

# 第2章 基本放大电路

- 2.1 放大的概念和放大电路的主要性能指标
- 2.2 基本共射放大电路的工作原理
- 2.3 放大电路的分析方法
- 2.4 放大电路静态工作点的稳定
- 2.5 晶体管单管放大电路的三种基本接法
- 2.6 场效应管放大电路

#### 2.4.1 静态工作点稳定的必要性



放大电路的多项重要技术指标均于静态工作点的位置密切相关,因此,如何使静态工作点稳定是一个十分重要的问题。

使静态工作点不稳定的因素,如:温度的变化、管子的老化、电源电压的波动等。其中,温度对静态工作点的影响最为严重。

温度升高引起  $oldsymbol{eta}$  增加,从而引起 $I_{\mathbb{C}}$ 增加,工作点 $\mathbb{Q}$ 上移,靠近饱和区。反之, $I_{\mathbb{C}}$ 减小,工作点 $\mathbb{Q}$ 下移,靠近截止区。

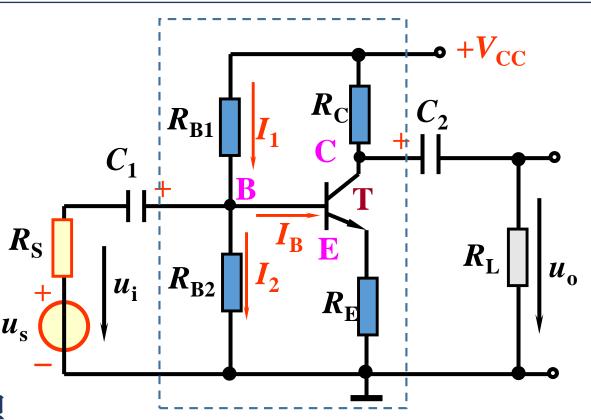


#### 分压式偏置电路

#### 一、电路结构

稳定工作点的条件:

$$I_2 >> I_B$$
,  $\mathbb{P}I_1 \approx I_2$   
 $U_B = V_{CC} \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$ 



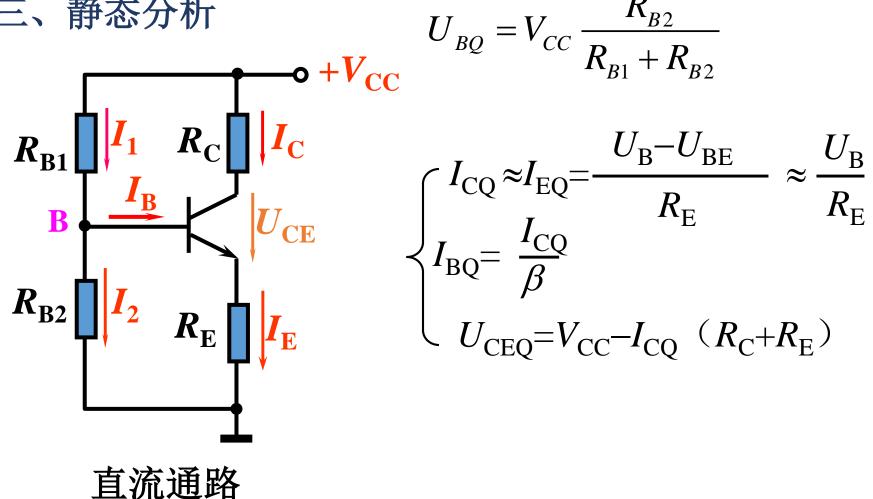
#### 二、工作点稳定原理

温度
$$\uparrow \to I_{\rm C} \uparrow \to I_{\rm E} \uparrow \to U_{\rm E} \uparrow \to U_{\rm BE} \downarrow \to I_{\rm B} \downarrow$$

