

一、基本共射放大电路的工作原理

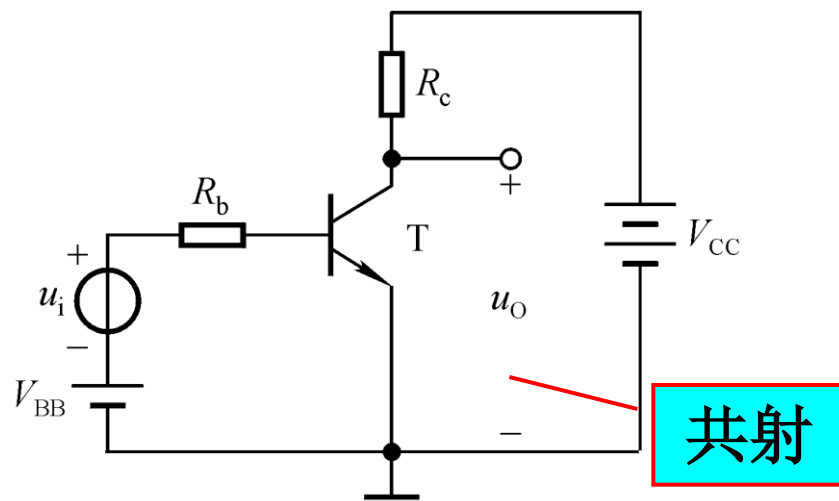
- 1、电路的组成及各元件的作用
- 2、设置静态工作点的必要性
- 3、波形分析
- 4、放大电路的组成原则

1、电路的组成及各元件的作用

V_{BB} 、 R_b ：使 $U_{BE} > U_{on}$ ，且有合适的 I_B 。

V_{CC} ：使 $U_{CE} \geq U_{BE}$ ，同时作为负载的能源。

R_c ：将 Δi_C 转换成 $\Delta u_{CE}(u_o)$ 。

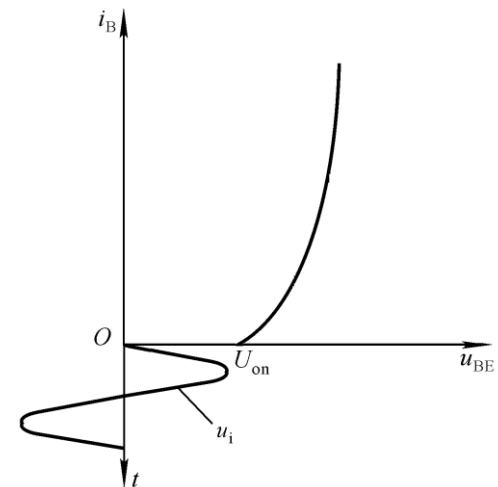
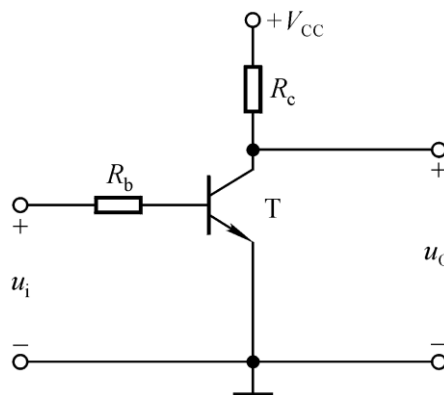
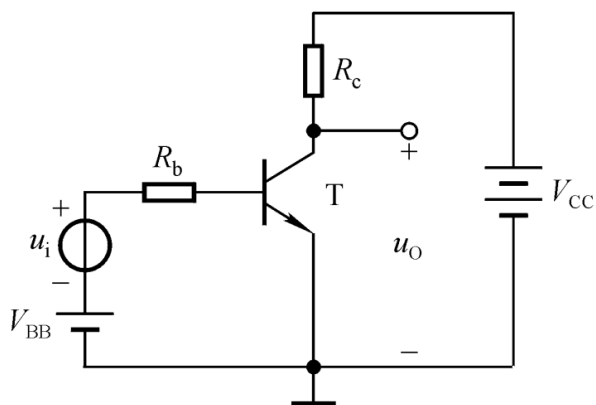


动态信号作用时： $\Delta u_I (u_i) \rightarrow i_b \rightarrow i_c \rightarrow \Delta u_{R_c} \rightarrow \Delta u_{CE} (u_o)$

输入电压 u_i 为零时，晶体管各极的电流、b-e间的电压、管压降称为**静态工作点Q**，记作 I_{BQ} 、 I_{CQ} (I_{EQ})、 U_{BEQ} 、 U_{CEQ} 。

2、设置静态工作点的必要性

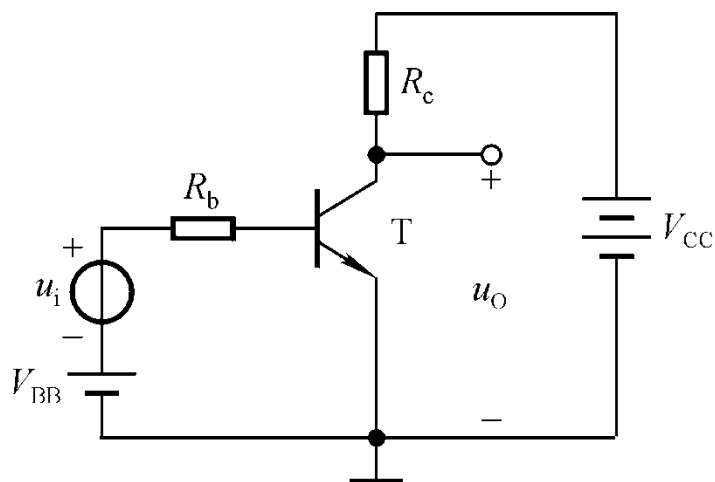
为什么放大的对象是动态信号，却要晶体管在信号为零时有合适的直流电流和极间电压？



输出电压必然失真！

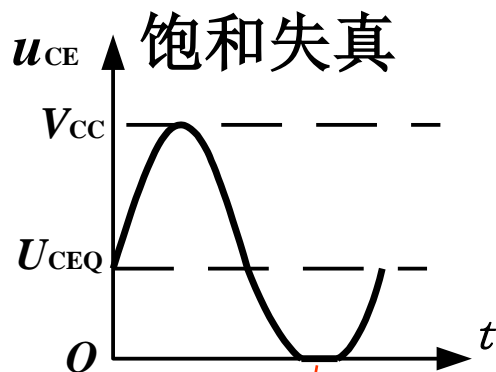
设置合适的静态工作点，首先要解决失真问题，但 Q 点几乎影响着所有的动态参数！

3、基本共射放大电路的波形分析



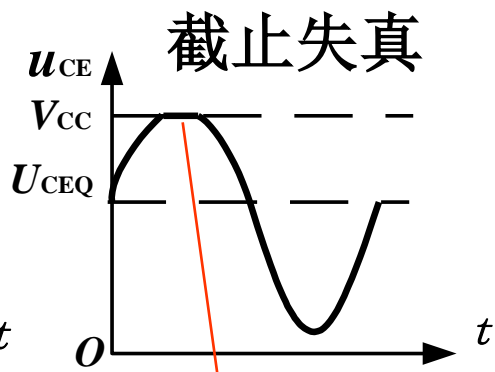
动态信号
驮载在静
态之上

与 i_c 变化
方向相反



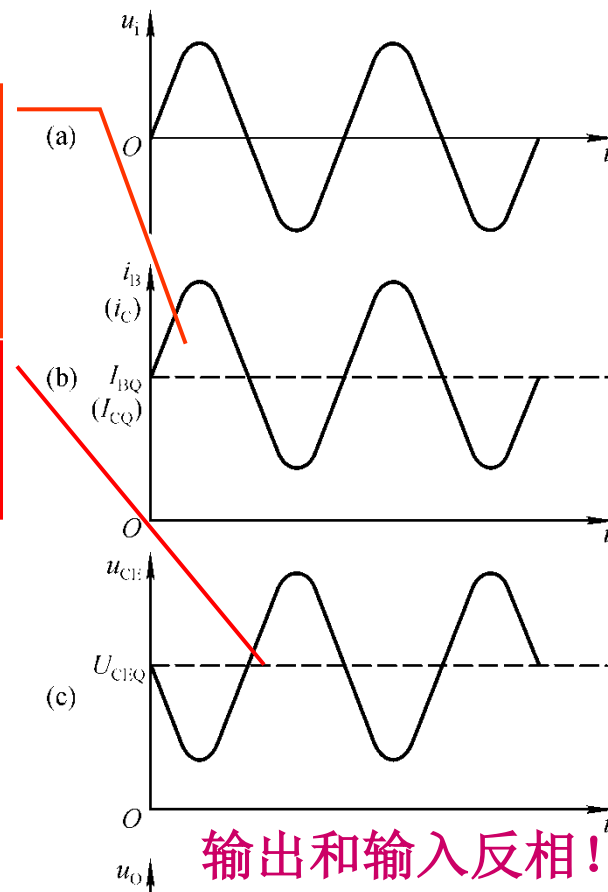
饱和失真

底部失真



截止失真

顶部失真

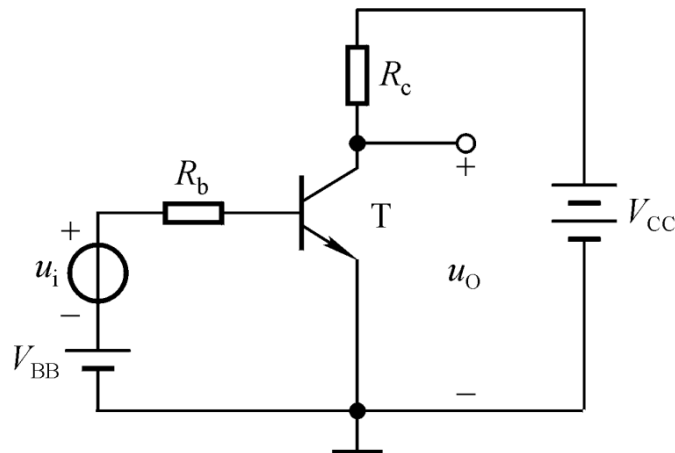


输出和输入反相!

