



模拟电子技术基础

# 基本放大电路

雷 飞

010-67392914

leifei@bjut.edu.cn

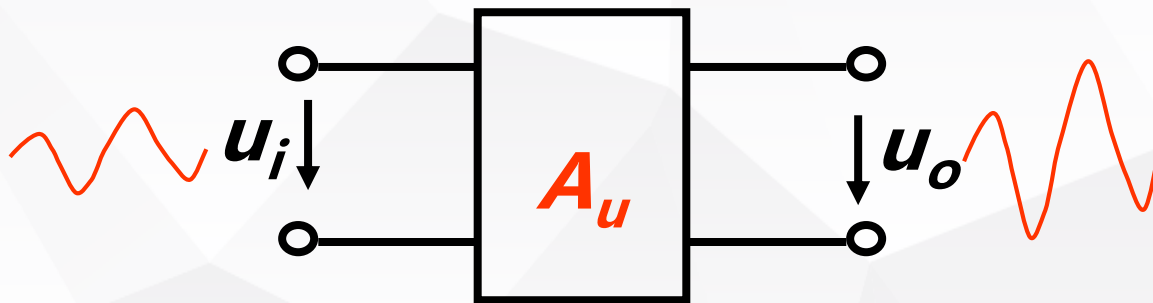
## ➤ 03基本放大电路

### 3.1 概述

#### 放大的概念

电子学中放大的目的是将微弱的变化信号放大成较大的信号。这里所讲的主要是电压放大电路

电压放大电路可以用有输入口和输出口的四端网络表示，如图：



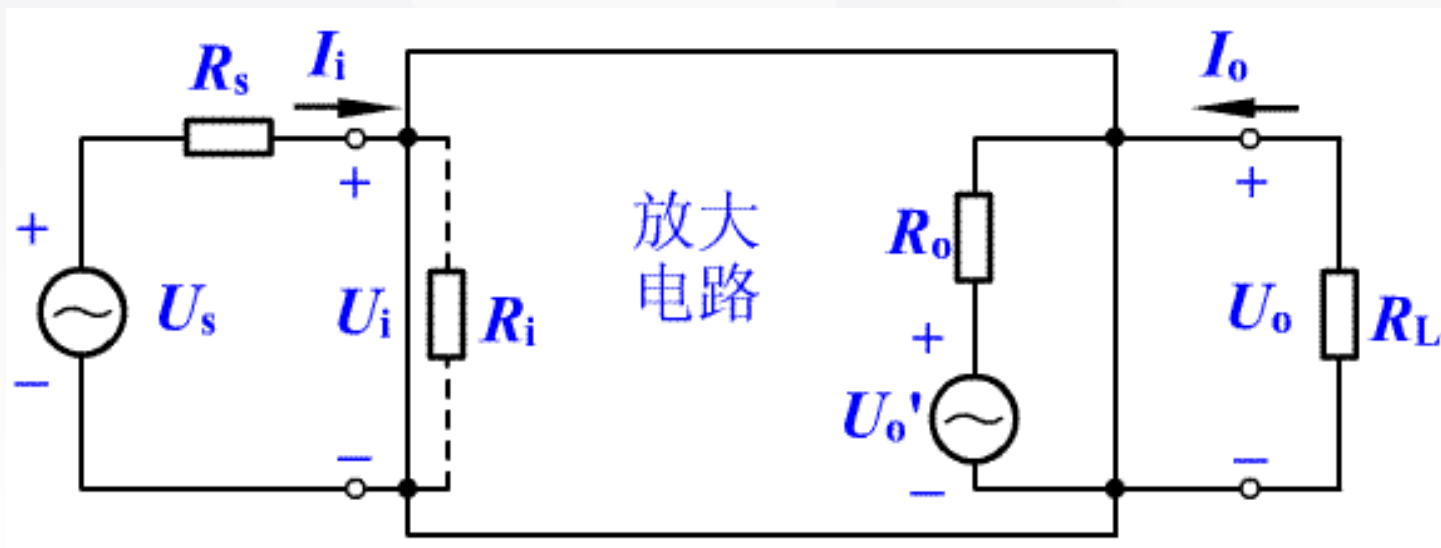
放大电路放大的本质是能量的控制和转换

放大的前提是不失真，即只有在不失真的情况下放大才有意义

## ➤ 03基本放大电路

### 放大电路的性能指标

#### 放大电路示意图



放大电路示意图

### 一、放大倍数

表示放大器的放大能力

根据放大电路输入信号的条件和对输出信号的要求，放大器可分为四种类型，所以有四种放大倍数的定义

(1) 电压放大倍数为:  $\dot{A}_{uu} = \dot{U}_o / \dot{U}_i$  (重点)

(2) 电流放大倍数为:  $\dot{A}_{ii} = \dot{I}_o / \dot{I}_i$

(3) 互阻放大倍数为:  $\dot{A}_{ui} = \dot{U}_o / \dot{I}_i$

(4) 互导放大倍数为:  $\dot{A}_{iu} = \dot{I}_o / \dot{U}_i$

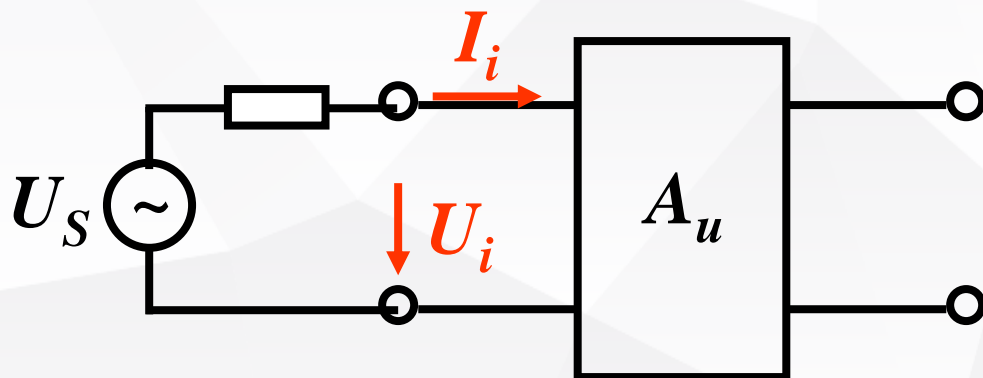
本章重点研究电压放大倍数 $\dot{A}_{uu}$

## ➤ 03基本放大电路

### 二、输入电阻 $R_i$

放大电路一定要有前级（信号源）为其提供信号，那么就要从信号源取电流。

**输入电阻**是衡量放大电路从其前级取电流大小的参数。输入电阻越大，从其前级取得的电流越小，对前级的影响越小。



$$R_i = U_i / I_i$$

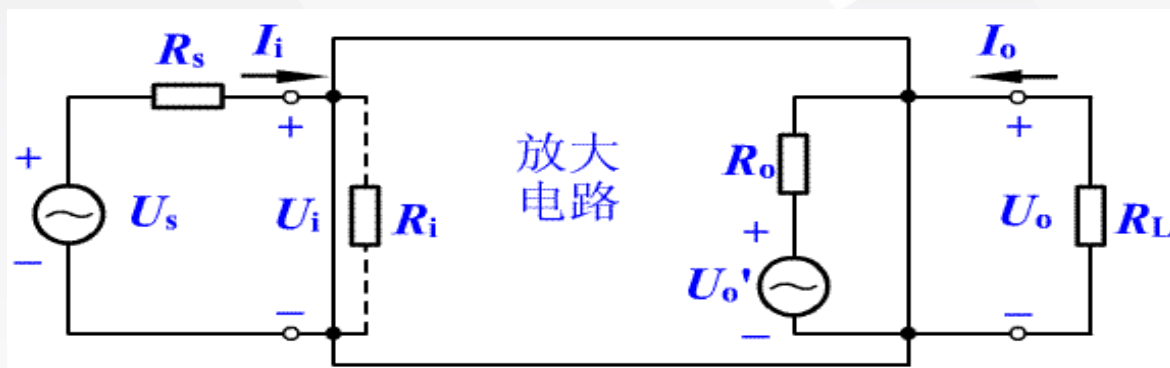
一般来说， $R_i$ 越大越好。

## 03 基本放大电路

### 三、输出电阻 $R_o$

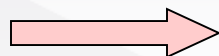
从放大电路输出端看进去的等效电阻

$$R_o = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_o} \bigg|_{\substack{\dot{U}_s=0 \\ R_L=\infty}}$$



输入端正弦电压  $\dot{U}_i$ ，分别测量空载和输出端接负载  $R_L$  的输出电压  $\dot{U}_o'$ 、 $\dot{U}_o$

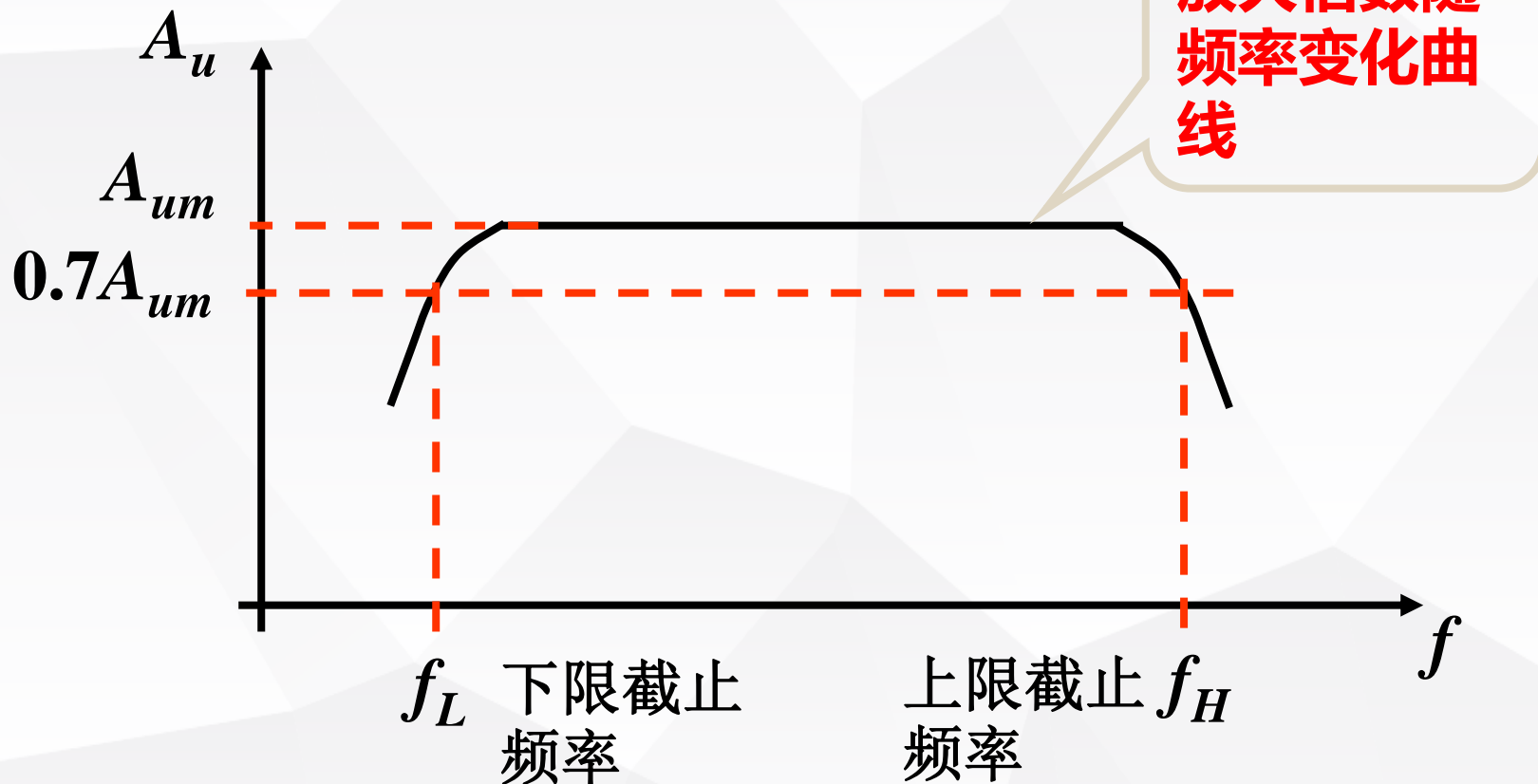
$$\dot{U}_o = \frac{\dot{U}_o' R_L}{R_o + R_L}$$



$$R_o = \left( \frac{\dot{U}_o'}{\dot{U}_o} - 1 \right) R_L$$

输出电阻愈小，带载能力愈强

### 四、通频带



通频带:

$$f_{bw} = f_H - f_L$$

通频带越宽，表明放大电路对不同频率信号的适应能力越强

## 03基本放大电路

### 五、非线性失真系数 $D$

所有谐波总量与基波成分之比，即

$$D = \frac{\sqrt{A_2^2 + A_3^2 + \dots}}{A_1}$$

### 六、最大不失真输出幅度

在输出波形没有明显失真情况下放大电路能够提供给负载的最大输出电压(或最大输出电流)可用峰-峰值( $U_{OPP}$ 、 $I_{OPP}$ )表示，或有效值表示( $U_{om}$ 、 $I_{om}$ )

### 七、最大输出功率与效率

输出不产生明显失真的最大输出功率。用符号  $P_{om}$  表示

$$\eta = \frac{P_{om}}{P_V}$$

$\eta$ ：效率

$P_V$ ：直流电源消耗的功率



## ➤ 03基本放大电路

### 3.2 基本共射放大电路

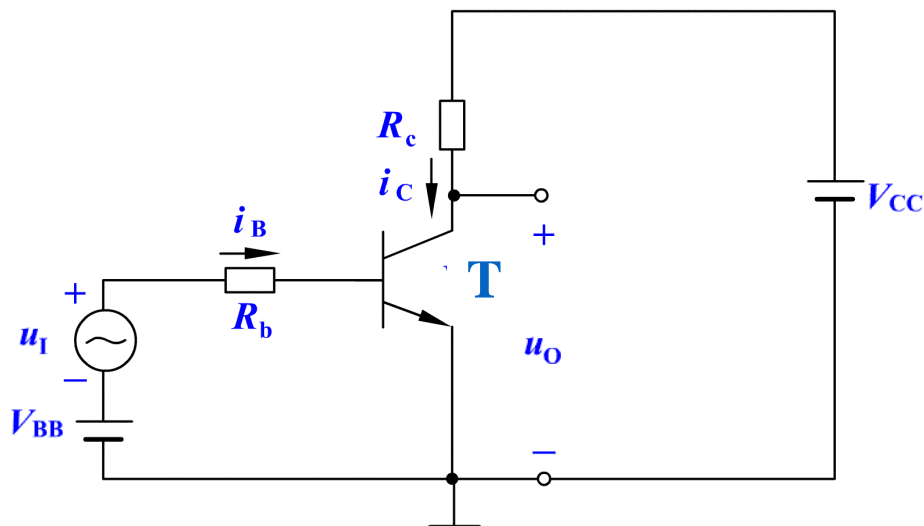
#### 基本共射放大电路的组成及各元件作用

**T:** NPN 型三极管，为放大元件；

**$V_{CC}$ :** 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；

**$V_{BB}$ 、 $R_b$ :** 为发射结提供正向偏置电压，提供静态基极电流(静态基流)。



基本共射放大电路

## ➤ 03基本放大电路

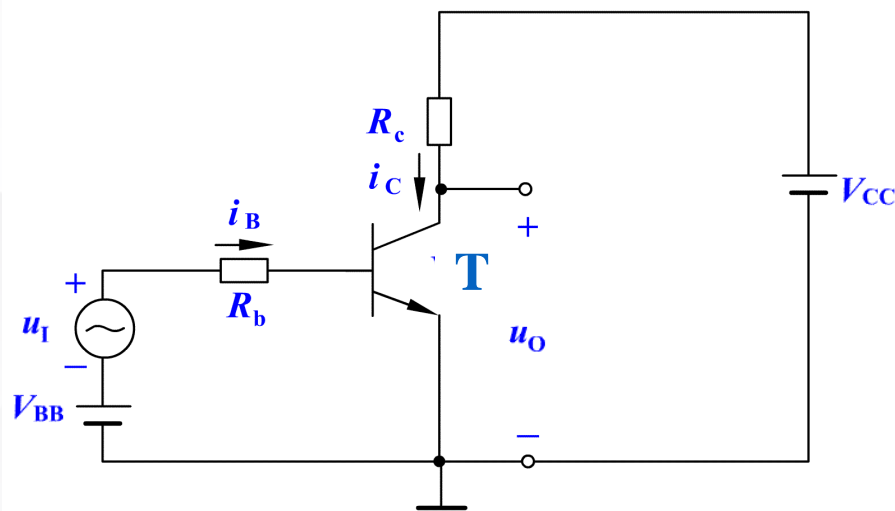
### 设置静态工作点的必要性

#### 一、 静态工作点 (Quiescent Point)

放大电路没有输入信号时的工作状态称为静态。

静态工作点Q (直流值) :  $U_{BEQ}$ 、 $I_{BQ}$ 、 $I_{CQ}$  和  $U_{CEQ}$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{BQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_b} \\ I_{CQ} = \beta I_{BQ} \\ U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_c \end{array} \right.$$



基本共射放大电路

对于NPN硅管  $U_{BEQ} = 0.7V$ , PNP锗管  $U_{BEQ} = -0.2V$

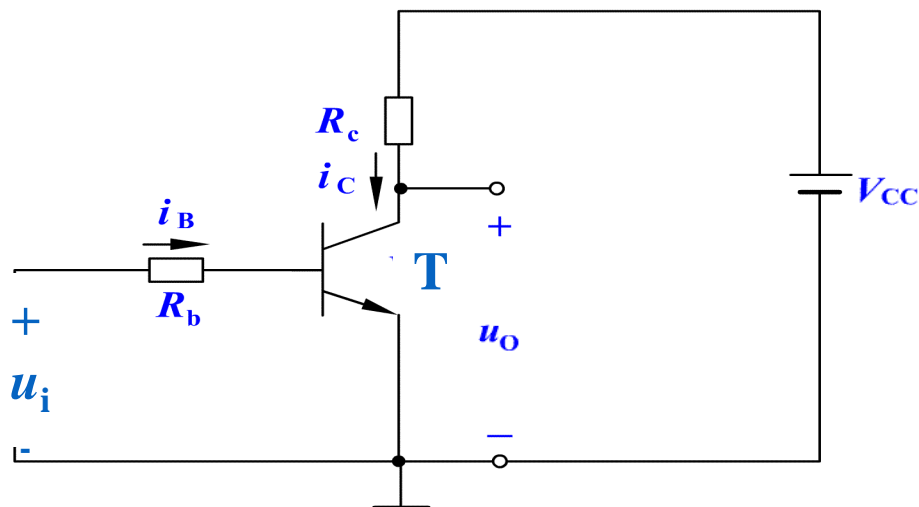
### 二、为什么要设置静态工作点

输出电压会出现失真

对放大电路的基本要求：

1. 输出波形不能失真
2. 输出信号能够放大

**Q点不仅影响放大电路是否会失真，而且影响放大电路的几乎所有的动态参数。**



没有设置合适的静态工作点

## 03基本放大电路

### 基本共射放大电路的工作原理及波形分析

#### 一. 放大原理

若设置了适当静态工作点

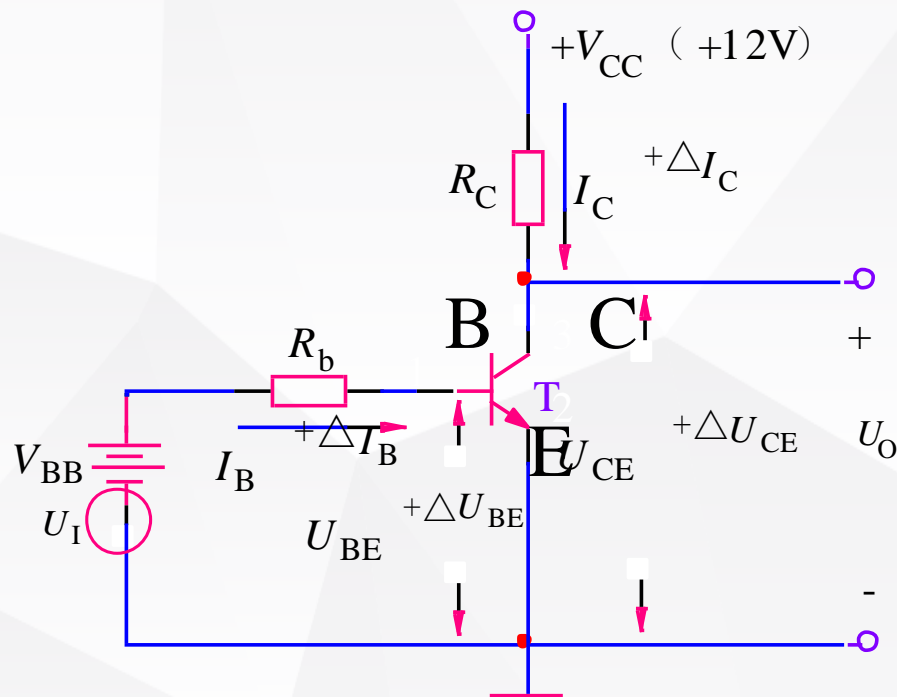
$$\dot{U}_i \rightarrow \Delta u_{BE} \rightarrow \Delta i_B$$

$$\rightarrow \Delta i_C (\beta \Delta i_B)$$

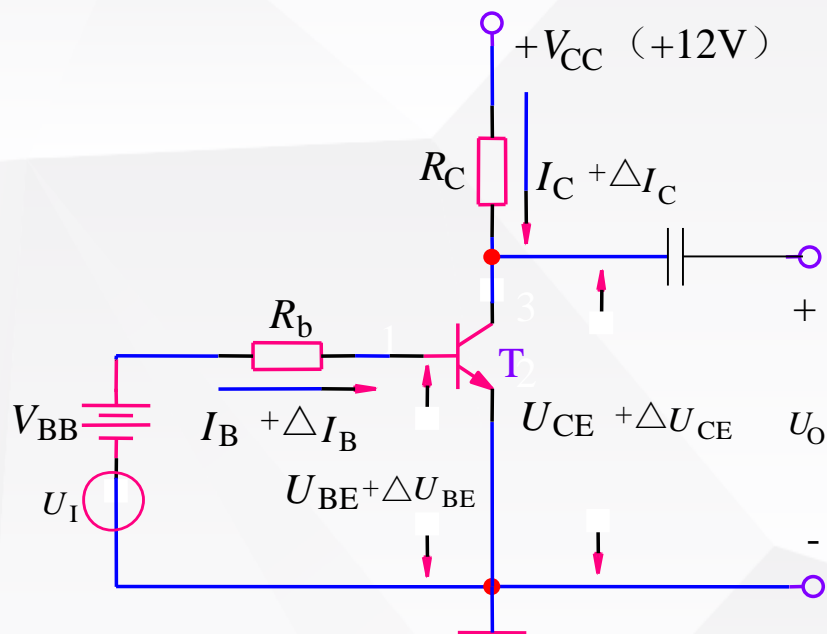
$$\rightarrow \Delta u_{CE} (-\Delta i_C \times R_C)$$

$$\rightarrow \dot{U}_o$$

$$\text{电压放大倍数: } \dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}$$

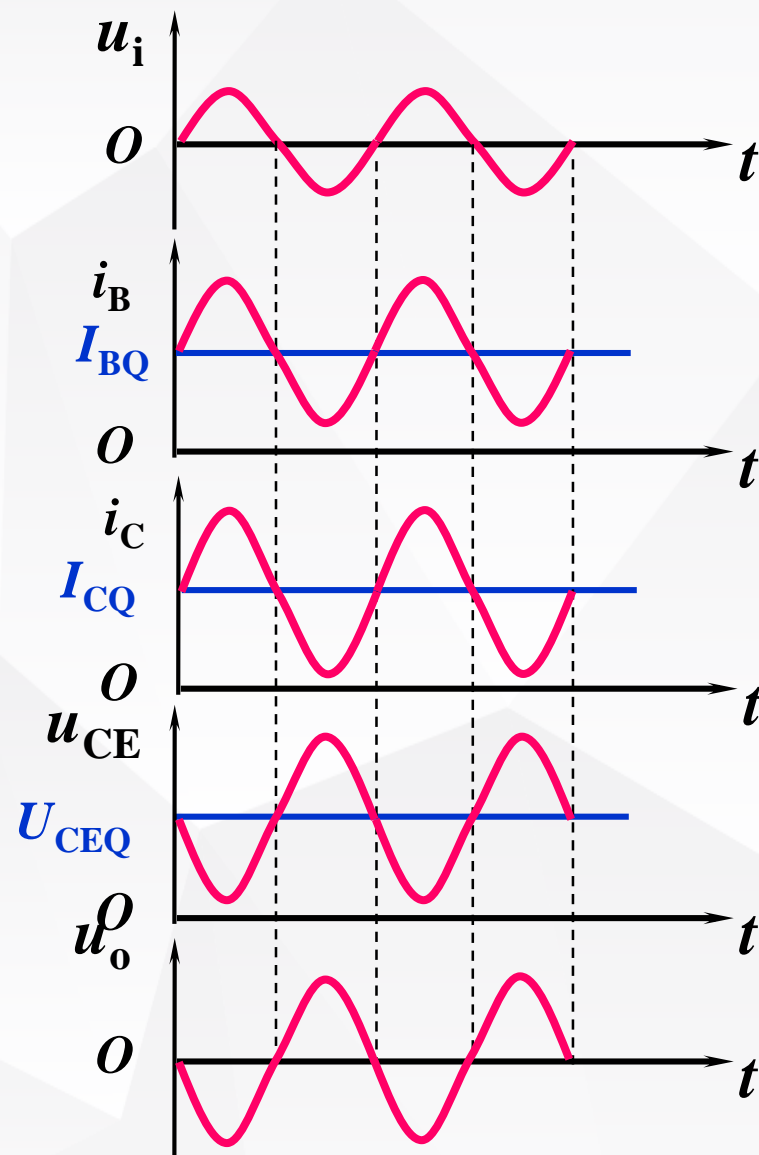


## 03 基本放大电路



基本共射放大电路的**电压放大作用**是利用晶体管的**电流放大作用**，并依靠 **$R_C$** 将**电流的变化转化成电压的变化**来实现的。

$$u_{CE} = U_{CEQ} + u_{ce}$$



## ➤ 03基本放大电路

### 放大电路的组成原则

#### 一、组成原则

1.必须有为放大管提供合适Q点的直流电源

保证晶体管工作在放大区；场效应管工作在恒流区

2.电阻适当，同电源配合，使放大管有合适Q点

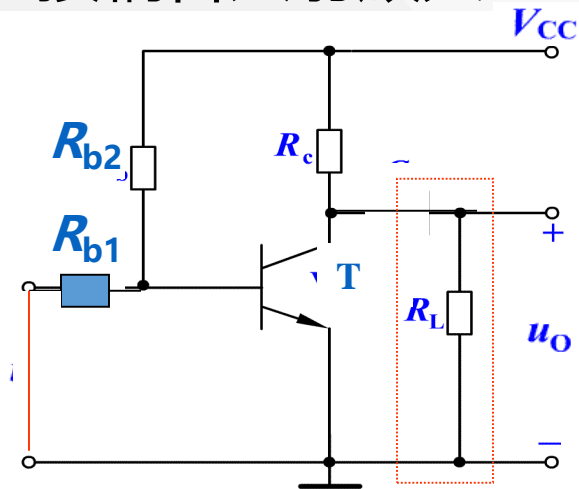
3.输入信号必须能够作用于放大管的输入回路

对于晶体管能产生 $\Delta u_{BE}$ ，对于场效应管能产生 $\Delta u_{GS}$ ，  
从而改变输出回路的电流，放大输入信号。

4.当负载接入时，必须保证放大管的输出回路的动态电流能够作用于负载，从而使负载获得比输入信号 大得多的信号电流或信号电压

## 二、常见的两种共射放大电路

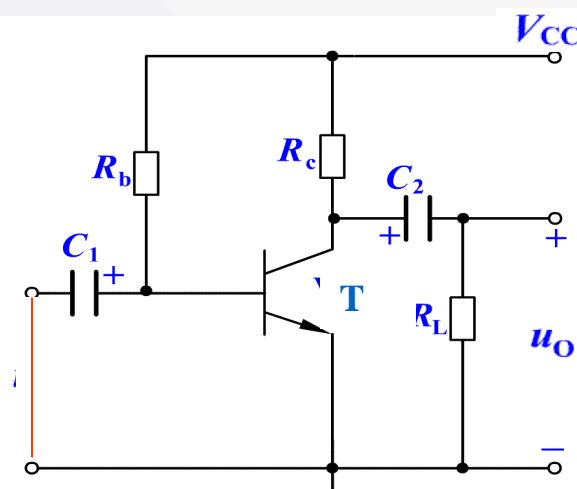
### 1.直接耦合共射放大电路



直接耦合共射放大电路

$$\begin{cases} I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_{b2}} - \frac{U_{BEQ}}{R_{b1}} \\ I_{CQ} \approx \beta I_{BQ} \\ U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C \end{cases}$$

