

## 第三章 三极管放大电路基础

序号 55 学号 31902192 姓名 蒋俊兰

## 一、填空题

1	基本放大电路的三种组态分别是： <del>共发射极</del> 放大电路、 <del>共基极</del> 放大电路和 <del>共集电极</del> 放大电路，其中射极(或电压)跟随器是 <del>共集电极</del> 组态。
2	双极型晶体管(BJT)的类型有 <u>NPN</u> 和 <u>PNP</u> 两种，它的工作模式由晶体管的 PN 结偏置电压决定。当晶体管工作在放大模式时，要求晶体管的集电结(CBJ)电压 <u>反向</u> 偏置，发射结(EBJ)电压 <u>正向</u> 偏置。
3	依据双极型晶体管(BJT)的直流偏置电压情况，它的工作模式可以分为三种基本工作状态(模式)：即 <u>放大状态</u> 、 <u>饱和状态</u> 和截止状态。
4	放大电路有两种工作状态，当 $v_i=0$ 时电路的状态称为 <u>静</u> 态，有交流信号 $v_i$ 输入时，放大电路的工作状态称为 <u>动</u> 态。在 <u>动</u> 态情况下，晶体管各极电压、电流均包含 <u>直流</u> 分量和 <u>交流</u> 分量。放大器的输入电阻越 <u>大</u> ，就越能从前级信号源获得较大的电信号；输出电阻越 <u>小</u> ，放大器带负载能力就越强。
5	由 NPN 三极管组成的共射单管放大电路中，如果静态工作点设置过高，则易出现 <u>饱和</u> (截止，饱和)失真，此时波型将出现 <u>底部</u> (顶部，底部)失真，为了减小这种失真，可调整电路中的 <u><math>R_b</math></u> ( $R_c$ , $R_b$ )，并使其 <u>增大</u> (增大，减小)。
6	电压跟随器(射极输出器)具有 <u>电压增益</u> 恒小于 1、接近于 1， <u>输入信号</u> 和 <u>输出信号</u> 同相，并具有 <u>输入电阻</u> 高和 <u>输出电阻</u> 低的特点。

## 二、简答题

1、放大电路中为何设立静态工作点？静态工作点的高、低对电路有何影响？

为了使放大信号能全部通过放大器，Q点过高易使传输信号部分进入饱和区；Q点过低易使传输信号

2、已知 NPN 型三极管的输入—输出特性曲线如图 1 所示，当 部分进入截止区，其结果都是信号发生失真。

$$(1) U_{BE}=0.7V, U_{CE}=6V, I_C=? \because U_{BE}=0.7V, \therefore I_B=30\mu A \text{ 又 } U_{CE}=6V \therefore I_C=3.7mA$$

$$(2) I_B=50\mu A, U_{CE}=5V, I_C=? \quad I_C=5.5mA$$

(3)  $U_{CE}=6V$ ,  $U_{BE}$  从  $0.7V$  变到  $0.75V$  时，求  $I_B$  和  $I_C$  的变化量，此时的  $\beta=?$ 

$$\Delta I_B = 30\mu A \quad U_{BE}=0.7V, I_C=3.7mA; \quad U_{BE}=0.75V, I_B=60\mu A, I_C=6.3mA; \quad \Delta I_C=6.3-3.7mA=2.6mA$$

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{2.6 \times 10^{-3}}{30} = 86.7$$