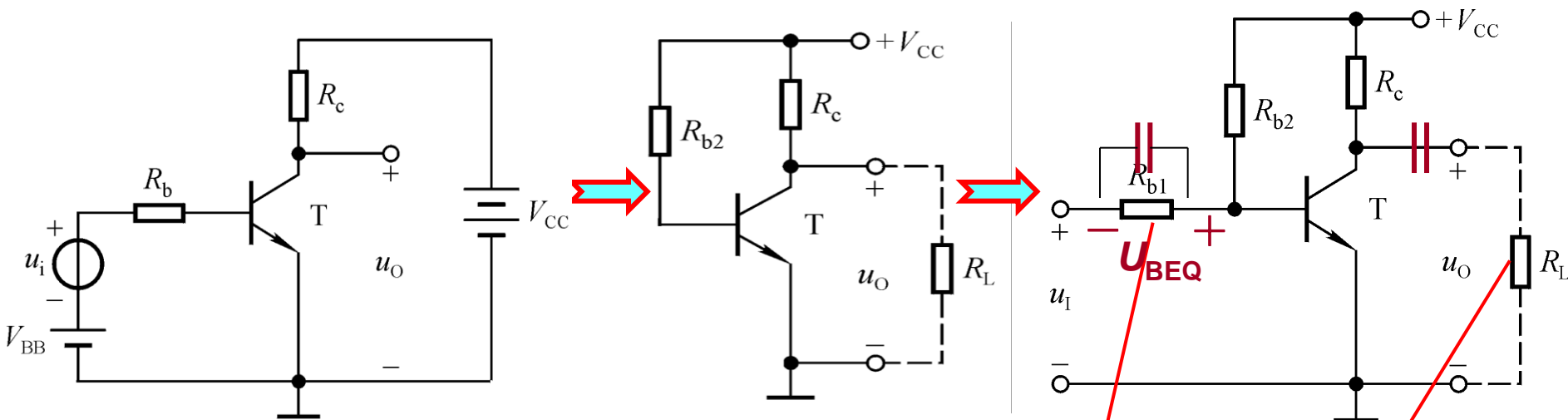
要想不失真，就要
在信号的整个周期内
保证晶体管始终工作
在放大区!

4、放大电路的组成原则

- **静态工作点合适**：合适的直流电源、合适的电路参数。
- **信号顺利输入输出**：动态信号能够作用于晶体管的输入回路，在负载上能够获得放大的动态信号。
- **对实用放大电路的要求**：共地、直流电源种类尽可能少、负载上无直流分量。



两种实用放大电路：（1）直接耦合放大电路



问题：

1. 两种电源
2. 信号源与放大电路不“共地”

将两个直流电源合二为一

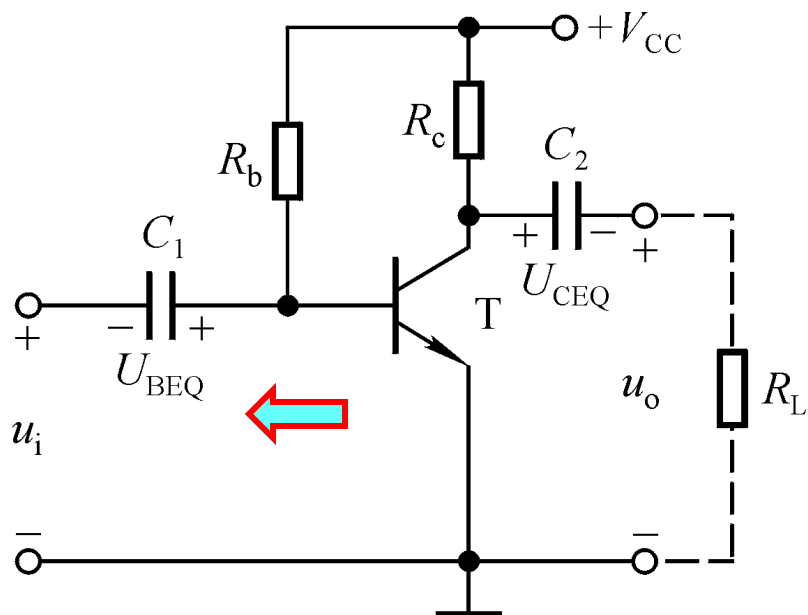
有交流损失

有直流分量

共地，且要使信号驮载在静态之上

静态时， $U_{BEQ} = U_{R_{b1}}$
动态时， V_{CC} 和 u_I 同时作用于晶体管的输入回路。

两种实用放大电路：（2）阻容耦合放大电路



C_1 、 C_2 为耦合电容！

耦合电容的容量应足够大，即对于交流信号近似为短路。其作用是“隔离直流、通过交流”。

静态时， C_1 、 C_2 上电压？

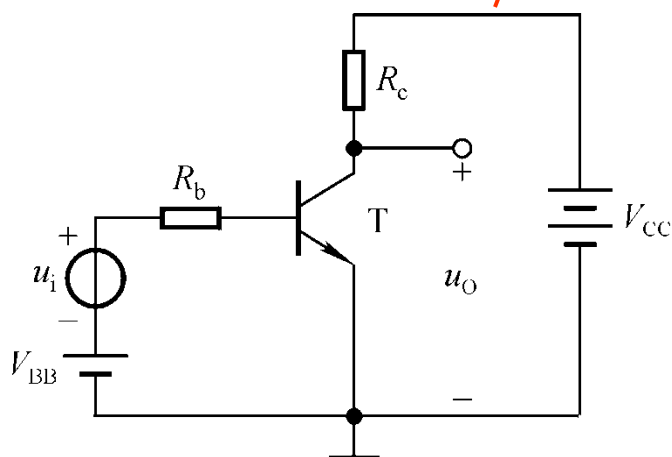
$$U_{C1} = U_{BEQ}, \quad U_{C2} = U_{CEQ}$$

动态时， $u_{BE} = u_i + U_{BEQ}$ ，信号驮载在静态之上。
负载上只有交流信号。

二、基本放大电路的分析方法

- 1、列写方程法
- 2、图解法
- 3、等效电路法

直接耦合共射电路



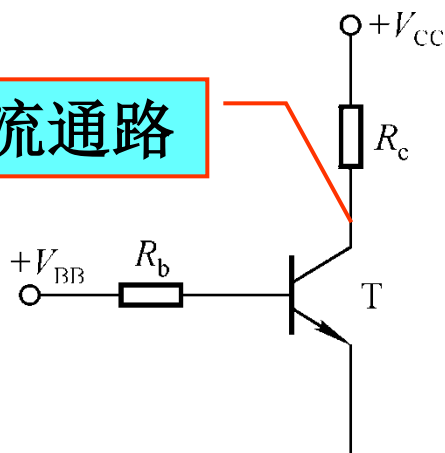
$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_b}$$

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

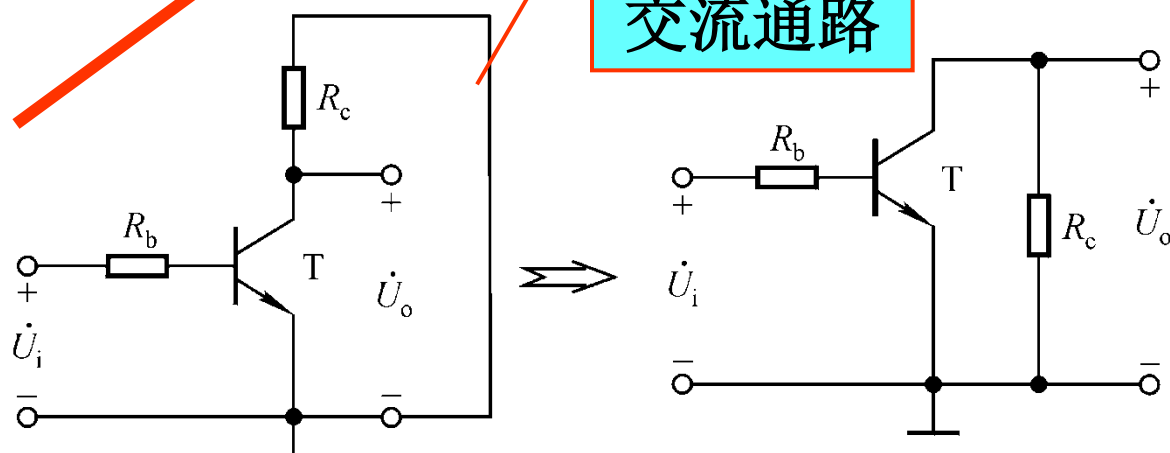
$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_c$$