### 2.阻容耦合共射放大电路



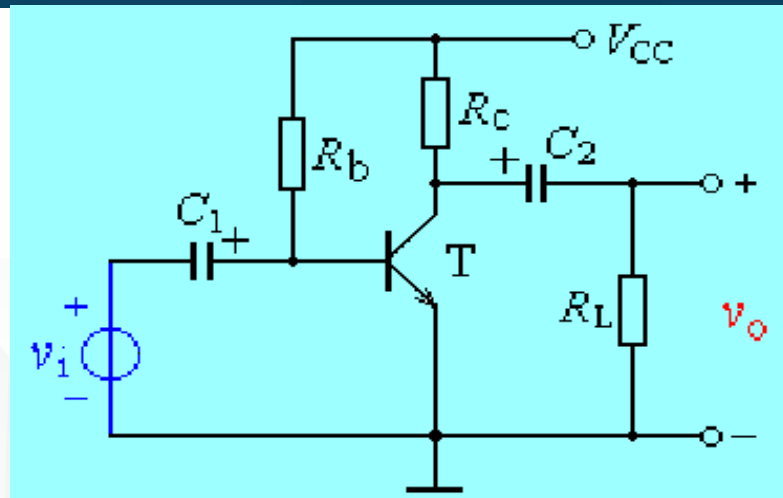
阻容耦合共射放大电路

$$\begin{cases} I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b} \\ I_{CQ} \approx \beta I_{BQ} \\ U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C \end{cases}$$

## 03基本放大电路

**例题** 放大电路如图所示。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的饱和和压降)



共射极放大电路

解: (1) 
$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_b} \approx \frac{12V}{300k} = 40\mu A \quad I_C = \beta \cdot I_B = 80 \times 40\mu A = 3.2mA$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - R_c \cdot I_C = 12V - 2k \times 3.2mA = 5.6V$$

静态工作点为 $Q(40\mu A, 3.2mA, 5.6V)$ , BJT工作在放大区。

(2) 当 $R_b=100k$ 时, 
$$I_B = \frac{V_{CC}}{R_b} \approx \frac{12V}{100k} = 120\mu A \quad I_C = \beta \cdot I_B = 80 \times 120\mu A = 9.6mA$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - R_c \cdot I_C = 12V - 2k \times 9.6mA = -7.2V \quad U_{CEQ} \text{不可能为负值,}$$

其最小值也只能为0, 即 $I_C$ 的最大电流为: 
$$I_{CM} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{R_c} \approx \frac{12V}{2k} = 6mA$$

此时,  $Q(120\mu A, 6mA, 0V)$ , 由于  $\beta \cdot I_B > I_{CM}$  所以BJT工作在饱和区。



**复习:**

**1.放大电路的性能指标有哪些?**

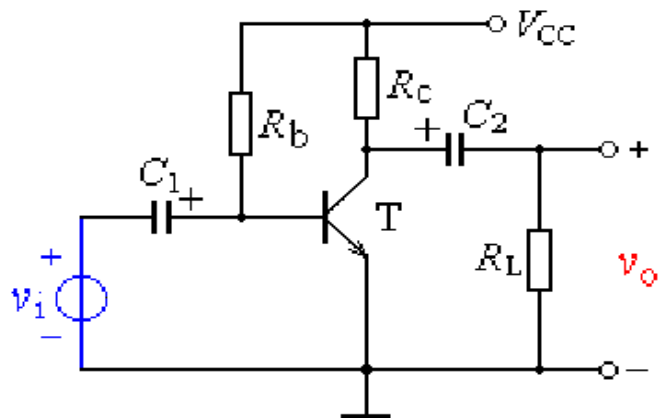
**2.放大电路为什么要设置静态工作点? 包括哪几个参数?**

**3.如何从计算出来的Q点判断放大电路处于什么工作区?**

## 03基本放大电路

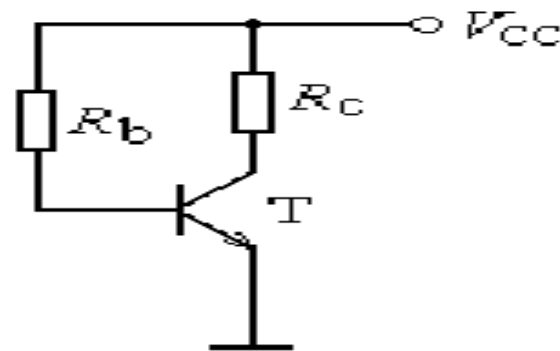
### 放大电路的分析方法

#### 一、直流通路和交流通路

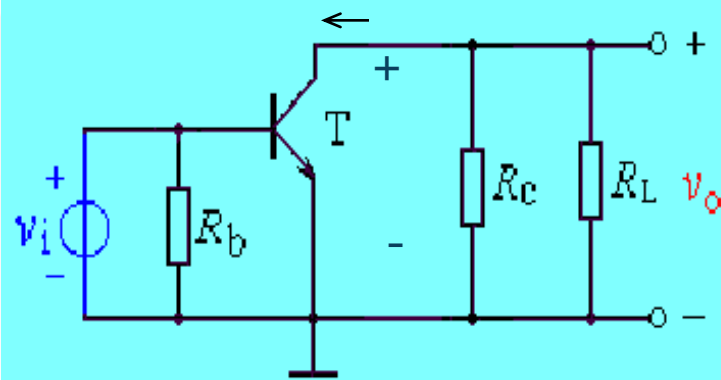


共射极放大电路

- **直流电源：内阻为零**
- **耦合电容：通交流、隔直流**
- **直流电源和耦合电容对交流相当于短路**



阻容耦合放大电路的直流通路



阻容耦合放大电路的交流通路

## ➤ 03基本放大电路

### 二、图解法

在三极管的输入、输出特性曲线上直接用作图的方法求解放大电路的工作情况。

#### 一、静态工作点的分析

1. 先用估算的方法计算输入回路  $I_{BQ}$ 、 $U_{BEQ}$ 。

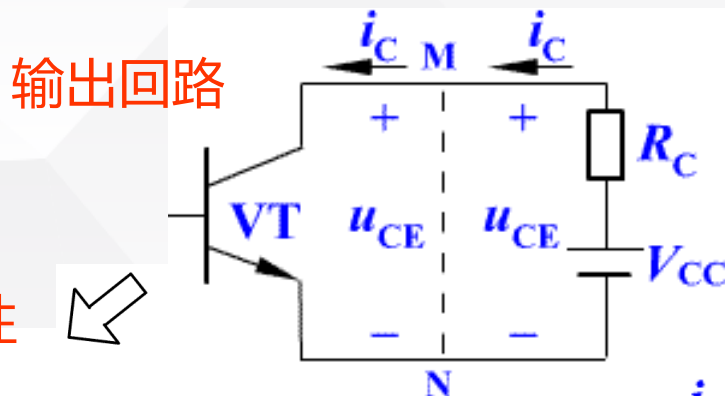
2. 用图解法确定输出回路静态值。

**方法：**根据  $u_{CE} = V_{CC} - i_C R_c$  式确定两个特殊点

当  $i_C = 0$  时， $u_{CE} = V_{CC}$

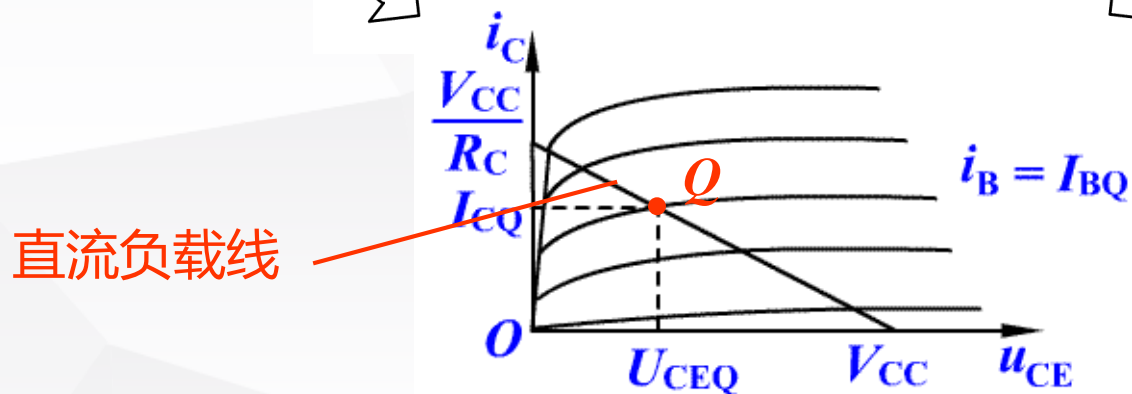
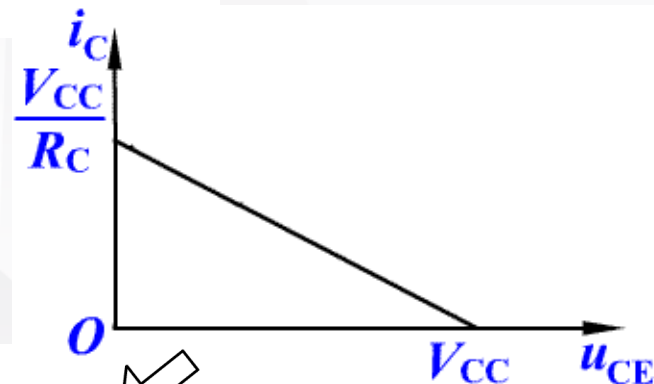
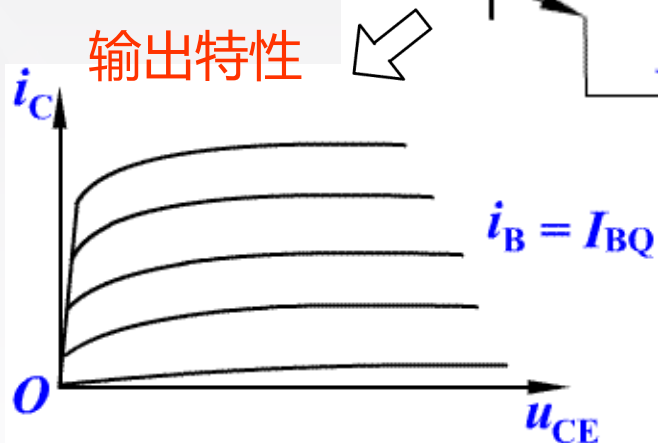
当  $u_{CE} = 0$  时， $i_C = \frac{V_{CC}}{R_c}$

## 03 基本放大电路



$$i_C = 0, u_{CE} = V_{CC}$$

$$u_{CE} = 0, i_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$$



由静态工作点  $Q$  确定的  $I_{CQ}$ 、 $U_{CEQ}$  为静态值。

## 03 基本放大电路

【例】图示单管共射放大电路及特性曲线中，已知  $R_b = 280 \text{ k}\Omega$ ， $R_c = 3 \text{ k}\Omega$ ，集电极直流电源  $V_{CC} = 12 \text{ V}$ ，试用图解法确定静态工作点。

解：首先估算  $I_{BQ}$

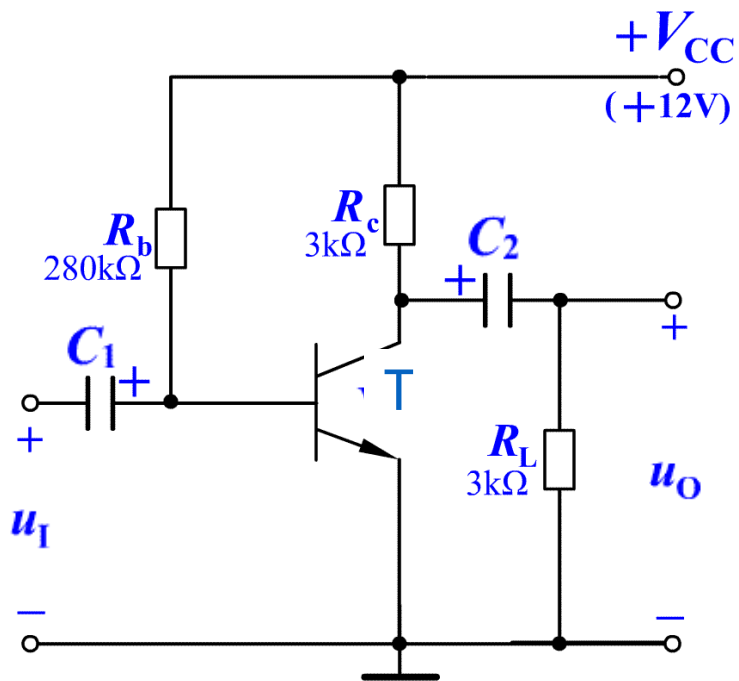
$$\begin{aligned} I_{BQ} &= \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b} \\ &= \left( \frac{12 - 0.7}{280} \right) \text{mA} = 40 \mu\text{A} \end{aligned}$$

做直流负载线，确定  $Q$  点

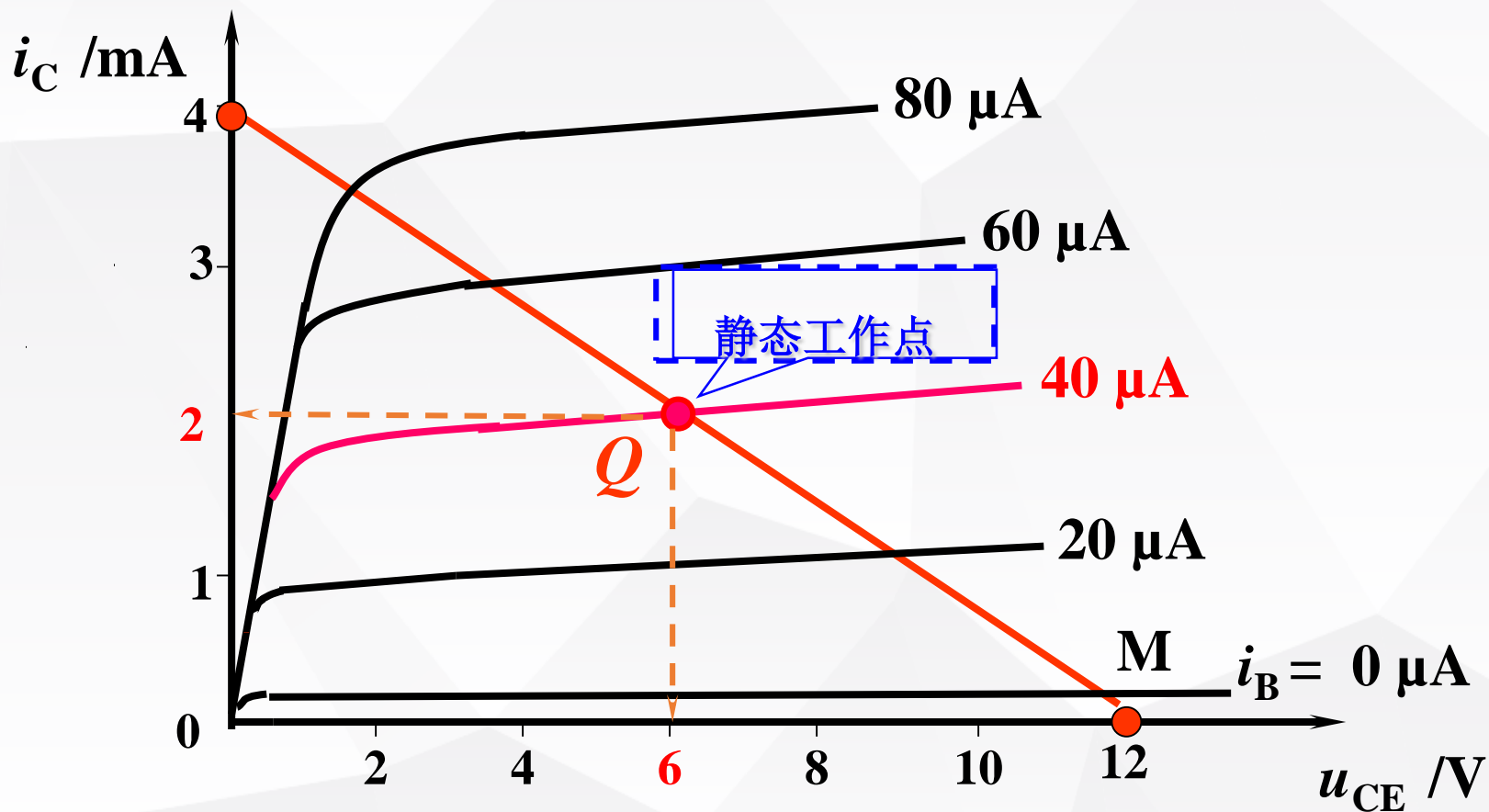
根据  $U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_c$

$$i_c = 0, \quad u_{CE} = 12 \text{ V} ;$$

$$u_{CE} = 0, \quad i_c = 4 \text{ mA} .$$



## 03 基本放大电路



由  $Q$  点确定静态值为:

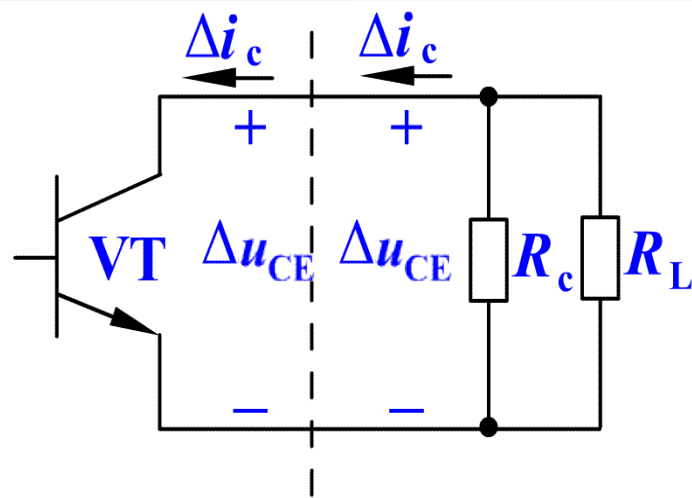
$$I_{BQ} = 40 \mu A, \quad I_{CQ} = 2 \text{ mA}, \quad U_{CEQ} = 6 \text{ V}.$$