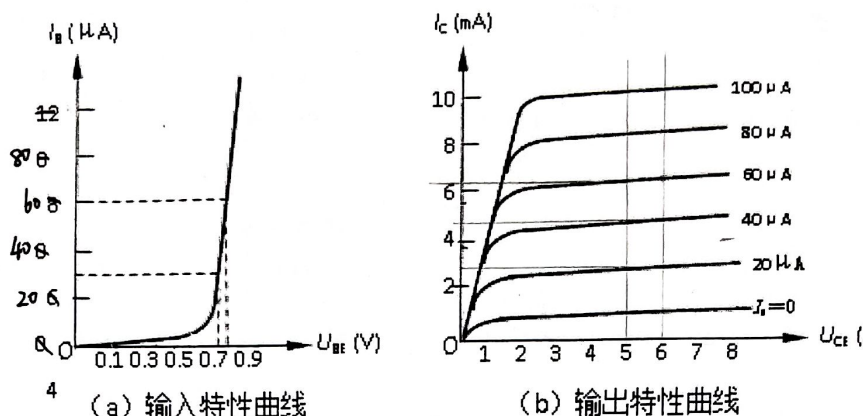


图 1

3、晶体管电路如图 2 所示，试确定各晶体管的  $\beta$  值。

$$(a). I_B = \frac{4.3}{430 \times 10^3} = 10 \mu A$$

$$I_C = \frac{2}{2 \times 10^3} = 1 mA$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = 100$$

$$(b). I_B = \frac{4.3 - 2.3}{20 \times 10^3} = 100 \mu A$$

$$I_E = \frac{2.3}{230} = 10 mA$$

$$I_C = I_E - I_B = 9.9 mA$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = 99$$

$$(c). I_E = \frac{10 - 9}{1 \times 10^3} = 1 mA$$

$$V_C = I_E \times 10^3 = 1 V$$

$$I_B = \frac{8.3 - V_C}{150 \times 10^3} = 48.7 \mu A$$

$$I_C = I_E - I_B = 951.3 \mu A$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{951.3}{48.7} = 19.5$$

