

回顾:

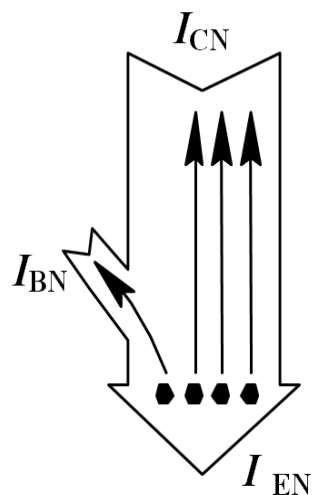
晶体三极管

1. 形式与结构 $\begin{Bmatrix} \text{NPN} \\ \text{PNP} \end{Bmatrix}$ 三区、三极、两结

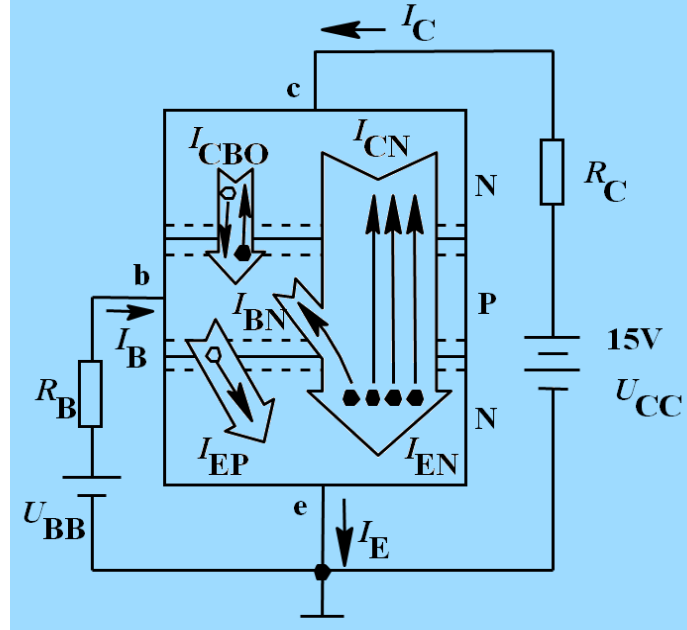
2. 特点: 基极电流控制集电极电流并实现放大

放大条件 $\left\{ \begin{array}{l} \text{内因: 发射区载流子浓度高、} \\ \text{基区薄、集电区面积大} \\ \text{外因: } \underline{\text{发射结正偏、集电结反偏}} \end{array} \right.$

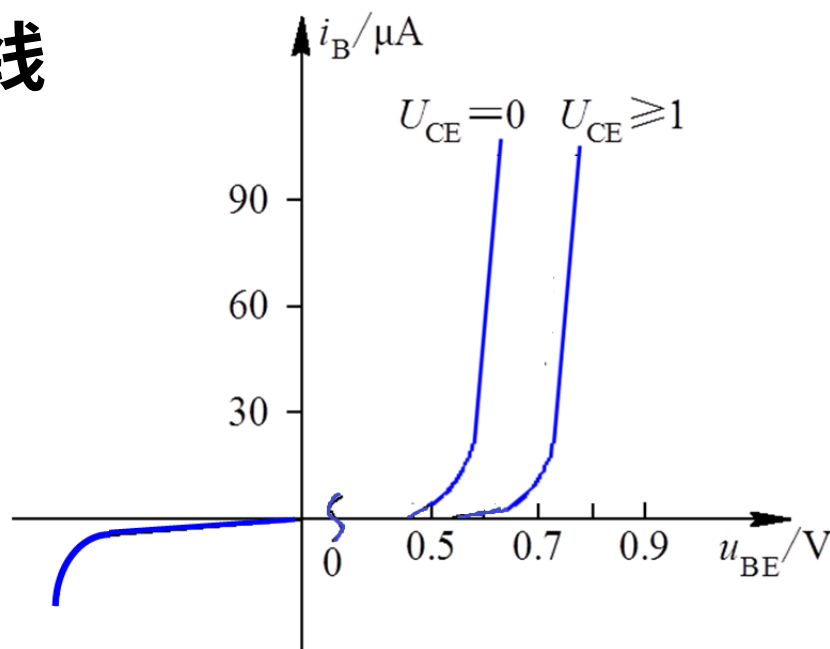
3. 电流关系



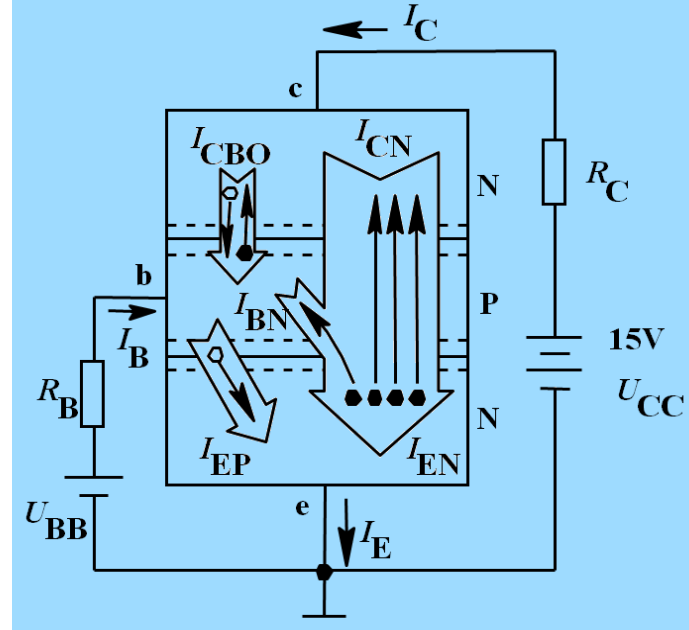
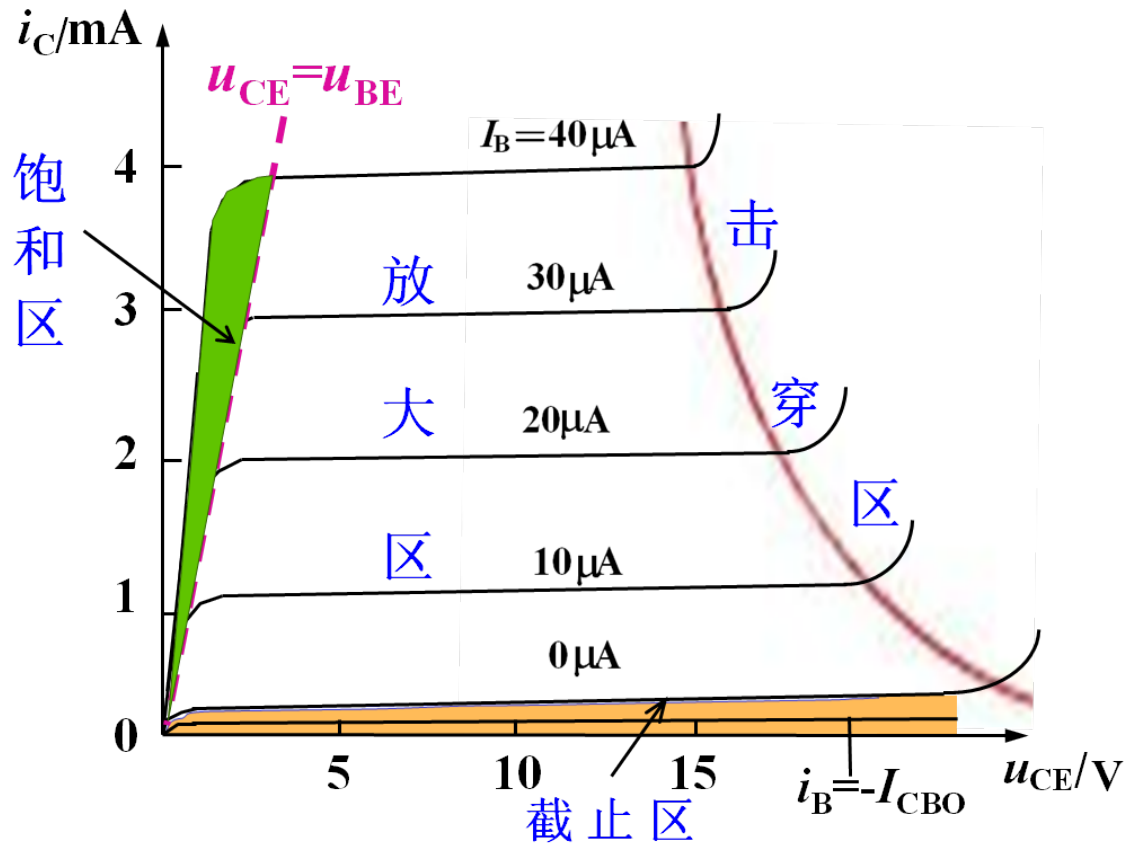
$$\begin{cases} I_E = I_C + I_B \\ I_C = \beta I_B \\ I_E = (1 + \beta) I_B \end{cases}$$



4. 输入特性曲线



5. 输出特性曲线



放大状态：发射结正偏，集电结反偏

截止状态：发射结零偏或反偏，集电结反偏

饱和状态：发射结正偏，集电结正偏。

在开关电路中，饱和就是导通，截止就是断开。

§3.3 晶体管放大电路的放大原理

1. 放大电路的组成元件(NPN型)

T: NPN 型三极管, 为放大元件;

U_{BB} , R_B : 为发射结提供正向偏置电压, 提供静态基极电流。

U_{CC} : 给集电结提供反向偏压, 同时为输出信号提供能量;

R_C : 当 i_C 通过 R_C , 将电流的变化转化为集电极电压的变化, 传送到电路的输出端;

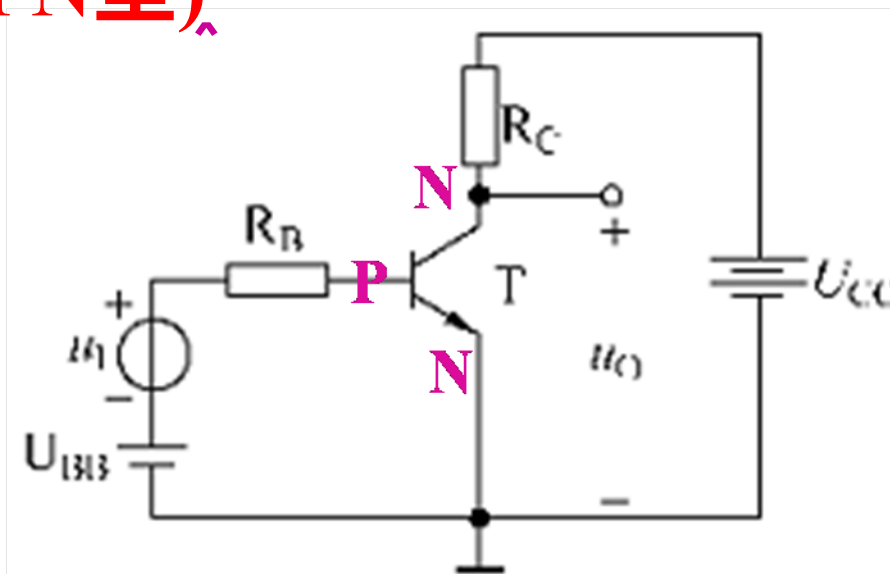


图 2.3.1 共射极放大器

需要被放大的信号为
输入电压 u_i ，通常为
交流小信号。

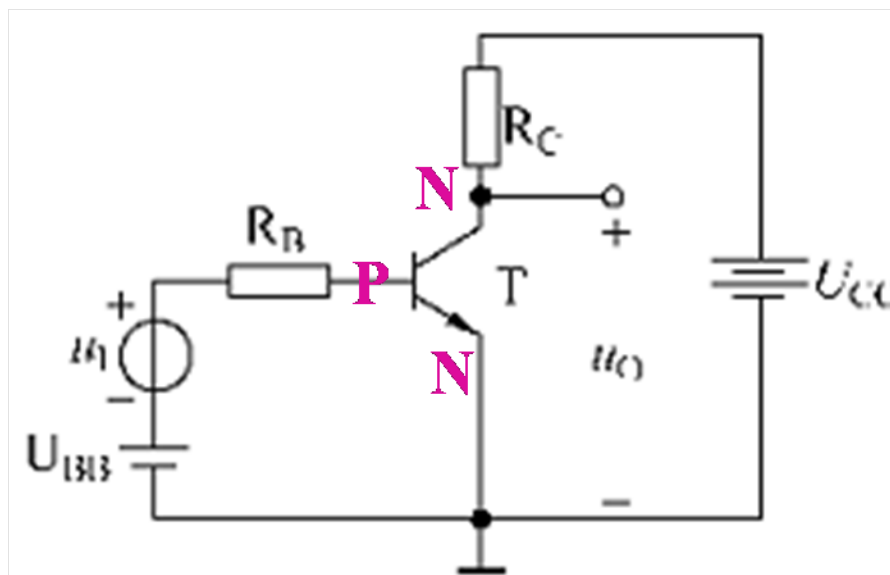


图 2.3.1 共射极放大器

- (1) **静态**： $u_i=0$, 各点电压、电流恒定，只存在直流量；
- (2) **动态**： $u_i \neq 0$, 各点电压、电流在静态值的基础上叠加一个动态值。