## 03基本放大电路

### 二、电压放大倍数的分析

#### 1. 交流通路的输出回路

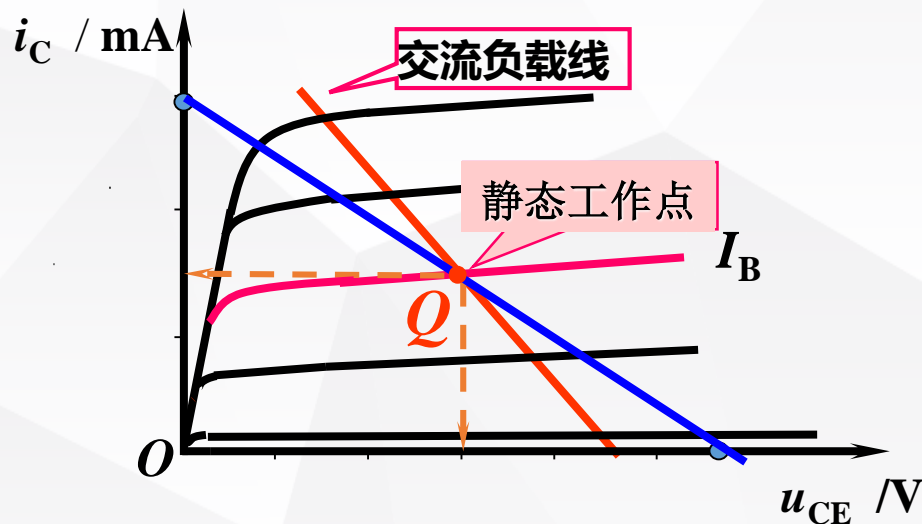
输出通路的外电路是  $R_c$  和  $R_L$  的并联。



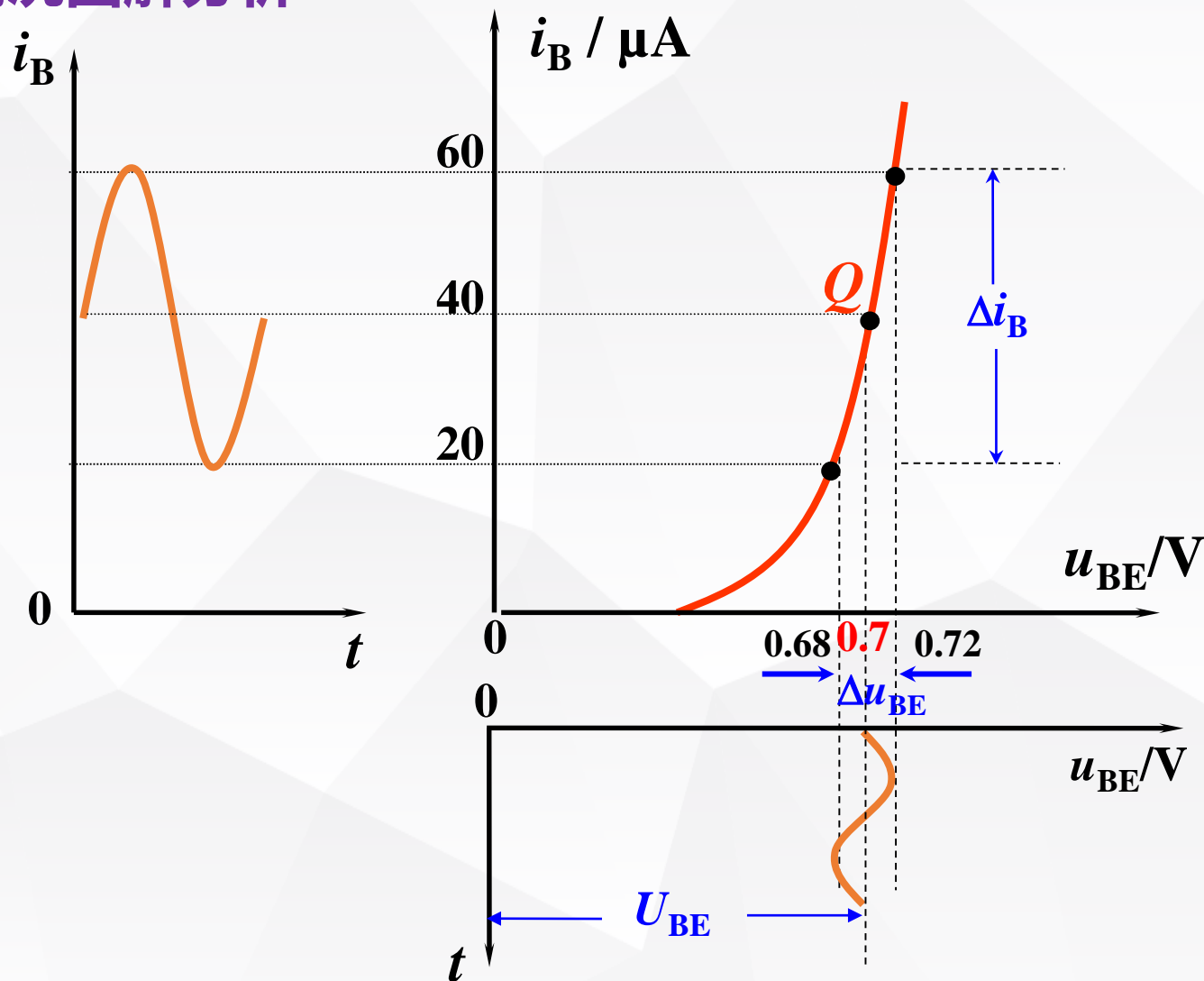
#### 2. 交流负载线

交流负载线斜率为：

$$-\frac{1}{R'_L}, \text{ 其中 } R'_L = R_C // R_L$$

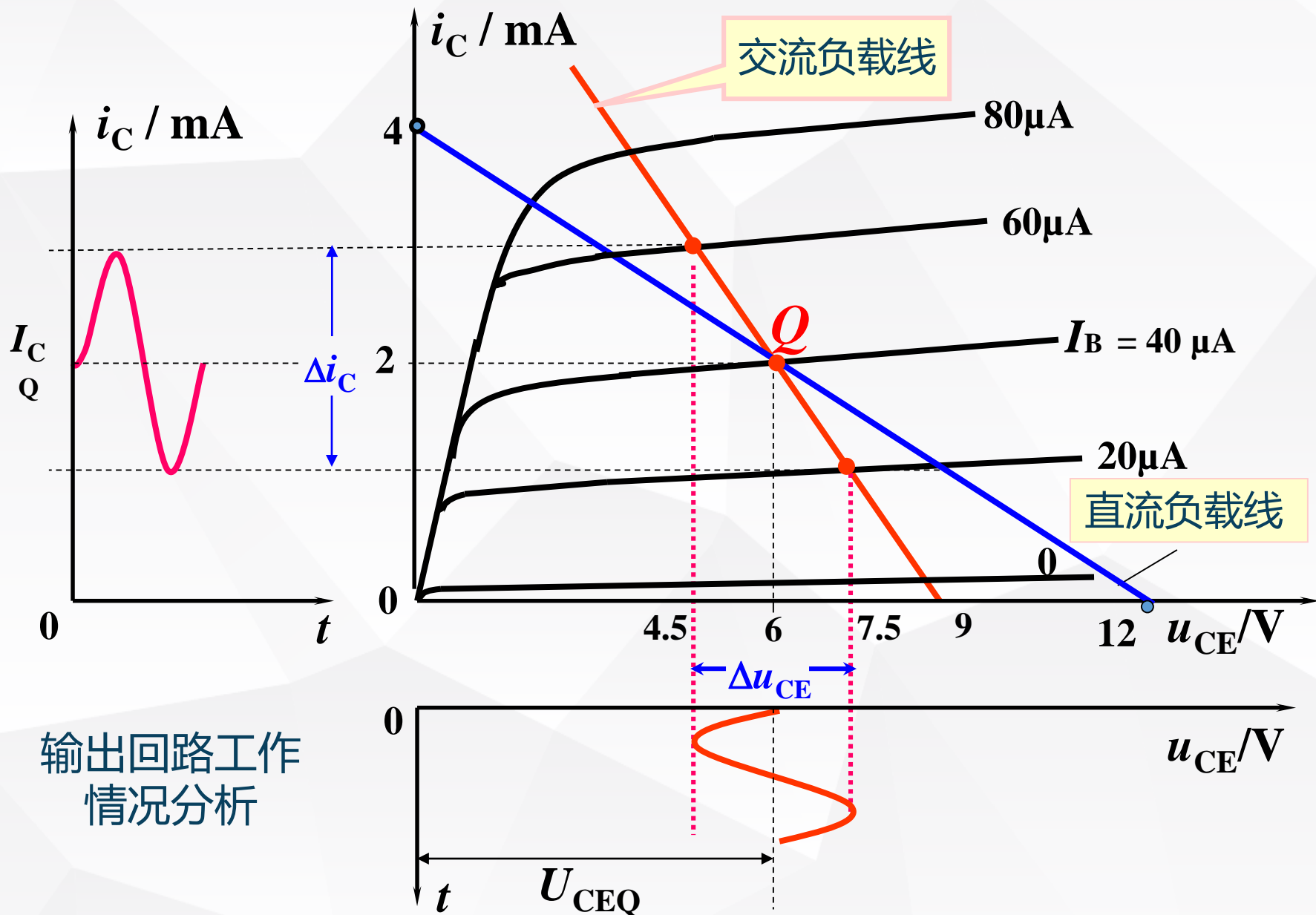


### 3. 动态工作情况图解分析





## 03基本放大电路



## 03 基本放大电路

### 4. 电压放大倍数

【例】用图解法求图示电路电压放大倍数。输入、输出特性曲线如右图， $R_L = 3\text{ k}\Omega$ 。

解：求  $R'_L$  确定交流负载线

$$R'_L = R_C // R_L = 1.5\text{ k}\Omega$$

$$\text{取 } \Delta i_B = (60 - 20)\text{ }\mu\text{A} = 40\text{ }\mu\text{A}$$

则输入、输出特性曲线上有

$$\Delta u_{BE} = (0.72 - 0.68)\text{ V} = 0.04\text{ V}$$

$$\Delta u_{CE} = (4.5 - 7.5)\text{ V} = -3\text{ V}$$

$$A_u = \frac{\Delta u_O}{\Delta u_I} = \frac{\Delta u_{CE}}{\Delta u_{BE}}$$

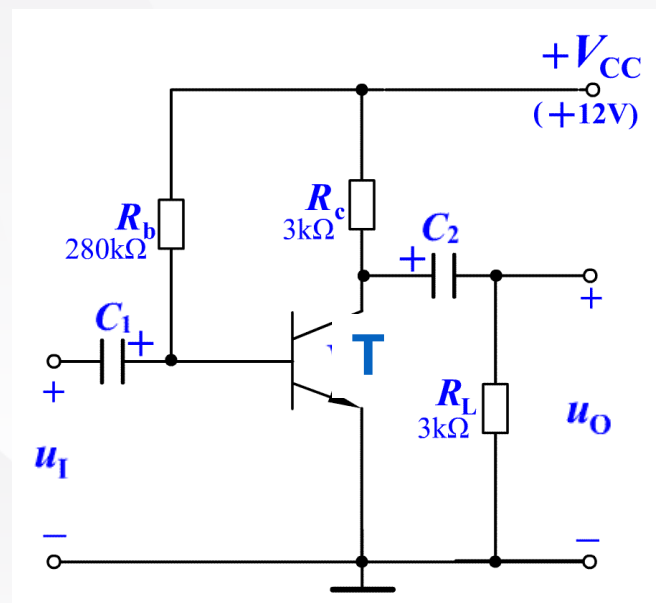


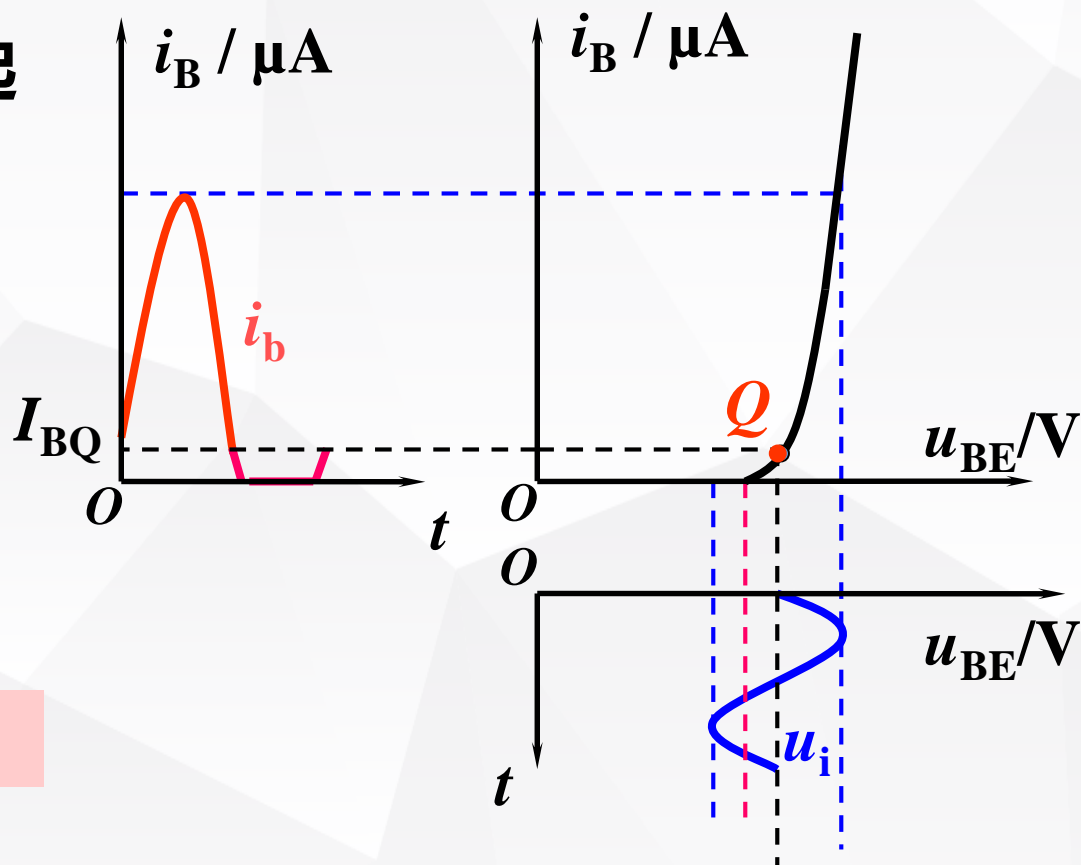
图 2.4.3(a)

$$A_u = \frac{\Delta u_{CE}}{\Delta u_{BE}} = \frac{-3}{0.04} = -75$$

### 三、波形非线性失真的分析

1. 静态工作点过低，引起  
 $i_B$ 、 $i_C$ 、 $u_{CE}$  的波形失真

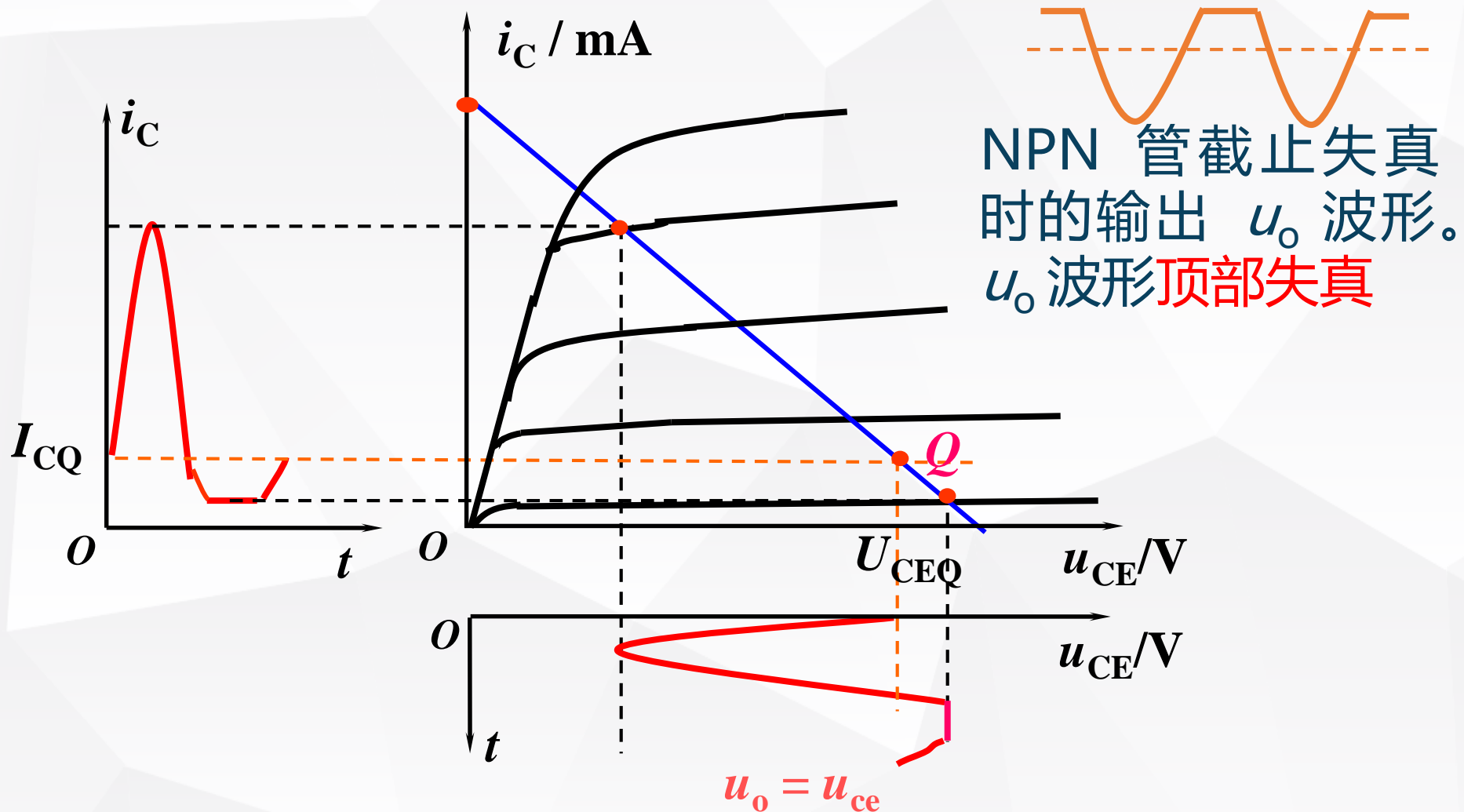
—— 截止失真



结论：  $i_B$  波形失真

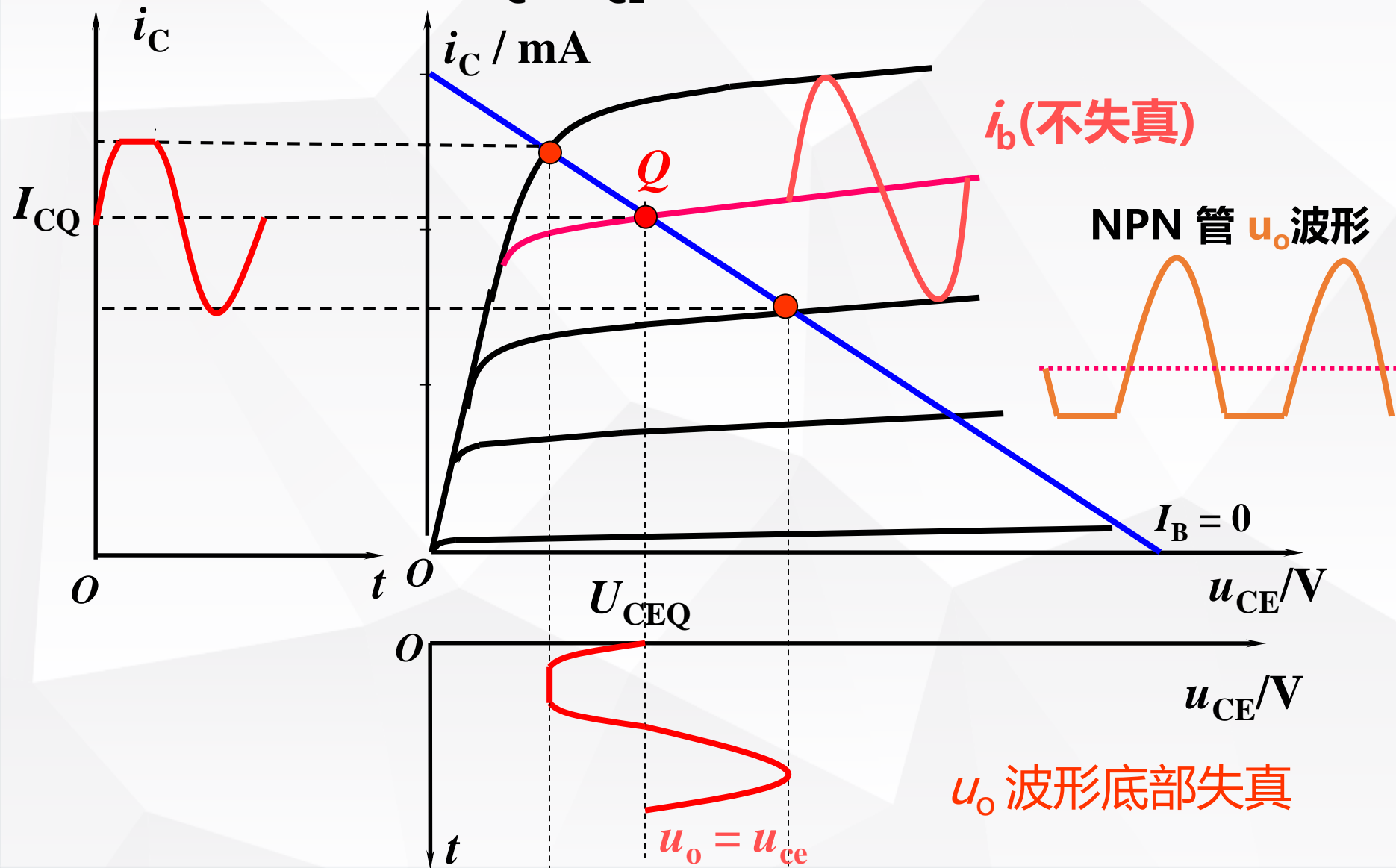
## 03 基本放大电路

### $i_C$ 、 $u_{CE}$ ( $u_o$ ) 波形失真



## 03 基本放大电路

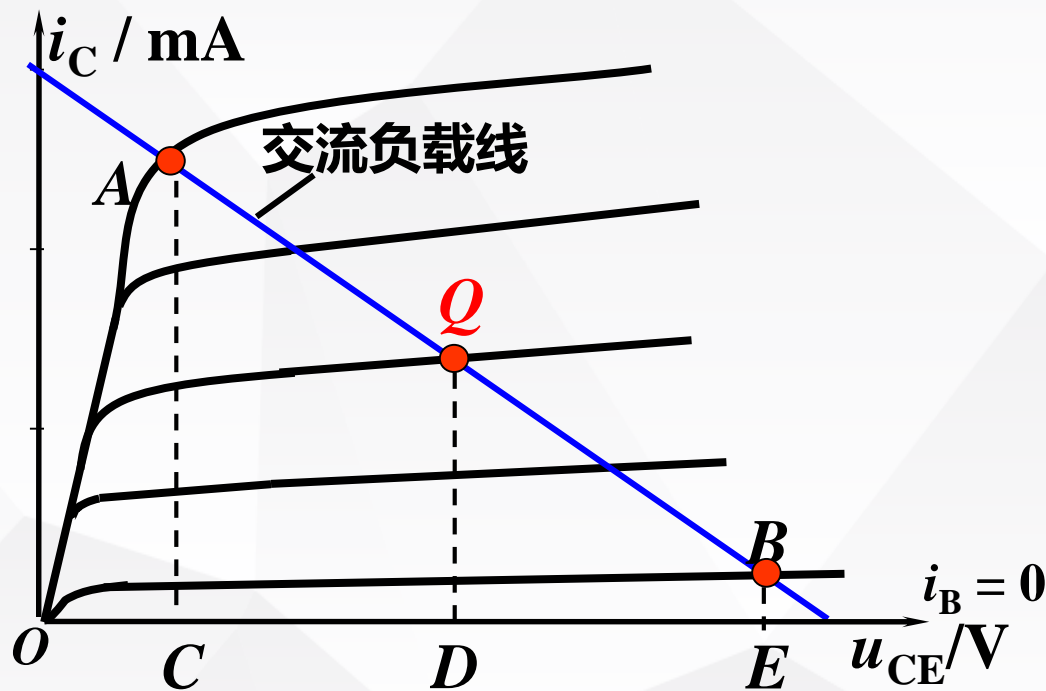
### 2. $Q$ 点过高, 引起 $i_c$ 、 $u_{CE}$ 的波形失真—饱和失真



## 03 基本放大电路

### 3. 用图解法估算最大输出幅度

输出波形没有明显失真时能够输出最大电压。即输出特性的  $A$ 、 $B$  所限定的范围



问题：如何求最大不失真输出电压？

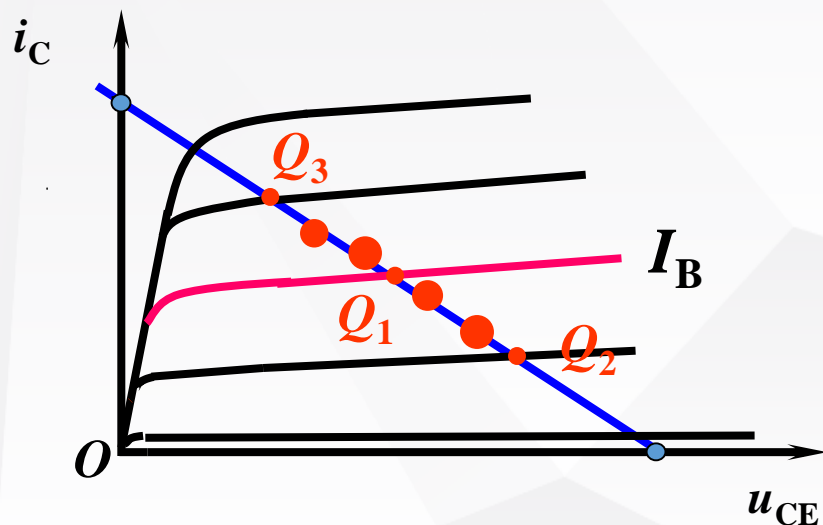
$$U_{omax} = \min[(U_{CEQ} - U_{CES}), (U_{CC}' - U_{CEQ})]$$

$Q$  尽量设在线段  $AB$  的中点。则  $AQ = QB$ ,  $CD = DE$

## 03 基本放大电路

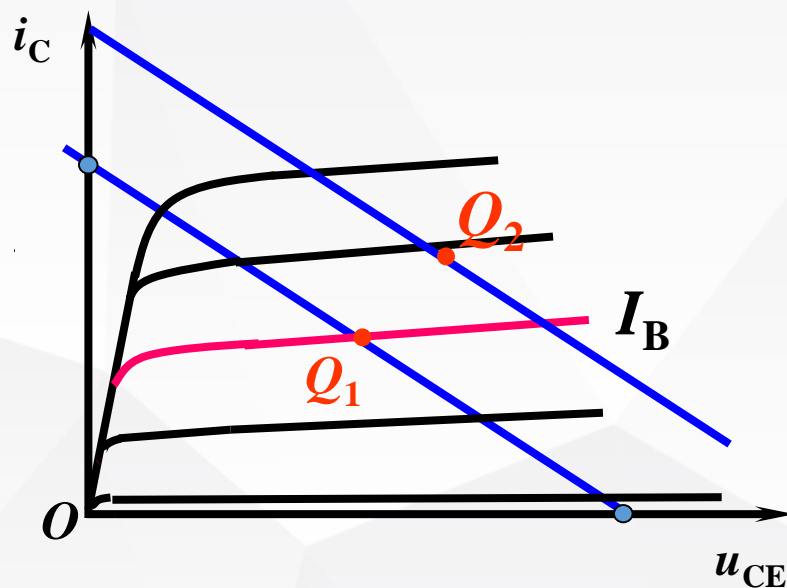
### 4. 用图解法分析电路参数对静态工作点的影响

(1) 改变  $R_b$ , 保持  $V_{CC}$ ,  $R_c$ ,  $\beta$  不变;



$R_b$  增大,  $Q$  点下移;  
 $R_b$  减小,  $Q$  点上移;

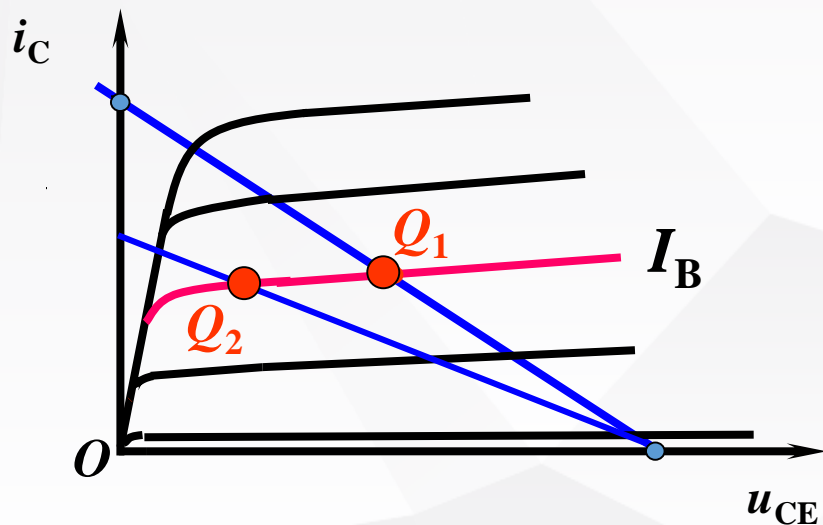
(2) 改变  $V_{CC}$ , 保持  $R_b$ ,  $R_c$ ,  $\beta$  不变;



升高  $V_{CC}$ , 直流负载线平行右移, 动态工作范围增大, 但管子的动态功耗也增大

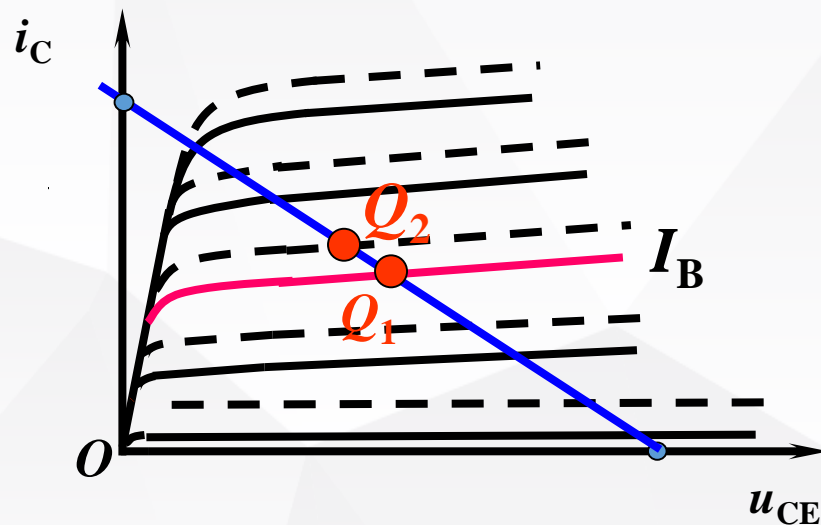
## 03 基本放大电路

3. 改变  $R_c$ , 保持  $R_b$ ,  $V_{CC}$ ,  $\beta$  不变;



增大  $R_c$ , 直流负载线斜率改变, 则  $Q$  点向饱和区移近。

4. 改变  $\beta$ , 保持  $R_b$ ,  $R_c$ ,  $V_{CC}$  不变;



增大  $\beta$ ,  $I_{CQ}$  增大,  $U_{CEQ}$  减小, 则  $Q$  点移近饱和区。



### 图解法小结

1. 能够形象地显示静态工作点的位置与非线性失真的关系；
2. 方便估算最大输出幅值的数值；
3. 可直观表示电路参数对静态工作点的影响；
4. 有利于对静态工作点  $Q$  的检测等。

### 等效电路法

晶体管在小信号(微变量)情况下工作时，可以在静态工作点附近的小范围内用直线段近似地代替三极管的特性曲线，三极管就可以等效为一个线性元件。这样就可以将非线性元件晶体管所组成的放大电路等效为一个线性电路。

#### 一、微变等效条件

{ 研究的对象仅仅是变化量  
信号的变化范围很小

## 03基本放大电路

### 二、晶体管共射参数等效模型

#### 1. H(hybrid)参数的引出

输入、输出特性如下：

$$i_B = f(v_{BE}) \Big|_{v_{CE} = \text{const}}$$

$$i_C = f(v_{CE}) \Big|_{i_B = \text{const}}$$

可以写成： $v_{BE} = f(i_B, v_{CE})$

$$i_C = f(i_B, v_{CE})$$

BJT双口网络

在小信号情况下，对上两式取全微分得

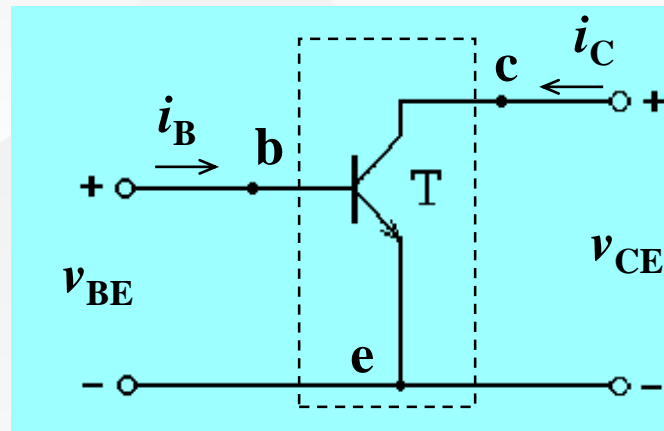
$$dv_{BE} = \frac{\partial v_{BE}}{\partial i_B} \Big|_{v_{CE}} \cdot di_B + \frac{\partial v_{BE}}{\partial v_{CE}} \Big|_{I_B} \cdot dv_{CE}$$

$$di_C = \frac{\partial i_C}{\partial i_B} \Big|_{v_{CE}} \cdot di_B + \frac{\partial i_C}{\partial v_{CE}} \Big|_{I_B} \cdot dv_{CE}$$

用小信号交流分量表示

$$v_{be} = h_{ie} i_b + h_{re} v_{ce}$$

$$i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} v_{ce}$$



## 03基本放大电路

### 2. H参数的物理意义

其中:

$$h_{ie} = \left. \frac{\partial v_{BE}}{\partial i_B} \right|_{V_{CE}}$$

输出端交流短路时的输入电阻;

$$h_{fe} = \left. \frac{\partial i_C}{\partial i_B} \right|_{V_{CE}}$$

输出端交流短路时的正向电流传输比或电流放大系数;

$$h_{re} = \left. \frac{\partial v_{BE}}{\partial v_{CE}} \right|_{I_B}$$

输入端交流开路时的反向电压传输比;

$$h_{oe} = \left. \frac{\partial i_C}{\partial v_{CE}} \right|_{I_B}$$

输入端交流开路时的输出电导。

四个参数量纲各不相同, 故称为混合参数。

$$v_{be} = h_{ie} i_b + h_{re} v_{ce}$$

$$i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} v_{ce}$$

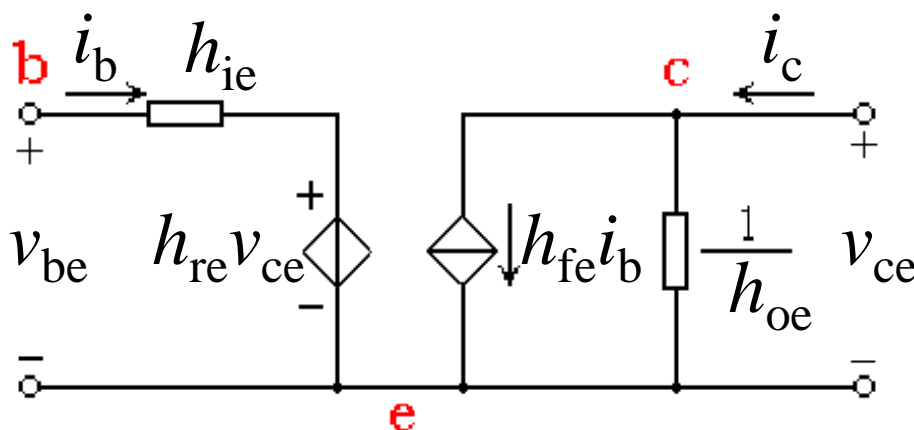
hybrid (H参数)