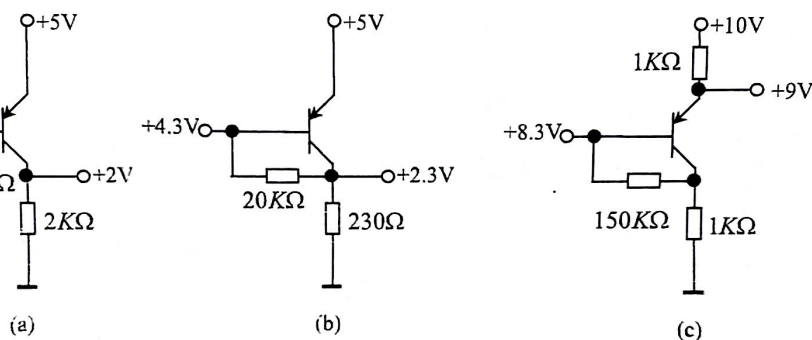


图 2

4、在图 3 所示的电路中，假设晶体管的  $\beta$  无限大，且  $|V_{BE}| = 0.7V$ 。试确定各图中标注

的电压、电流值。

$$(a). I_B = 0 A$$

$$V_B = 0 V$$

$$V_1 = V_B - V_{BE} = -0.7 V$$

$$I_C = 2 mA$$

$$V_2 = 10 - 3.3 \times 10^3 \times I_C = 3.4 V$$

$$V_2 = 10 - 3.3 \times 10^3 \times I_C = 3.4 V$$

$$V_2 = 10 - 3.3 \times 10^3 \times I_C = 3.4 V$$

$$V_2 = 10 - 3.3 \times 10^3 \times I_C = 3.4 V$$

$$V_2 = 10 - 3.3 \times 10^3 \times I_C = 3.4 V$$

$$V_2 = 10 - 3.3 \times 10^3 \times I_C = 3.4 V$$

$$V_2 = 10 - 3.3 \times 10^3 \times I_C = 3.4 V$$

$$V_2 = 10 - 3.3 \times 10^3 \times I_C = 3.4 V$$

$$V_2 = 10 - 3.3 \times 10^3 \times I_C = 3.4 V$$

$$V_2 = 10 - 3.3 \times 10^3 \times I_C = 3.4 V$$

$$V_2 = 10 - 3.3 \times 10^3 \times I_C = 3.4 V$$

$$V_2 = 10 - 3.3 \times 10^3 \times I_C = 3.4 V$$

$$V_2 = 10 - 3.3 \times 10^3 \times I_C = 3.4 V$$

$$V_2 = 10 - 3.3 \times 10^3 \times I_C = 3.4 V$$

$$V_2 = 10 - 3.3 \times 10^3 \times I_C = 3.4 V$$

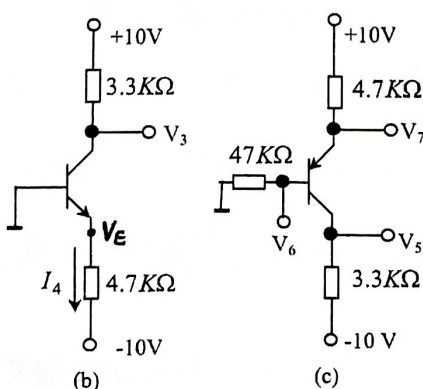


图 3

$$(c). V_B = 0 V, I_B = 0 A.$$

$$V_1 = V_B + V_{BE} = 0.7 V$$

$$I_E = \frac{10 - V_1}{4.7 \times 10^3} = 1.98 mA$$

$$I_C = I_E - I_B = 1.98 mA$$

$$V_5 = -10 + 3.3 \times 10^3 \times I_C = -3.4 V$$

$$(d).$$

$$V_{10} = 10 \times \frac{300}{300 + 180} + (-10) \times \frac{180}{300 + 180} = 2.5 V$$