符号规定

U_{BE} 大写字母、大写下标，表示直流分量。

u_{be} 小写字母、小写下标，表示交流分量。

U_{be} 大写字母、小写下标，表示交流分量的有效值。

u_{BE} 小写字母、大写下标，表示叠加量或瞬时量。

2. 静态工作点的作用

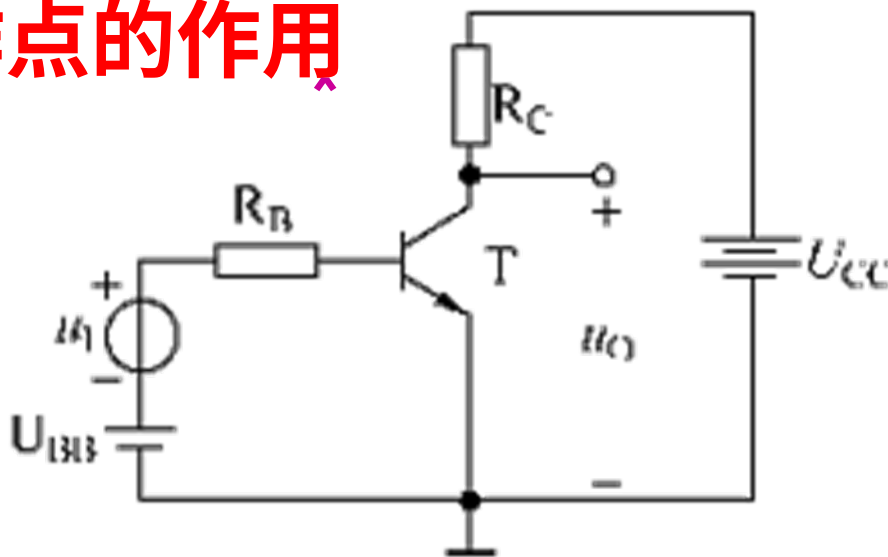
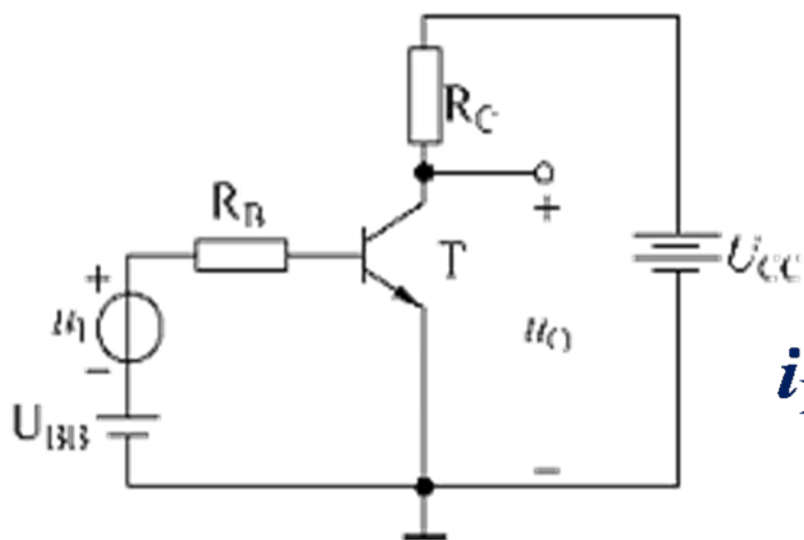


图 2.3.1 共射极放大器

电路处于**静态**时，三极管各电极的电压、电流在特性曲线上确定为一点，称为**静态工作点**，常称为 **Q 点**。

一般用 I_{BQ} , I_{CQ} , U_{BEQ} 和 U_{CEQ} 表示。**设置静态工作点是保证放大电路正常工作的基础** (输出电压会出现失真)。

3. 放大原理

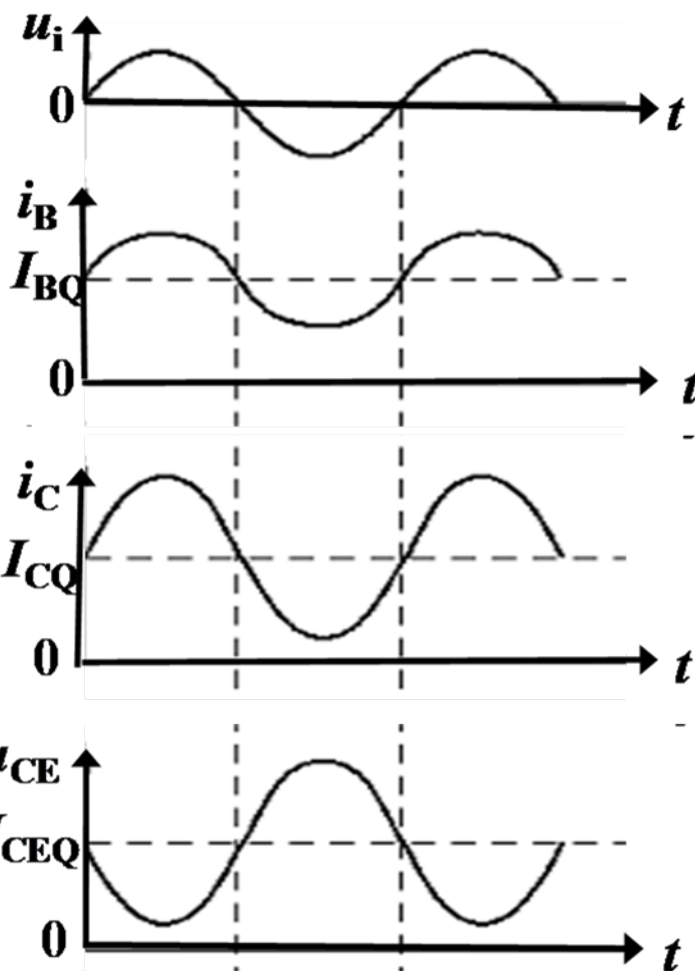


$$i_B = I_{BQ} + i_b$$

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

$$= I_{CQ} + \beta i_b = \beta i_B$$

管压降: $u_{CE} = U_{CC} - i_C \times R_C$



4. 基本放大器的组成原则

1. 有为放大管提供合适Q点的直流电源。
2. 电阻适当，同电源配合，使放大管有合适Q点。
3. 输入信号必须能够作用于放大管的输入回路，产生 Δu_{BE} 或 Δi_B ，从而改变输出回路的电流，放大输入信号。
4. 设置合理的信号通路。

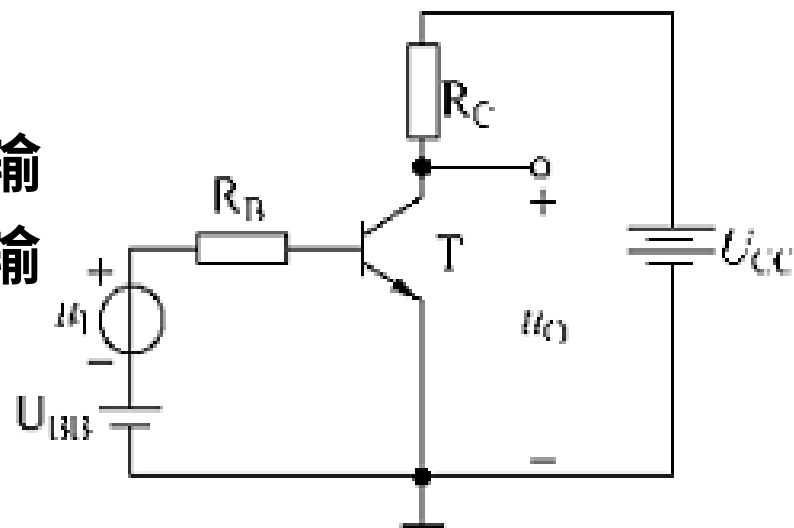


图 2.3.1 共射极放大器

5. 直流通路和交流通路

为了研究分析方便，常把直流电源和输入信号对电路的作用区分开来，分成直流通路和交流通路。

1. 直流（静态）工作点分析：

∅ 当放大器没有送入交流信号时，即 $u_i=0$

∅ 分析对象：直流成份、直流通路（偏置电路）

2. 交流（动态）性能分析：

∅ 加入交流信号，即 $u_i \neq 0$

∅ 分析对象：交流成份、交流通路

画直流通路的原则:

1. 视电容C开路，电感L短路，
2. 交流输入信号源视为短路，但保留其内阻

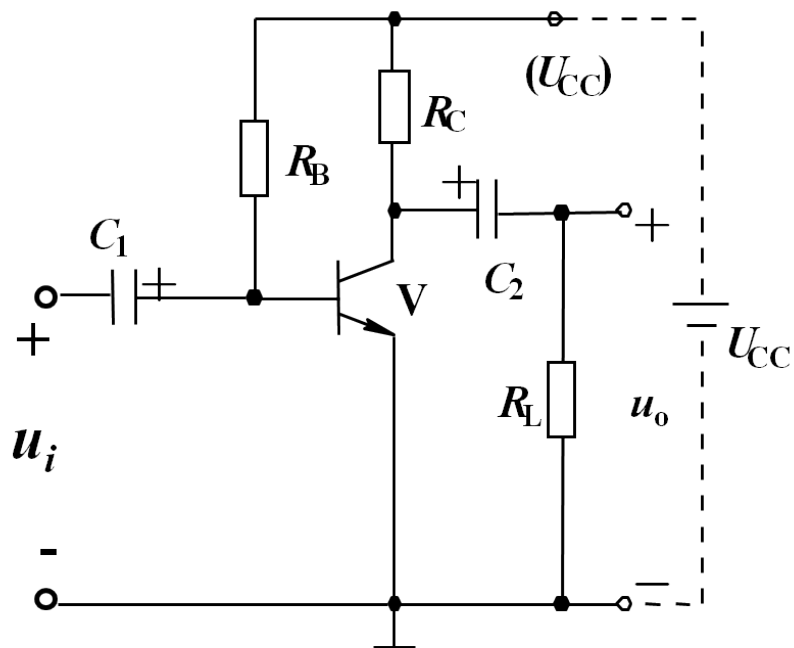


图2.3.4 阻容耦合共射放大电路

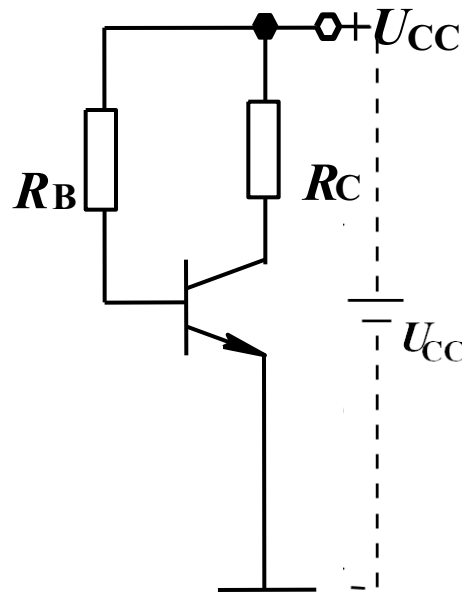
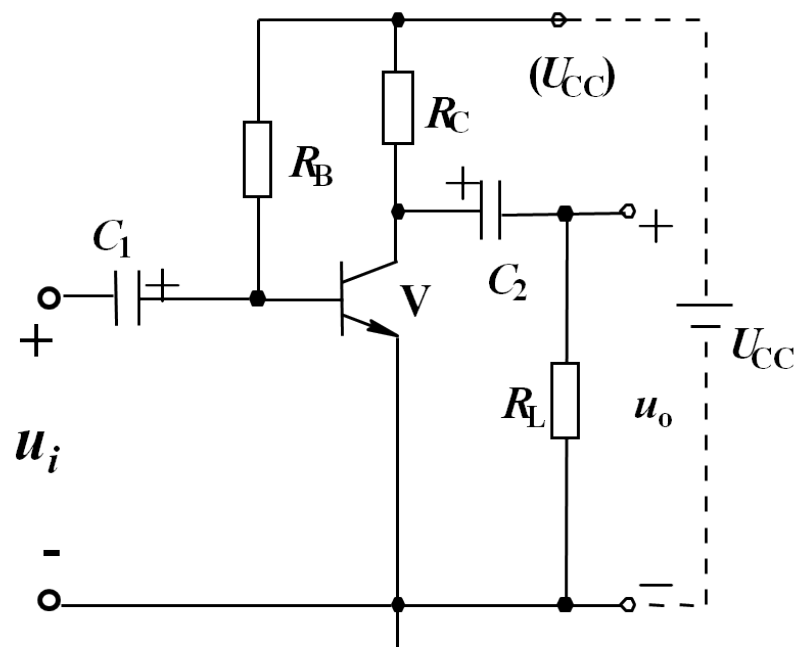


图2.3.5(a) 直流通路



画交流通路的原则：

1. 视电容 C 短路，电感 L 开路，
2. 无内阻的直流电源（如 U_{CC} ）视为短路

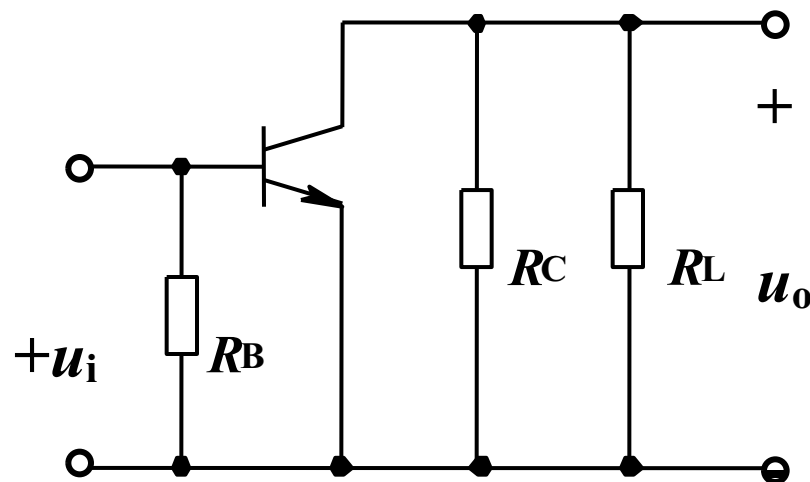
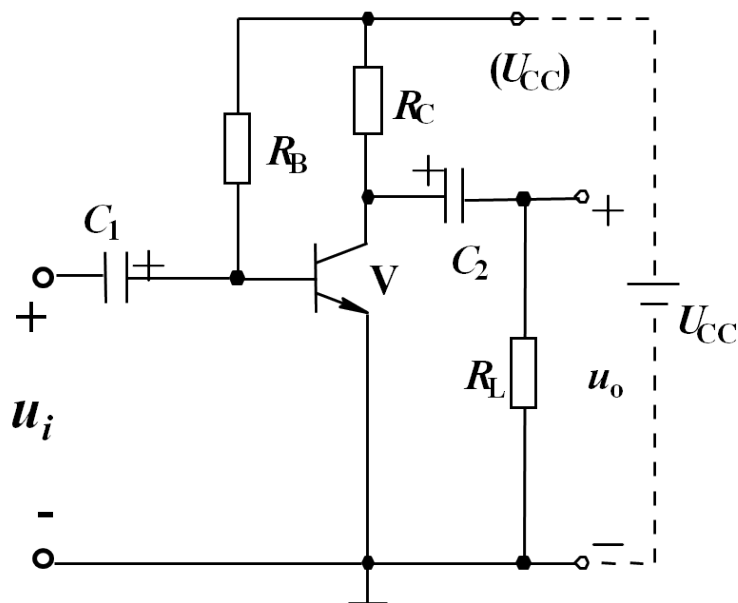
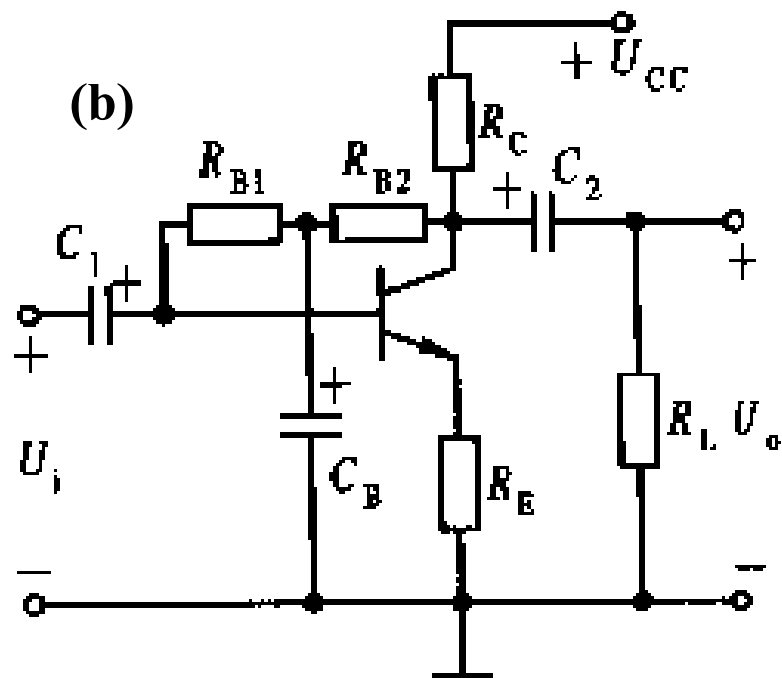
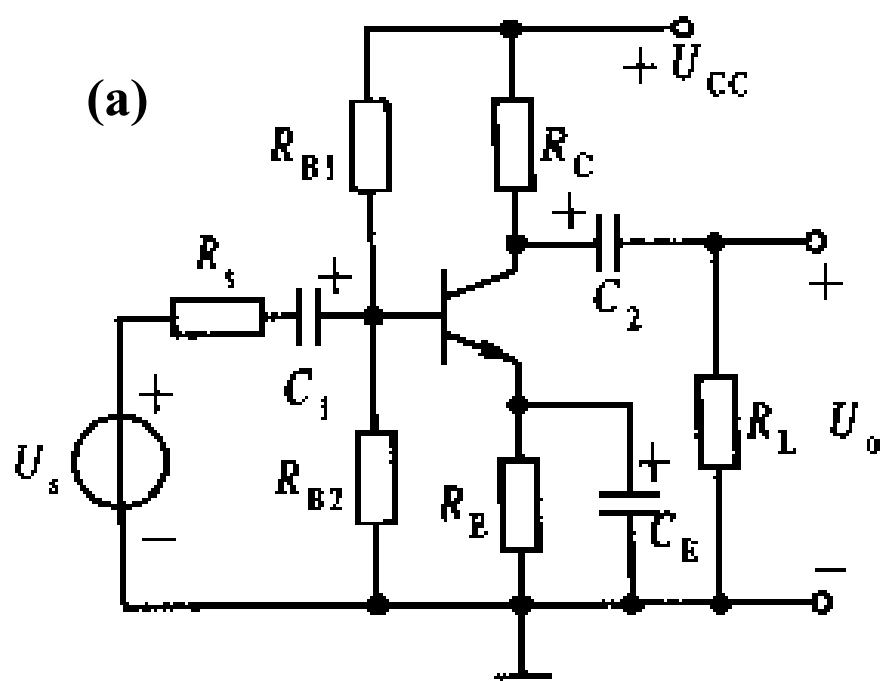


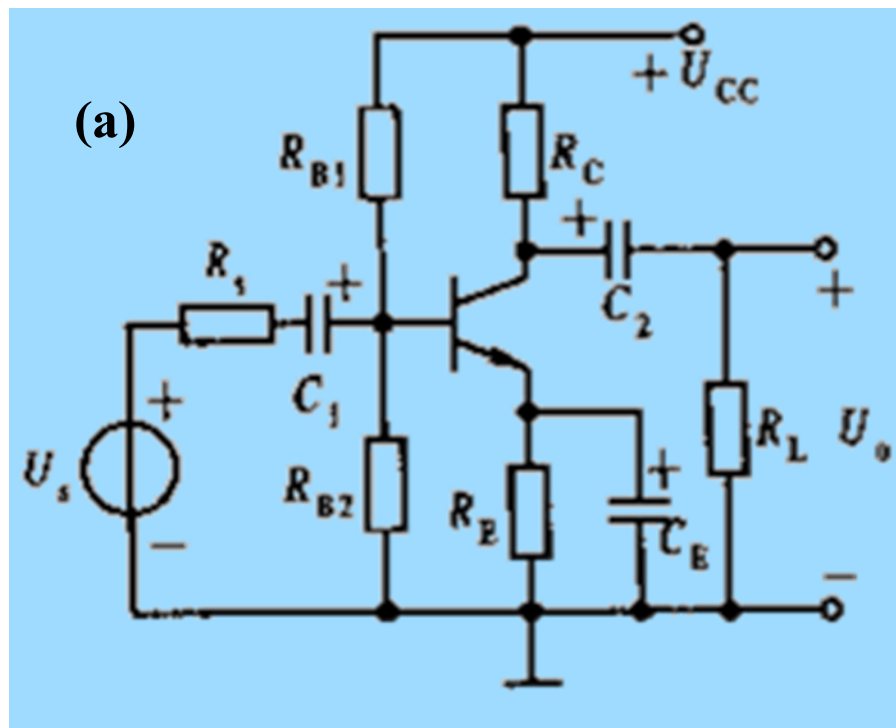
图2.3.4 阻容耦合共射放大电路

图2.3.5(b) 交流通路

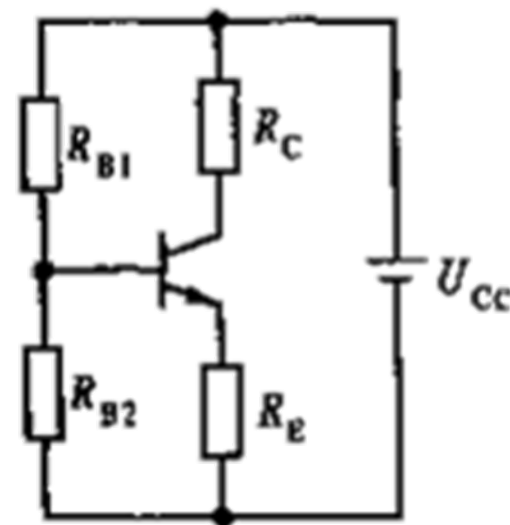
总结：在分析放大电路时，应遵循“**先静态，后动态**”的原则，求解静态工作点时应利用直流通路，求解动态参数时应利用交流通路，两种通路切不可混淆。