V_{BB} 越大,
 U_{BEQ} 取不同的
值所引起的 I_{BQ}
的误差越小。

直流通路



交流通路

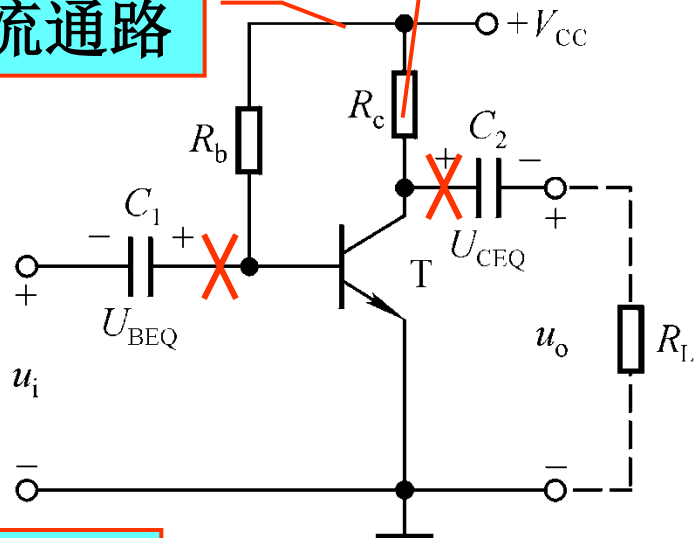


列晶体管输入、输出回路方程，将 U_{BEQ} 作为已知条件，令 $I_{CQ} = \beta I_{BQ}$ ，可估算出静态工作点。

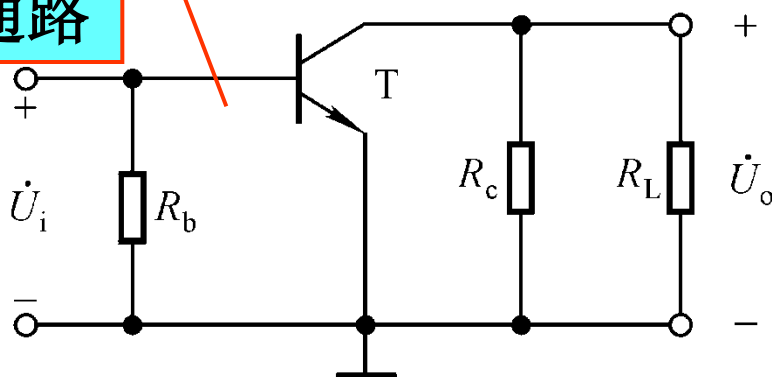
1、列写方程法

阻容耦合共射放大电路

直流通路



交流通路



$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b}$$

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

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_c$$

当 $V_{CC} \gg U_{BEQ}$ 时, $I_{BQ} \approx \frac{V_{CC}}{R_b}$

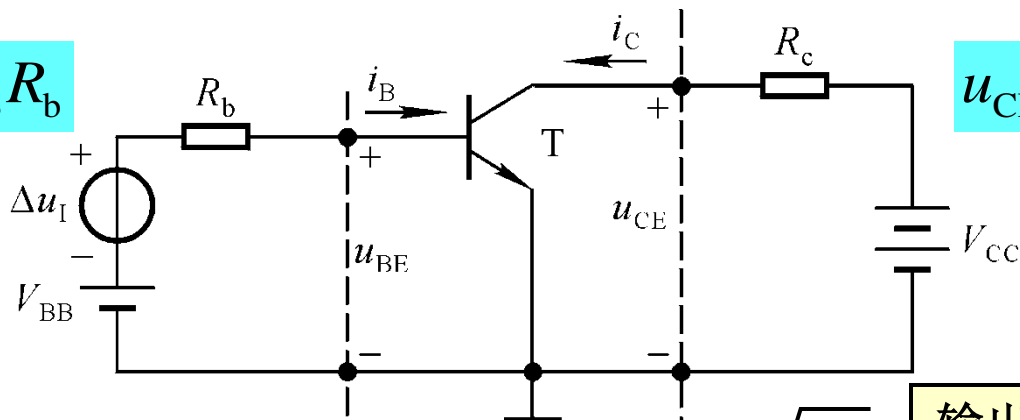
已知: $V_{CC} = 12V$,
 $R_b = 600k\Omega$,
 $R_c = 3k\Omega$,
 $\beta = 100$ 。

$$I_{BQ} = 20\mu A, I_{CQ} = 2mA, U_{CEQ} = 12 - 3 \times 2 = 6V$$

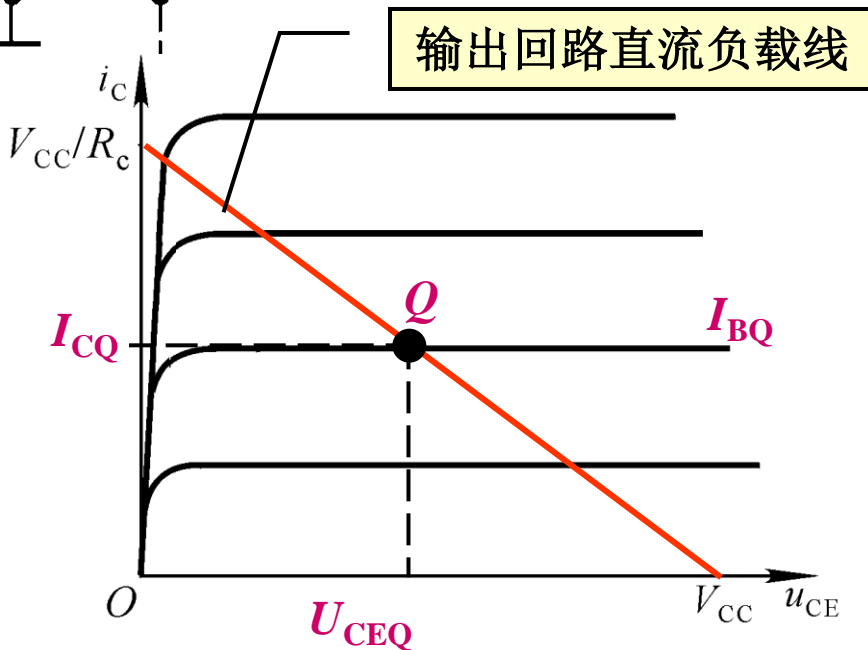
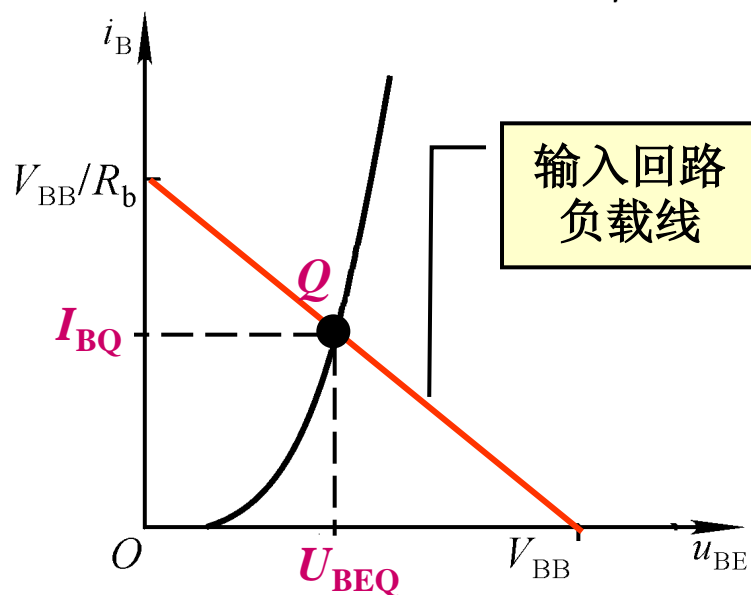
2、图解法 应实测特性曲线

1. 静态分析：图解二元方程

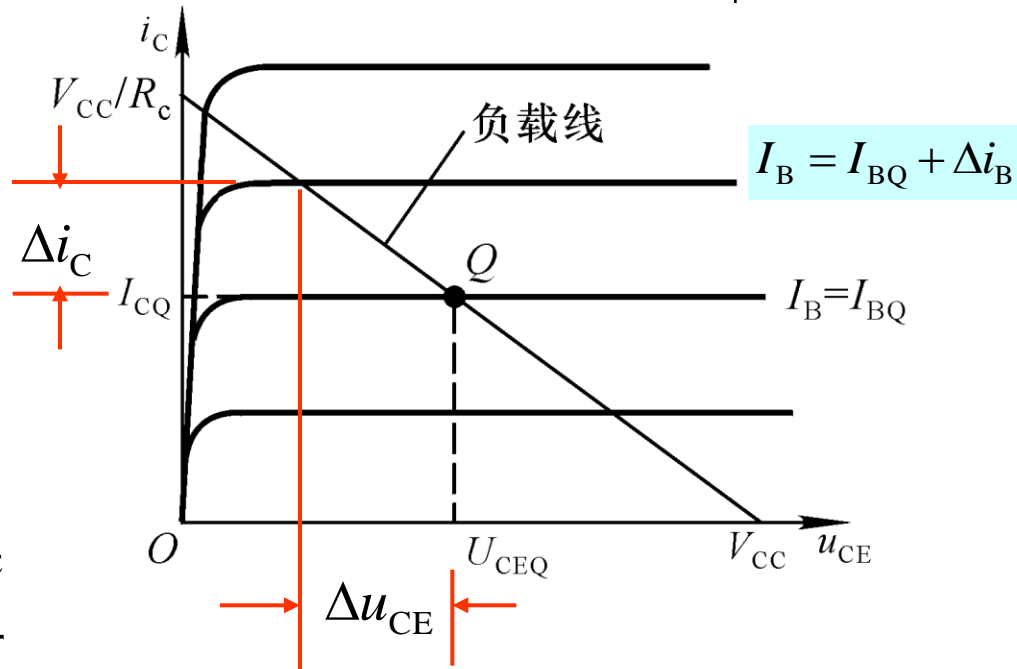
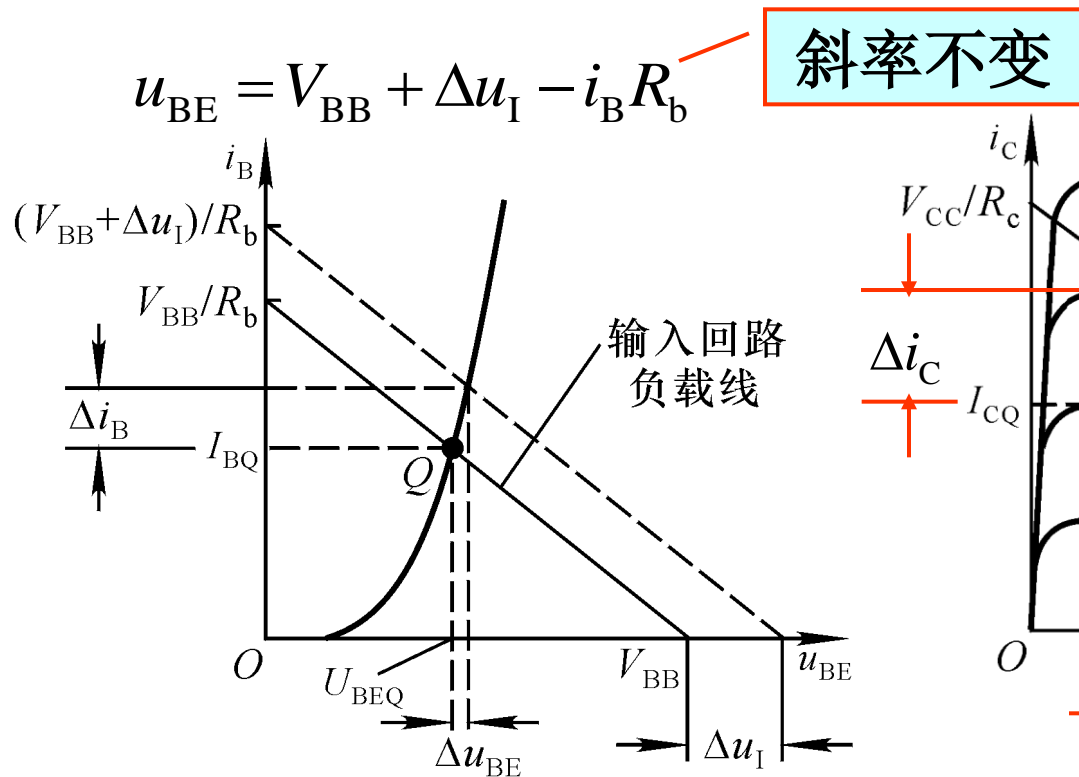
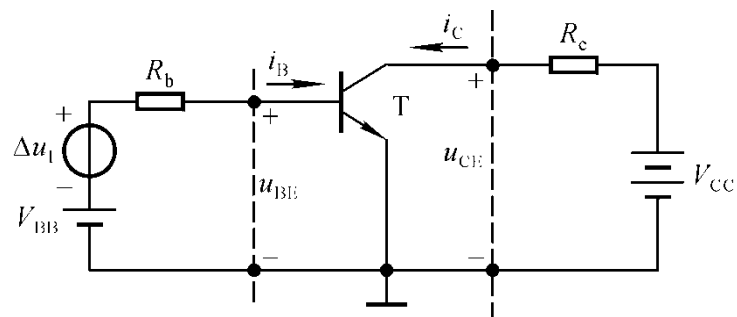
$$u_{BE} = V_{BB} - i_B R_b$$