$$V_8 = V_{10} + V_{BE} = 3.2 V$$

$$I_E = \frac{10 - V_8}{6.8 \times 10^3} = 1 mA$$

$$I_C = 1 mA$$

$$V_9 = -10 + 10 \times 10^3 \times I_C = 0 V$$

5、在图 4 所示的电路中，假设晶体管工作在放大模式，并且晶体管的  $\beta$  为无限大，试

确定各图中所对应标注的电压、电流值。

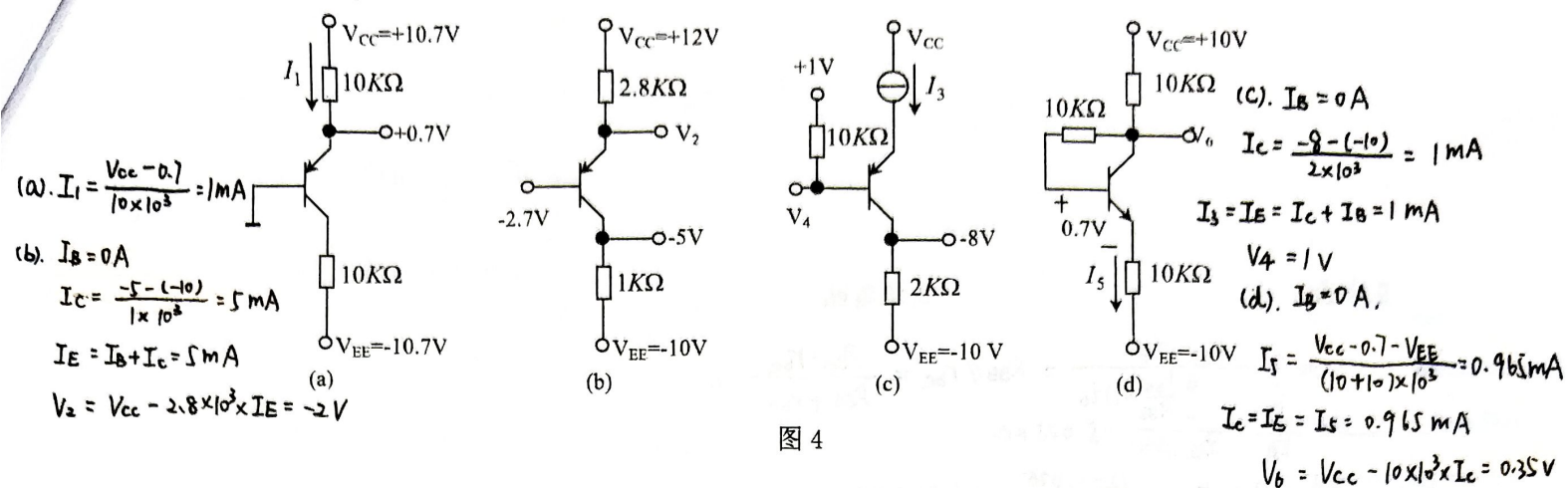


图 4

## 三、分析计算题

1、双极型晶体管的放大电路如图 5 所示。已知电路中  $R_S = 10K\Omega$ ,  $R_1 = 30K\Omega$ ,  $R_2 = 20K\Omega$ ,  $R_E = 2K\Omega$ ,  $R_C = 2K\Omega$ ,  $R_L = 2K\Omega$ , 发射极的直流电流  $I_E = 1mA$ , 假设晶体管的参数为  $V_{BE} = 0.7V$ ,  $r_{bb'}$  (或  $r_x$ ) = 0,  $\beta = 200$ 。

$C_B = 1\mu F$ ,  $C_C = C_E = \infty$ 。热电压  $V_T = 25mV$ , 试回答:

答:

- (1) 画出晶体管的直流通路与放大器的交流通路;
- (2) 求输入阻抗  $R_i$  和输出阻抗  $R_o$ ;
- (3) 计算该放大器的电压增益  $A_v = v_o / v_s$ ;

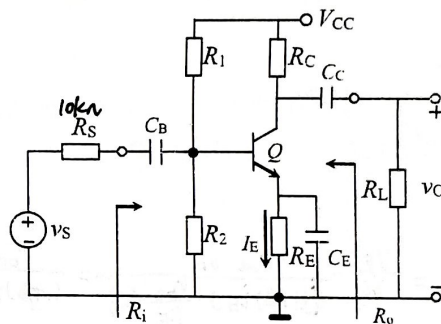


图 5

2、双极型晶体管构成共基放大器电路的交流通路如图

6 所示。电路中已知  $R_S = 100\Omega$ ,  $R_E = 200\Omega$ ,

$R_C = 2K\Omega$ ,  $R_L = 2K\Omega$ 。假设晶体管的参数为

$r_{be}$  (或  $r_\pi$ ) =  $2K\Omega$ ,  $\beta = 100$ 。电容  $C_C = 1\mu F$  对中频信号呈短路。试回答:

号呈短路。试回答:

- (1) 画出放大器的交流小信号等效模型电路;
- (2) 求输入阻抗  $R_i$  和输出阻抗  $R_o$ ;
- (3) 计算该放大器的中频电压增益  $A_v = v_o / v_s$ ;

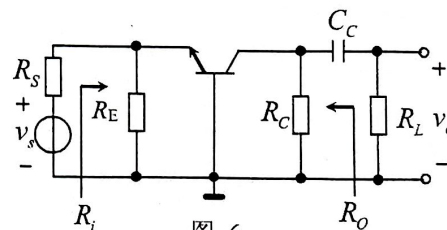


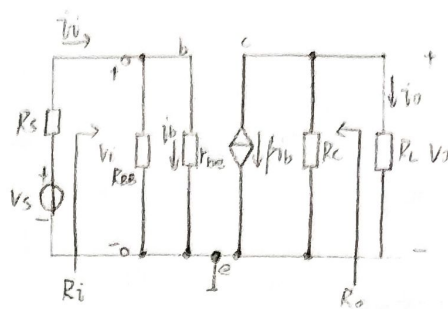
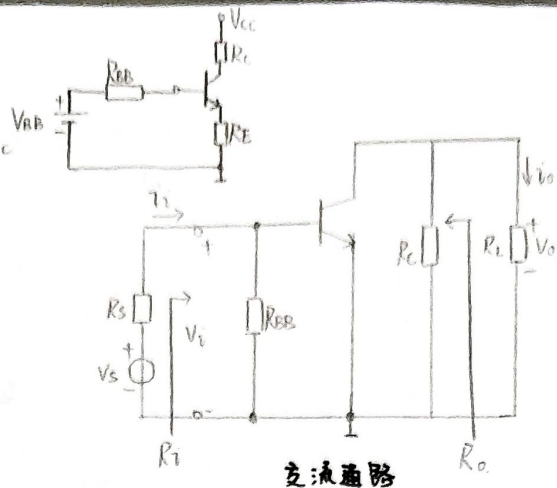
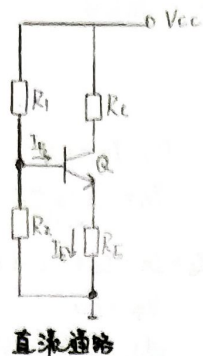
图 6