## 03 基本放大电路

### 3. H参数小信号模型

- H参数都是小信号参数，即微变参数或交流参数。
- H参数与工作点有关，在放大区基本不变。
- H参数都是微变参数，所以只适合对交流信号的分析。

BJT双口网络



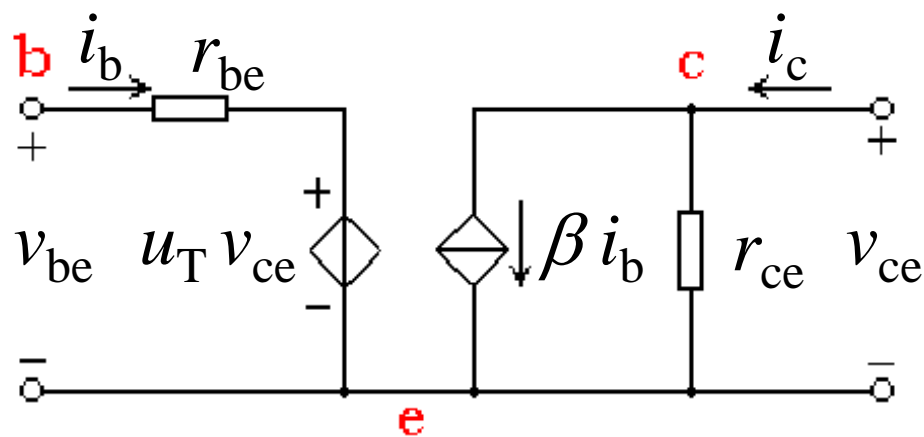
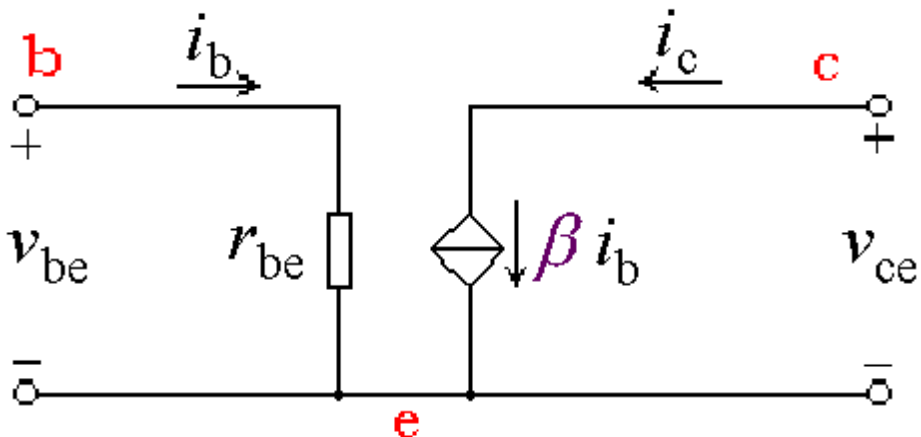
BJT的H参数模型

## 03基本放大电路

### 4. 简化的H参数等效模型

- $\beta i_b$  是受控源，且为电流控制电流源(CCCS)。
- 电流方向与 $i_b$ 的方向是关联的。

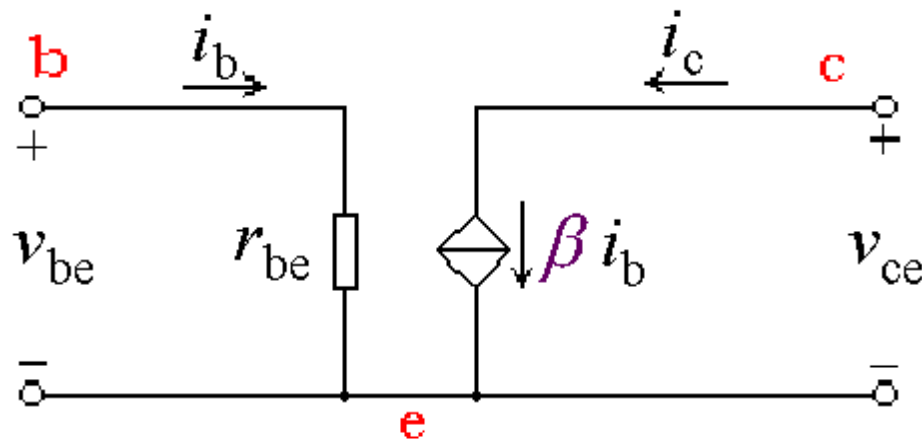
- $u_T$ 很小，一般为 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ ，
- $r_{ce}$ 很大，约为 $100\text{k}\Omega$ 。故一般可忽略它们的影响，得到简化电路



## 03基本放大电路

### 5. H参数的确定

- $\beta$  一般用测试仪测出;
- $r_{be}$  与Q点有关, 可用图示仪测出。



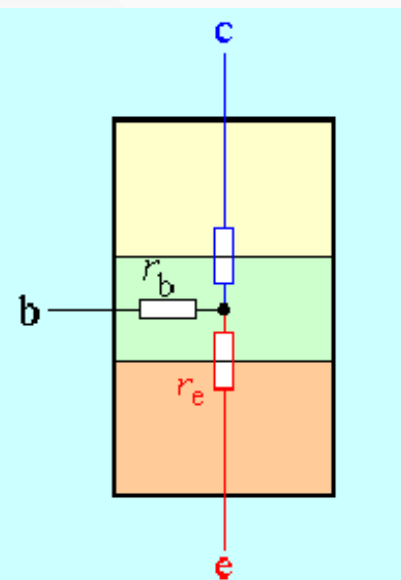
一般也用公式估算  $r_{be}$

对于低频小功率管  $r_b \approx (100 - 300) \Omega$

$$r_{be} = r_b + (1 + \beta) r_e$$

而 
$$r_e = \frac{V_T(\text{mV})}{I_{EQ}(\text{mA})} = \frac{26(\text{mV})}{I_{EQ}(\text{mA})} \quad (T=300\text{K})$$

则 
$$r_{be} \approx 200\Omega + (1 + \beta) \frac{26(\text{mV})}{I_{EQ}(\text{mA})}$$

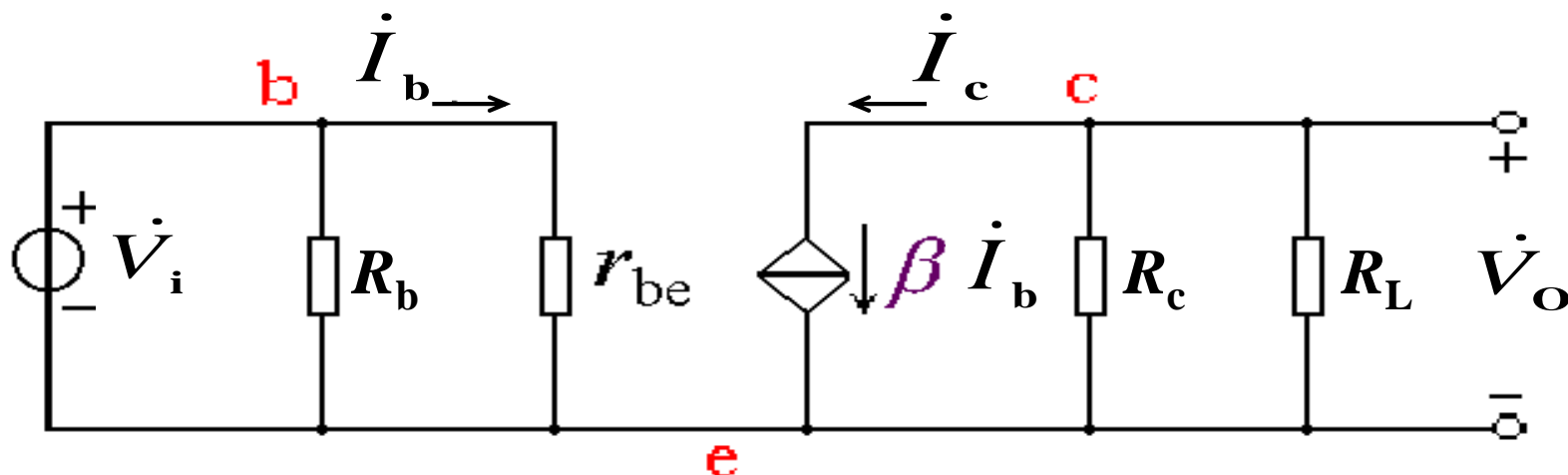
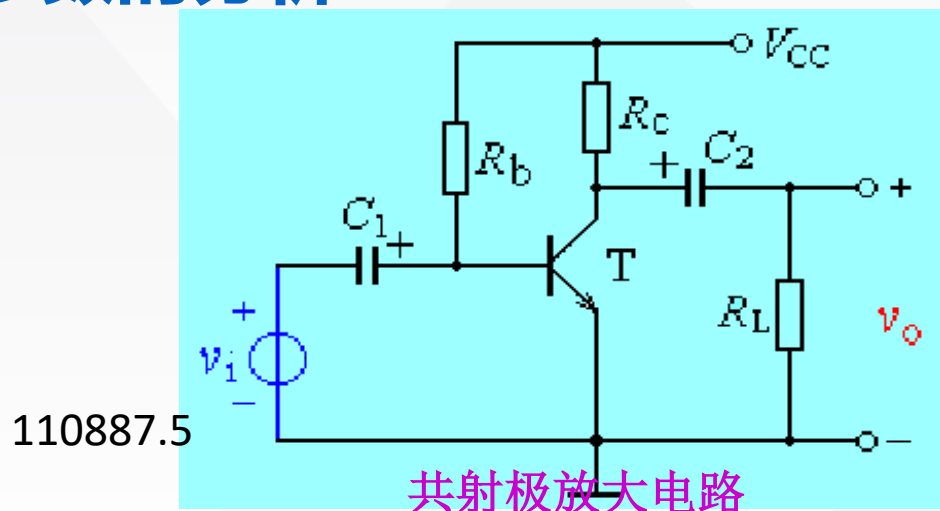


### 三、共射放大电路动态参数的分析

电路动态参数的分析就是  
求解电路电压放大倍数、  
输入电阻、输出电阻。

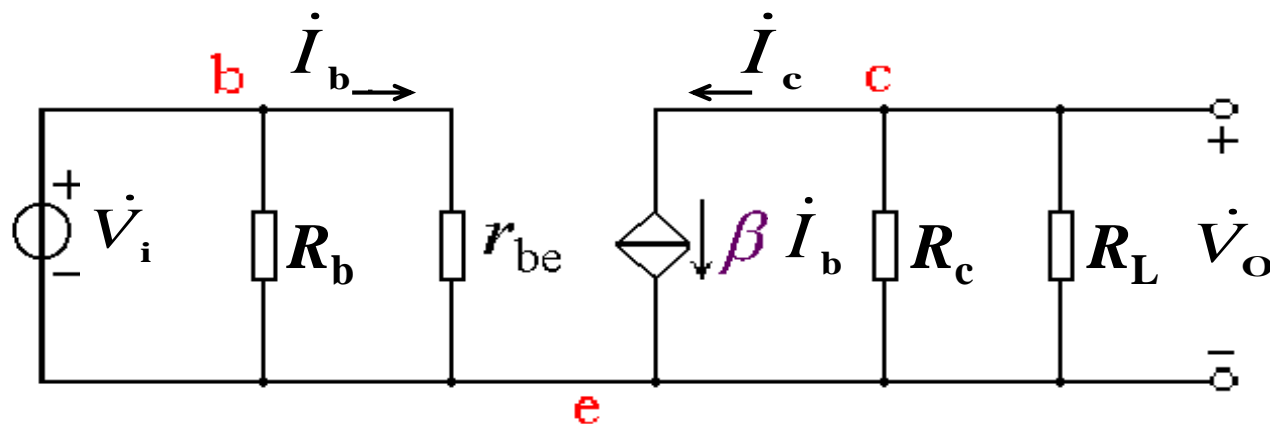
解题的方法是：

作出h参数的交流等效电路





### 1. 求电压放大倍数 (电压增益)



根据

$$\dot{V}_i = \dot{I}_b \cdot r_{be} \quad \dot{I}_c = \beta \cdot \dot{I}_b$$

$$\dot{V}_o = -\dot{I}_c \cdot (R_c // R_L)$$

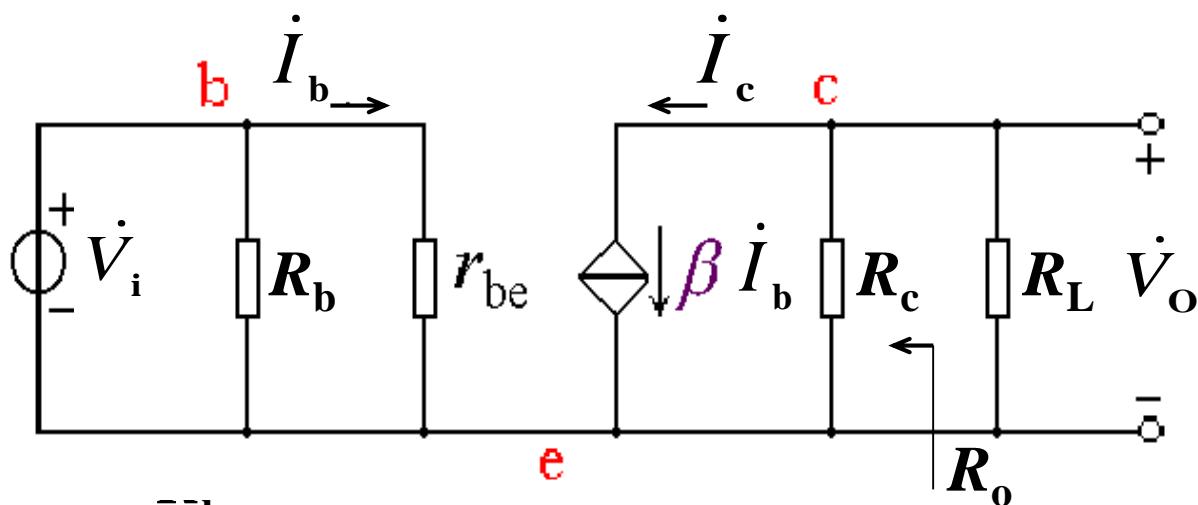
则电压增益为

$$\dot{A}_V = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \frac{-\dot{I}_c \cdot (R_c // R_L)}{\dot{I}_b \cdot r_{be}}$$

(可作为公式)

$$= \frac{-\beta \cdot \dot{I}_b \cdot (R_c // R_L)}{\dot{I}_b \cdot r_{be}} = -\frac{\beta \cdot (R_c // R_L)}{r_{be}}$$

## 2. 求输入电阻



$$R_i = \frac{\dot{V}_i}{\dot{I}_i} = R_b // r_{be}$$

## 3. 求输出电阻 $R_o = \left. \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_o} \right|_{\substack{\dot{U}_s=0 \\ R_L=\infty}}$

$$\text{令 } \dot{V}_i = 0 \quad \Rightarrow \quad \dot{I}_b = 0 \quad \Rightarrow \quad \beta \cdot \dot{I}_b = 0$$

$$\text{所以 } R_o = R_c$$

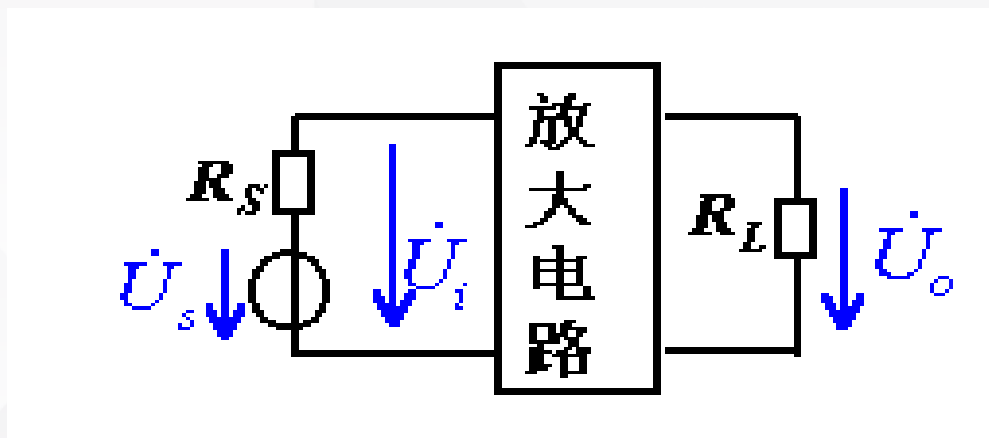
### 4.当信号源有内阻时:

求  $\dot{A}_{us} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s}$

设  $\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}$

$$\dot{U}_i = \frac{R_i}{R_s + R_i} \dot{U}_s$$

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



$R_i$ 为放大电路的输入电阻

## 03基本放大电路

例 如图, 已知BJT的 $\beta=100$ ,  $U_{BE}=-0.7V$ 。

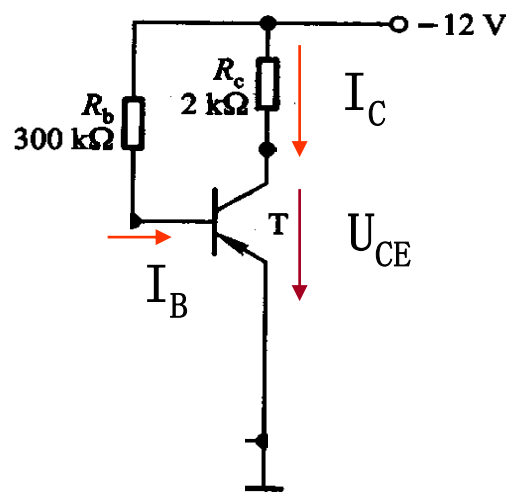
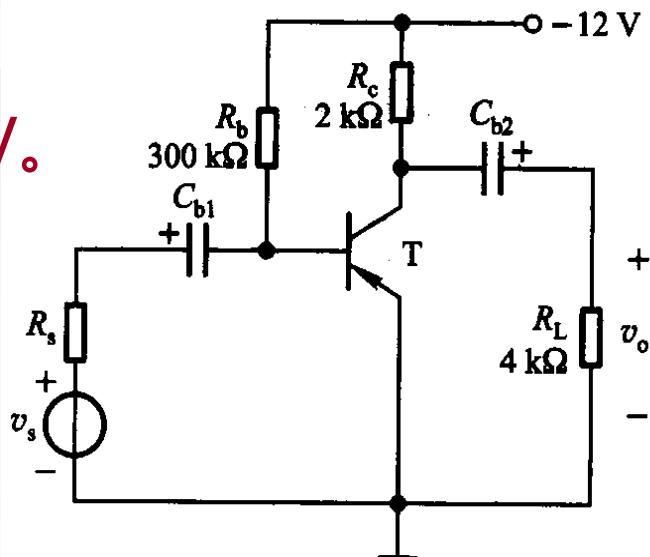
- (1) 试求该电路的静态工作点;
- (2) 画出简化的小信号等效电路;
- (3) 求该电路的电压增益 $A_v$ ,  
输出电阻 $R_o$ 、输入电阻 $R_i$ 。

解 (1) 求Q点, 作直流通路

$$I_B = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_b} = \frac{-12 - (-0.7)}{300K} \approx -40\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 100 \times (-40) = -4mA$$

$$U_{CE} = V_{CC} - I_C R_c = -12 + 4 \times 2 = -4V$$



## 03基本放大电路

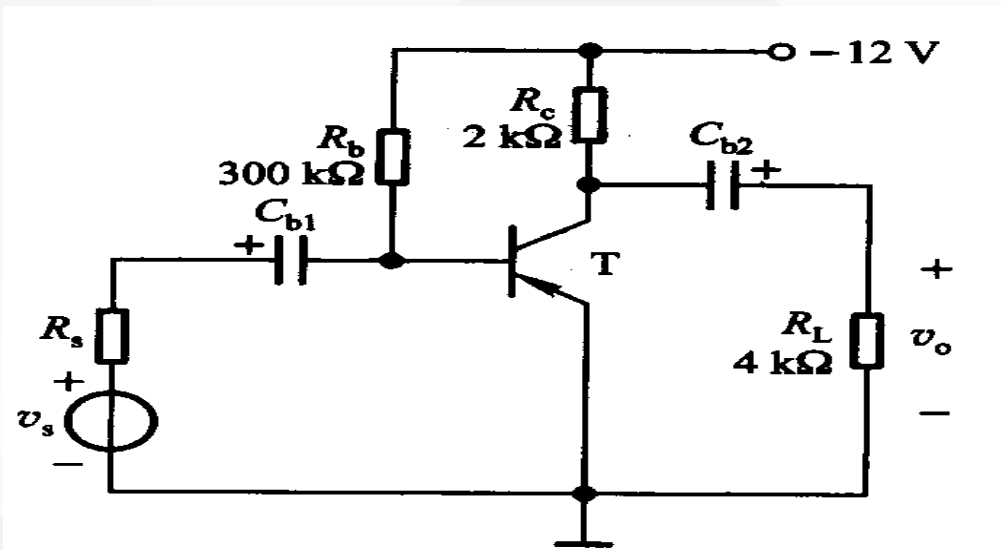
### 2. 画出小信号等效电路

### 3. 求电压增益

$$r_{be} \approx 200\Omega + (1 + \beta) \frac{26(\text{mV})}{I_{EQ}(\text{mA})}$$

$$= 200 + (1 + 100) \cdot 26/4$$

$$= 865\Omega$$



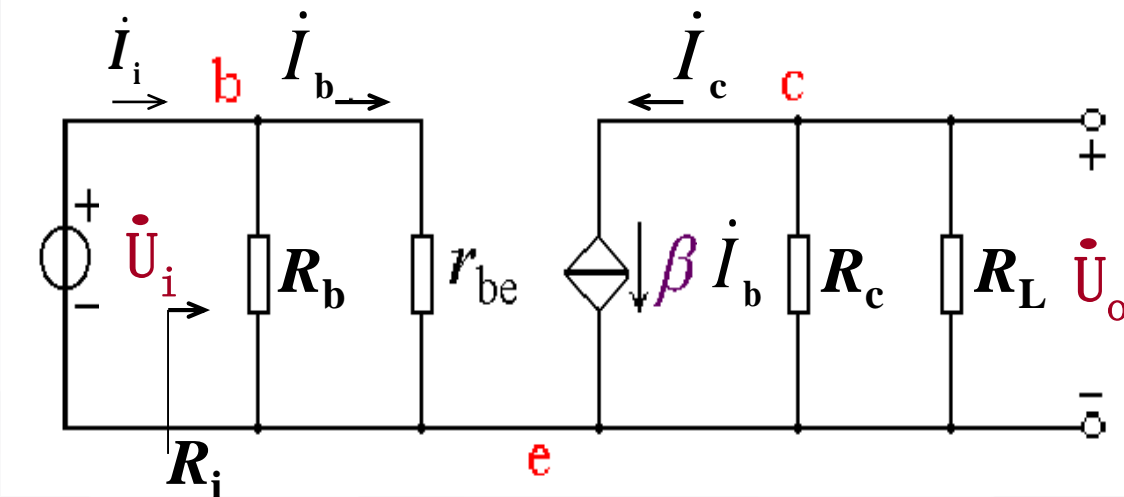
$$\begin{aligned} \dot{A}_v &= \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\dot{I}_c \cdot (R_c // R_L)}{\dot{I}_b \cdot r_{be}} \\ &= \frac{-\beta \cdot \dot{I}_b \cdot (R_c // R_L)}{\dot{I}_b \cdot r_{be}} = -\frac{\beta \cdot (R_c // R_L)}{r_{be}} \approx -155.6 \end{aligned}$$

## 03 基本放大电路

### 4. 求输入电阻

$$R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i} = R_b // r_{be}$$

$$\approx 865\Omega$$



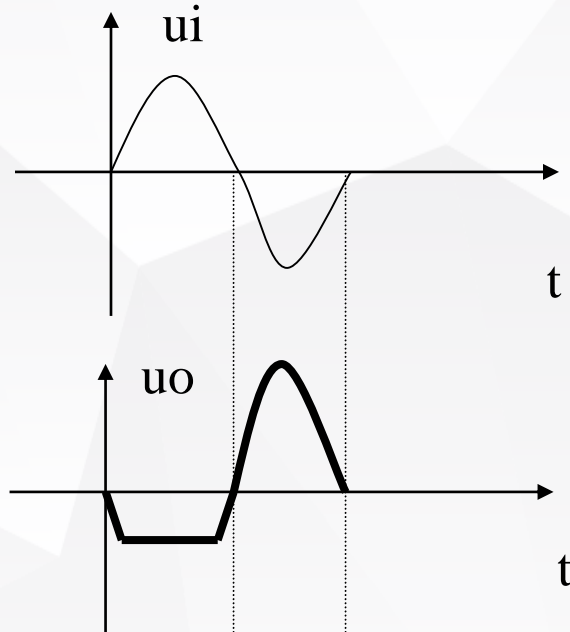
$$R_o = R_c = 2K$$

### 5. 求输出电阻

### 6. 非线性失真判断

底部失真即截止失真

基极电流太小，应减小  
基极电阻。



### 等效电路法的步骤(归纳)

1. 首先利用图解法或近似估算法确定放大电路的静态工作点  $Q$
2. 求出静态工作点处的微变等效电路参数  $\beta$  和  $r_{be}$
3. 画出放大电路的微变等效电路。可先画出三极管的等效电路，然后画出放大电路其余部分的交流通路
4. 列出电路方程并求解

### 3.3 分压偏置式共射极放大电路

#### 静态工作点稳定的必要性

三极管是一种对温度十分敏感的元件。温度变化对管子参数的影响主要表现在：

1.  $U_{BE}$  改变。  $U_{BE}$  的温度系数约为  $-2 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ ，即温度每升高  $1^{\circ}\text{C}$ ，  $U_{BE}$  约下降  $2 \text{ mV}$ 。

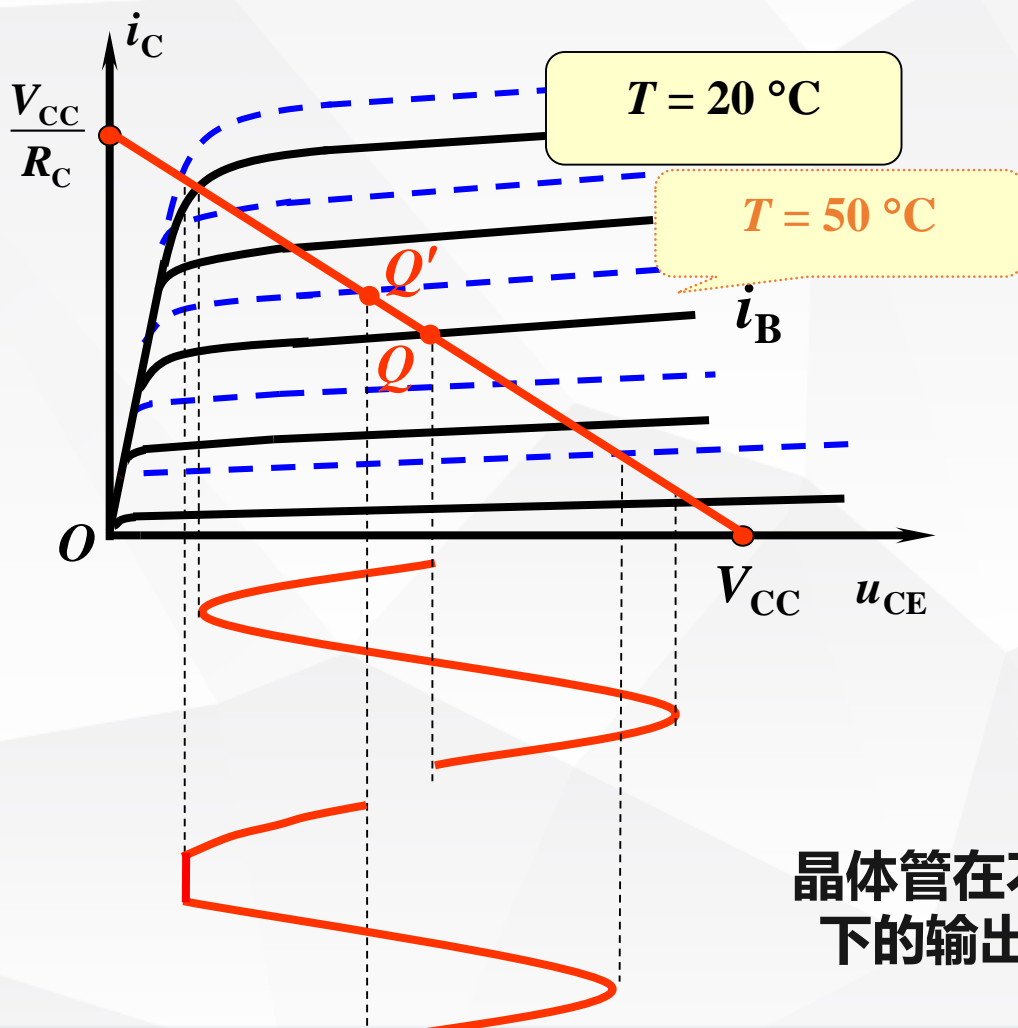
2.  $\beta$  改变。温度每升高  $1^{\circ}\text{C}$ ，  $\beta$  值约增加  $0.5\% \sim 1\%$ ，  $\beta$  温度系数分散性较大。