$$u_{CE} = V_{CC} - i_C R_c$$



2. 电压放大倍数的分析

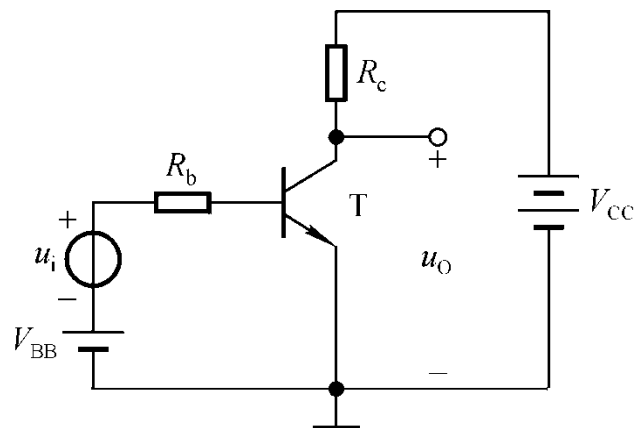
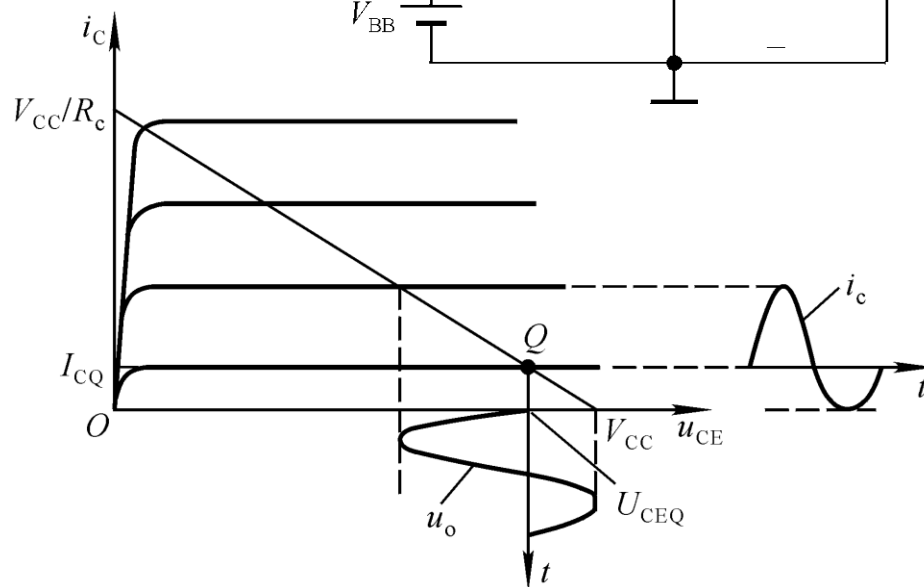
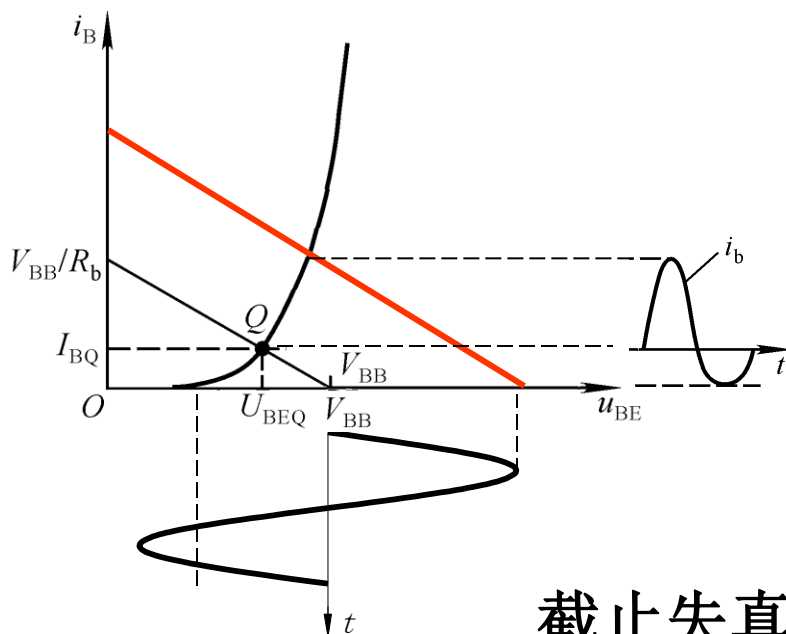


给定 $\Delta u_I \rightarrow \Delta i_B \rightarrow \Delta i_C \rightarrow \Delta u_{CE} (\Delta u_O) \rightarrow A_u = \frac{\Delta u_O}{\Delta u_I}$

Δu_O 与 Δu_I 反相, A_u 符号为 “-”。

3. 失真分析

- 截止失真

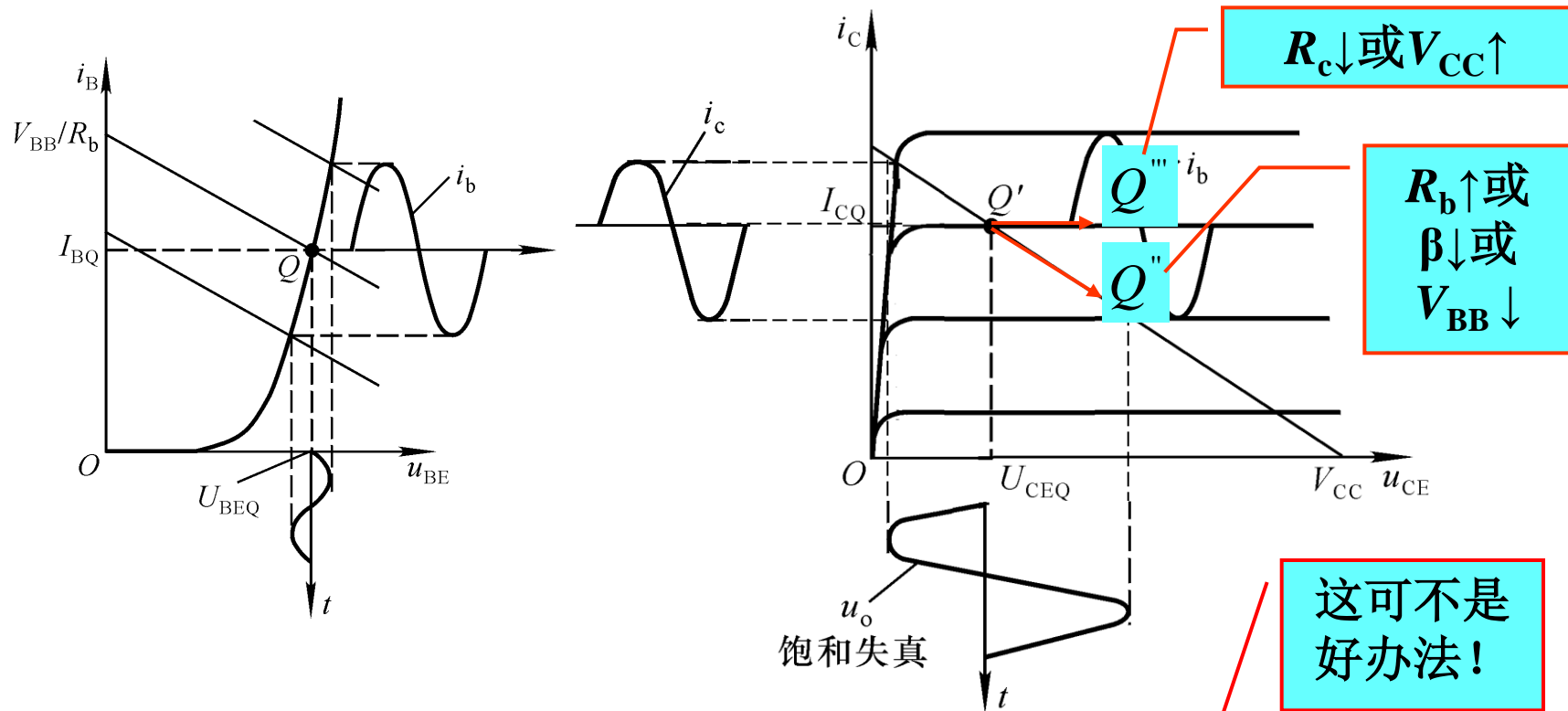


截止失真是在输入回路首先产生失真！

消除方法：增大 V_{BB} ，即向上平移输入回路负载线。

减小 R_b 能消除截止失真吗？

- 饱和失真：饱和失真是输出回路产生失真。



- 消除方法：增大 R_b ，减小 R_c ，减小 β ，减小 V_{BB} ，增大 V_{CC} 。
- 最大不失真输出电压 U_{om} ：比较 U_{CEQ} 与 $(V_{CC} - U_{CEQ})$ ，取其小者，除以 $\sqrt{2}$ 。