3、在图 7 所示的共集放大器电路中, 晶体管的  $\beta$  值在 20~200 范围内变化。当  $\beta$  分别等



三.

1. (1).



1.  $R_{BB} = R_1 // R_2 = 12k\Omega$

$r_{be} = \frac{V_T}{I_B} = \frac{V_T}{I_E / (\beta + 1)} = 5.025k\Omega$

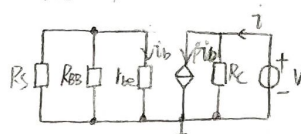
2.  $R_i = \frac{V_i}{i_i} = R_{BB} // r_{be} = \frac{12 \times 5.025}{12 + 5.025} = 3.542k\Omega$

$R_o = R_C = 2k\Omega$

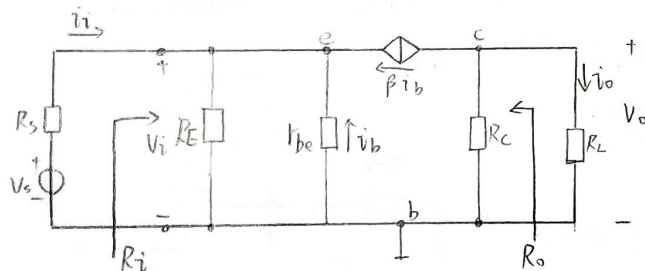
3.  $V_i = r_{be} i_b$ ,  $V_o = -\beta i_b (R_C // R_L)$

$A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_i} \cdot \frac{V_i}{V_s} = - \frac{\beta (R_C // R_L)}{r_{be}} \cdot \frac{R_i}{R_i + R_s} = -10.41 (V/V)$

令  $V_s = 0$ , 从输出端外加电压  $V$ , 产生电流  $i$ .



2. (1).

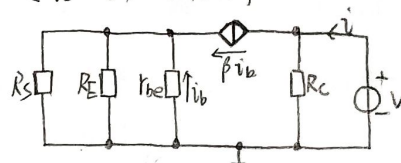


12.  $R_i = \frac{V_i}{i_i} = \frac{-r_{be} i_b}{-(1 + \beta) i_b + \frac{r_{be}}{R_E} i_b} = \frac{r_{be}}{(1 + \beta) + \frac{r_{be}}{R_E}} = 18.02\Omega$

$R_o = R_C = 2k\Omega$

13.  $A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_i} \cdot \frac{V_i}{V_s} = \frac{\beta (R_C // R_L)}{r_{be}} \cdot \frac{R_i}{R_i + R_s} = 7.63 (V/V)$

令  $V_s = 0$ , 从输出端外加电压  $V$ , 产生电流  $i$ .



于 20 和 200 时, 试求:

(1) 基极直流电压  $V_B$ , 发射极的直流电压  $V_E$  和直流电流  $I_E$ ;

(2) 放大器的输入阻抗  $R_i$ ;

(3) 放大器的电压增益  $\frac{v_o}{v_s}$ 。

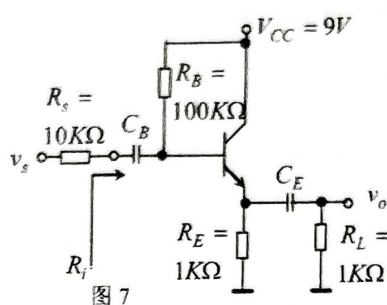


图 7

4、放大电路如图 8 所示。已知 BJT 的  $\beta=80$ ,  $R_b=300k$ ,  $R_c=2k$ ,  $V_{CC}=+12V$ , 求:

(1) 放大电路的 Q 点。此时 BJT 工作在哪个区域?