3.  $I_{CBO}$  改变。温度每升高  $10^{\circ}\text{C}$ ，  $I_{CBQ}$  大致将增加一倍，说明  $I_{CBQ}$  将随温度按指数规律上升。



## 03 基本放大电路

温度升高将导致  $I_C$  增大， $Q$  上移。波形容易失真



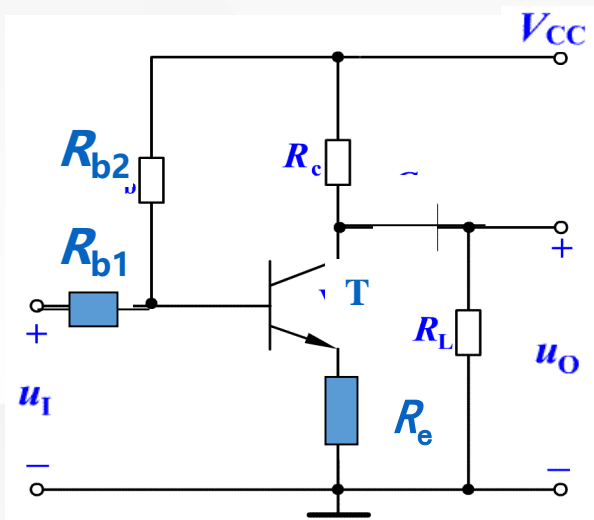
晶体管在不同环境温度下的输出特性曲线图

## 03 基本放大电路

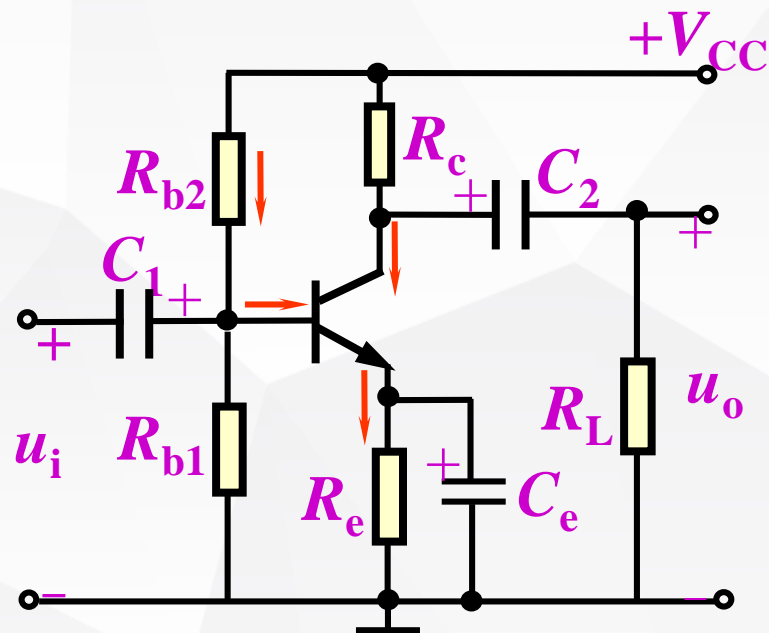
### 典型的静态工作点稳定电路

稳定Q点常引入直流负反馈或温度补偿的方法使  $I_{BQ}$  在温度变化时与  $I_{CQ}$  产生相反的变化

#### 一、电路组成和Q点稳定原理



直接耦合的静态工作点稳定电路



阻容耦合的静态工作点稳定电路

## 03 基本放大电路

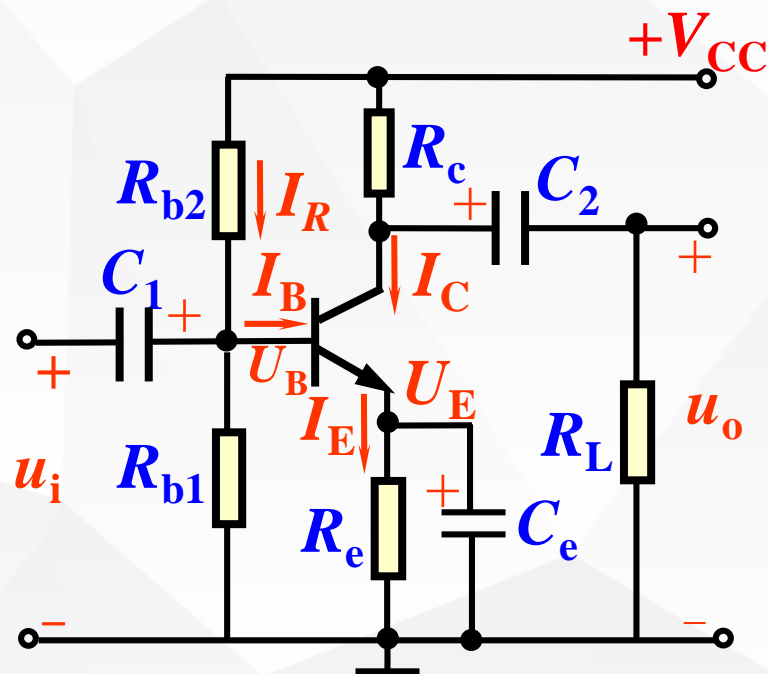
### 阻容耦合的静态工作点稳定电路

由于  $I_R \gg I_{BQ}$ , 可得(估算)

$$U_{BQ} \approx \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} V_{CC}$$

所以  $U_{BQ}$  不随温度变化,

$$\begin{aligned} T \uparrow &\rightarrow I_{CQ} \uparrow \rightarrow I_{EQ} \uparrow \rightarrow U_{EQ} \uparrow \rightarrow U_{BEQ} (= U_{BQ} - U_{EQ}) \\ &\downarrow \rightarrow I_{BQ} \downarrow \rightarrow I_{CQ} \downarrow \end{aligned}$$



阻容耦合的静态工作点稳定电路

——电流负反馈式工作点稳定电路

### 二、静态工作点的估算

由于  $I_R \gg I_{BQ}$ , 可得(估算)

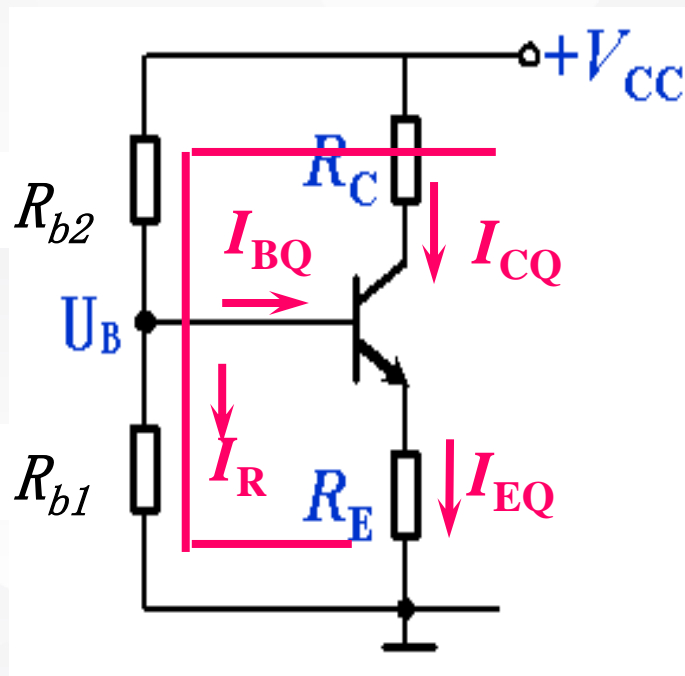
$$U_{BQ} \approx \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} V_{CC}$$

$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{U_{EQ}}{R_e} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_e}$$

$$\begin{aligned} U_{CEQ} &= V_{CC} - I_{CQ} R_c - I_{EQ} R_e \\ &\approx V_{CC} - I_{CQ} (R_c + R_e) \end{aligned}$$

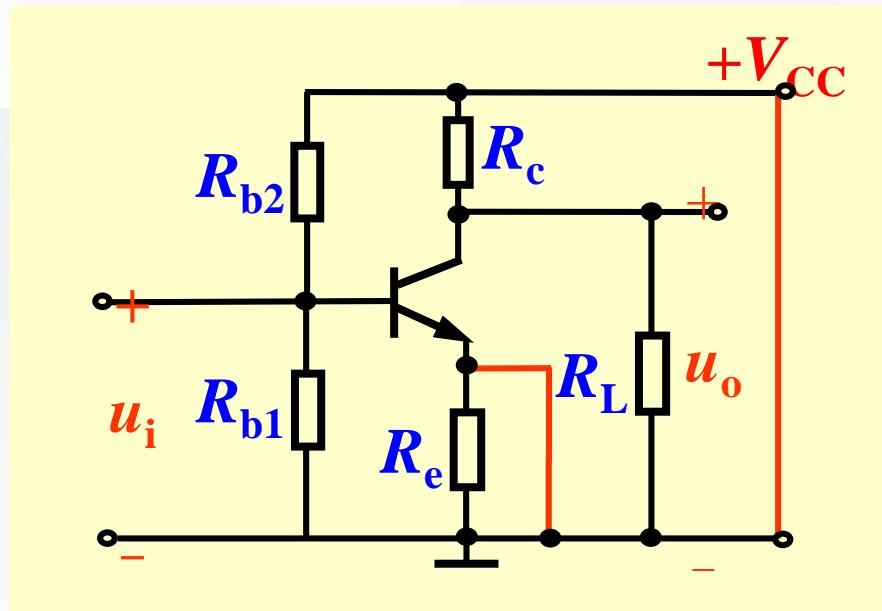
静态基极电流

$$I_{BQ} \approx \frac{I_{CQ}}{\beta}$$



## 03基本放大电路

### 三、动态参数的估算

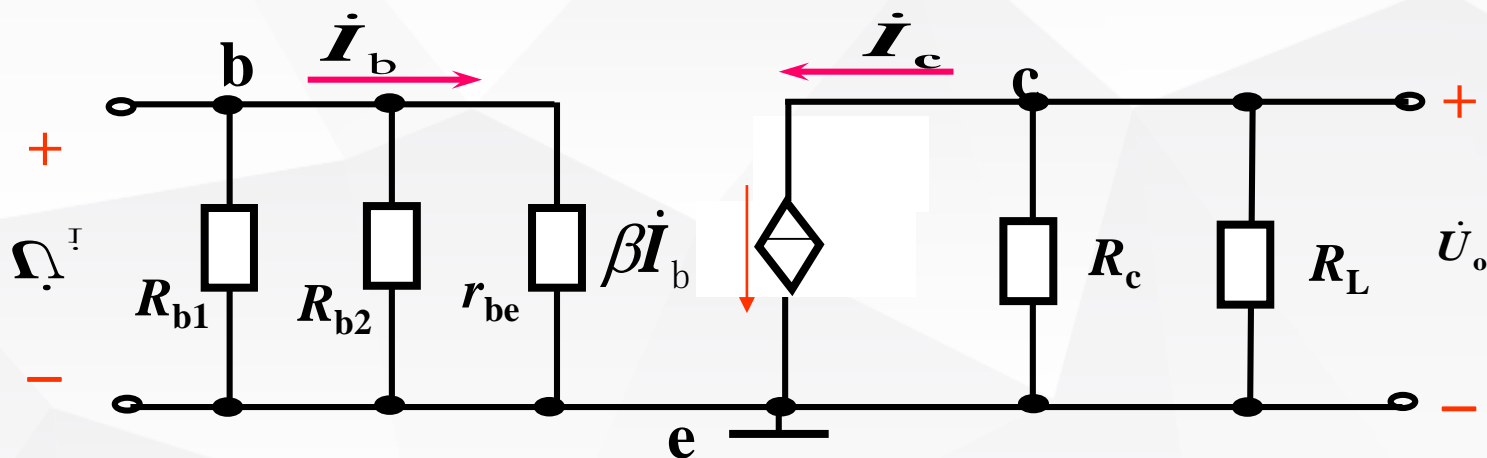


$$\dot{A}_u = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}}$$

$$R'_L = R_c // R_L$$

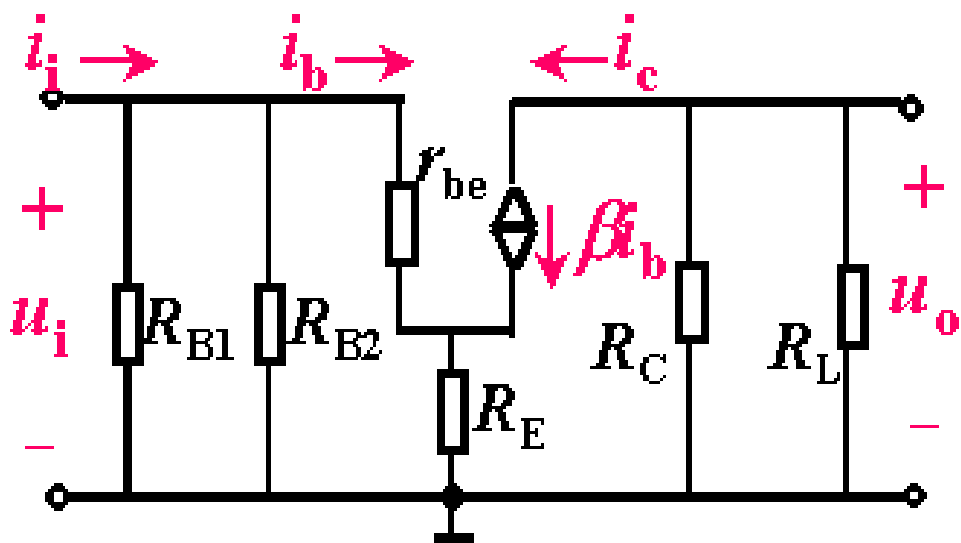
$$R_i = r_{be} // R_{b1} // R_{b2}$$

$$R_o = R_c$$



## 03基本放大电路

如无旁路电容，动态参数如何计算？



无旁路电容时的交流电路

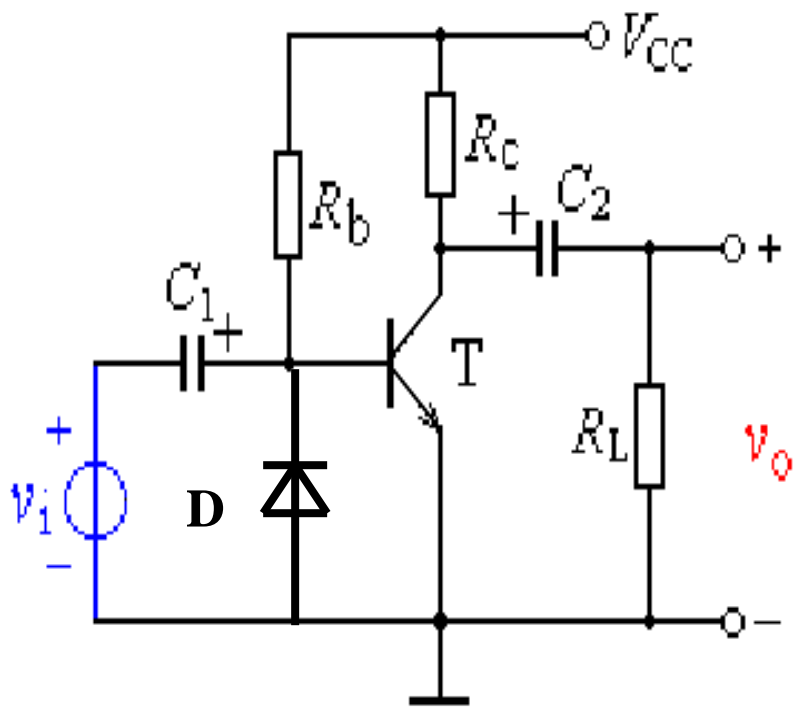
$$\dot{A}_u = - \frac{\beta R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_E}$$

$$R'_L = R_C // R_L$$

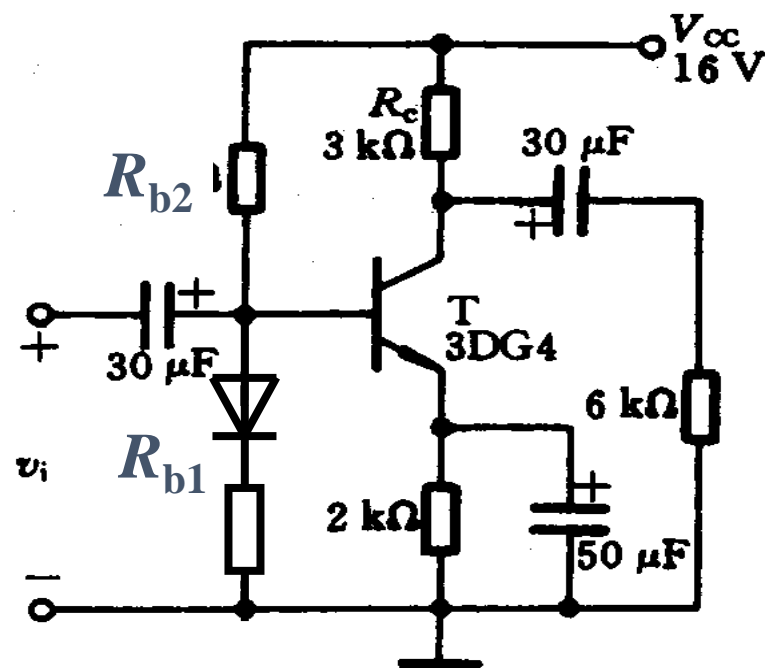
$$R_i = [r_{be} + (1 + \beta) R_E] // R_{B1} // R_{B2}$$

$$R_o = R_C$$

### 稳定静态工作点的其他措施



a利用二极管的反向特性进行温度补偿



b利用二极管的正向特性进行温度补偿

### 复习:

1.如何用图解法求静态工作点?

用解析式求基极电流,

作直线  $U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c$   
与BJT输出特性曲线的交点

2.NPN管共射放大电路Q点设置太低, 输出电压将会如何?  
如何调节?

3.直流通路、交流通路如何绘制?

4.BJT的h参数等效模型如何? 基射极等效电阻如何计算?

5.共射放大电路静态、动态分析包括哪些参数?

6.为什么要稳定静态工作点? 如何稳定?



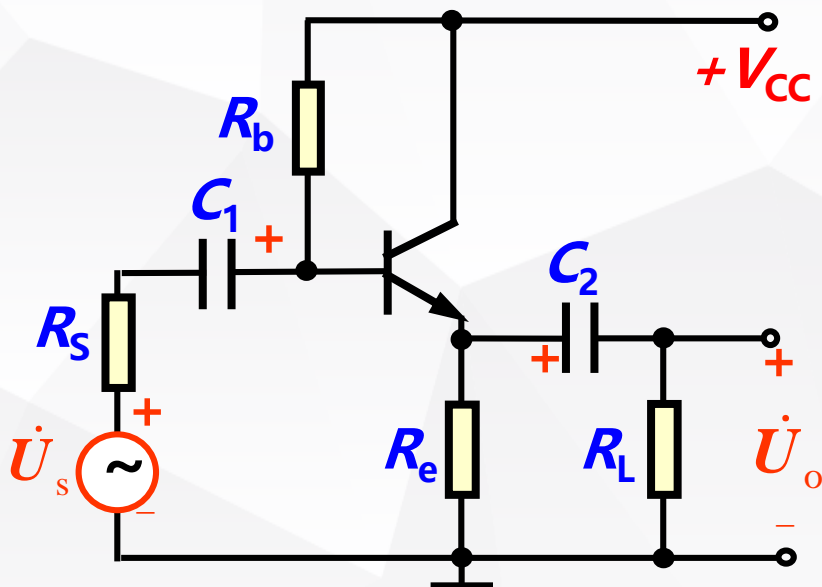
### 3.4 共集电极放大电路

三种基本接法

- 共射组态 CE
- 共集组态 CC
- 共基组态 CB

#### 一、电路的组成

信号从基极输入，  
从发射极输出



基本共集放大电路

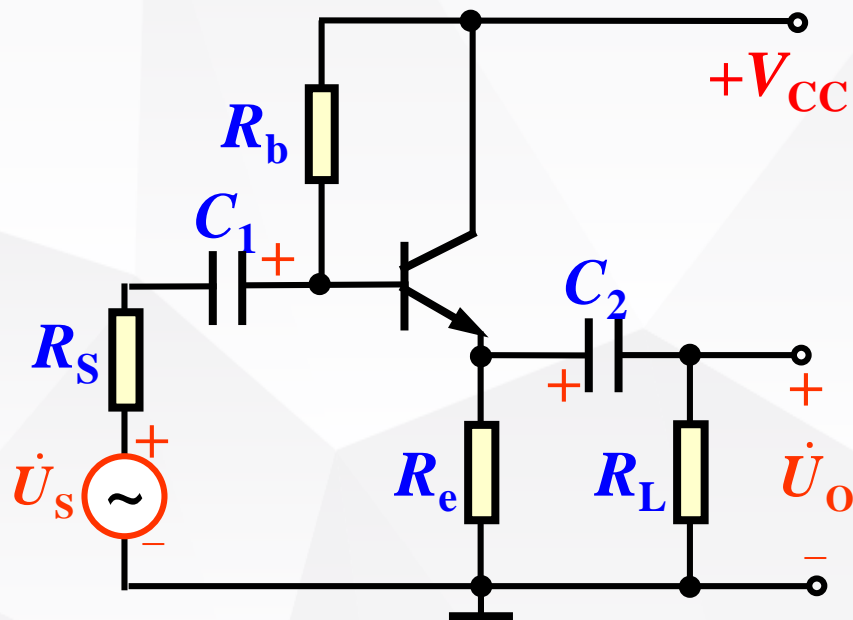
### 二、静态工作点

由基极回路求得静态基极电流

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b + (1 + \beta)R_e}$$

则  $I_{CQ} \approx \beta I_{BQ}$

$$\begin{aligned} U_{CEQ} &= V_{CC} - I_{EQ}R_e \\ &\approx V_{CC} - I_{CQ}R_e \end{aligned}$$



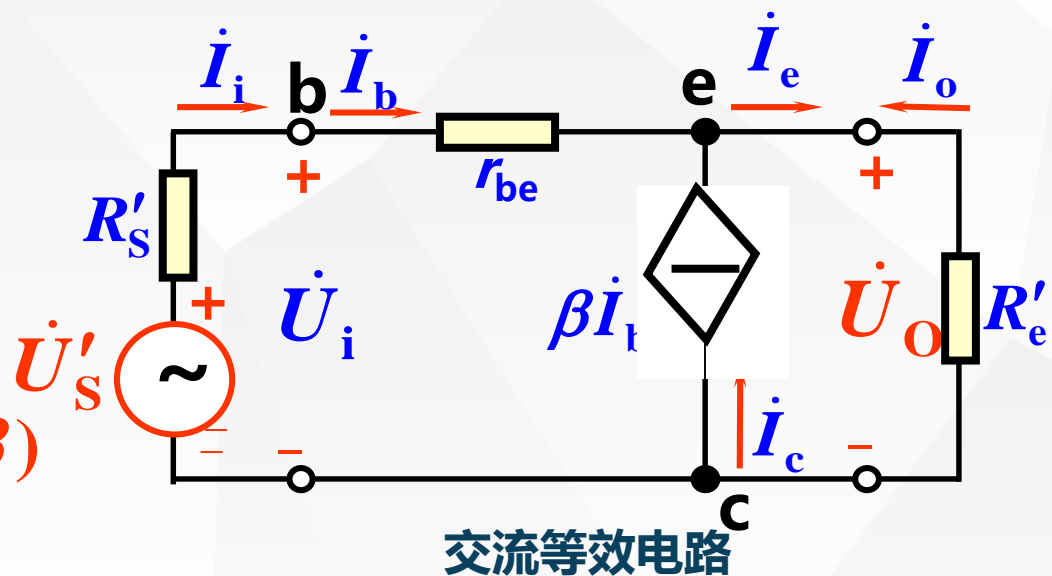
共集电极放大电路

## 03 基本放大电路

### 三、电流放大倍数

$$\dot{I}_i = \dot{I}_b \quad \dot{I}_o = -\dot{I}_e \quad \text{所以}$$

$$\dot{A}_i = \frac{\dot{I}_o}{\dot{I}_i} = -\frac{\dot{I}_e}{\dot{I}_b} = -(1 + \beta)$$



### 四、电压放大倍数

$$\dot{U}_o = \dot{I}_e R'_e = (1 + \beta) \dot{I}_b R'_e$$

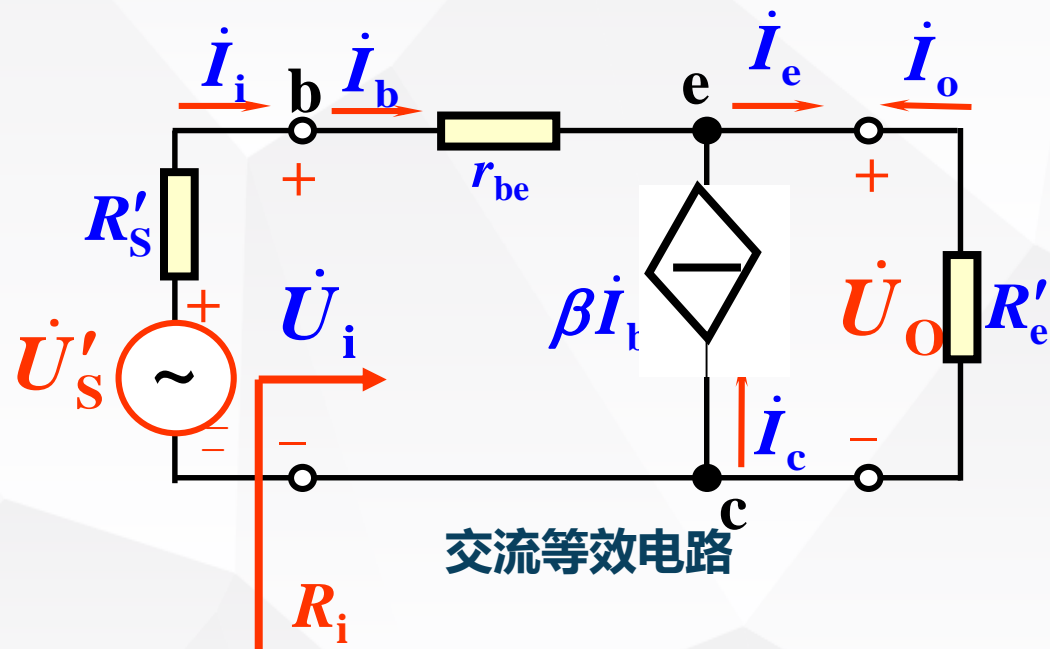
$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{(1 + \beta) R'_e}{r_{be} + (1 + \beta) R'_e}$$

$$\dot{U}_i = \dot{I}_b r_{be} + \dot{I}_e R'_e = \dot{I}_b r_{be} + (1 + \beta) \dot{I}_b R'_e$$

$$R'_e = R_e // R_L$$

结论：电压放大倍数恒小于 1，而接近 1，且输出电压与输入电压同相，又称**射极跟随器**

### 五、输入电阻



$$\dot{U}_i = \dot{I}_b r_{be} + \dot{I}_e R'_e$$

$$R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i} = r_{be} + (1 + \beta) R'_e$$

输入电阻较大

## 六、输出电阻

$$R_o = \left. \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_o} \right|_{\substack{\dot{U}_s=0 \\ R_L=\infty}}$$