3. 等效电路法

输入回路等效为
恒压源

- 半导体器件的非线性特性使放大电路的分化。利用线性元件建立模型，来描述非线的特性。

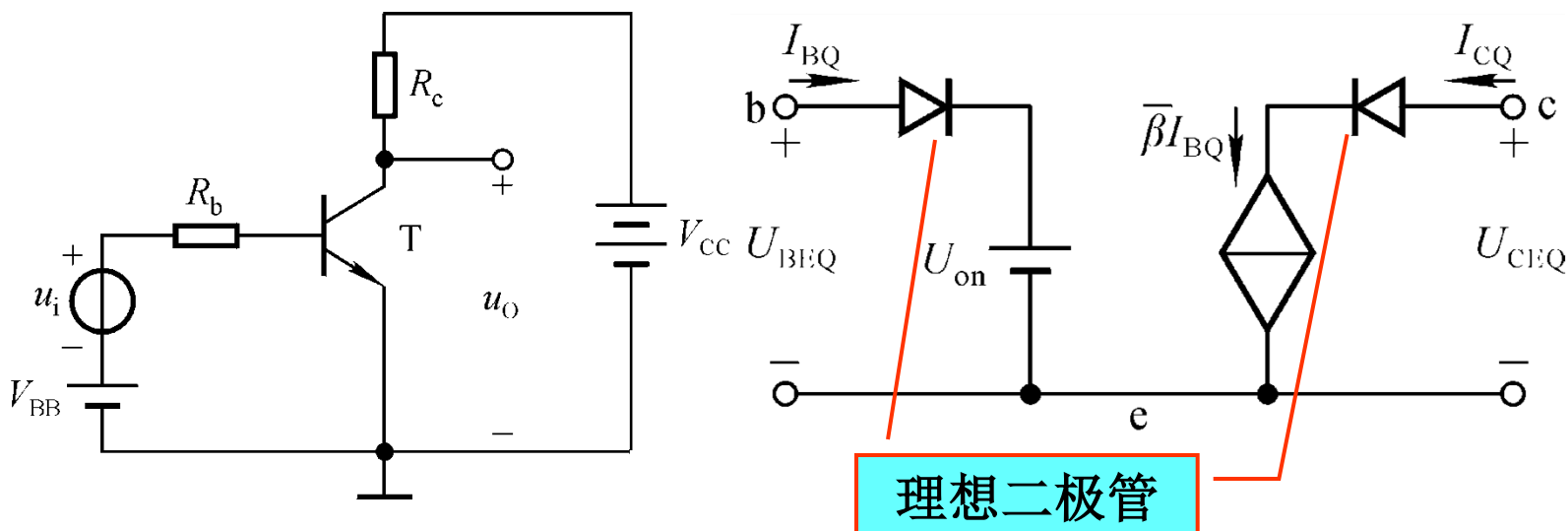
1. 直流模型：适于Q点的分析

输出回路等效为电流控制的电流源

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_b}$$

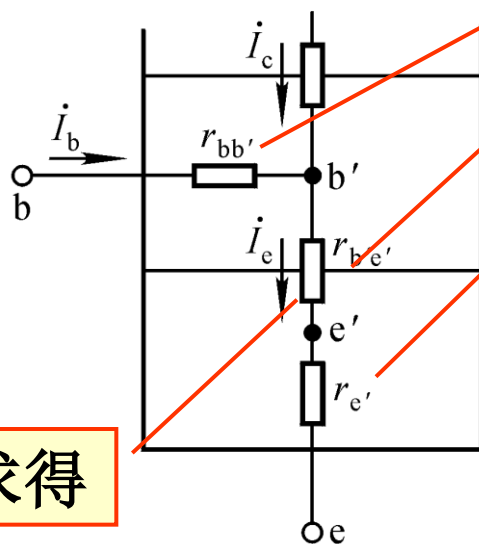
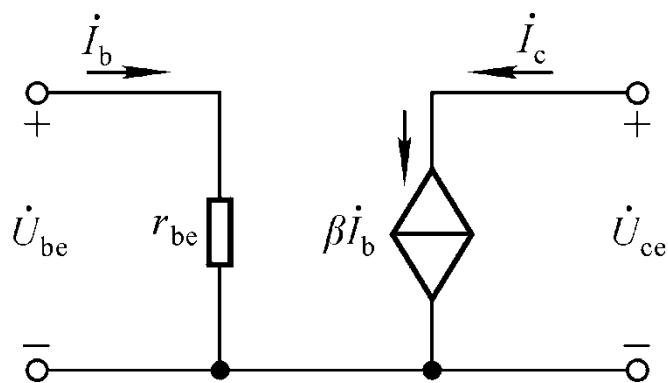
$$I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_c$$



利用估算法求解静态工作点，实质上利用了直流模型。

简化的 h 参数等效电路—交流等效模型



基区体电阻

发射结电阻

发射区体电阻
数值小可忽略

利用PN结的电流方程可求得

$$r_{be} = \frac{U_{be}}{I_b} = r_{bb'} + r_{b'e} \approx r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{U_T}{I_{EQ}}$$

$$g_{be} \approx \frac{I_{BQ}}{V_T}$$

查阅手册

由 I_{EQ} 算出

在输入特性曲线上， Q 点越高， r_{be} 越小！

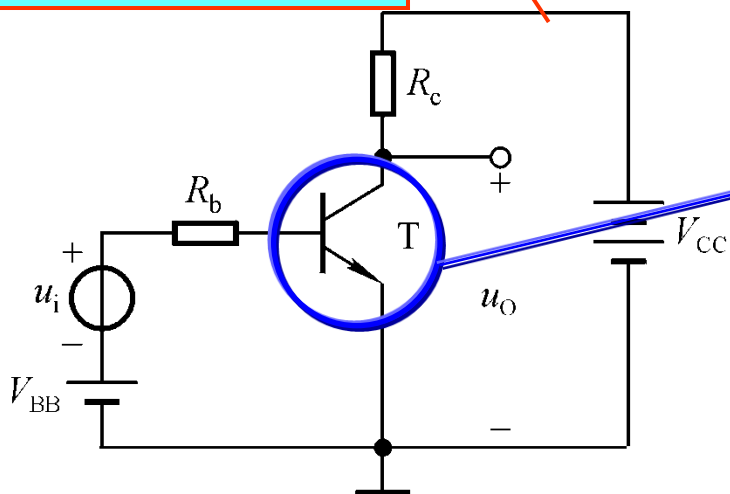
$r_{bb'}$ 为晶体三极管的基区体电阻，约为 $100 \sim 300 \Omega$ ；

$V_T = 26 \text{mV}$ （室温下，是电压的温度档量）；

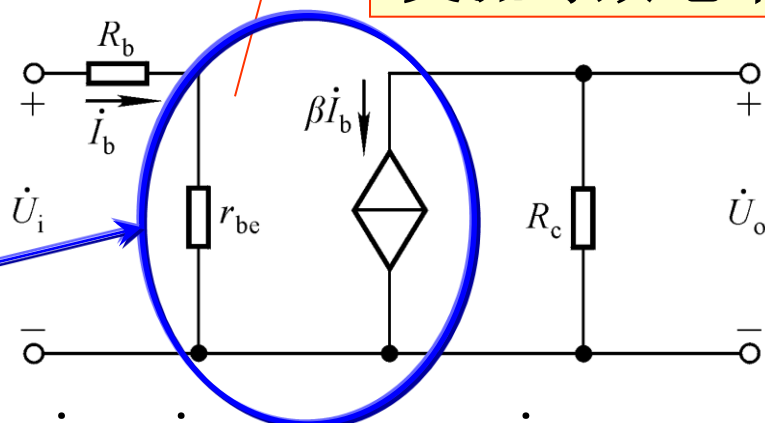
I_{EQ} 为发射极静态电流。

3. 放大电路的动态分析

直接耦合共射电路

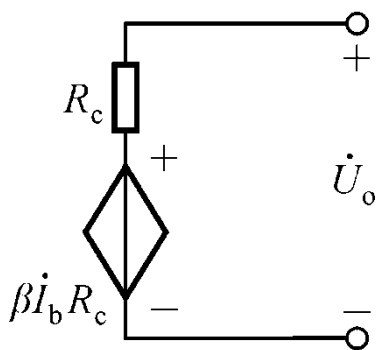


放大电路的交流等效电路



$$\dot{U}_i = \dot{I}_i (R_b + r_{be}) = \dot{I}_b (R_b + r_{be})$$

$$\dot{U}_o = -\dot{I}_c R_c$$

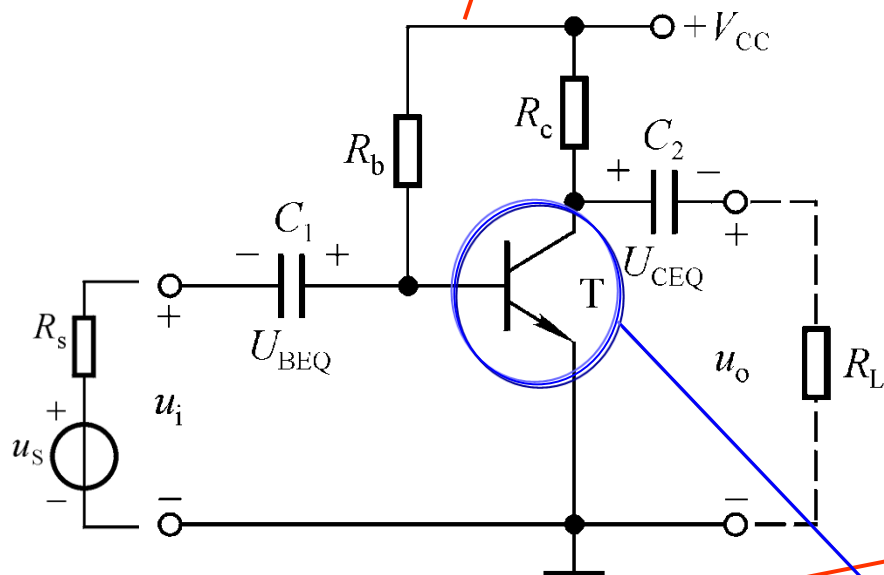


$$R_o = R_c$$

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -\frac{\beta R_c}{R_b + r_{be}}$$