(2) 当  $R_b=100k$  时, 放大电路的 Q 点。此时 BJT 工作在哪个区域? (忽略 BJT 的饱和压降)

(1). 假设晶体管工作在放大模式, 取  $V_{BE}=0.7V$ .

$$V_B = V_{BE} = 0.7V$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_B}{R_b} = 37.7 \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 3.01 mA$$

$$V_C = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 5.98 V > 0.7V$$

∴ 假设正确, BJT 工作在放大区

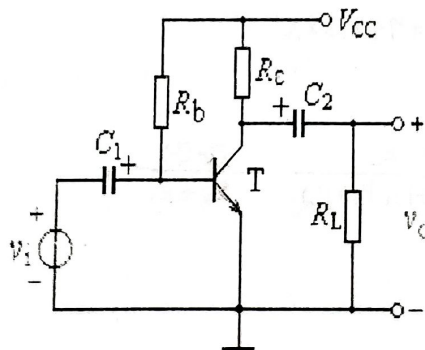


图 8

(2). 假设晶体管工作在放大模式, 取  $V_{BE}=0.7V$

$$V_B = V_{BE} = 0.7V$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_B}{R_b} = 0.113 mA$$

$$I_C = \beta I_B = 9.04 mA$$

$$V_C = V_{CC} - R_C \cdot I_C = -6.08 V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = -6.08 V < V_{CE(sat)}$$

∴ 假设不成立, 晶体管应工作在饱和区。

$$V_E = 0V, V_{BE} = 0V, V_{CE} = 0V, \therefore V_B = 0V, V_C = 0V$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_B}{R_b} = 0.12 mA$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_c} = 6 mA$$

$$I_E = I_B + I_C = 6.12 mA$$

∴ BJT 工作在饱和区

5、图 9 中画出了图 8 放大电路中 BJT 的输出特性及交、直流负载线, 试求:

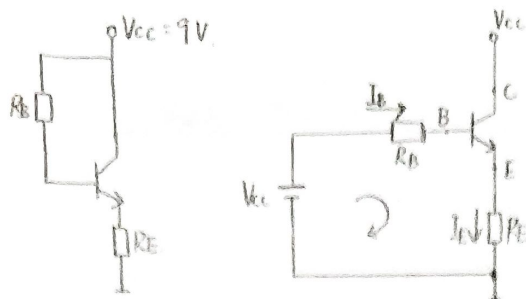
(1) 电源电压  $V_{CC}$ , 静态电流  $I_{BQ}$ ,  $I_{CQ}$  和管压降  $V_{CEQ}$  的值;

(2) 电阻  $R_b$ ,  $R_c$  的值;

(3) 输出电压的最大不失真幅度;

(4) 要使该电路能不失真地放大, 基极正弦电流的最大幅值是多少?

3. (1).



根据KVL, 列回路方程

$$\begin{cases} V_{CC} = I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E \\ I_E = (1+\beta) I_B \end{cases} \Rightarrow I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{1+\beta}}$$

① 当  $\beta = 20$  时,  $I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{1+\beta}} = 1.44 \text{ mA}$

$$V_E = I_E \times R_E = 1.44 \text{ V}$$

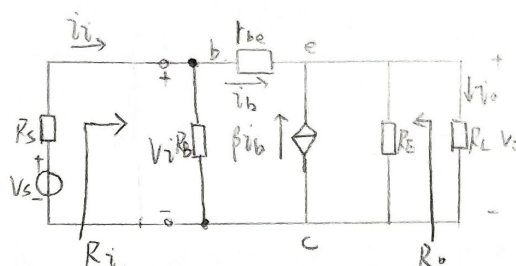
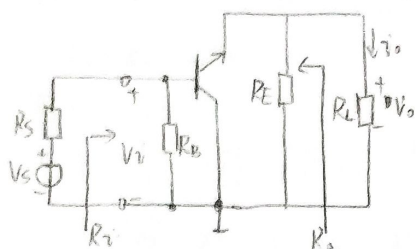
$$V_B = V_E + V_{BE} = 2.14 \text{ V}$$

② 当  $\beta = 200$  时,  $I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{1+\beta}} = 5.54 \text{ mA}$

$$V_E = I_E \times R_E = 5.54 \text{ V}$$

$$V_B = V_E + V_{BE} = 6.24 \text{ V}$$

(2).