如输出端无发射极电阻  $R_e$

$$\dot{U}_o = -\dot{I}_b (r_{be} + R'_s)$$

式中

$$R'_s = R_s // R_b$$

而

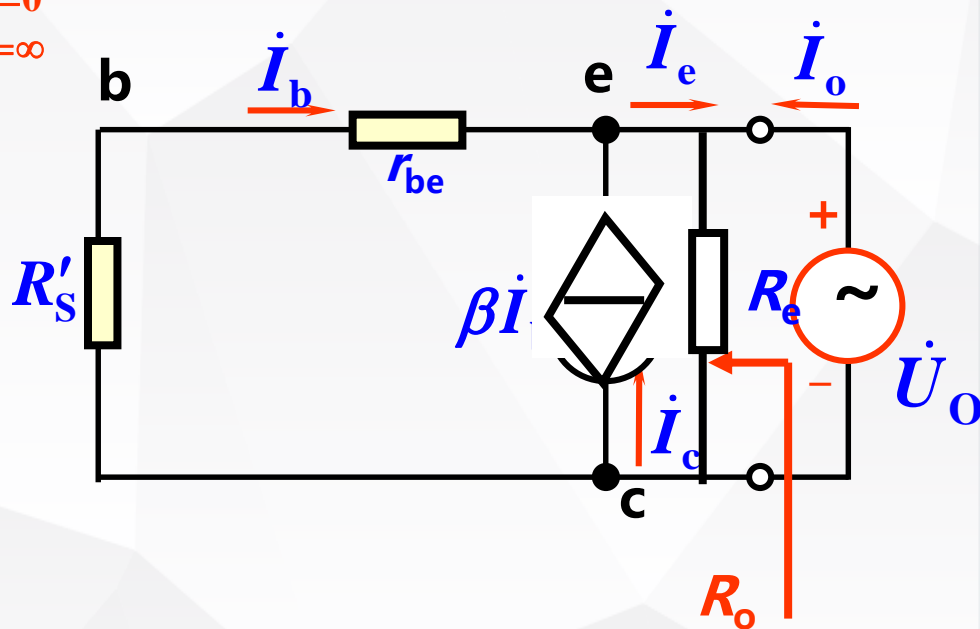
$$\dot{I}_o = -\dot{I}_e = -(1 + \beta)\dot{I}_b$$

所以

$$R_o = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_o} = \frac{r_{be} + R'_s}{1 + \beta}$$

如输出端加上发射极电阻  $R_e$

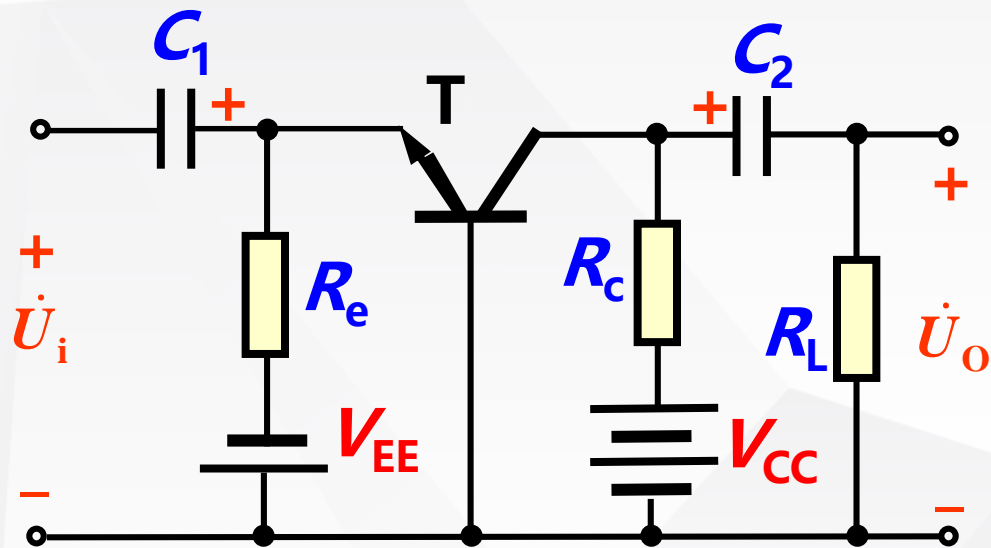
$$R_o = R_e // \frac{r_{be} + R'_s}{1 + \beta}$$



共集放大电路的输出电阻

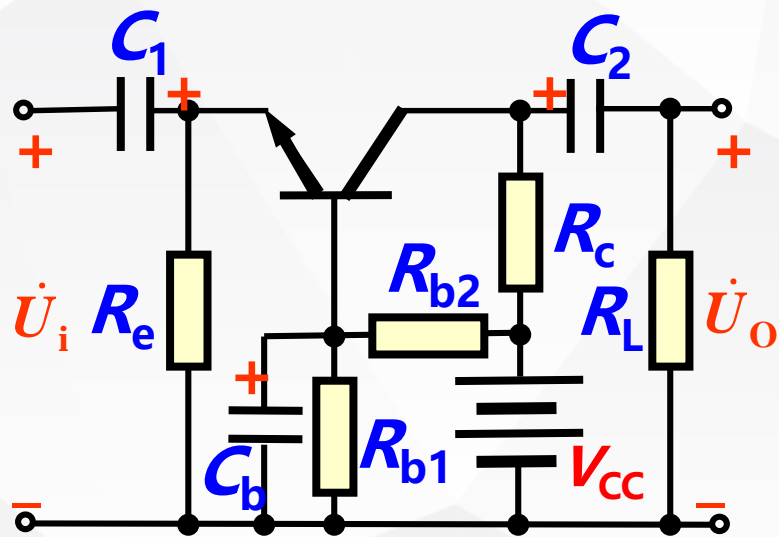
输出电阻低，故带载能力比较强

### 3.5 共基极放大电路



(a) 原理电路

$V_{EE}$  保证发射结正偏；  
 $V_{CC}$  保证集电结反偏；三极管  
工作在放大区。



(b) 实际电路

实际电路采用一个电  
源  $V_{CC}$ ，用  $R_{b1}$ 、 $R_{b2}$  分  
压提供基极正偏电压。

## 03基本放大电路

### 一、静态工作点( $I_{BQ}$ , $I_{CQ}$ , $U_{CEQ}$ )

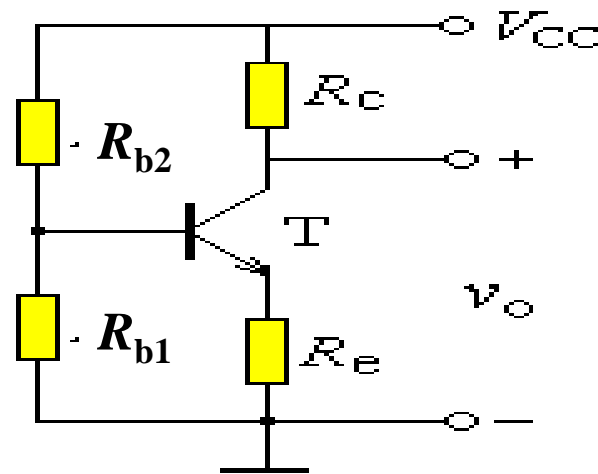
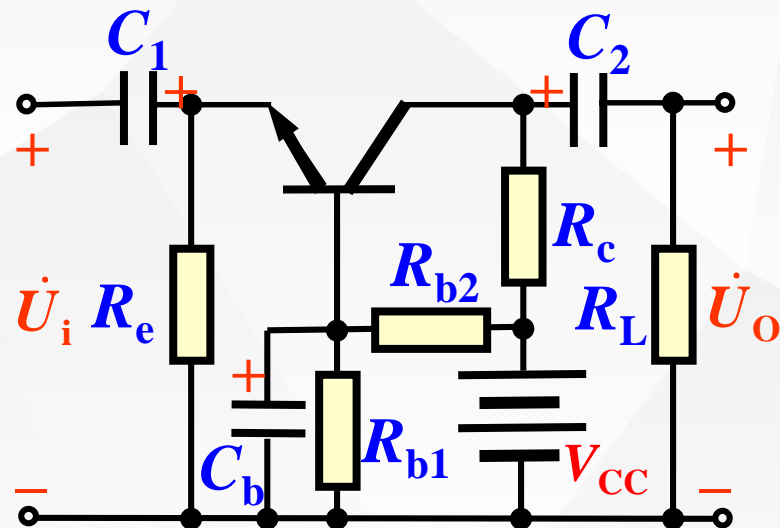
$$I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_e}$$

$$= \frac{1}{R_e} \left( \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} V_{CC} - U_{BEQ} \right)$$

$$\approx I_{CQ}$$

$$I_{BQ} = \frac{I_{EQ}}{1 + \beta}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c - I_{EQ}R_e$$
$$\approx V_{CC} - I_{CQ}(R_c + R_e)$$



## 03 基本放大电路

### 二、电流放大倍数

微变等效电路

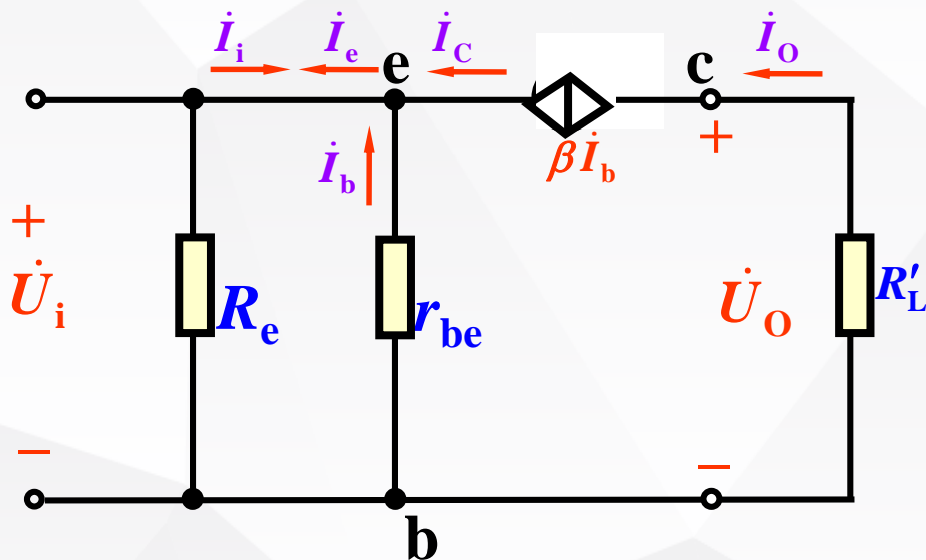
由图可得：

$$\dot{I}_i = -\dot{I}_e, \quad \dot{I}_o = \dot{I}_c$$

所以

$$\dot{A}_i = \frac{\dot{I}_o}{\dot{I}_i} = -\frac{\dot{I}_c}{\dot{I}_e} = -\alpha$$

由于  $\alpha$  小于 1 而近似等于 1，所以共基极放大电路没有电流放大作用



共基极放大电路的等效电路



### 三、电压放大倍数

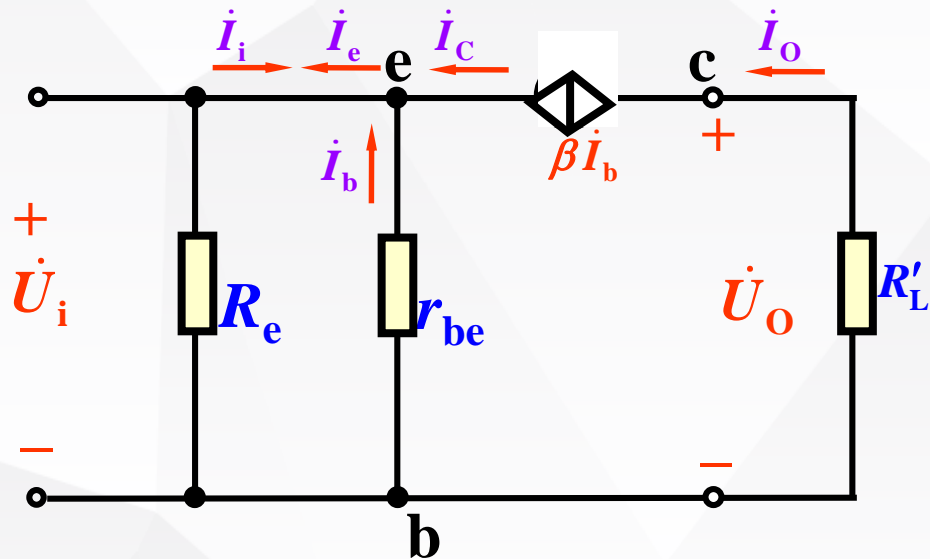
由微变等效电路可得

$$\dot{U}_i = -\dot{I}_b r_{be}$$

$$\dot{U}_o = -\beta \dot{I}_b R'_L$$

所以 
$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{\beta R'_L}{r_{be}}$$

$$R'_L = R_C // R_L$$



共基极放大电路没有电流放大作用，但是**具有电压放大作用**。电压放大倍数与共射电路相等，但没有负号，说明该电路**输入、输出信号同相位**

### 四、输入电阻

暂不考虑电阻  $R_e$  的作用

$$R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i} = \frac{-\dot{I}_b r_{be}}{-(1+\beta)\dot{I}_b} = \frac{r_{be}}{1+\beta}$$

如考虑电阻  $R_e$  的作用

$$R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i} = R_e + \frac{r_{be}}{1+\beta}$$

### 五、输出电阻

$$R_o = R_c.$$

# ➤ 03基本放大电路

## 3.6 三种基本组态的比较

组态 性能	共射组态	共集组态	共基组态
电路			
$\dot{A}_i$	大 $\beta$ (几十 ~ 一百以上)	大 $-(1 + \beta)$ (几十 ~ 一百以上)	小 $-\alpha$
$\dot{A}_u$	大(十几 ~ 一几百) $-\frac{\beta R'_L}{r_{be}}$	小(小于、近于 1) $\frac{(1 + \beta)R'_e}{r_{be} + (1 + \beta)R'_e}$	大(数值同共射电路, 但同相) $\frac{\beta R'_L}{r_{be}}$

## 3.6 三种基本组态的比较

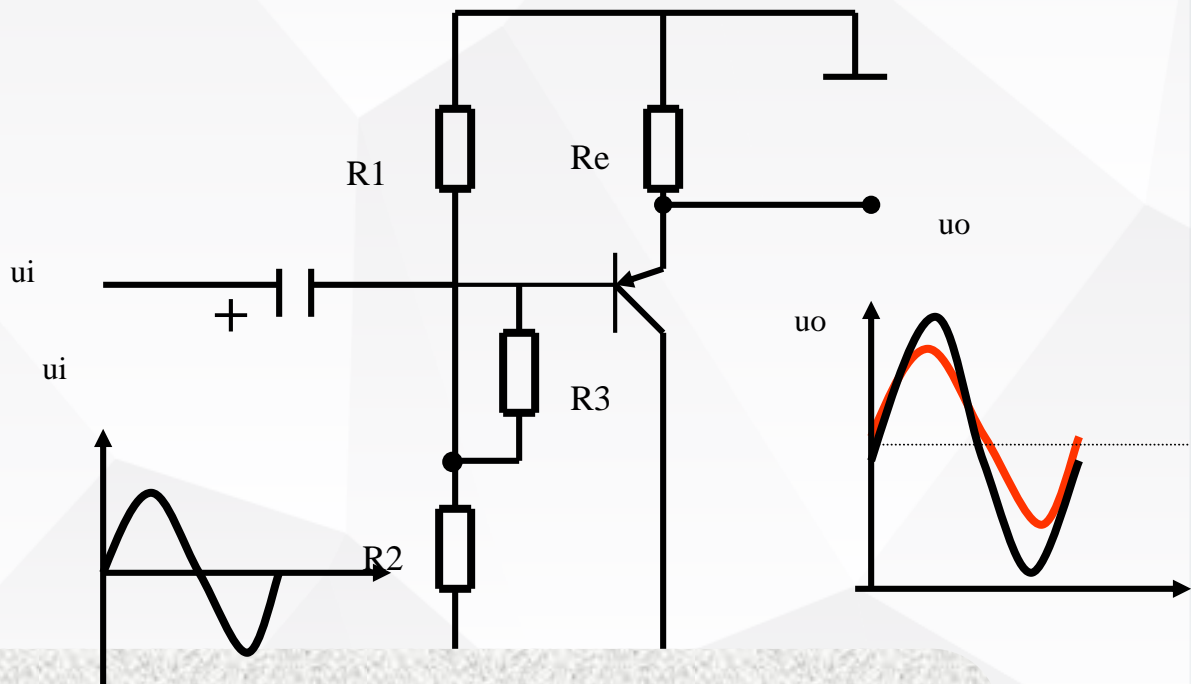
组态 性能	共 射 组 态	共 集 组 态	共 基 组 态
$R_i$	中 (几百欧~几千欧) $r_{be}$	大 (几十千欧以上) $r_{be} + (1 + \beta)R'_e$	小 (几欧 ~ 几十欧) $\frac{r_{be}}{1 + \beta}$
$R_o$	中 (几十千欧~几百千欧) $r_{ce}$	小 (几欧 ~ 几十欧) $\frac{r_{be} + R'_s}{1 + \beta}$	大 (几百千欧 ~ 几兆欧) $(1 + \beta)r_{ce}$
频率 响应	差	较好	好

## 03基本放大电路

**例** 如图属于何种组态？其输出电压的波形是否正确？若有错，请改正。

**解 共集电极组态**

**不正确。**



### 共集电极电路特点：

- ◆ 电压增益小于1但接近于1， $U_o$ 与 $U_i$ 同相。
- ◆ 输入电阻大，对电压信号源衰减小
- ◆ 输出电阻小，带负载能力强

## 03基本放大电路

**例** BJT的电流放大系数为 $\beta$ ，输入电阻为 $r_{be}$ ，略去了偏置电路。试求下列三种情况下的电压增益 $A_v$ 、输入电阻 $R_i$ 和输出电阻 $R_o$ 。

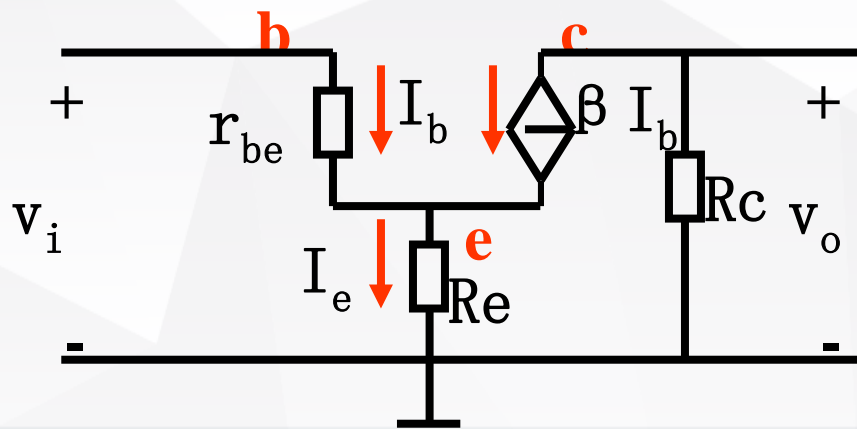
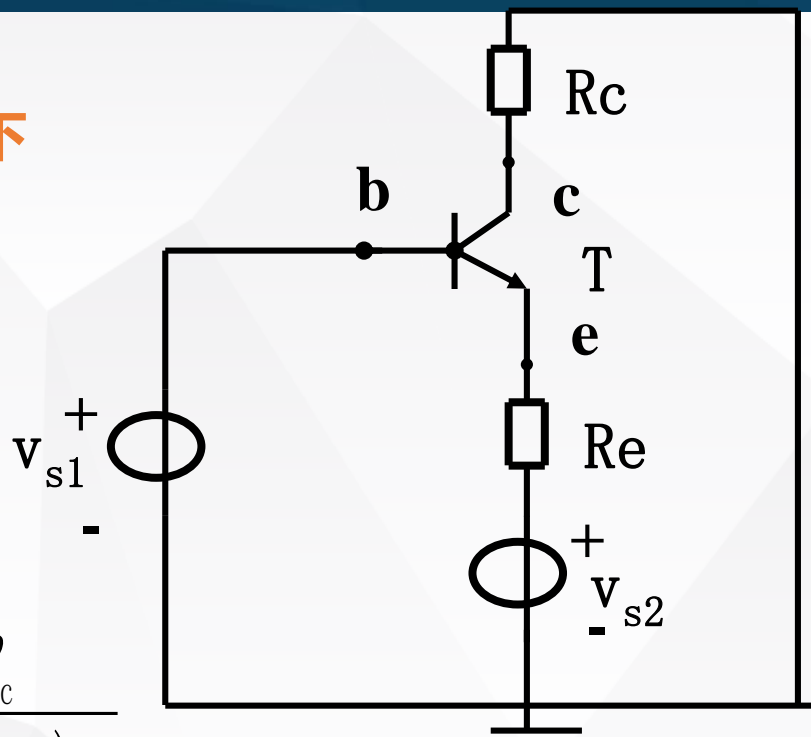
- ①  $v_{s2}=0$ ，从集电极输出；
- ②  $v_{s1}=0$ ，从集电极输出；
- ③  $v_{s2}=0$ ，从发射极输出。

**解** ① 共发射极接法

$$\dot{A}_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \frac{-\beta \cdot \dot{I}_b R_c}{\dot{I}_b [r_{be} + (1 + \beta) R_e]} = -\frac{\beta \cdot R_c}{r_{be} + (1 + \beta) R_e}$$

$$R_i = \frac{\dot{V}_i}{\dot{I}_i} = r_{be} + (1 + \beta) R_e$$

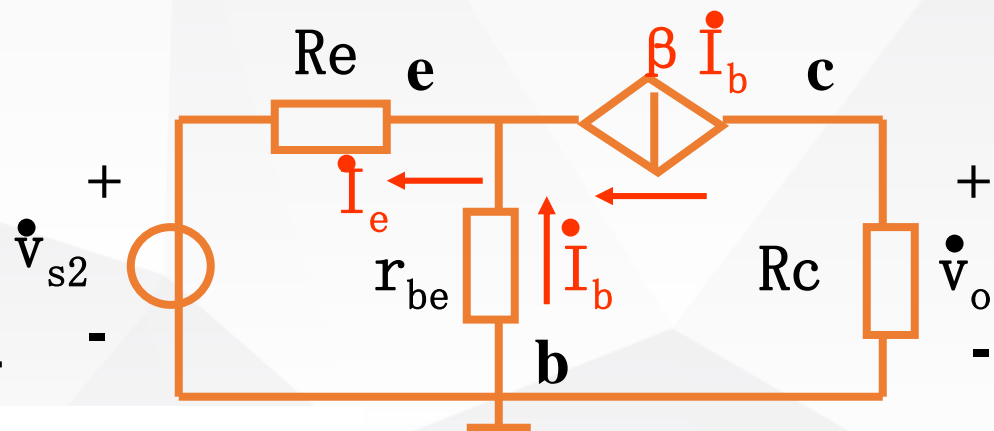
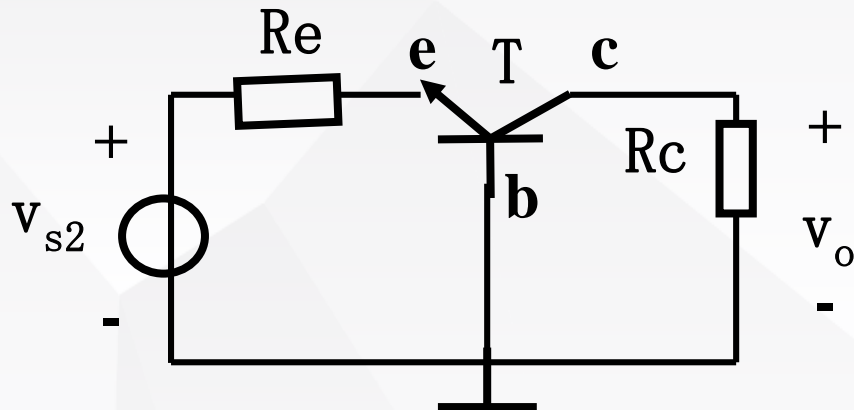
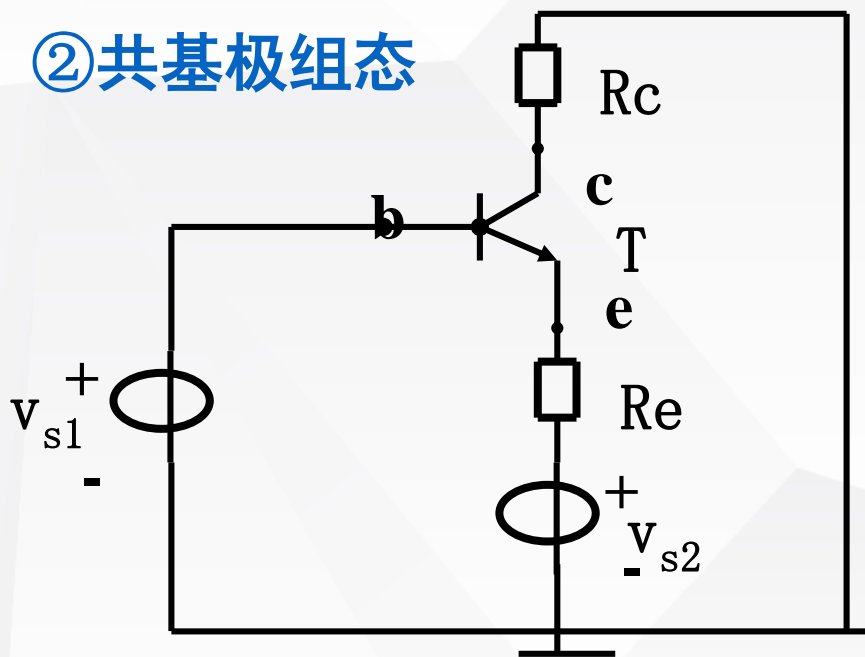
$$R_o \approx R_c$$



## 03 基本放大电路

$v_{s1}=0$ ，从集电极输出

② 共基极组态



$$\dot{A}_V = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \frac{-\beta \cdot \dot{I}_b R_c}{-\dot{I}_b [r_{be} + (1 + \beta) R_e]} = \frac{\beta \cdot R_c}{r_{be} + (1 + \beta) R_e}$$

