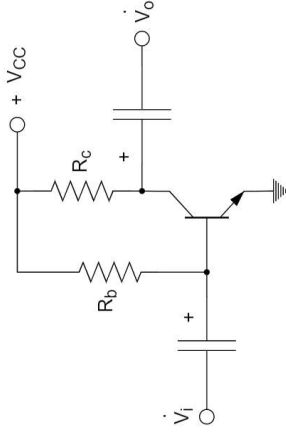
7. 下图是某晶体管的输出特性曲线, 说出图中 Q_1 和 Q_2 两个直流工作点的设置分别存在的问题。直流工作点 Q_1 存在的问题是: _____ ; 直流工作点 Q_2 存在的问题是: _____。



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

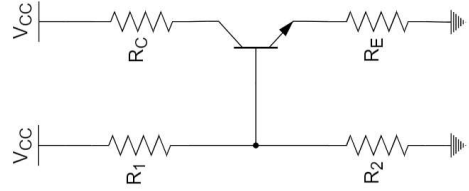
B. $\dot{A}_V = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \frac{-I_C R_c}{V_{BE}} = \frac{-1 \times 2}{0.7} \approx -3$

C. $\dot{A}_V = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \frac{-I_C R_c}{I_b R_b} = -\beta \frac{R_c}{R_b} \approx -62.5$

D. $\dot{A}_V = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = -\beta \frac{R_c}{r_{be}} \approx -76.9$

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 β 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)

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

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

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

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

而 $R_2 I = 3 + 0.7$

得到 $R_2 = 37\text{k}\Omega$

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

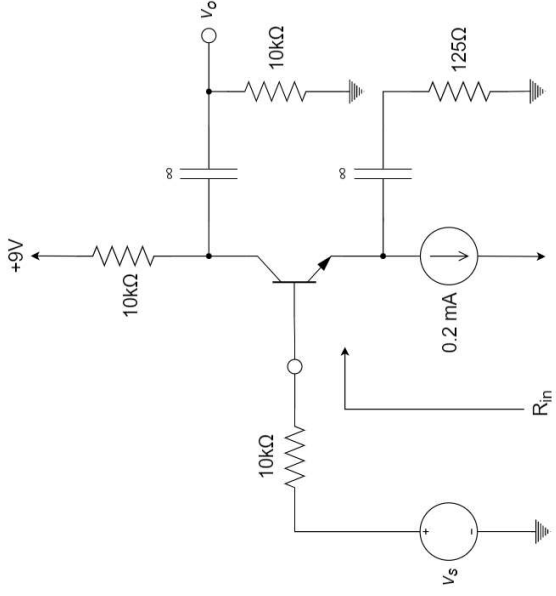
(b)

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

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

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 5mV 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_{be})。 V_T 取 26mV 。



$\beta = 50$, $\alpha = 0.98$

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

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

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

$A_{v_{os}} = -\frac{\beta R_c \parallel R_L}{R_s + R_{in}} = \frac{-50 \times 5}{10 + 13.01} \approx -10.86\text{V/V}$

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

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

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

A. $0.5\text{k}\Omega$ B. $1.0\text{k}\Omega$ C. $2.0\text{k}\Omega$ D. $4.0\text{k}\Omega$

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 $v_o = 6\text{V}$ ，接入 $6\text{k}\Omega$ 负载后，输出电压 $v_o = 4\text{V}$ ，说明该放大电路的输出电阻 $R_o =$ _____。

3 kΩ。解释同上。

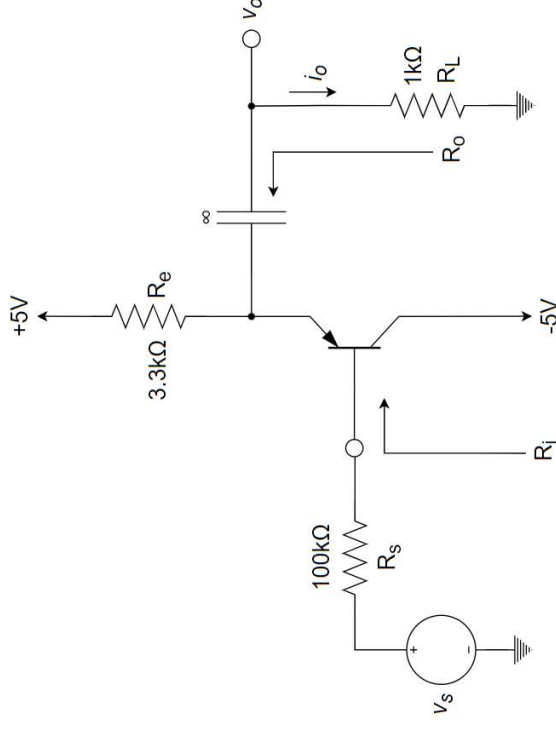
6、某放大电路负载开路时，输出电压 $V_o = 6\text{V}$ ，接入 $3\text{k}\Omega$ 负载后， $V_o = 4\text{V}$ ，说明该放大电路的输出电阻 $R_o =$ _____。如果该放大电路接 $0.5\text{k}\Omega$ 的负载，输出电压 $V_o =$ _____。