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = R_b + r_{be}$$

阻容耦合共射放大电路



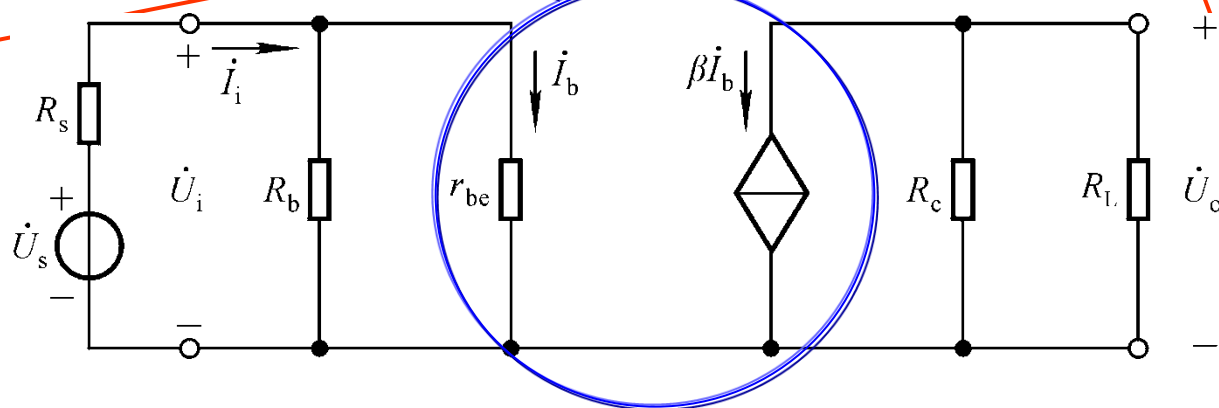
$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\dot{I}_c (R_c // R_L)}{\dot{I}_b r_{be}} = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}}$$

$$\dot{A}_{us} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} = \frac{\dot{U}_i}{\dot{U}_s} \cdot \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot \dot{A}_u$$

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

$$R_o = R_c$$

输入电阻中不应含有 R_s !



输出电阻中不应含有 R_L !

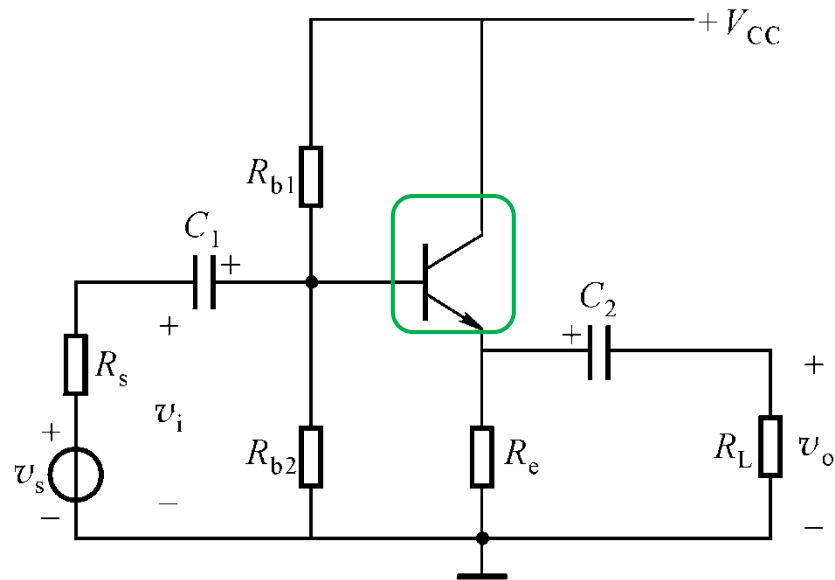
例. 共集放大电路的动态分析

$$\dot{A}_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \frac{(1 + \beta)R'_L}{r_{be} + (1 + \beta)R'_L} \leq 1$$

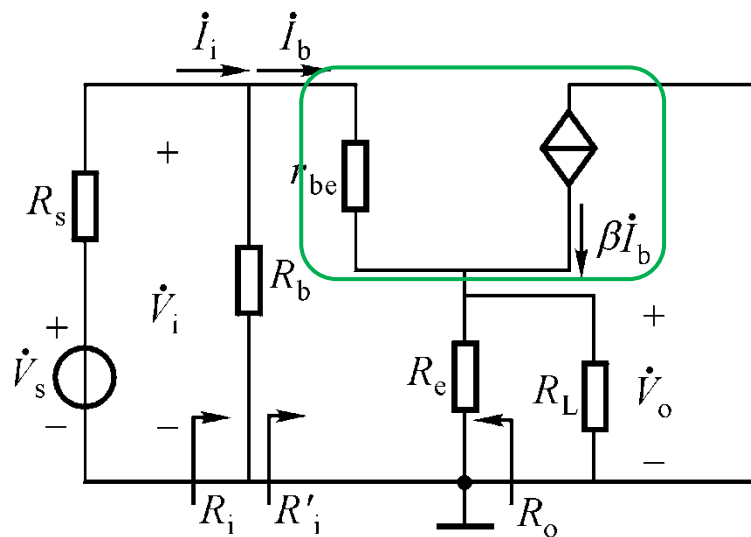
$$R_i = R_b // [r_{be} + (1 + \beta)R'_L]$$

$$R_o = \frac{\dot{V}_o'}{\dot{I}_o'} = \frac{\dot{V}_o'}{(1 + \beta) \frac{\dot{V}_o'}{r_{be} + R_b // R_s} + \frac{\dot{V}_o'}{R_e}}$$

$$= R_e // \frac{r_{be} + R_b // R_s}{1 + \beta}$$

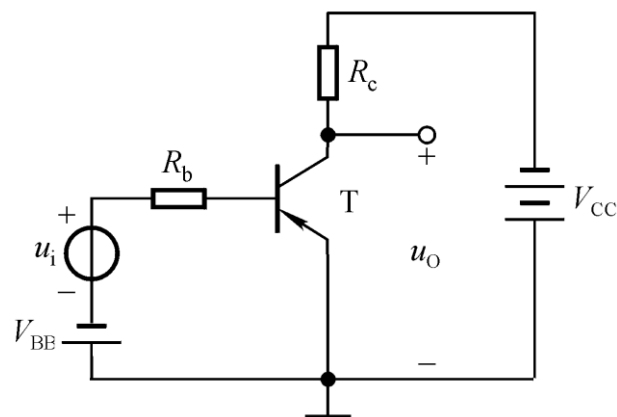
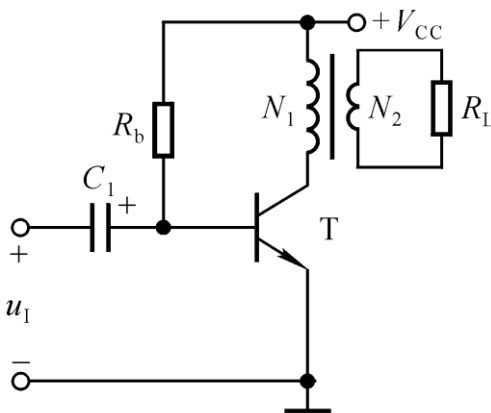
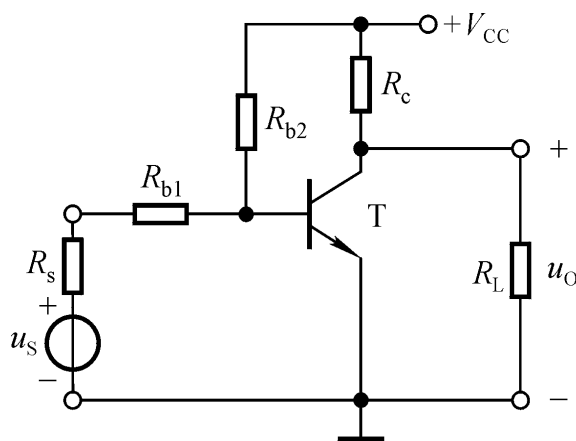


微变等效电路

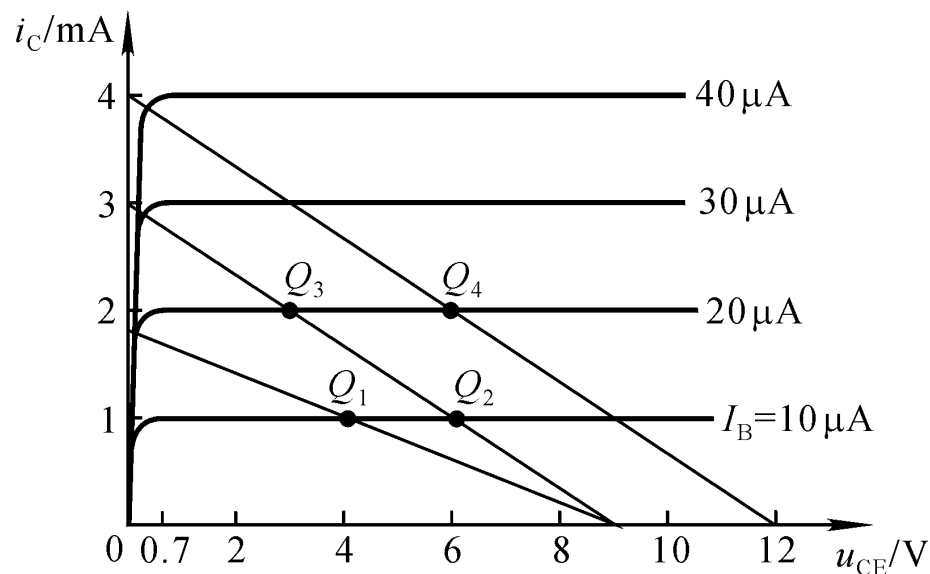
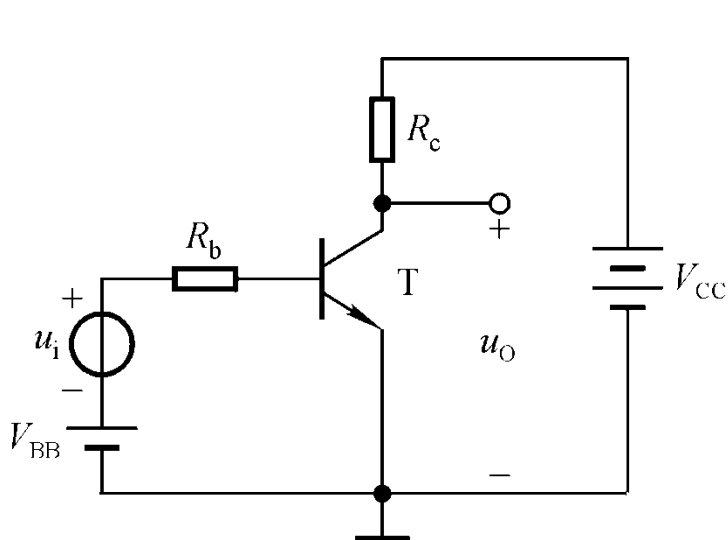