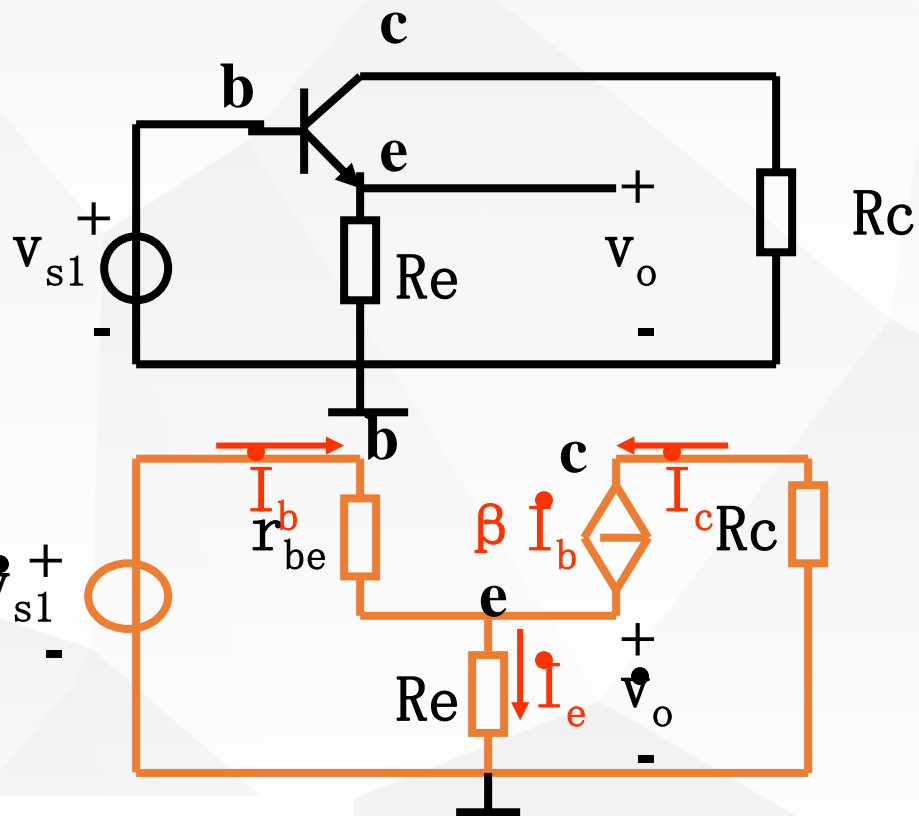
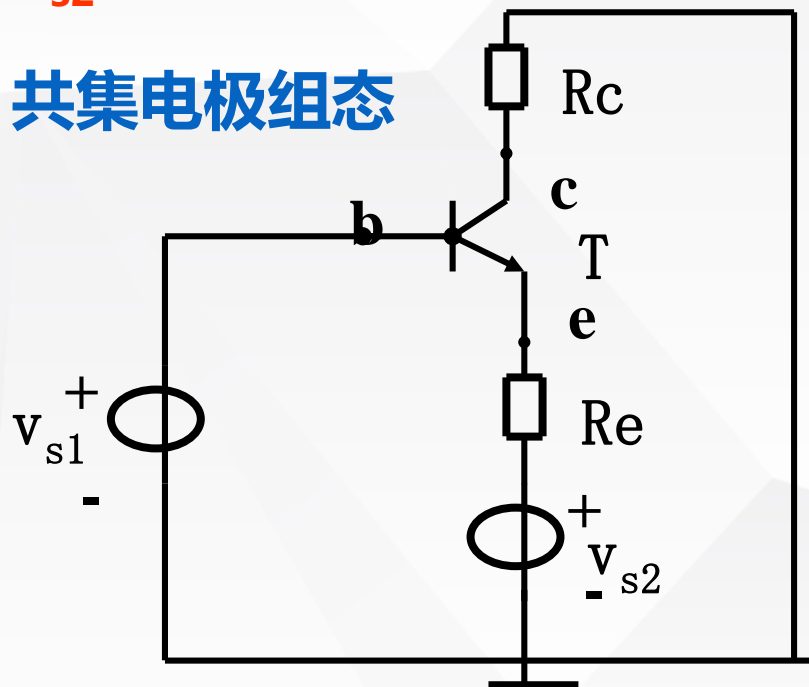
$$R_i = \frac{\dot{V}_i}{\dot{I}_i} = R_e + \frac{r_{be}}{\beta + 1}$$

$$R_o \approx R_c$$

# >> 03基本放大电路

$v_{s2}=0$ ，从发射极输出

共集电极组态



$$\dot{A}_V = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \frac{(\beta + 1) \cdot \dot{I}_b R_e}{\dot{I}_b [r_{be} + (1 + \beta) R_e]} = \frac{(\beta + 1) \cdot R_e}{r_{be} + (1 + \beta) R_e}$$

$$R_i = \frac{\dot{V}_i}{\dot{I}_i} = r_{be} + (1 + \beta) R_e$$

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



### 3.7 晶体管基本放大电路的派生电路

#### 复合管放大电路

##### 一、复合管的组成及其电流放大系数

**复合管的构成：** 由两个或两个以上三极管组成。

##### 1. 复合管共射电流放大系数 $\beta$ 值

因为

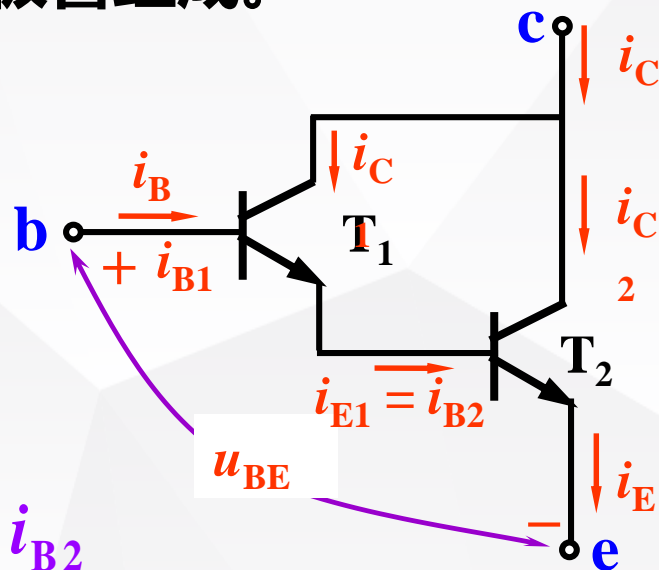
$$\beta = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B}$$

由图可见

$$\Delta i_B = \Delta i_{B1}$$

$$\Delta i_C = \Delta i_{C1} + \Delta i_{C2} = \beta_1 \Delta i_{B1} + \beta_2 \Delta i_{B2}$$

$$\Delta i_{B2} = \Delta i_{E1} = (1 + \beta_1) \Delta i_{B1}$$



## 03基本放大电路

则

$$\begin{aligned}\Delta i_C &= \beta_1 \Delta i_{B1} + \beta_2 (1 + \beta) \Delta i_{B1} \\ &= (\beta_1 + \beta_2 + \beta_1 \beta_2) \Delta i_{B2}\end{aligned}$$

所以

$$\beta = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_1 \beta_2 \approx \beta_1 \beta_2$$

### 2. 复合管输入电阻 $r_{be}$

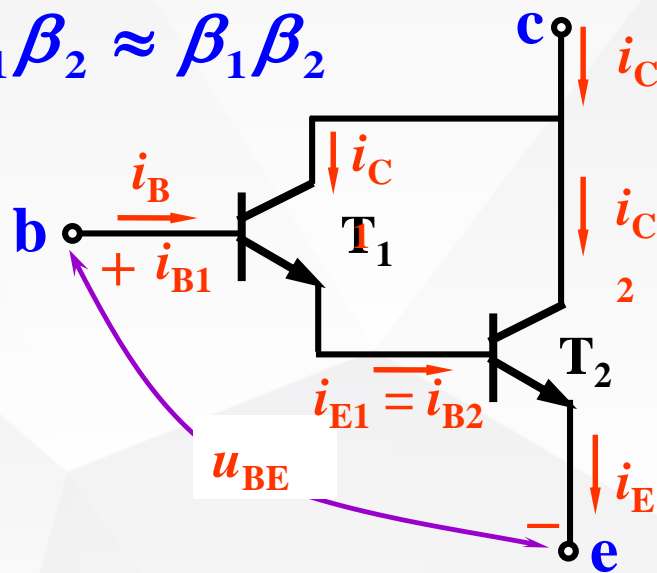
其中

$$\begin{aligned}\Delta u_{BE} &= \Delta i_{B1} r_{be1} + \Delta i_{B2} r_{be2} \\ &= \Delta i_{B1} [r_{be1} + (1 + \beta_1) r_{be2}]\end{aligned}$$

所以

$$r_{be} = \frac{\Delta u_{BE}}{\Delta i_B} = r_{be1} + (1 + \beta_1) r_{be2}$$

显然,  $\beta$ 、 $r_{be}$  均比一个管子  $\beta_1$ 、 $r_{be1}$  提高了很多倍。

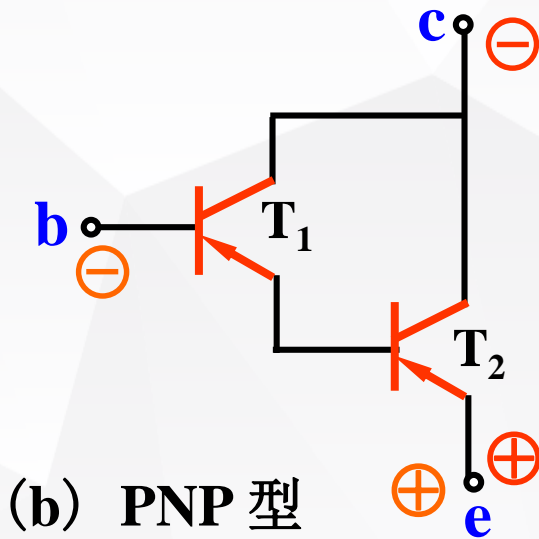
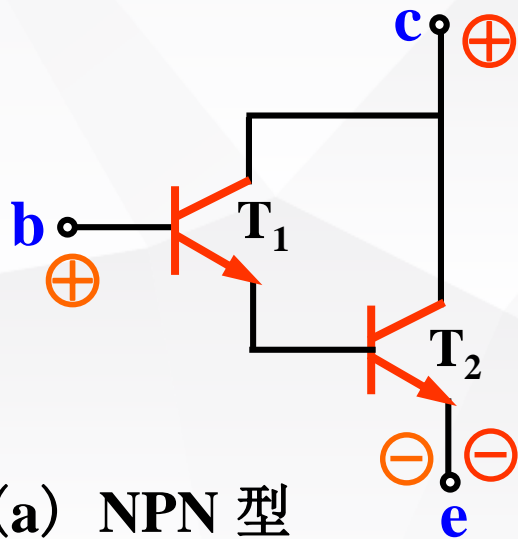


### 3.构成复合管时注意事项

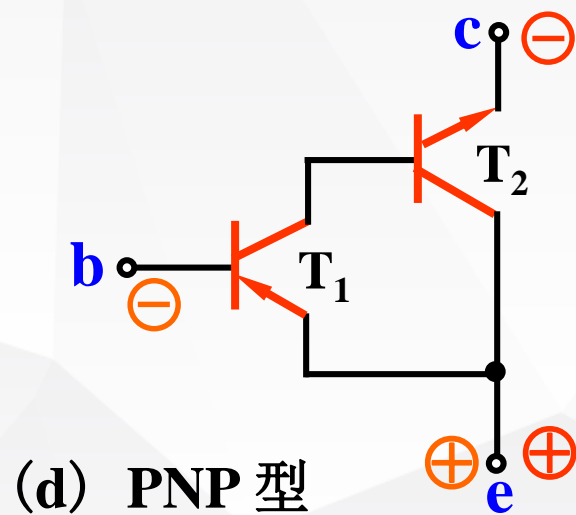
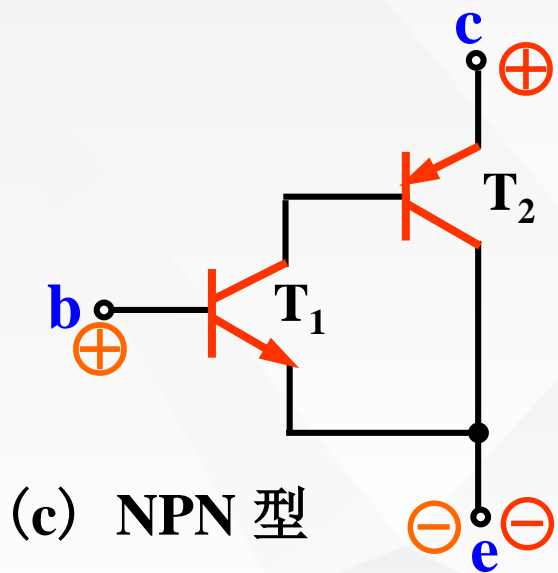
(1) . 前后两个三极管连接关系上, 应保证前级输出电流与后级输入电流实际方向一致。

(2) . 外加电压的极性应保证前后两个管子均为发射结正偏, 集电结反偏, 使管子工作在放大区。

#### 复合管的接法



## 03 基本放大电路



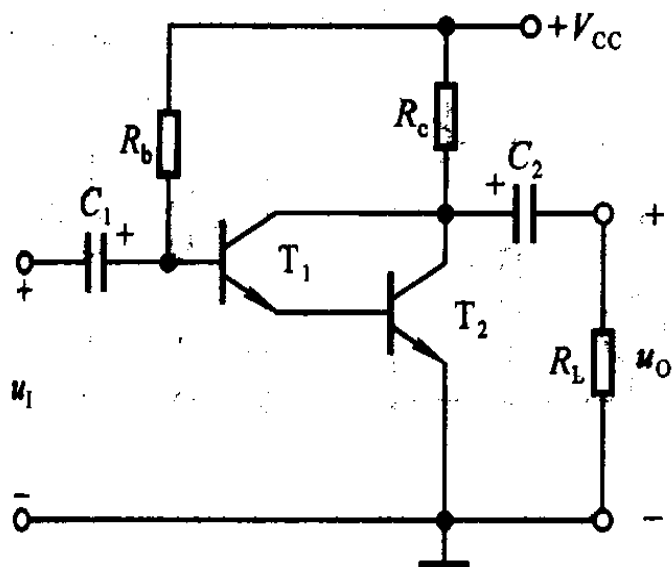
### 结 论

1. 两个同类型的三极管组成复合管，其类型与原来相同。复合管的  $\beta \approx \beta_1 \beta_2$ ，复合管的  $r_{be} = r_{be1} + (1 + \beta_1) r_{be2}$
2. 两个不同类型的三极管组成复合管，其类型与前级三极管相同。复合管的  $\beta \approx \beta_1 \beta_2$ ，复合管的  $r_{be} = r_{be1} + (1 + \beta_1) r_{be2}$ 。
3. 在集成运放中，复合管不仅用于中间级，也常用于输入级和输出级

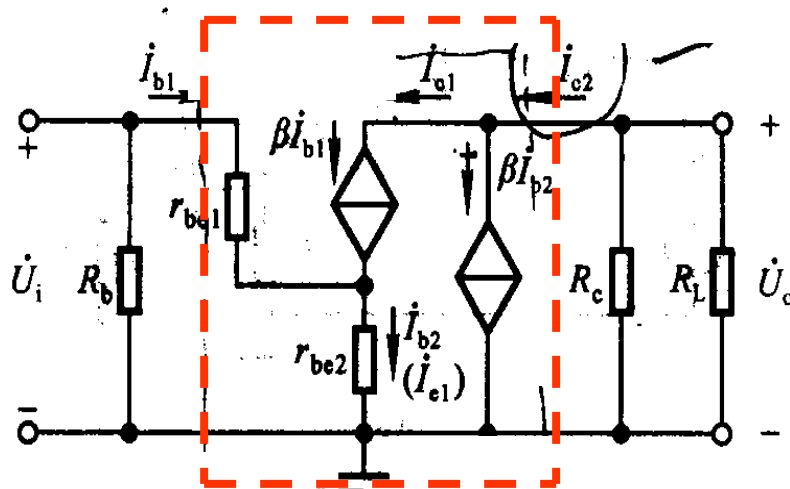
#### 优点

可以获得很高的电流放大系数  $\beta$  ;  
提高中间级的输入电阻;  
提高了集成运放总的电压放大倍数。

## 二、复合管共射放大电路



(a)



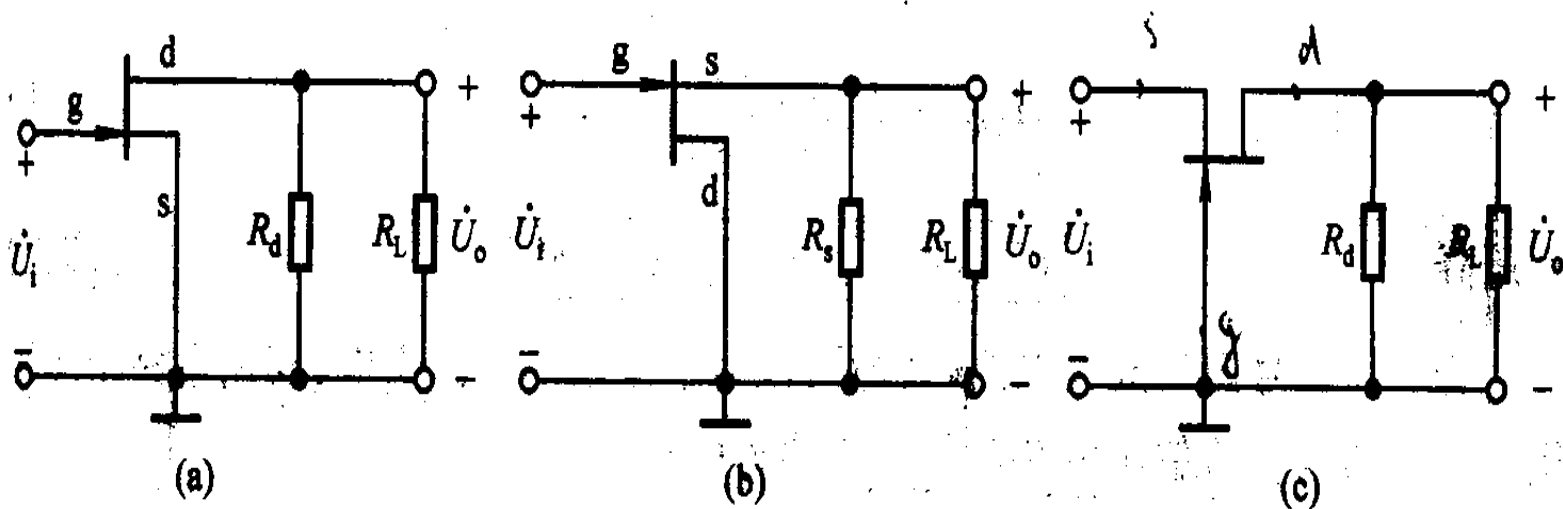
(b)

阻容耦合复合管共射放大电路

电压放大倍数与没用复合管时相当，但输入电阻大大增加，增强了电流放大能力。

### 3.7.5 场效应管放大电路的三种接法

(以N沟道结型场效应管为例)



场效应管放大电路的三种接法

(a) 共源电路

(b) 共漏电路

(c) 共栅电路

## ➤ 03基本放大电路

### 3.7.6场效应管放大电路的静态工作点的设置方法

#### 一、基本共源放大电路

N 沟道增强型 MOS 场效应管组成的放大电路。

与双极型三极管对应关系

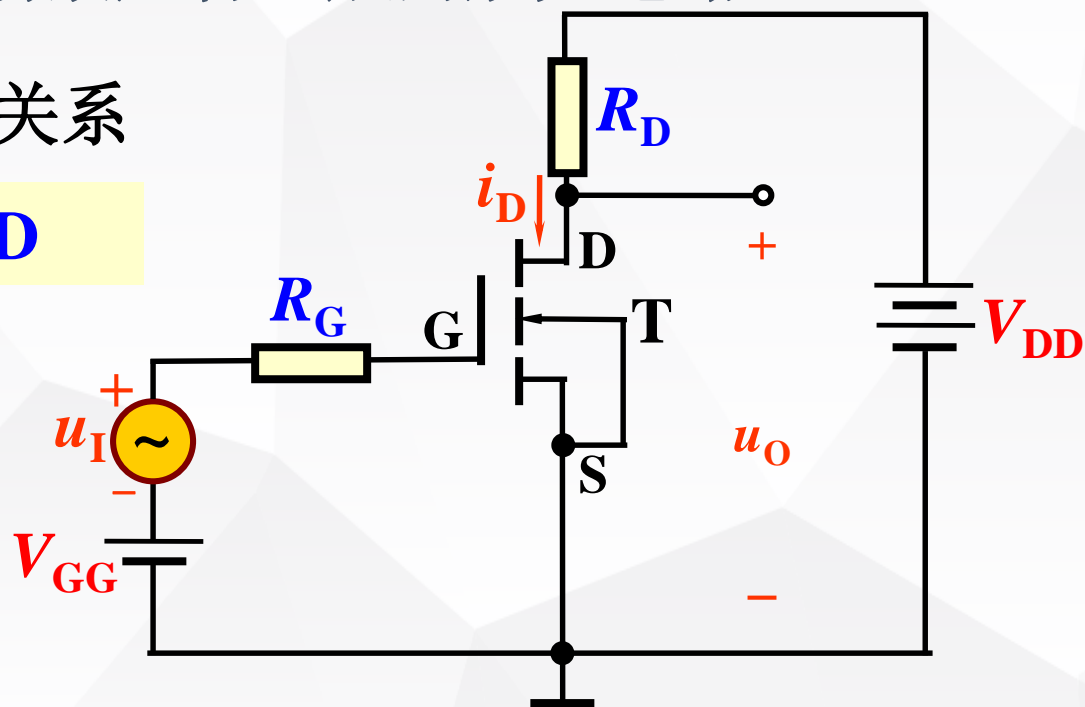
$b \rightarrow G$  ,  $e \rightarrow S$  ,  $c \rightarrow D$

为了使场效应管工作在恒流区实现放大作用，应满足：

$$u_{GS} > U_T$$

$$u_{DS} > u_{GS} - U_T$$

( $U_T$ : 开启电压)



基本共源放大电路



## 03 基本放大电路

静态分析——  $U_{GSQ}$ 、 $I_{DQ}$

$U_{DSQ}$   
两种方法 { 近似估算法  
图解法

(一) 近似估算法

MOS 管栅极电流

为零, 当  $u_I = 0$  时

$$U_{GSQ} = V_{GG}$$

而  $i_D$  与  $u_{GS}$  之间近似满足

$$i_D = I_{DQ} \left( \frac{u_{GS}}{U_T} - 1 \right)^2$$

(当  $u_{GS} > U_T$ )

式中  $I_{DQ}$  为  $u_{GS} = 2U_T$  时的值。

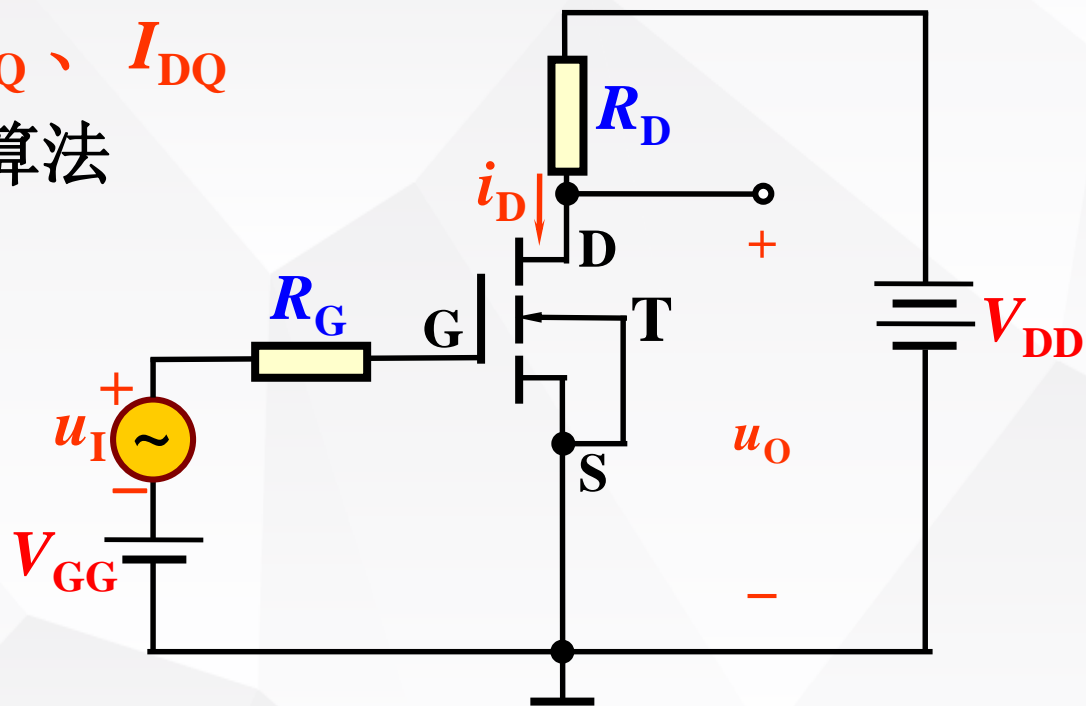


图 2.7.2 基本共源放大电路

则静态漏极电流为

$$I_{DQ} = I_{DQ} \left( \frac{U_{GSQ}}{U_T} - 1 \right)^2$$

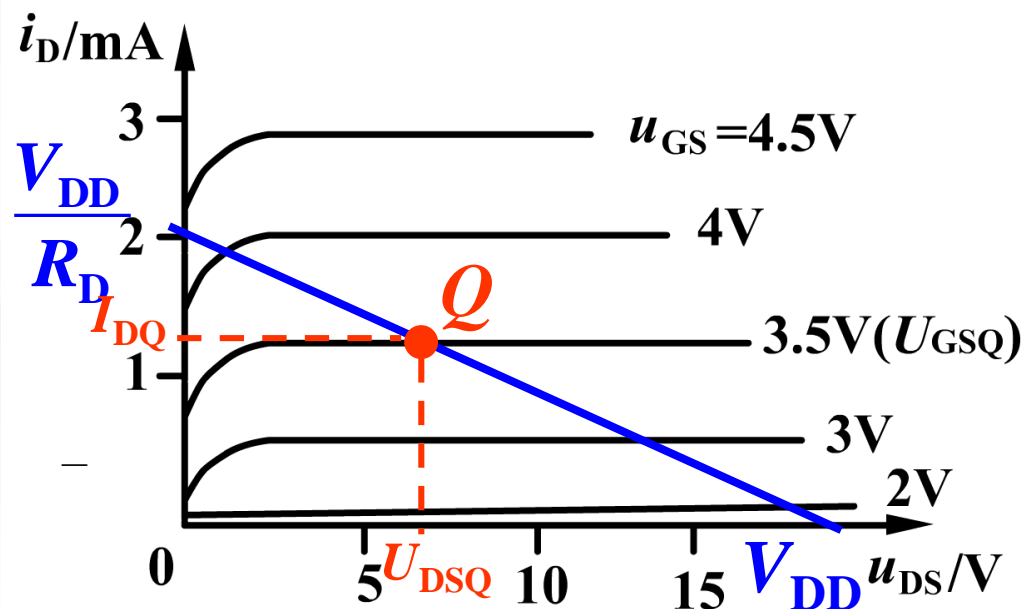
$$U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} R_D$$

## 03基本放大电路

### (二) 图解法

利用式  $u_{DS} = V_{DD} - i_D R_D$  画出直流负载线。

图中  $I_{DQ}$ 、 $U_{DSQ}$  即为静态值。



图解法求基本共源放大电路的  
静态工作点

## 03基本放大电路

### 二、自给偏压电路

Q点:  $U_{GSQ}$ 、 $I_{DQ}$ 、 $U_{DSQ}$

已知  $U_P$  或  $U_{GS}(\text{Off})$

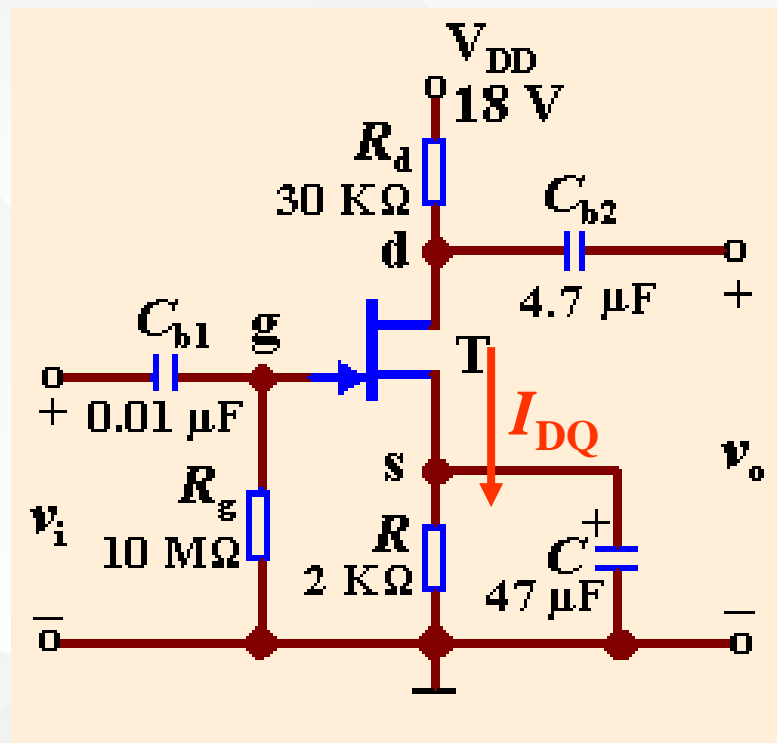
$$\begin{cases} U_{GSQ} = -I_{DQ}R \\ U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ}(R_d + R) \\ I_{DQ} = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GSQ}}{U_P}\right)^2 \end{cases}$$