练习：请画出下面电路的直流通路和交流通路。

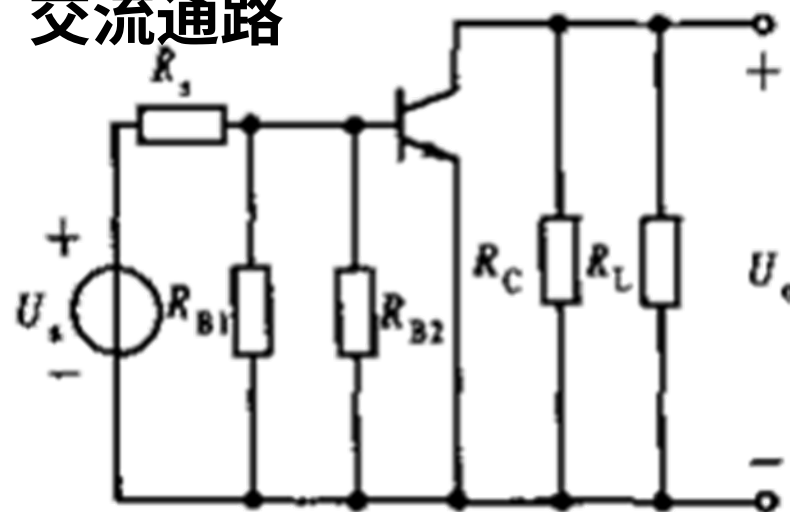


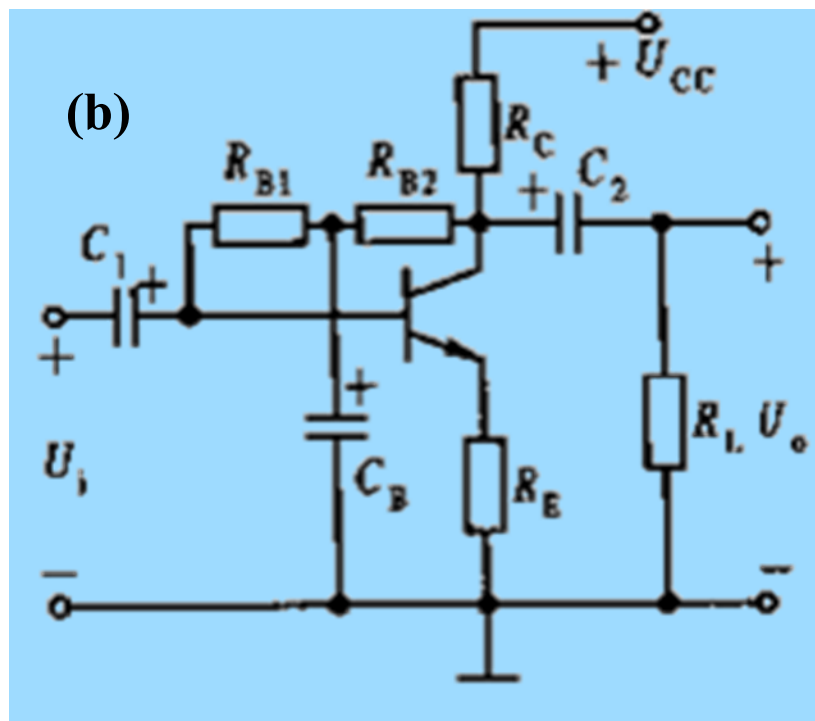


直流通路

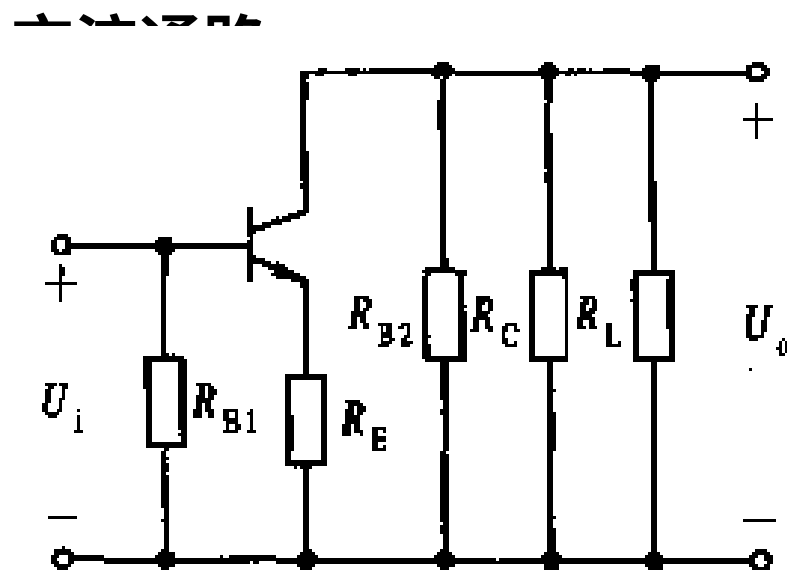
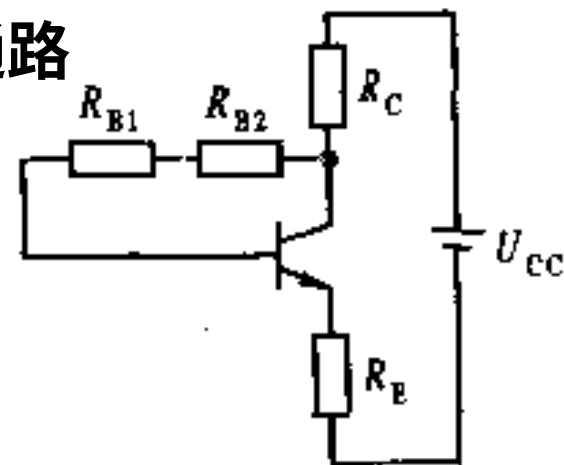