讨论一

1. 用**NPN**型晶体管组成一个在本节课中未见过的共射放大电路。
2. 用**PNP**型晶体管组成一个共射放大电路。
3. 画出图示电路的直流通路和交流通路。



讨论二

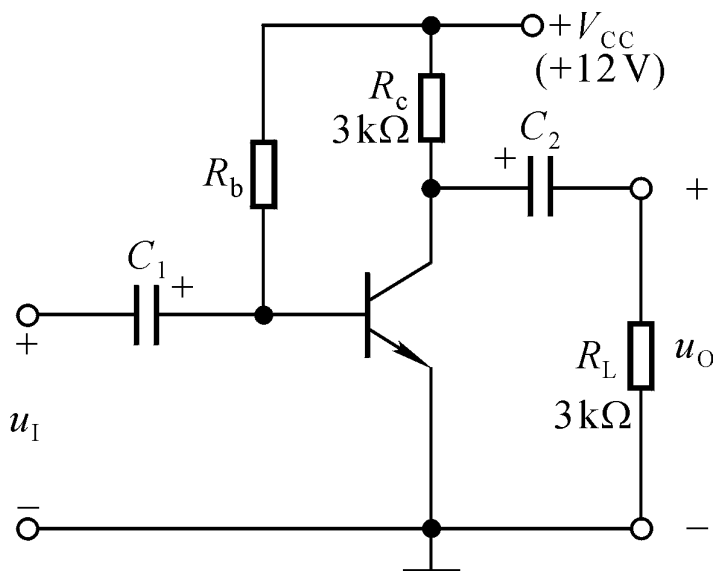


1. 在什么参数、如何变化时 $Q_1 \rightarrow Q_2 \rightarrow Q_3 \rightarrow Q_4$?
2. 从输出电压上看, 哪个 Q 点下最易产生截止失真? 哪个 Q 点下最易产生饱和失真? 哪个 Q 点下 U_{om} 最大?
3. 设计放大电路时, 应根据什么选择 V_{CC} ?

讨论三

$$\dot{A}_u = -\frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be}}$$

$$r_{be} \approx r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{U_T}{I_{EQ}}$$

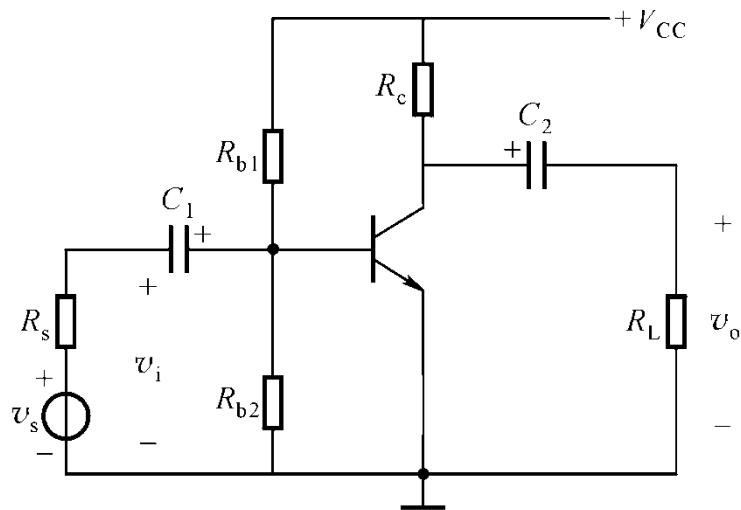


已知 $I_{CQ} = 2\text{mA}$, $U_{CES} = 0.7\text{V}$ 。

1. 在空载情况下，当输入信号增大时，电路首先出现饱和失真还是截止失真？若带负载的情况下呢？

2. 空载和带载两种情况下 U_{om} 分别为多少？
3. 在图示电路中，有无可能在空载时输出电压失真，而带上负载后这种失真消除？
4. 增强电压放大能力的方法？