可解出Q点的  $U_{GSQ}$ 、 $I_{DQ}$ 、 $U_{DSQ}$

JFET自给偏压共源电路

如知道FET的特性曲线，也可采用图解法。

耗尽型MOS管自给偏压共源电路的分析方法相同。



## 03基本放大电路

### 三、分压式偏置电路

#### (一) Q点近似估算法

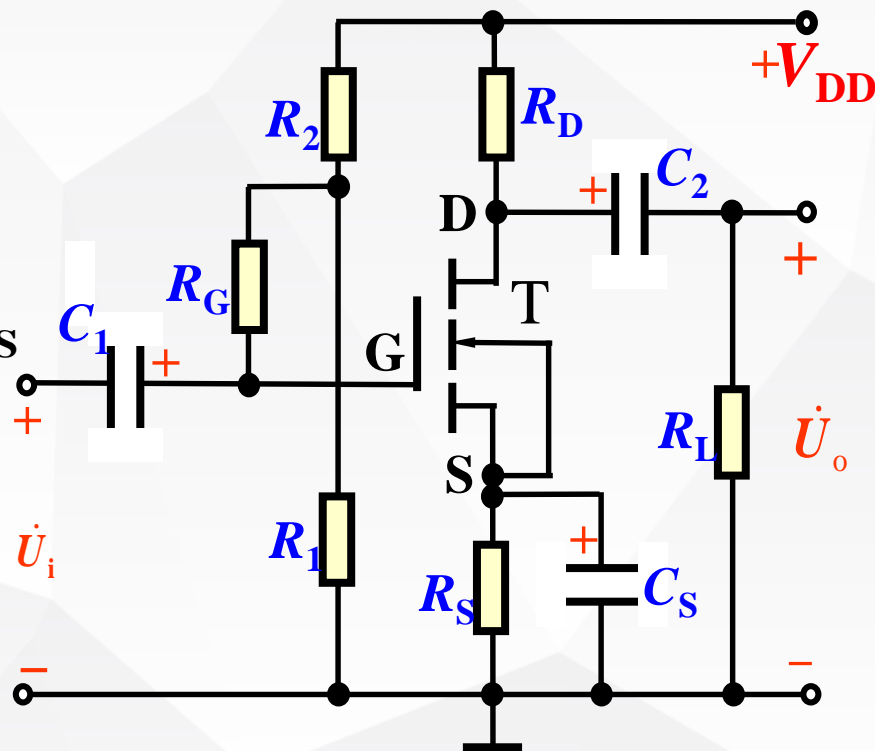
根据输入回路列方程

$$\begin{cases} U_{GSQ} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD} - I_{DQ} R_S \\ I_{DQ} = I_{DO} \left( \frac{U_{GSQ}}{U_T} - 1 \right)^2 \end{cases}$$

解联立方程求出  $U_{GSQ}$  和  $I_{DQ}$ 。

列输出回路方程求  $U_{DSQ}$

$$U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ}(R_D + R_S)$$



分压式偏置电路

将  $I_{DQ}$  代入，求出  $U_{DSQ}$

## 03基本放大电路

### (二) 图解法

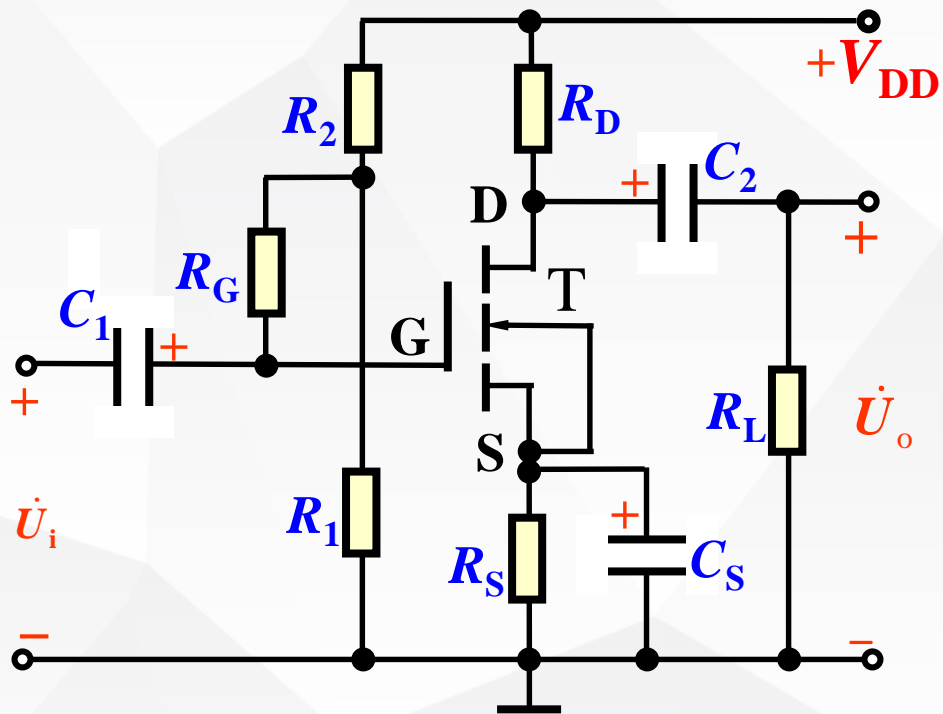
由式

$$u_{GS} = U_{GQ} - i_D R_S$$

$$= \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD} - i_D R_S$$

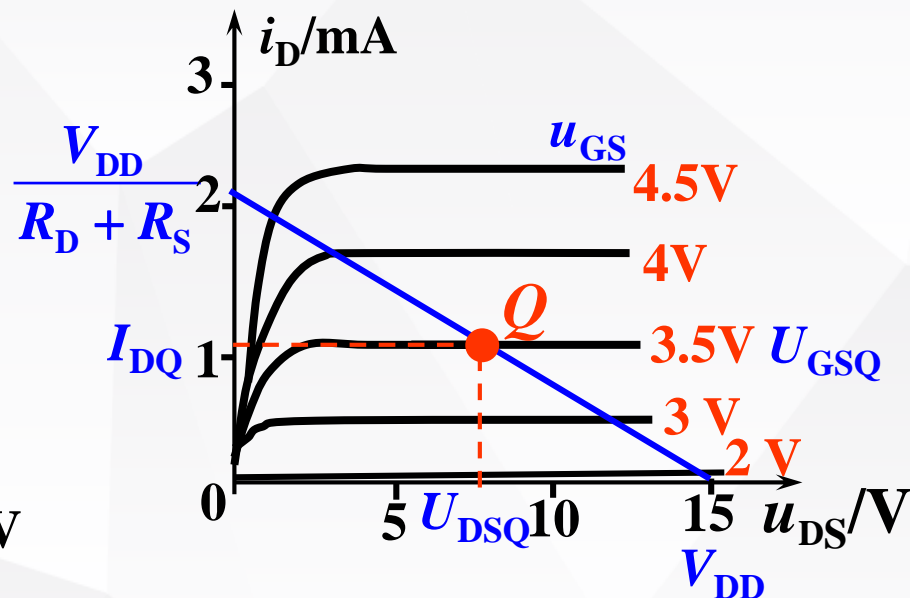
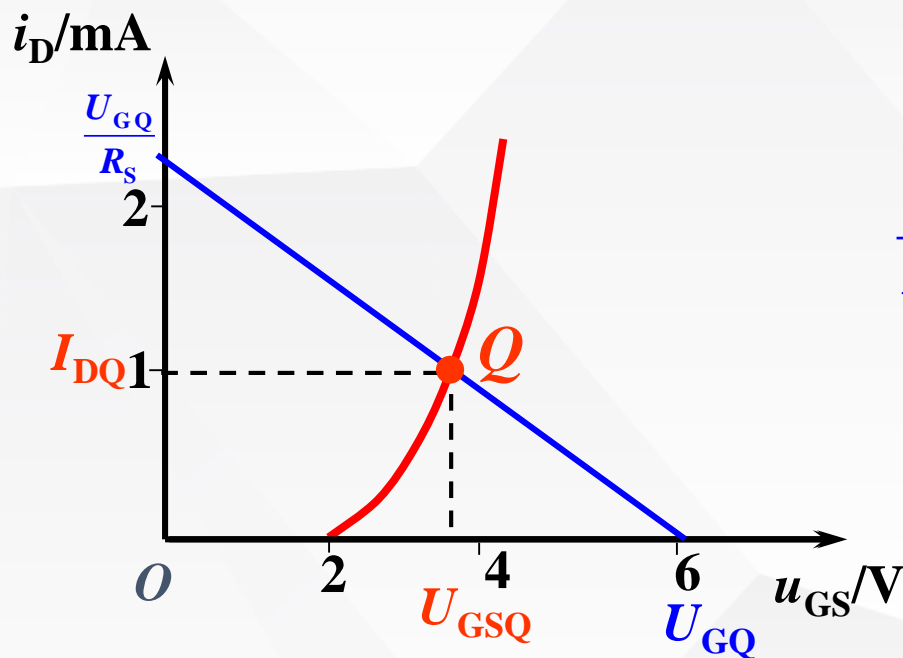
可做出一条直线

另外， $i_D$  与  $u_{GS}$  之间满足转移特性曲线的规律，二者之间交点为静态工作点，确定  $U_{GSQ}$ ， $I_{DQ}$ 。



分压式偏置电路

## 03 基本放大电路



根据漏极回路方程

$$u_{DS} = V_{DD} - i_D(R_D + R_S)$$

在漏极特性曲线上做直流负载线，与  $u_{GS} = U_{GSQ}$  的交点确定  $Q$ ，由  $Q$  确定  $U_{DSQ}$  和  $I_{DQ}$  值。

### 3.7.7场效应管放大电路的动态分析

#### 一、场效应管的低频小信号等效模型

$$\because i_D = f(u_{GS}, u_{DS})$$

$i_D$  的全微分为

$$di_D = \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_{U_{DS}} du_{GS} + \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{DS}} \right|_{U_{GS}} du_{DS}$$

上式中定义：

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_{U_{DS}}$$

—— 场效应管的跨导(毫西门子 mS)。

$$\frac{1}{r_{DS}} = \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{DS}} \right|_{U_{GS}}$$

—— 场效应管漏源之间等效电阻。

## 03基本放大电路

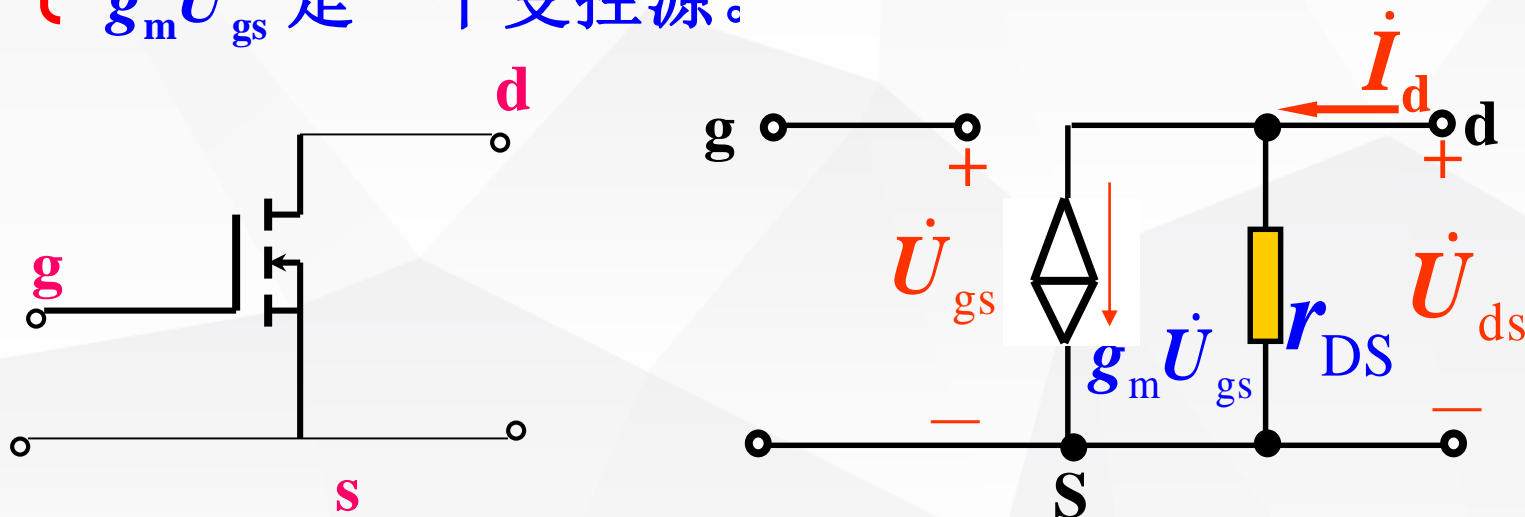
如果输入正弦信号，则可用相量代替上式中的变量。

成为：

$$\dot{I}_d = g_m \dot{U}_{gs} + \frac{1}{r_{DS}} \dot{U}_{ds}$$

根据上式做等效电路如图所示。

{ 由于没有栅极电流，所以栅源是悬空的。  
 $g_m \dot{U}_{gs}$  是一个受控源。



MOS管的低频小信号等效模型



## 03基本放大电路

微变参数  $g_m$  和  $r_{DS}$

- (1) 根据定义通过在特性曲线上作图方法中求得。
- (2) 用求导的方法计算  $g_m$

$$g_m = \frac{di_D}{du_{GS}} = \frac{2I_{DO}}{U_T} \left( \frac{u_{GS}}{U_T} - 1 \right) = \frac{2}{U_T} \sqrt{I_{DO} i_D}$$

在  $Q$  点附近, 可用  $I_{DQ}$  表示上式中  $i_D$ , 则

$$g_m = \frac{2}{U_T} \sqrt{I_{DO} I_{DQ}}$$

一般  $g_m$  约为 0.1 至 20 mS。  $r_{DS}$  为几百千欧的数量级。当  $R_D$  比  $r_{DS}$  小得多时, 可认为等效电路的  $r_{DS}$  开路。

## 03 基本放大电路

### 二、基本 共源放大电路的动态分析

#### 1. 基本共源放大电路动态分析

将  $r_{DS}$  开路  $\dot{U}_i = \dot{U}_{gs}$

而

$$\dot{U}_o = -\dot{I}_d R_D = -g_m \dot{U}_{gs} R_D$$

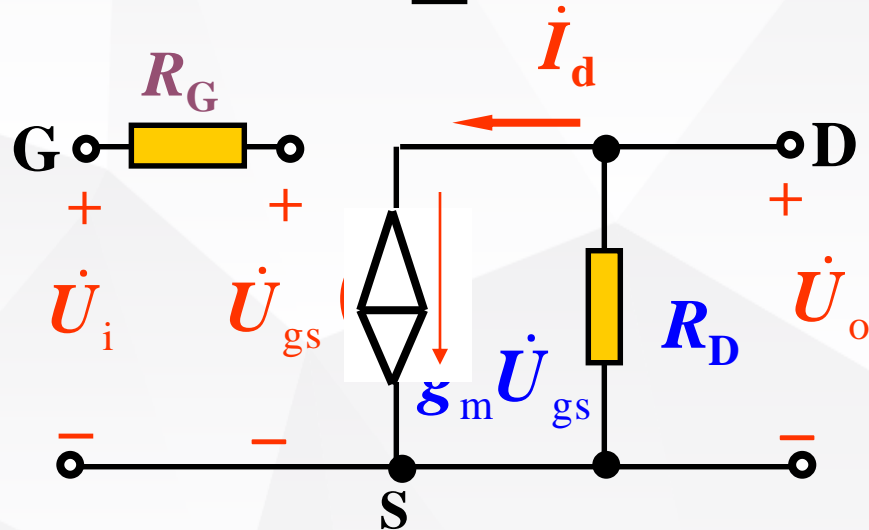
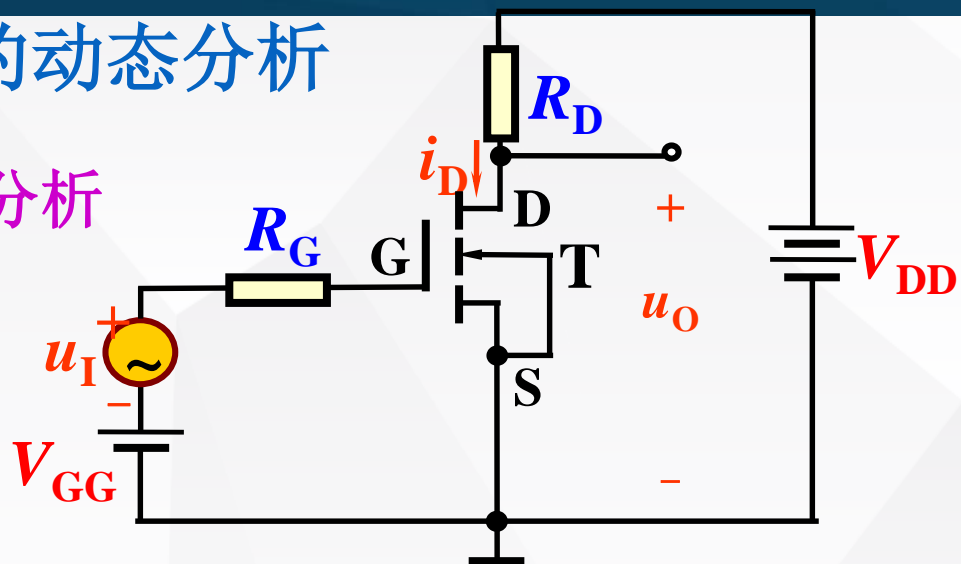
所以

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -g_m R_D$$

输出电阻

$$R_o = R_D$$

MOS 管输入电阻高达  $10^9 \Omega$ 。



基本共源放大电路的等效电路

## 03基本放大电路

### 2.分压式偏置电路的动态分析 等效电路入图所示

$$\dot{U}_o = -\dot{I}_d R'_D = -g_m \dot{U}_{gs} R'_D$$

$$R'_D = R_D // R_L$$

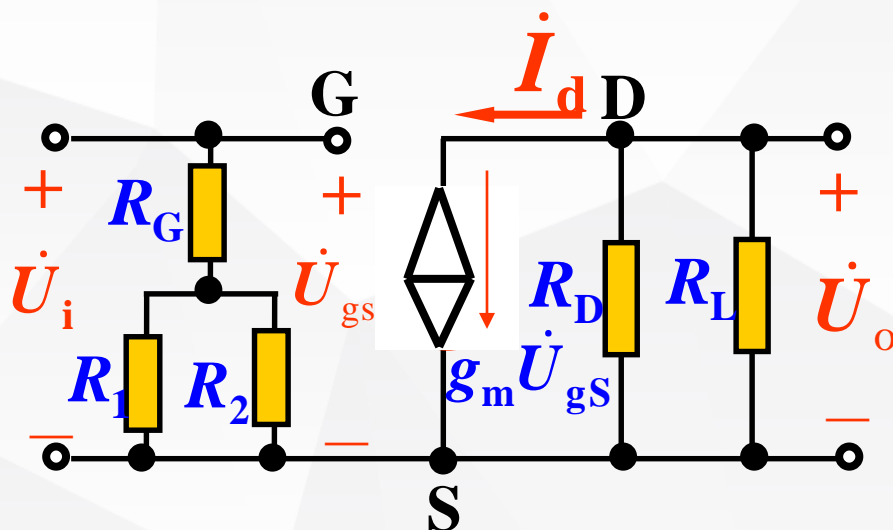
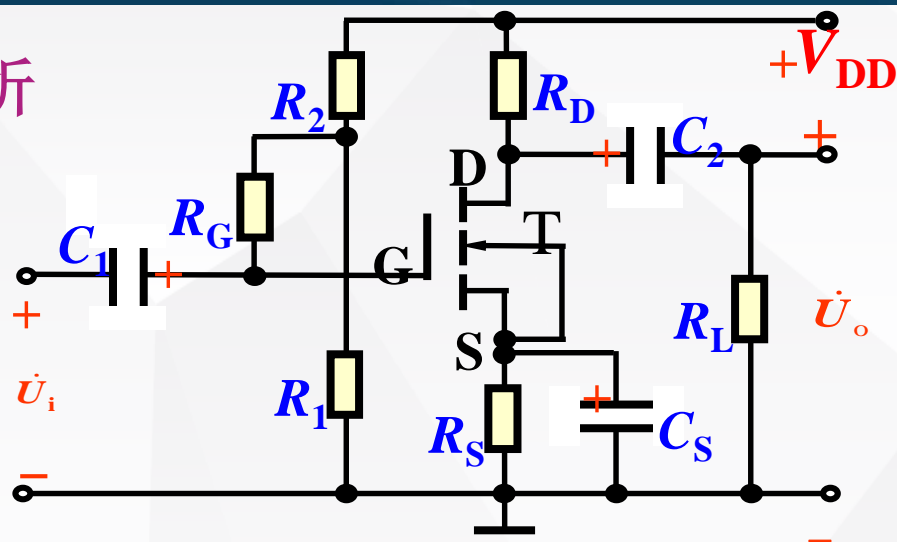
电压放大倍数

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -g_m R'_D$$

输入、输出电阻分别为

$$R_i = R_G + (R_1 // R_2)$$

$$R_o = R_D$$



分压式偏置电路等效电路

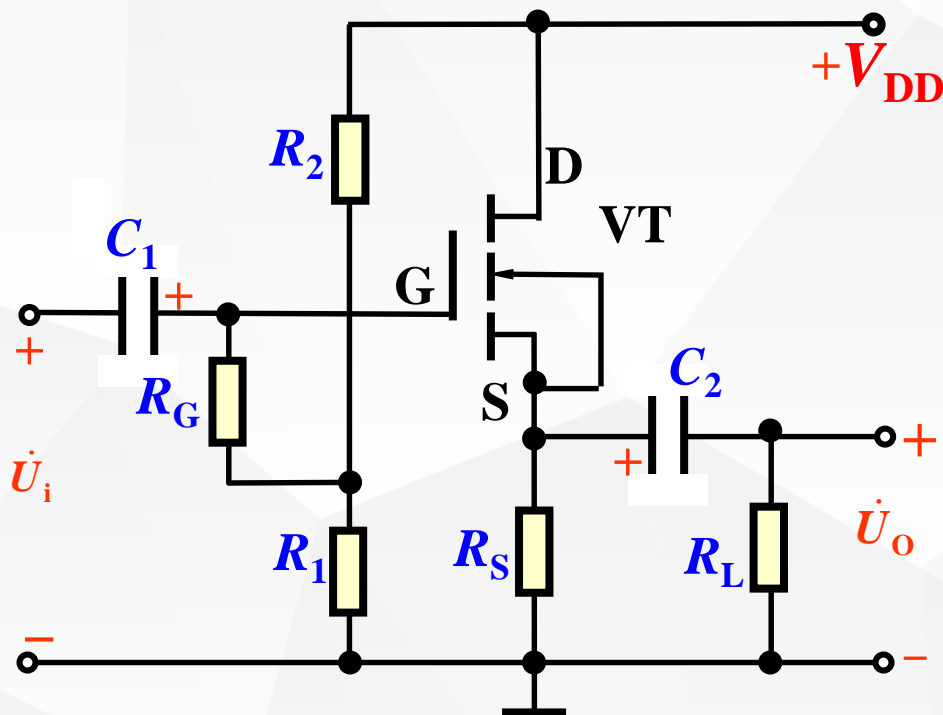
### 三、基本共漏放大电路

——源极输出器或源极跟随器

典型电路如右图所示。

#### 1.静态分析

分析方法与“分压-自偏压式共源电路”类似，可采用估算法和图解法。



基本共漏放大电路

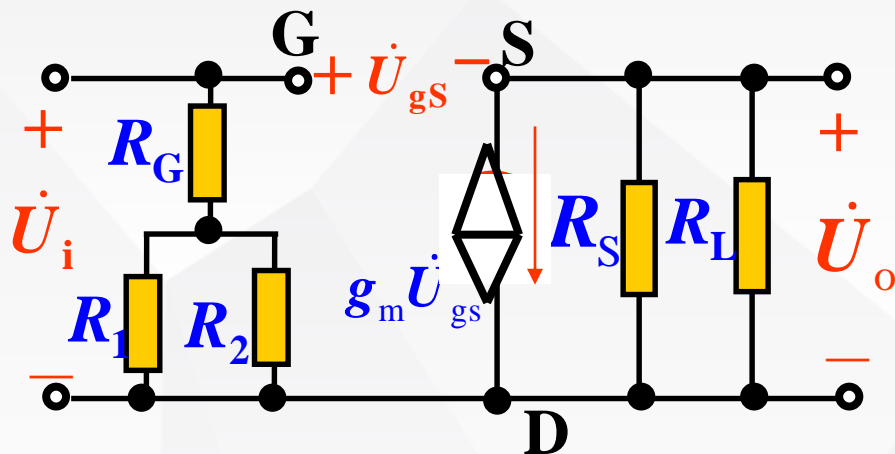
## 03基本放大电路

### 2.动态分析

#### (1) . 电压放大倍数

$$\dot{U}_o = g_m \dot{U}_{gs} R'_s$$

$$R'_s = R_s // R_L$$



微变等效电路

而 
$$\dot{U}_i = \dot{U}_{gs} + \dot{U}_o = (1 + g_m R'_s) \dot{U}_{gs}$$

所以

$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{g_m R'_s}{1 + g_m R'_s}$$

可见,  $A_u < 1$ , 当  $g_m R'_s \gg 1$  时,  $A_u \approx 1$ .

#### (2) . 输入电阻

$$R_i = R_G + (R_1 // R_2)$$

## 03基本放大电路

### (3) 输出电阻

在电路中，外加  $\dot{U}_o$ ，令  $\dot{U}_i = 0$ ，并使  $R_L$  开路

$$\dot{I}_o = \frac{\dot{U}_o}{R_S} - g_m \dot{U}_{gs}$$

因输入端短路，故

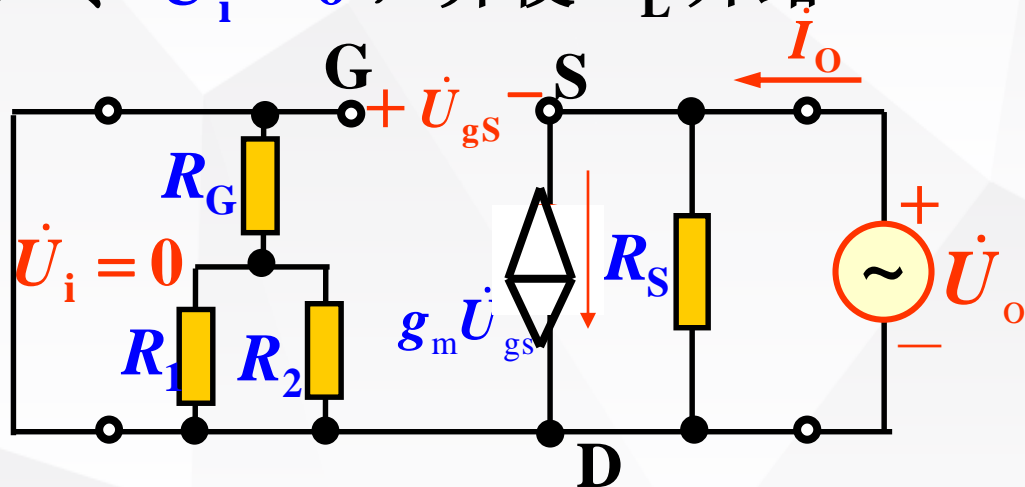
$$\dot{U}_{gs} = -\dot{U}_o$$

则

$$\dot{I}_o = \frac{\dot{U}_o}{R_S} + g_m \dot{U}_o = \left( \frac{1}{R_S} + g_m \right) \dot{U}_o$$

所以

$$R_o = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_o} = \frac{1}{g_m + \frac{1}{R_S}} = \frac{1}{g_m} // R_S$$



微变等效电路

实际工作中经常使用的是共源、共漏组态。

### 3.7.8 场效应管放大电路的特点

1. 场效应管是电压控制元件；
2. 栅极几乎不取用电流，输入电阻非常高；
3. 一种极性的载流子导电，噪声小，受外界温度及辐射影响小；
4. 制造工艺简单，有利于大规模集成；
5. 存放管子应将栅源极短路，焊接时烙铁外壳应接地良好，防止漏电击穿管子；
6. 跨导较小，电压放大倍数一般比三极管低。