交流通路





直流通路



分析放大电路工作点的两种常用：

模型等效电路 (近似估算) 法：利用器件模型进行电路分析的方法。

特点：运算简便，结果误差小。 **(主要方法)**

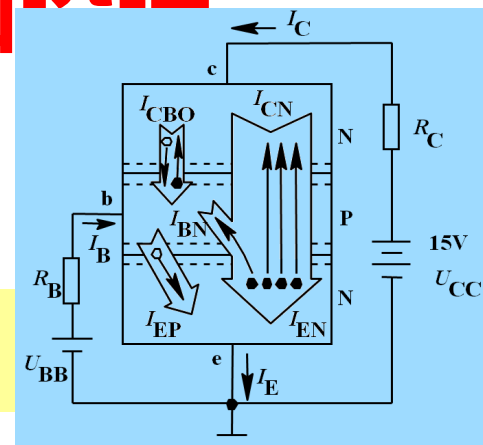
图解分析法：在晶体管特性曲线上通过作图确定工作点及其在信号作用下的相对变化量。

特点：形象、直观，对理解放大原理、波形关系及非线性失真有帮助，但对于小信号放大器，用图解法难以准确地进行定量分析。 **(辅助方法)**

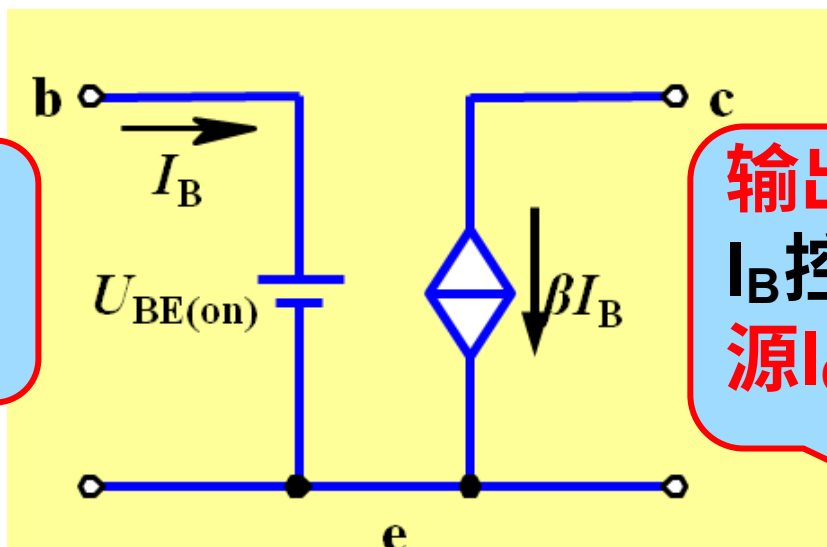
§3.4 放大电路的静态分析和设计

1. 直流模型及静态工作点的估算

晶体管在放大状态下的直流模型如下：

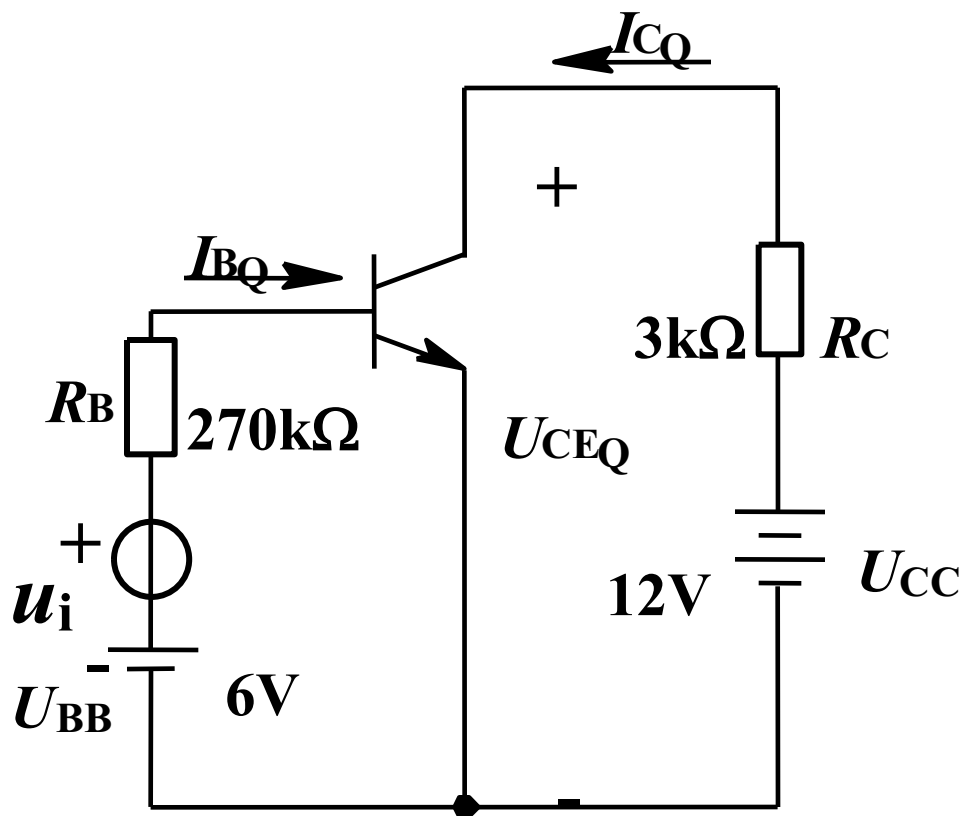


输入回路等效为恒压源

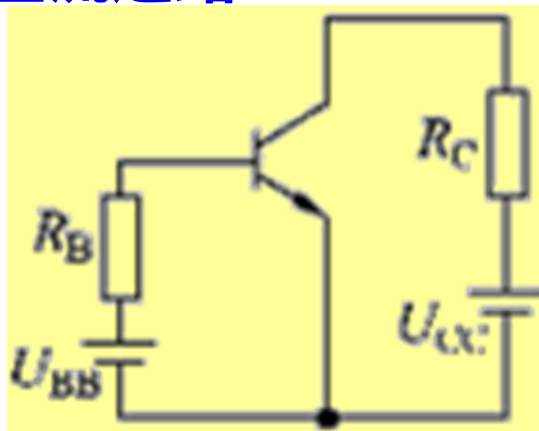


输出回路等效为受 I_B 控制的受控电流源 $I_C = \beta I_B$

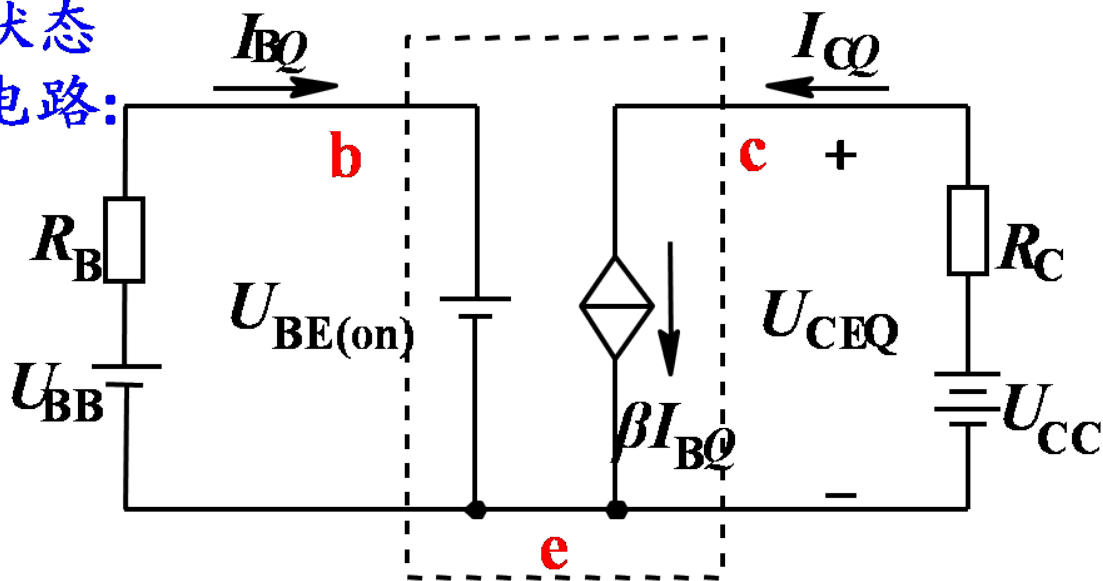
例1. **硅**晶体管电路如图所示。若已知晶体管工作在**放大状态**， $\beta=100$ ，试计算晶体管的 I_{BQ} ， I_{CQ} 和 U_{CEQ} 。



直流通路



放大状态
等效电路:



解：晶体管工作在放大状态，故可用直流模型代替晶体管，便得到如上图所示的直流等效电路。由图可知

$$U_{BB} = I_{BQ} R_B + U_{BE(on)}$$

故有
$$I_{BQ} = \frac{U_{BB} - U_{BE(on)}}{R_B} = \frac{6 - 0.7}{270} \approx 0.02 \text{ mA}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 100 \times 0.02 = 2 \text{ mA}$$

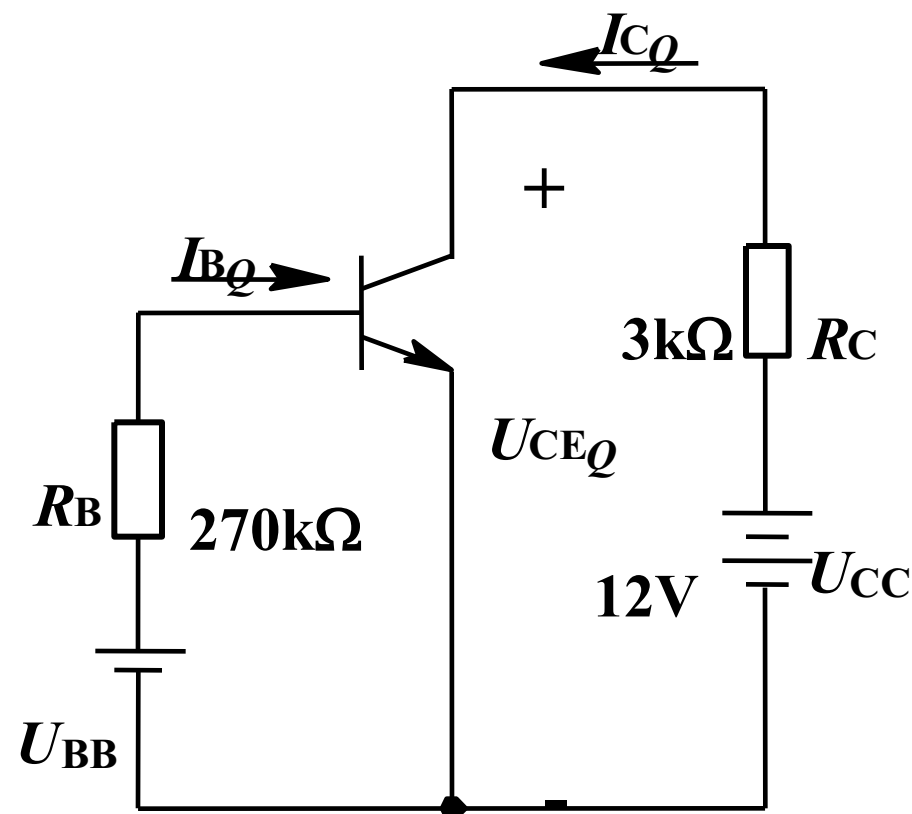
$$U_{CEQ} = U_{CC} - I_{CQ} R_C = 12 - 2 \times 3 = 6 \text{ V}$$

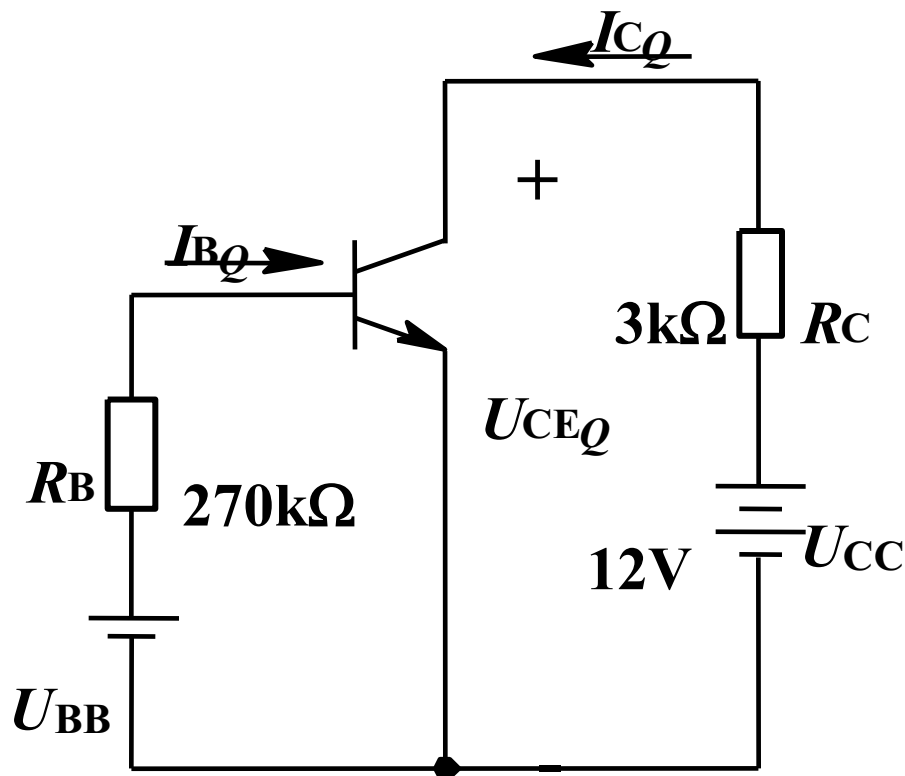
例2：若 U_{BB} 从0增加，说明晶体管的工作区间以及 I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 U_{CEQ} 的变化情况？

分析：

a. 当 U_{BB} 从0~0.7V之间时，两个结都反偏，管子进入截止区。 $I_{BQ}=I_{CQ}\approx 0$ ， $U_{CEQ}\approx U_{CC}$ 。

b. 当 U_{BB} 继续增大，发射结正偏，集电结反偏，管子进入放大区。随着 I_{BQ} 的增大， $I_{CQ}=\beta I_{BQ}$ 也增大。 $U_{CEQ}=U_{CC}-I_{CQ}\times R_C$ 不断下降。



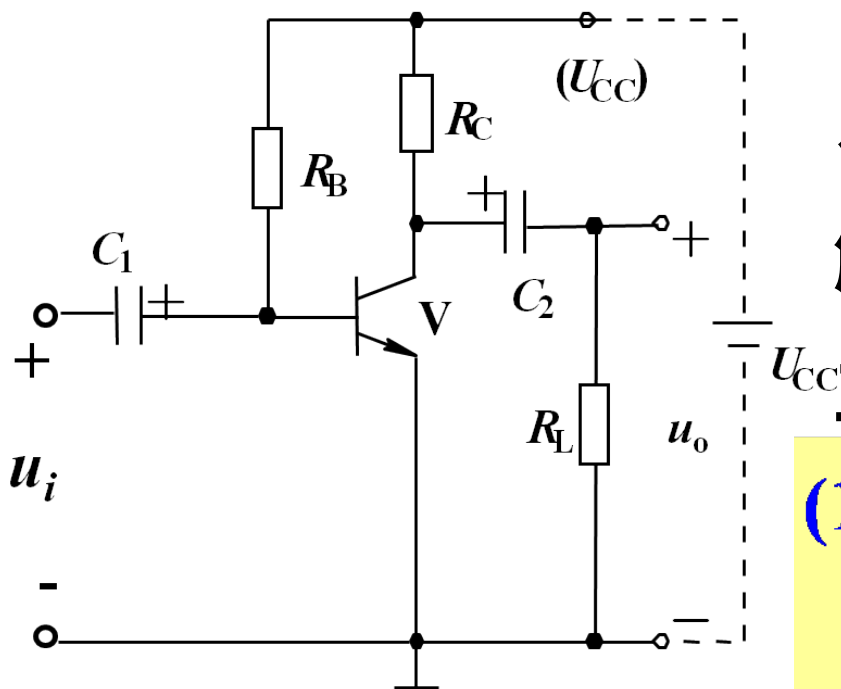


c. 当 U_{BB} 增大到 $U_{CEQ} < U_{BEQ}$ 时，集电结正偏，管子进入饱和区。此时， I_{BQ} 的增加，不能引起 I_{CQ} 的增加。