$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = [r_{be} + (\beta+1)(R_E \parallel R_L)] \parallel R_B$$

当  $\beta = 20$  时,  $r_{be} = \frac{V_T}{I_B} = \frac{V_T}{I_E/(\beta+1)} = 379.17 \Omega$

$$R_i = 9811.73 \Omega$$

当  $\beta = 200$  时,  $r_{be} = \frac{V_T}{I_B} = \frac{V_T}{I_E/(\beta+1)} = 943.32 \Omega$

$$R_i = 50358.24 \Omega$$

$$13. A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_i} \cdot \frac{V_i}{V_s} = \frac{(\beta+1)(R_E \parallel R_L)}{r_{be} + (\beta+1)(R_E \parallel R_L)} \cdot \frac{R_i}{R_i + R_s}$$

当  $\beta = 20$  时,  $A_v = 0.48 \text{ (V/V)}$

当  $\beta = 200$  时,  $A_v = 0.83 \text{ (V/V)}$

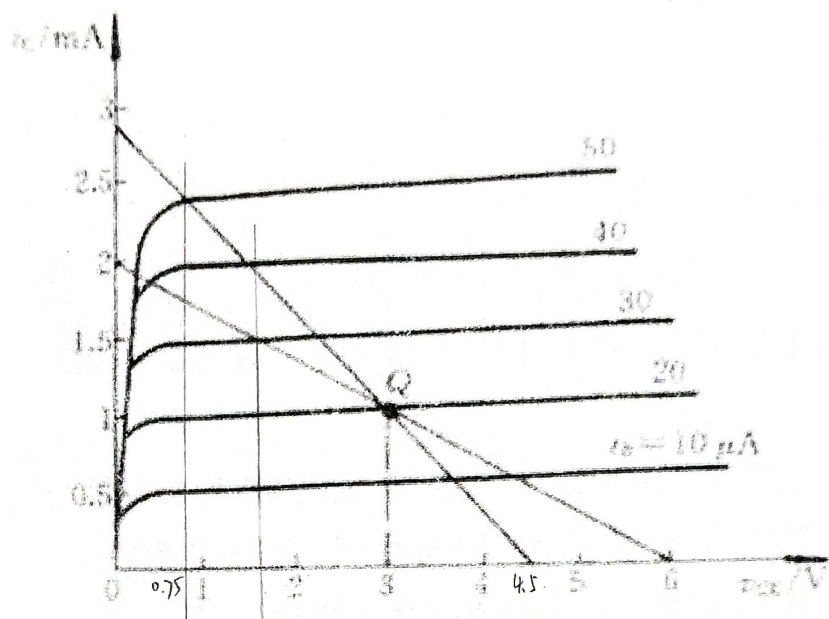


图 9

11). ~~当  $I_C = 0$  A 时~~ 当  $I_C = 0$  A 时,  $V_E = V_{CC} - I_C \cdot R_C = V_{CC} = 6$  V.

$$I_{BQ} = 20 \mu\text{A}, I_{CQ} = 1 \text{ mA}, V_{CEQ} = 3 \text{ V}$$

(2).  $R_C = \frac{V_{CC} - V_{CEQ}}{I_{CQ}} = 3 \text{ k}\Omega$

$$R_B = \frac{V_{CC}}{I_{BQ}} = 300 \text{ k}\Omega$$

(3) 负半周:  $4.5 - 3 = 1.5 \text{ V}$

正半周:  $3 - 0.75 = 2.25 \text{ V}$

∴ 线上, 最大不失真幅度为  $1.5 \text{ V}$

(4) 最大幅值是  $20 \mu\text{A}$