1.5 kΩ 1.5 V。解释同上。

7、有两个放大倍数相同的电压放大器 X 和 Y，分别接入内阻非零的相同信号源。在输出端开路情况下，测得放大器 X 的输出电压较小，这说明放大器 X 的_____。

A. 输入电阻大 B. 输入电阻小 C. 输出电阻大 D. 输出电阻小
B. 输出开路，则与负载无关；电压小，则表明输入电阻小。

8、电路如下图所示，已知 v_s 的直流分量为 0，假设晶体管 $\beta = 120$ ， $V_T = 25\text{mV}$ ，忽略 r_o ，求发射极直流电流 I_E 、输入电阻 R_i 、输出电阻 R_o 和电压增益 v_o/v_s 。



$$\frac{I_E}{121} \times 100 + 0.7 + 3.3I_E = 5$$

$$\therefore I_E \approx 1.04\text{mA}$$

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

$$R_i = (1 + \beta)(r_e + R_e // R_S) \approx 95.76\text{k}\Omega$$

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

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

9、已知一共射放大器工作在放大区， $\beta = 100$ ， $I_C = 1\text{mA}$ ，集电极电阻 $R_C = 5\text{k}\Omega$ ，负载电阻 $R_L = 5\text{k}\Omega$ ，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。 ($V_T \approx 25\text{mV}$)

$$-100. \quad g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1\text{mA}}{25\text{mV}}, \quad -g_m(R_C // R_L) = -\frac{2500}{25} = -100$$

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

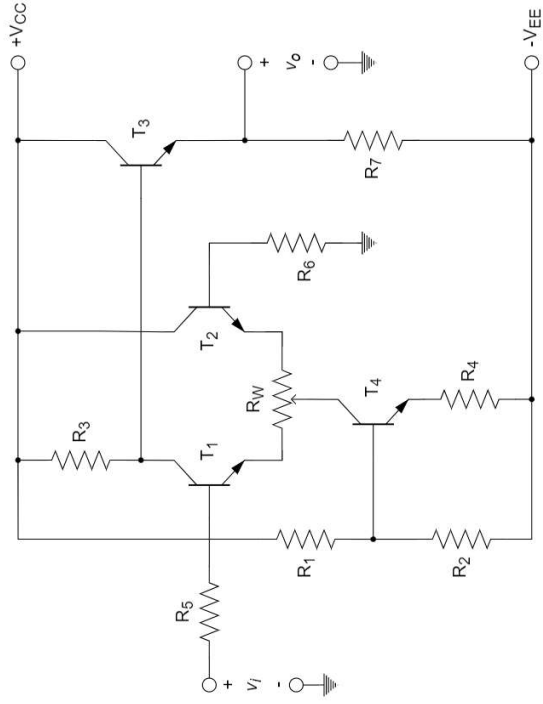
(1) 静态工作点 I_{BQ} 、 I_{CQ} 和 V_{CEQ} 。

(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 kΩ, 10 kΩ B. 5.6 kΩ, 510 kΩ C. 5.6 kΩ, 1 MΩ D. 100 kΩ, 1 MΩ

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

12. 如下图所示放大电路, 已知各晶体管的 $\beta = 50$, $V_{BE} = 0.7V$, 电阻 $R_1 = 150k\Omega$, $R_3 = 7.8k\Omega$, $R_4 = R_7 = 2k\Omega$, $R_5 = R_6 = 1k\Omega$, 电位器 $R_W = 200\Omega$, 且滑动端处于中间位置, 电源电压 $V_{CC} = V_{BE} = 10V$ 。若要求静态时输出电压 $v_O = 0V$, 问电阻 R_2 应选多大?



若要求静态时 $v_O = 0V$, 则

$$I_{E3} = \frac{v_o - (-V_{EE})}{R_7} = \frac{0V - (-10V)}{2k\Omega} = 5mA$$

$$I_{B3} = \frac{I_{E3}}{\beta} \approx \frac{5mA}{50} = 0.1mA$$

$$I_{R3} = \frac{V_{CC} - V_{BE3}}{R_3} = \frac{10V - 0.7V}{7.8k\Omega} \approx 1.2mA$$

$$I_{C1} = I_{R3} - I_{B3} = 1.2mA - 0.1mA = 1.1mA$$

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

电阻 R_2 两端电压:

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

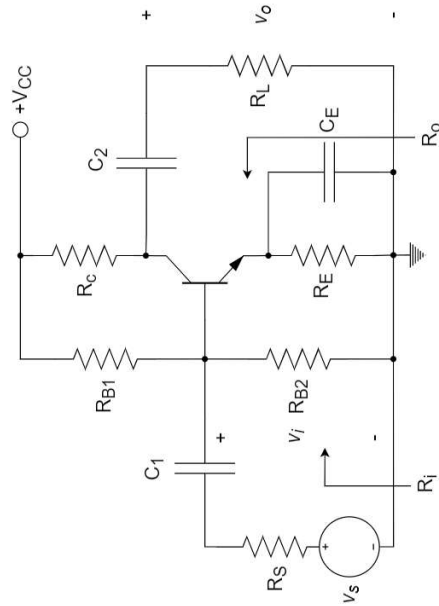
另一方面:

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

解出

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

【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)。



$$(1) V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \times V_{CC} = \frac{39}{120 + 39} \times 12 \approx 2.9V$$

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

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

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

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

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

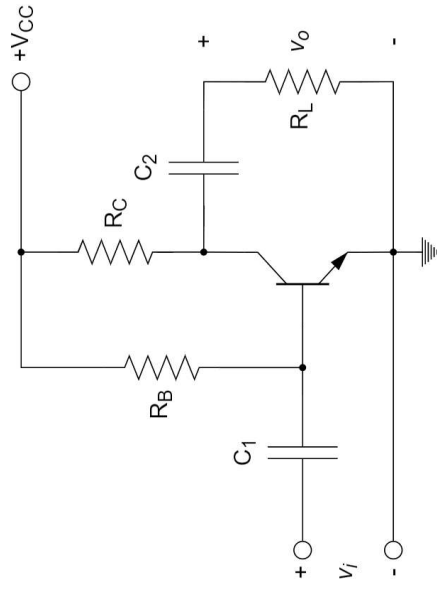
$$(2) A_v = -\frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be}} \approx \frac{-50 \times (3.9 // 3.9)}{1.4} \approx -70$$

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

$$R_O = R_C = 3.9k\Omega$$

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。

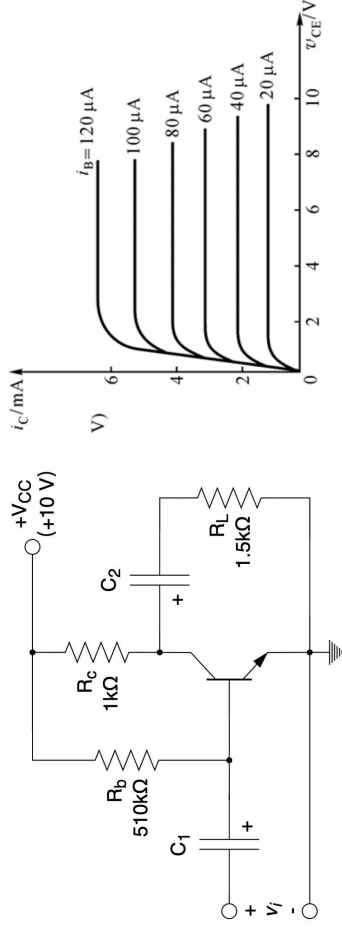


13、下图所示为共射放大电路及对应三极管的伏安特性图。

(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？

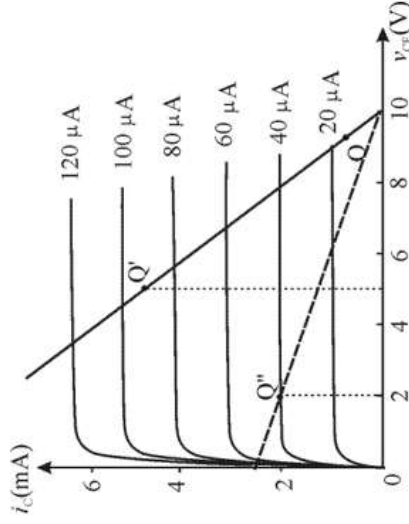
(2) 在 V_{CC} 、 R_c 和三极管参数不变的情况下，如何改变电阻 R_b 使 V_{CEQ} 提高到 5V 左右？
(电阻值近似取整)

(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。



(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 $I_B = 90\mu\text{A}$ 。

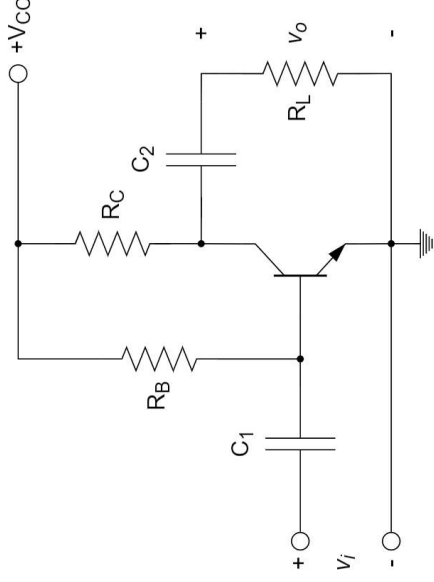
(3) 应将静态工作点设置在 Q'' 点

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

$$R_b = \frac{V_{CC}-V_{BEQ}}{I_{BQ}} = \frac{10-0.7}{40 \times 10^{-3}} \approx 233\text{k}\Omega$$

R_c 可以取 $4\text{k}\Omega$ ， R_b 可以取 $240\text{k}\Omega$

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。

Last updated: 2024/11/29 19:05

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