$$U_{CEQ} \approx U_{CE(sat)} \circ$$

2. 静态工作点的图解分析法

直流图解分析是在晶体管特性曲线上，用作图的方法确定出直流工作点，并求出 I_{BQ} 、 U_{BEQ} 和 I_{CQ} 、 U_{CEQ} 。



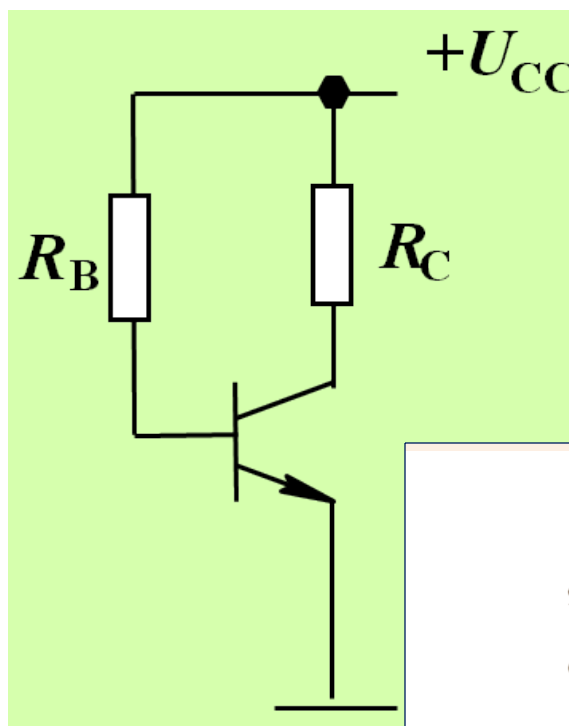
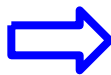
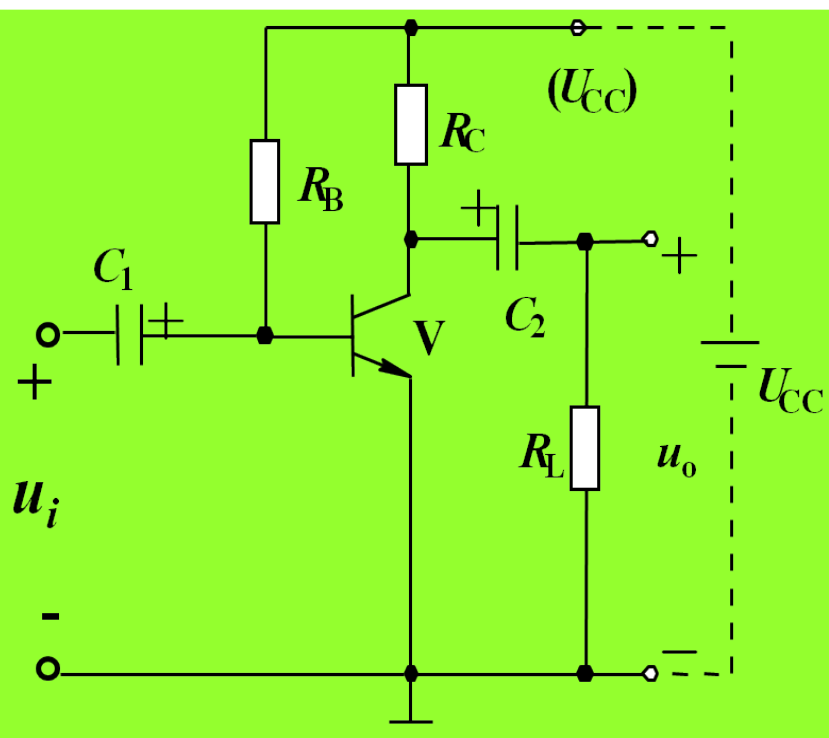
以左图为例，说明如何通过图解分析法确定放大电路的静态工作点。

- (1) 先确定输入回路参数 I_{BQ} 、 U_{BEQ}
(可用图解法或近似估算法)，
- (2) 再确定输出回路参数(图解法)

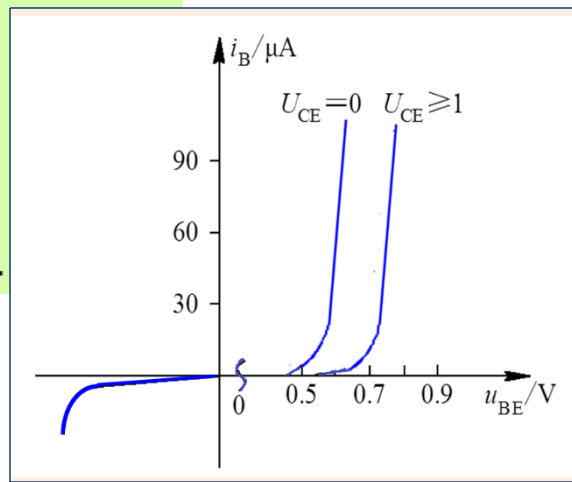
图2.3.4 阻容耦合共射放大

a. 利用图解法求输入回路的静态工作点 I_{BQ} , U_{BEQ} 的步骤:

1. 先画出电路的直流通路:



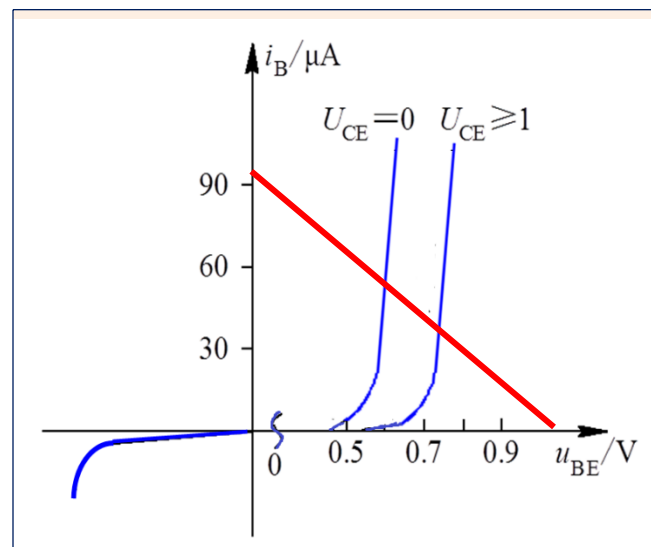
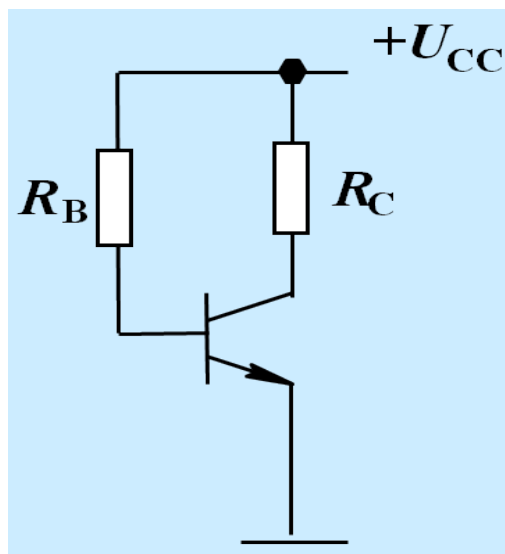
$I_B = f(U_{BE})$ (晶体管输入特性)



2. 由直流通路可知:对输入回路, I_B, U_{BE} 同时满足:

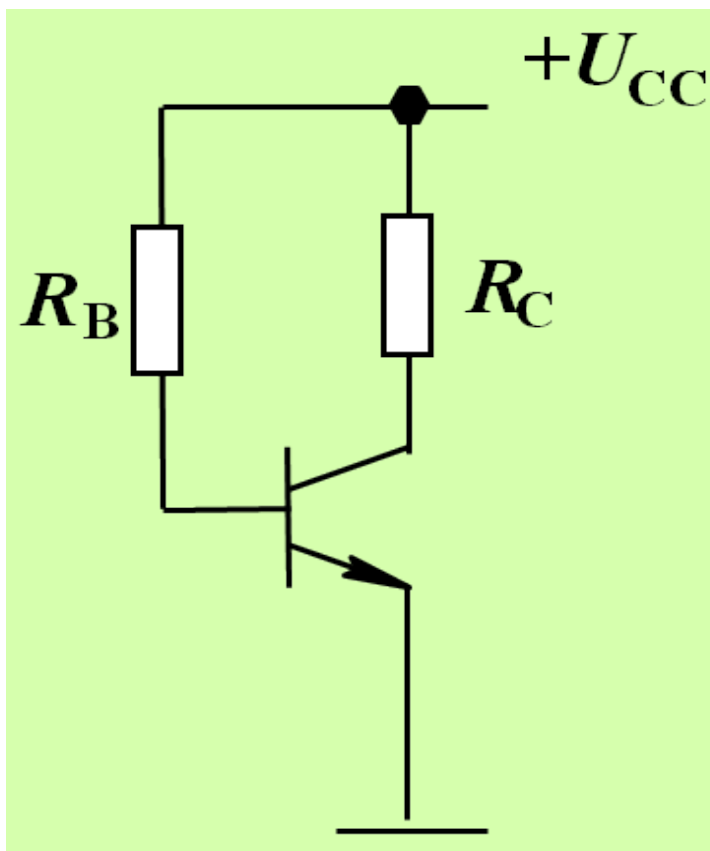
$$U_{BE} = U_{CC} - I_B R_B \quad (\text{输入回路的直流负载线})$$

$$I_B = f(U_{BE}) \quad (\text{晶体管输入特性})$$



由于, I_B 在较大范围内变化时, U_{BE} 基本上不变。因此, 实际中对输入回路工作点的确定, 多采用近似估算法。

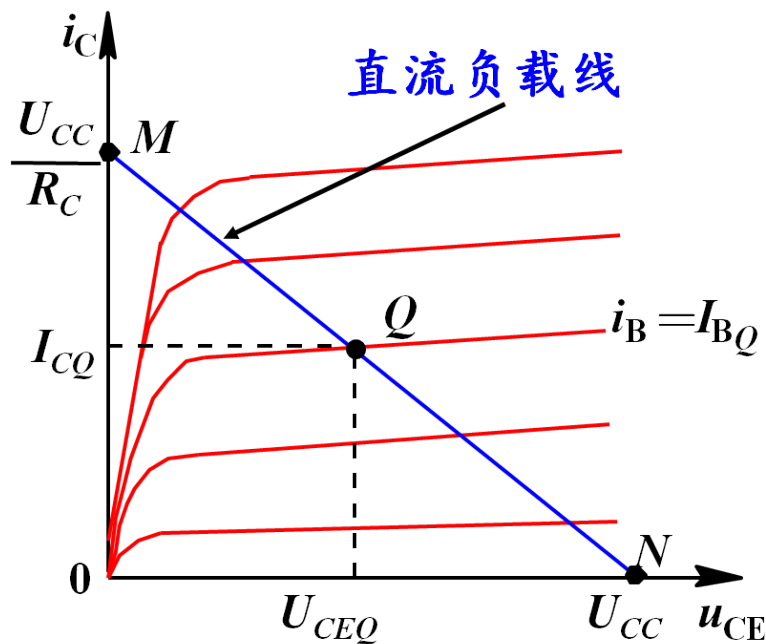
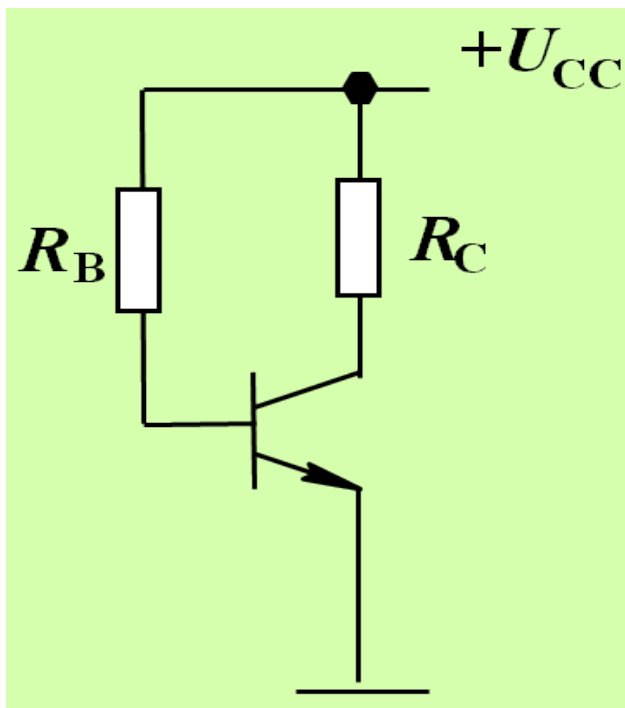
b. 利用近似估算法求输入回路的静态工作点 I_{BQ} , U_{BEQ} 的步骤:



$$U_{BB} = I_{BQ} R_B + U_{BE(on)}$$
$$I_{BQ} = \frac{U_{BB} - U_{BE(on)}}{R_B}$$

输出回路的静态工作点 I_{CQ} 、 U_{CEQ} 的图解分析:

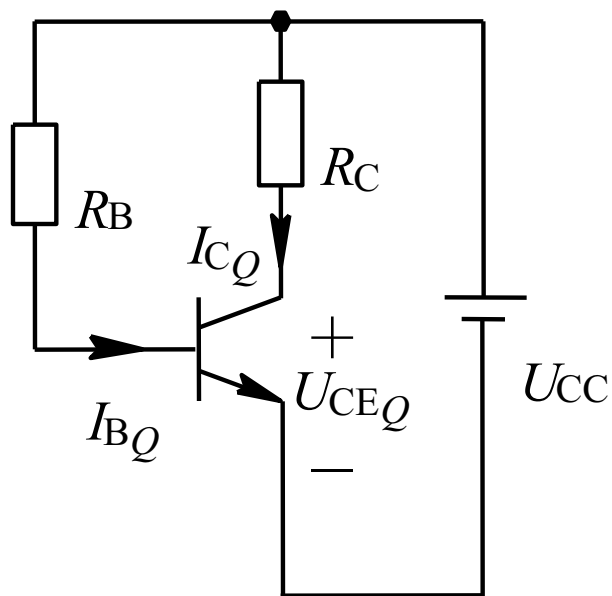
1. 写出晶体管的输出回路方程 $u_{CE} = U_{CC} - I_C R_C$
2. 在坐标中画出输出回路方程所确定的直线—**直流负载线**
3. 输出特性曲线与**直流负载线**的交点为静态工作点**Q**。



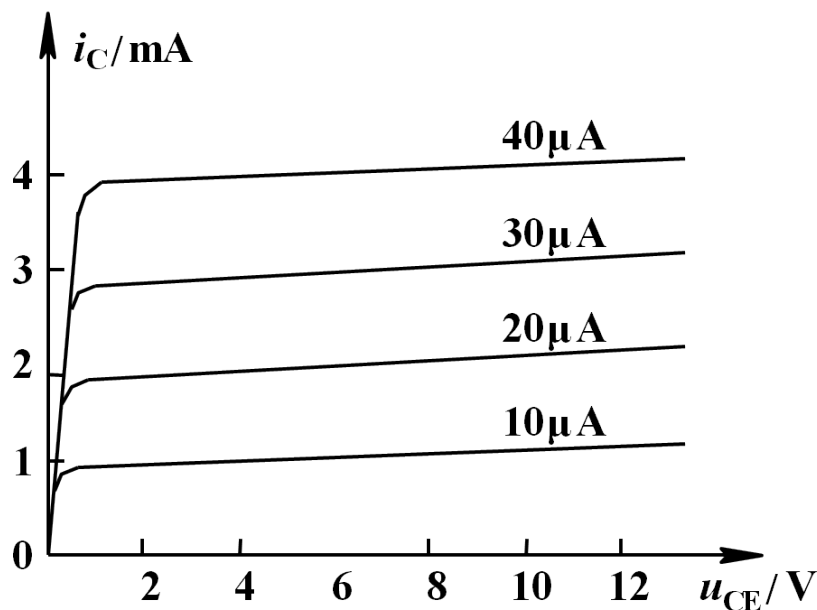
两个
特殊点

直流负载线与Q点

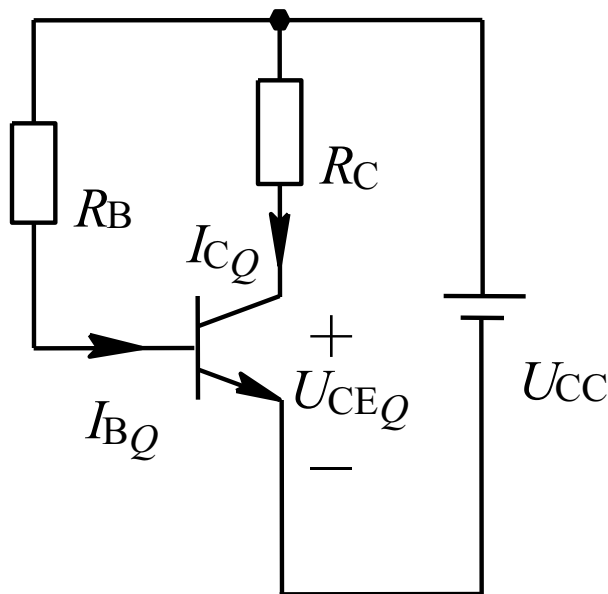
例. 在下图(a)的电路中, $R_B=560\text{k}\Omega$, $R_C=3\text{k}\Omega$, $U_{CC}=12\text{V}$, 晶体硅管的输出特性曲线如下图(b)所示, 试用图解法确定直流工作点。



(a) 直流通路



(b) 晶体管的输出特性曲线



解: (1) 取 $U_{BE(on)}=0.7V$, 由估算法可得:

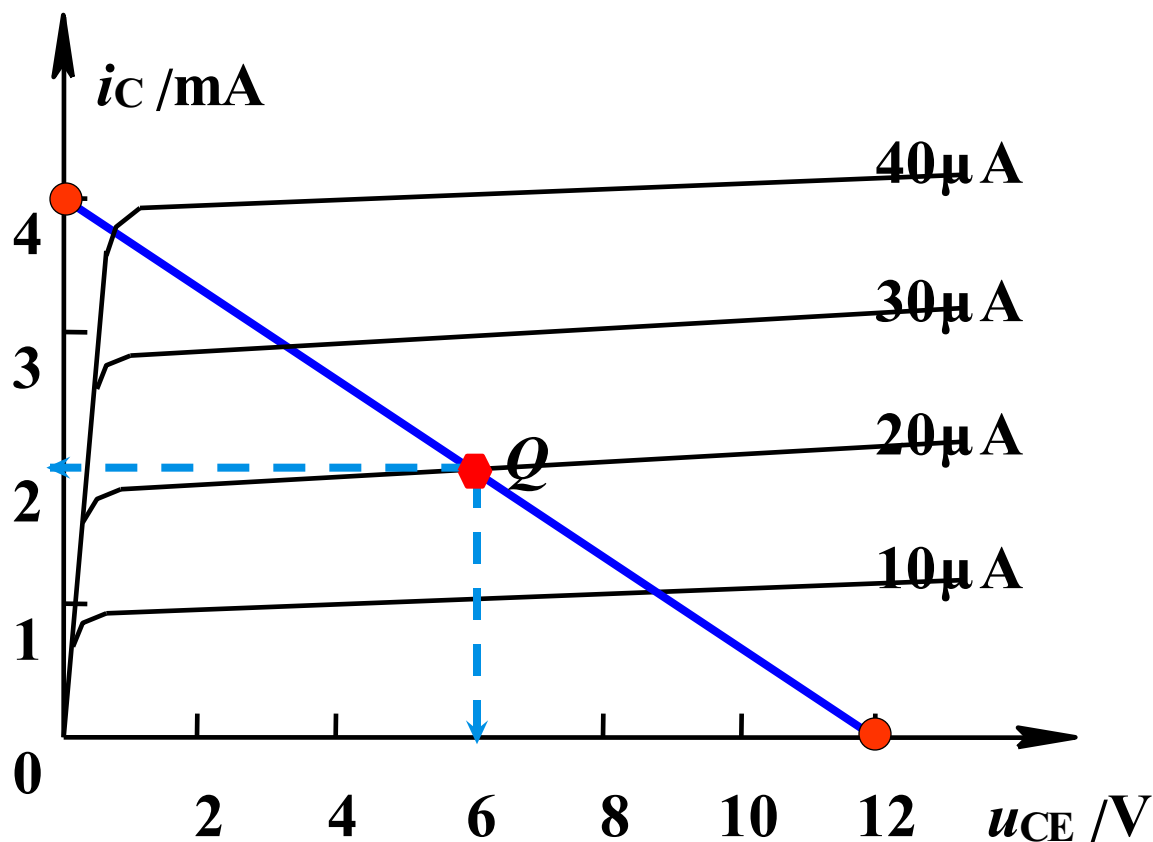
$$I_{BQ} = \frac{U_{CC} - U_{BE(on)}}{R_B} = \frac{12 - 0.7}{560} = 0.02mA = 20\mu A$$

(2) 输出回路满足 (直流负载线):

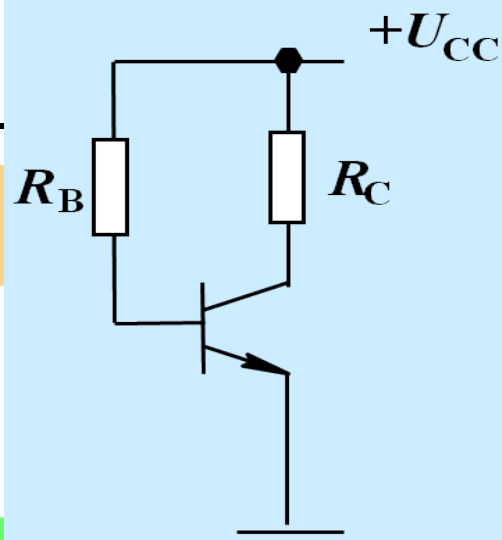
$$u_{CE} = U_{CC} - i_C R_C \quad \text{即: } u_{CE} = 12 - 3i_C$$

$i_C = 0$ 时, $u_{CE} = 12V$
 $u_{CE} = 0$ 时, $i_C = 4mA$

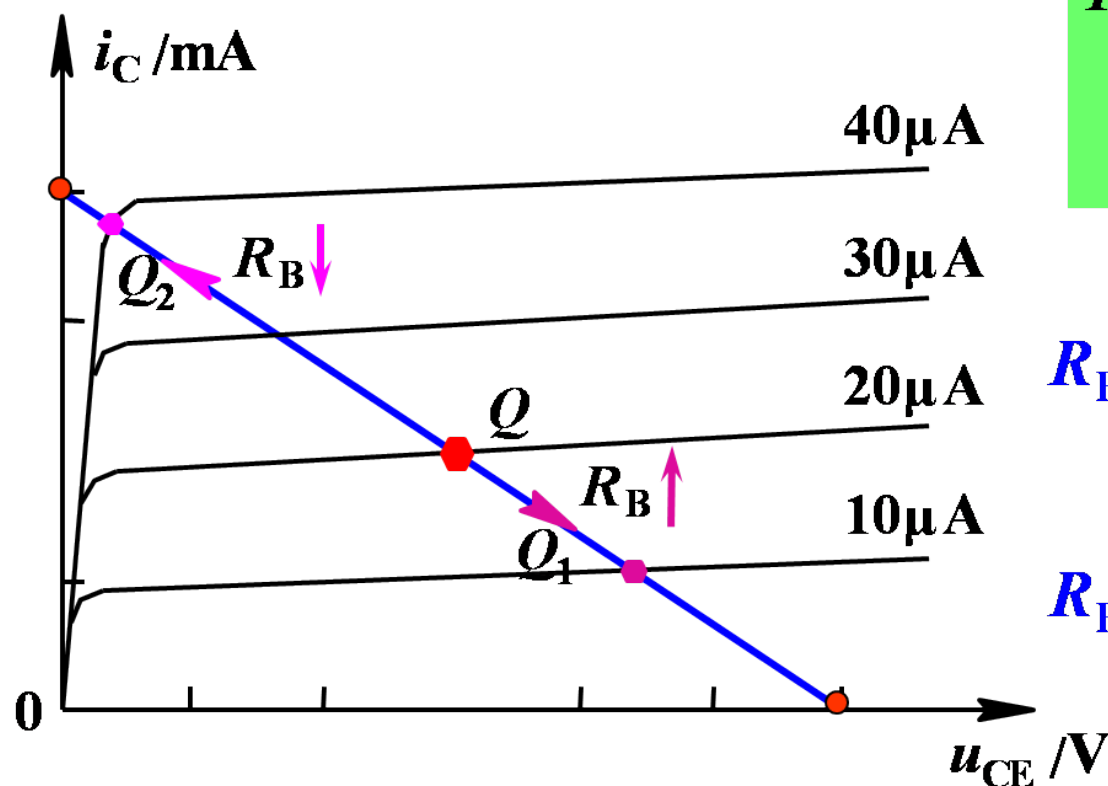
(3) $I_{BQ}=20\mu\text{A}$ 的输出特性曲线与此直流负载线的交点Q就是静态工作点，由图中Q点的坐标可得，
 $I_{CQ}=2\text{mA}$, $u_{CEQ}=6\text{V}$ 。