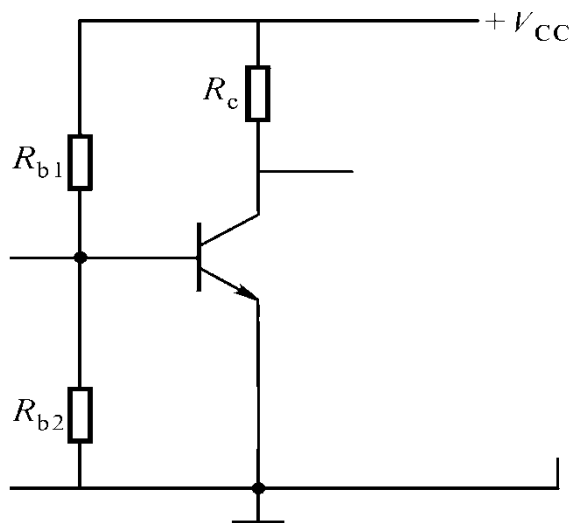
直流负载线与交流负载线



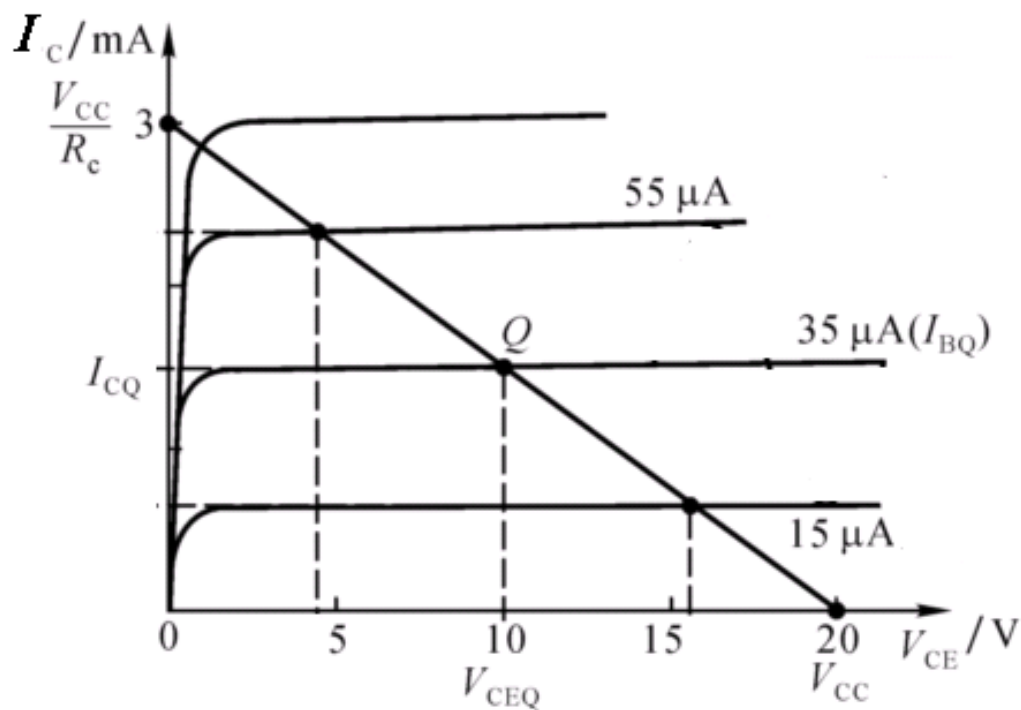
直流负载线斜率与直流电路负载电阻 R_C 有关。

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

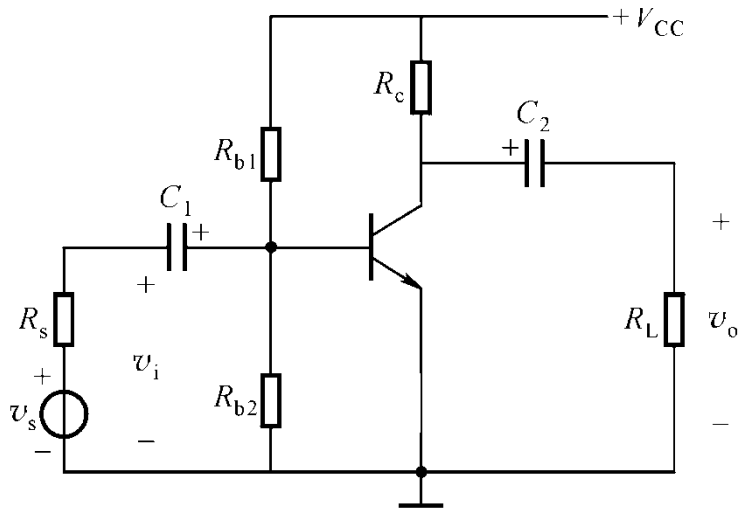
阻容耦合共射放大电路



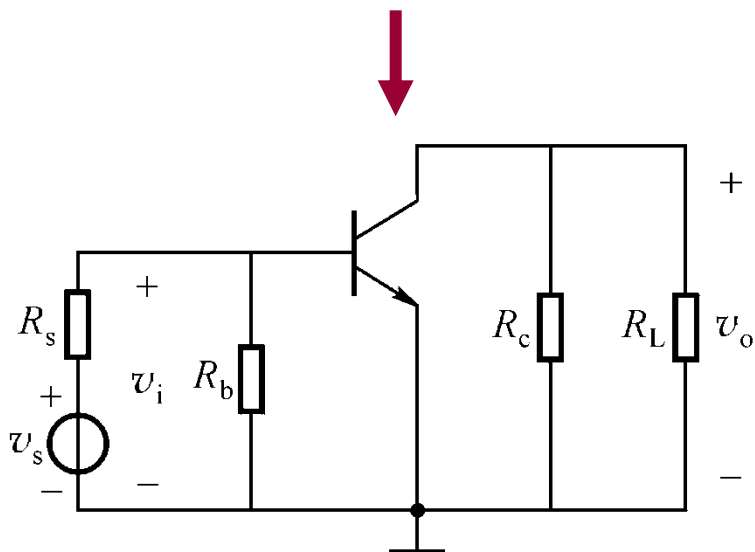
直流通路



直流负载线与交流负载线



阻容耦合共射放大电路



截止失真时的最大不失真电压 $I_{CQ}R_C // R_L$

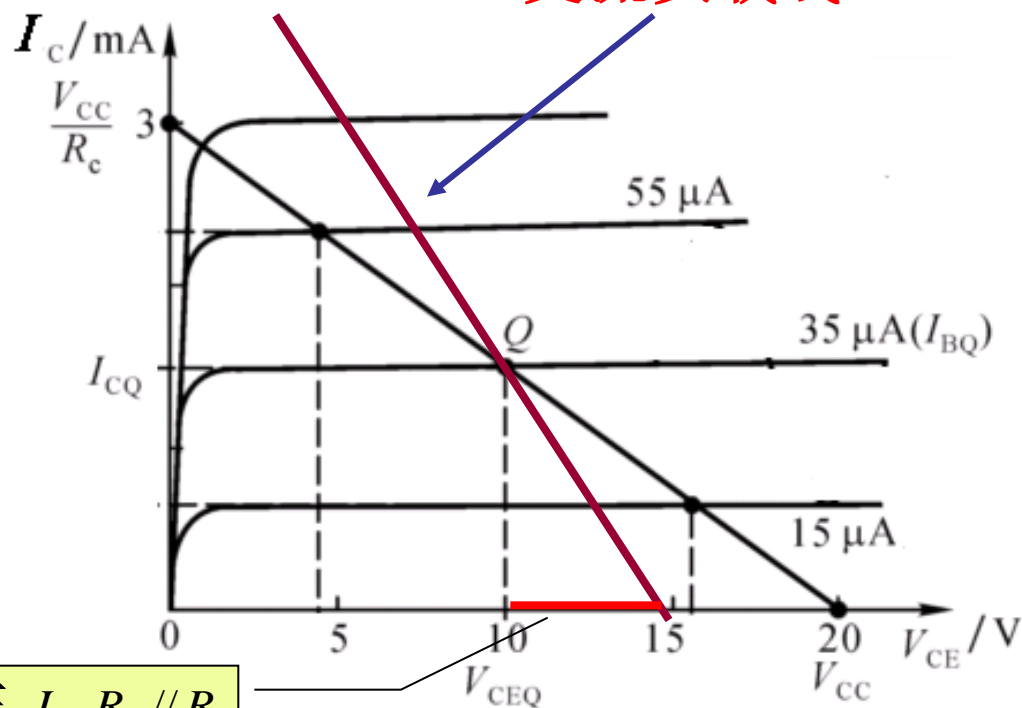
交流负载线斜率与交流电

路负载电阻 $R_C // R_L$ 有关。

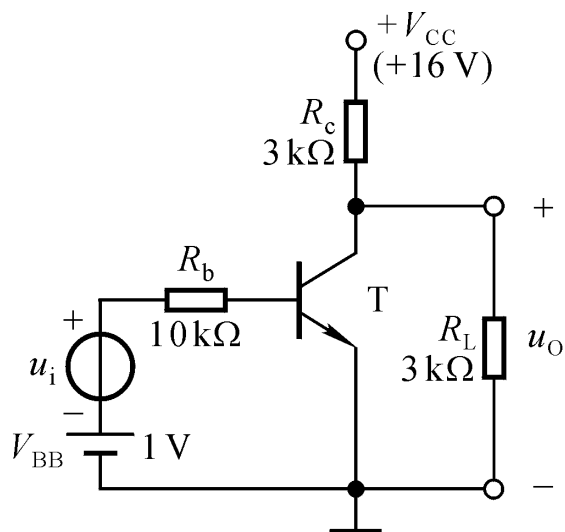
$$u_{CE} = -(R_C // R_L)i_C$$

$$i_C = 0 \text{ 时 } U_{CE} = U_{CEQ}$$

交流负载线

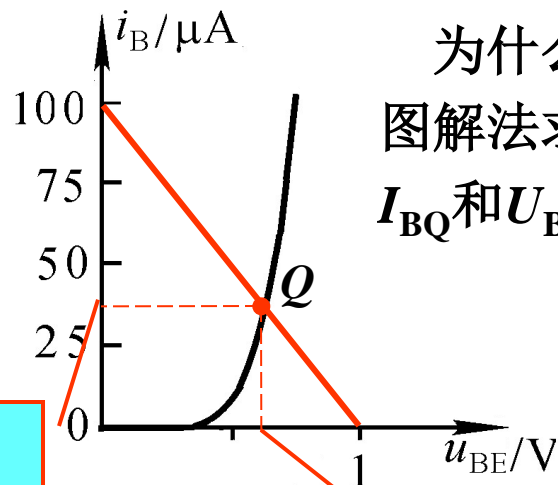


讨论四：基本共射放大电路的静态分析和动态分析



$$\beta = 80$$

$$r_{bb'} = 200\Omega$$



为什么用
图解法求解
 I_{BQ} 和 U_{BEQ} ?

$$I_{BQ} \approx 35\mu A$$

$$U_{BEQ} \approx 0.65V$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} \approx 2.8mA$$

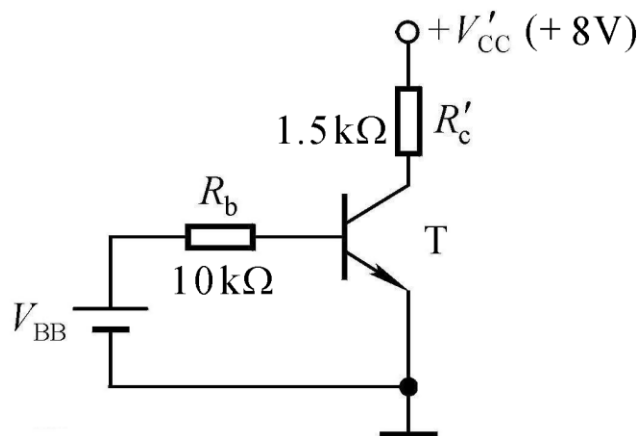
$$U_{CEQ} = V_{CC}' - I_{CQ}R_c' \approx 3.8V$$

$$r_{be} \approx r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{U_T}{I_{EQ}} \approx 952\Omega$$

$$\dot{A}_u = -\frac{\beta(R_c // R_L)}{R_b + r_{be}} \approx -11$$

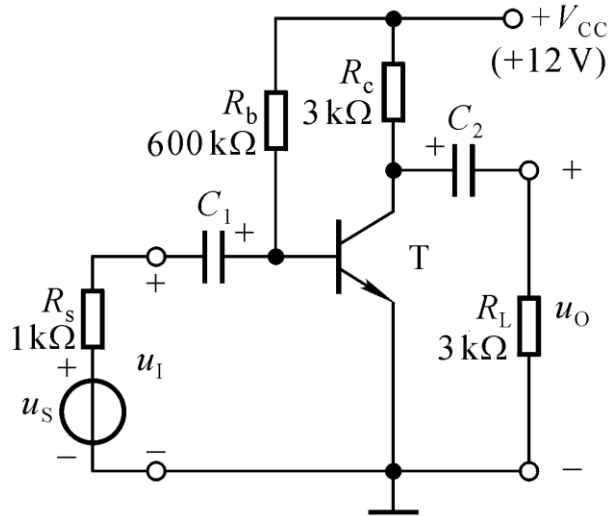
$$R_i = R_b + r_{be} \approx 11k\Omega$$

$$R_o = R_c = 3k\Omega$$



讨论五：阻容耦合共射放大电路的静态分析和动态分析

$$\beta = 80, r_{be} = 1\text{k}\Omega$$



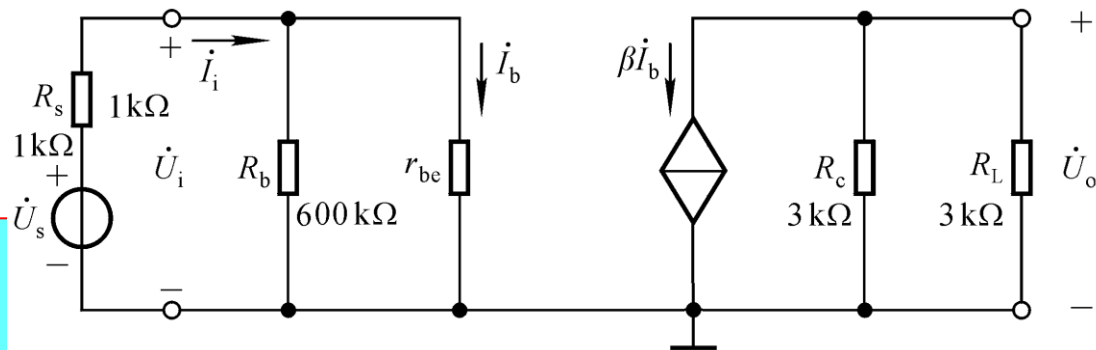
$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b} \approx \frac{V_{CC}}{R_b} = 20\mu\text{A}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} \approx 1.6\text{mA}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c \approx 7.2\text{V}$$

$$\dot{A}_u = -\frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be}} \approx -120$$

$$\dot{A}_{us} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} = \frac{\dot{U}_i}{\dot{U}_s} \cdot \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -\frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot \frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be}} = -60$$



$$R_i = R_b // r_{be} \approx r_{be} = 1\text{k}\Omega \quad R_o = R_c = 3\text{k}\Omega$$

作业

- 1.5, 6, 7; 10, 11, 13 单管
- 1.14, 15, 16, 17 多级
- 1.22, 23, 24, 25 差分
- 1.28, 29, 30 频率特性
- 仿真 1.18