用图解法分析电路参数对静态工作点的影响



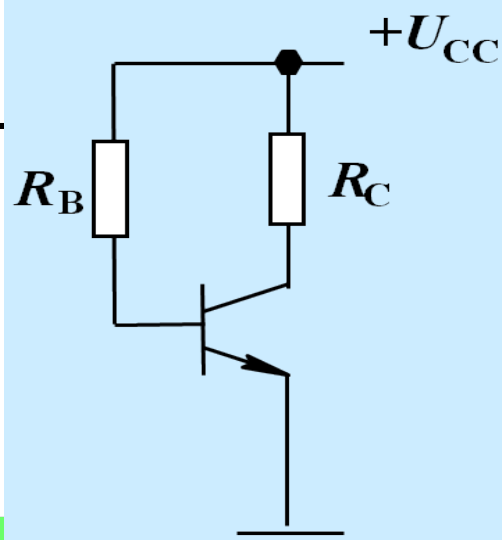
1. 改变 R_B , 保持 U_{CC} , R_C , β 不变:



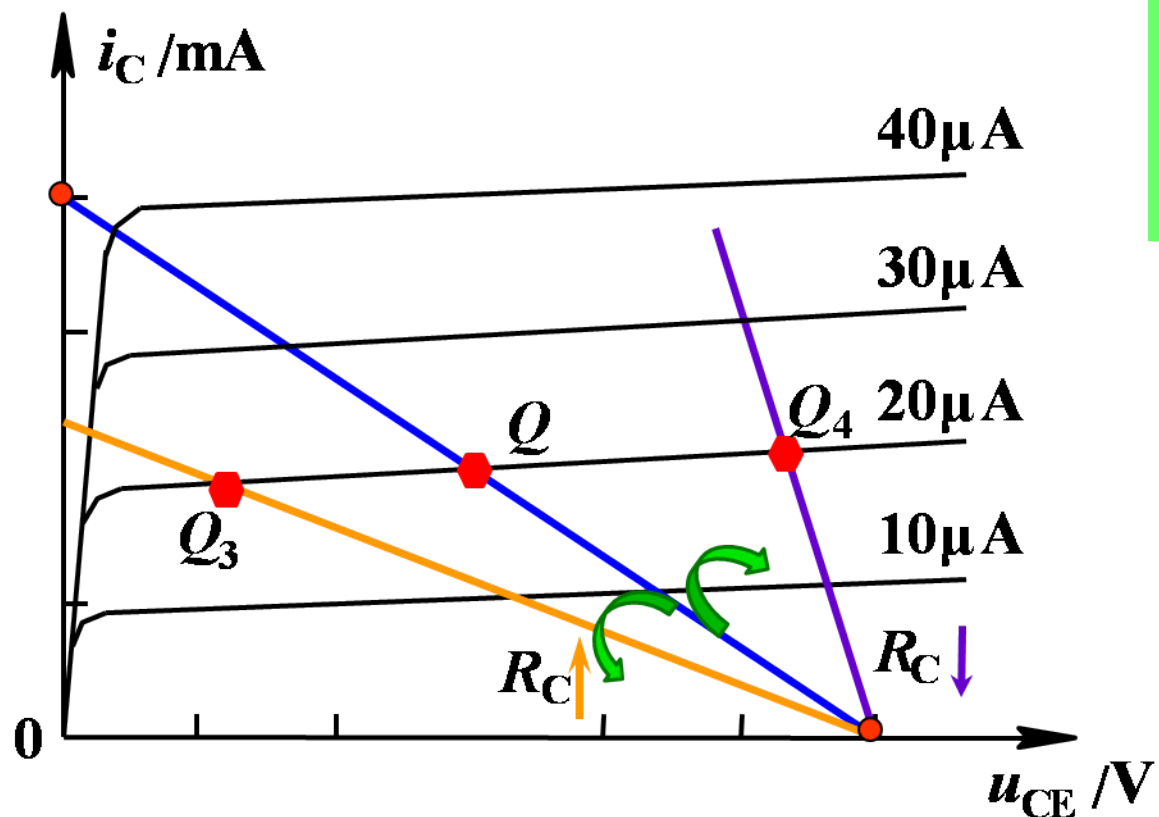
$$I_{BQ} = \frac{U_{CC} - U_{BE(on)}}{R_B}$$
$$u_{CE} = U_{CC} - i_C R_C$$

R_B 增大, Q 点沿着直流负载线下移

R_B 减小, Q 点沿着直流负载线上移

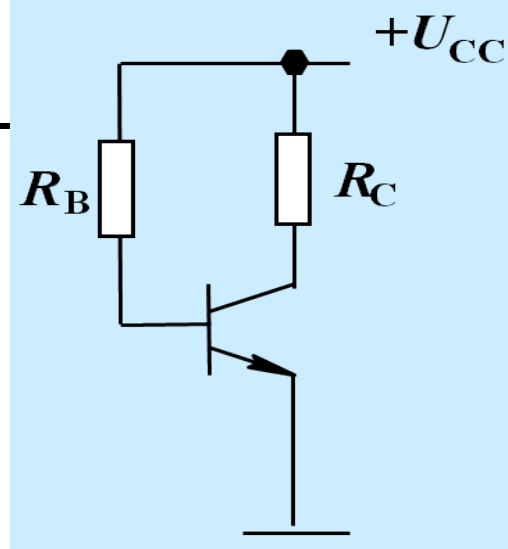


2. 改变 R_C , 保持 R_B , U_{CC} , β 不变:

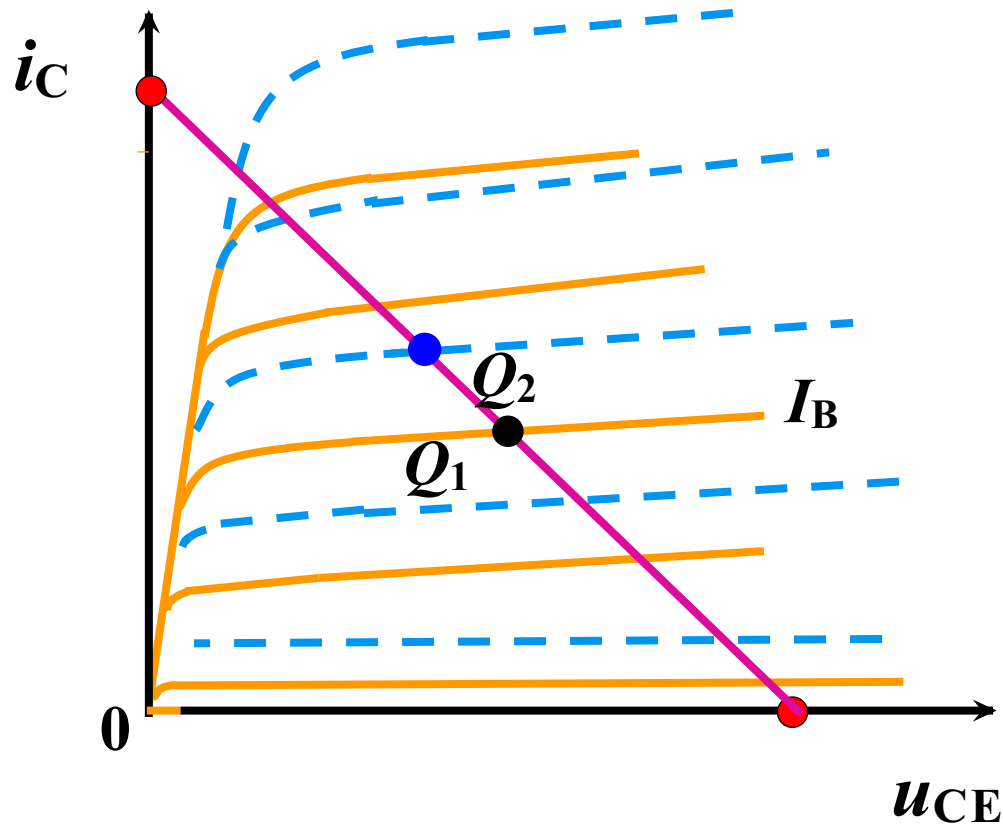


$$I_{BQ} = \frac{U_{CC} - U_{BE(on)}}{R_B}$$
$$u_{CE} = U_{CC} - i_C R_C$$

增大 R_C , 直流负载线斜率改变, 则 Q 点向饱和区移近。



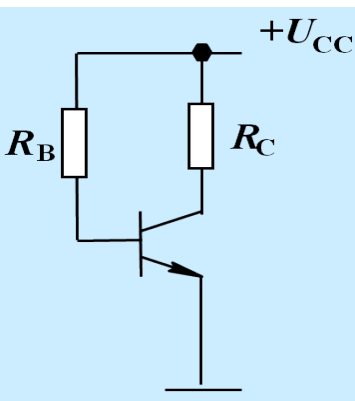
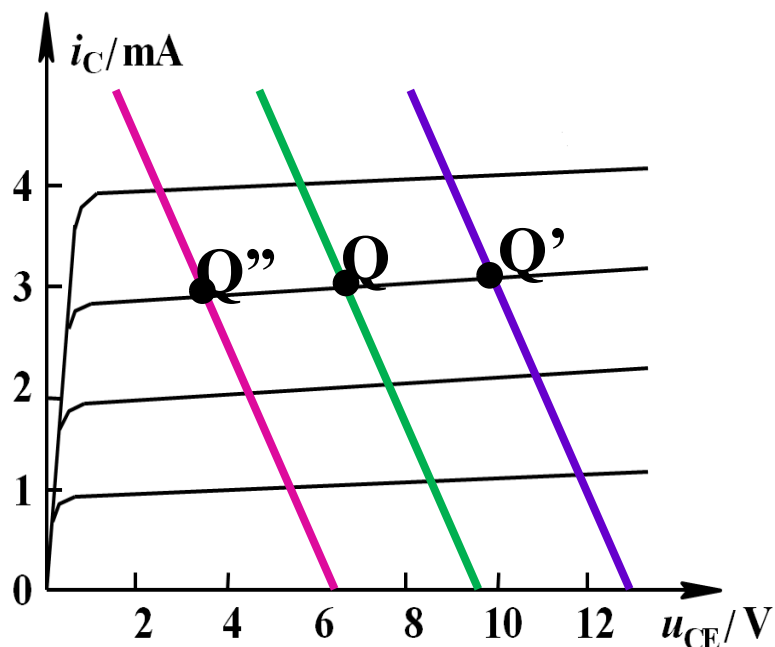
3. 改变 β , 保持 R_B , R_C , U_{CC} 不变:



$$I_{BQ} = \frac{U_{CC} - U_{BE(on)}}{R_B}$$
$$u_{CE} = U_{CC} - i_C R_C$$

增大 β , I_{CQ} 增大, 输出特性曲线上移, U_{CEQ} 减小, 故 Q 点移近饱和区

如果工作点Q变为图中的Q'和Q'', 试问是电路中什么元件参数改变而引起的?



$$I_{BQ} = \frac{U_{CC} - U_{BE(on)}}{R_B}$$

$$u_{CE} = U_{CC} - i_C R_C$$

分析:

- ∴ 直流负载线的斜率 $(-1/R_C)$ 不变,
- ∴ R_C 不变;
- ∴ 直流负载线的横轴截距 U_{CC} 变化,
- 但工作点只是沿着特性曲线移动,
- ∴ U_{CC} 和 R_B 同时变化。若 U_{CC} 与 R_B 同时增加, 工作点可移至 Q', 反

图解法求解静态工作点总结：★

1. 先利用近似估算法求出输入回路的静态工作点 I_{BQ} , U_{BEQ}
2. 输出回路静态工作点 I_{CQ} 、 U_{CEQ} 为下面两条曲线的交点

$$\left\{ \begin{array}{l} i_c = f(u_{CE}) \Big|_{i_B = I_{BQ}} \\ u_{CE} = U_{CC} - i_C R_C \end{array} \right.$$

——输出特性曲线方程，由晶体管的特性决定

——直流负载线方程，由电路特性决定

无作业