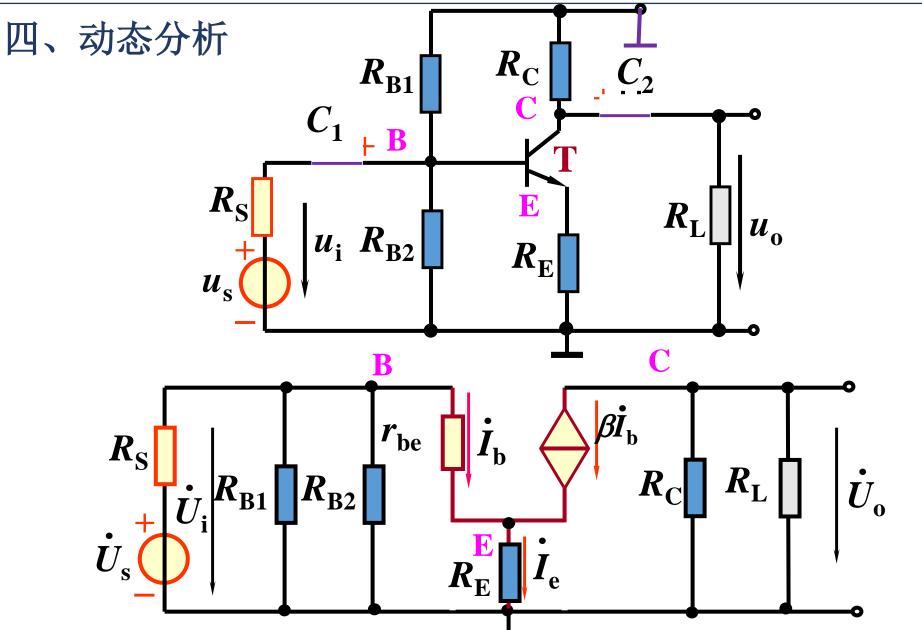
$$I_{\rm C} \downarrow \to I_{\rm C} \uparrow \to I_{\rm E} \uparrow \to U_{\rm BE} \downarrow \to I_{\rm B} \downarrow$$



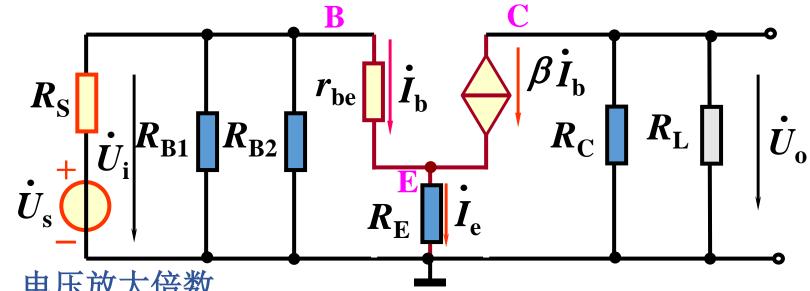










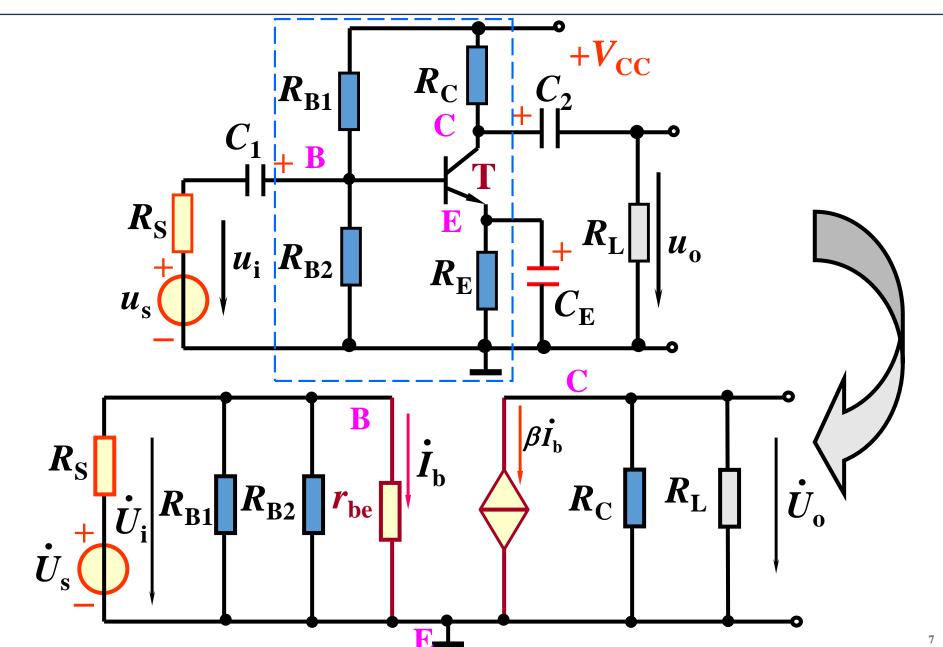


1. 电压放大倍数

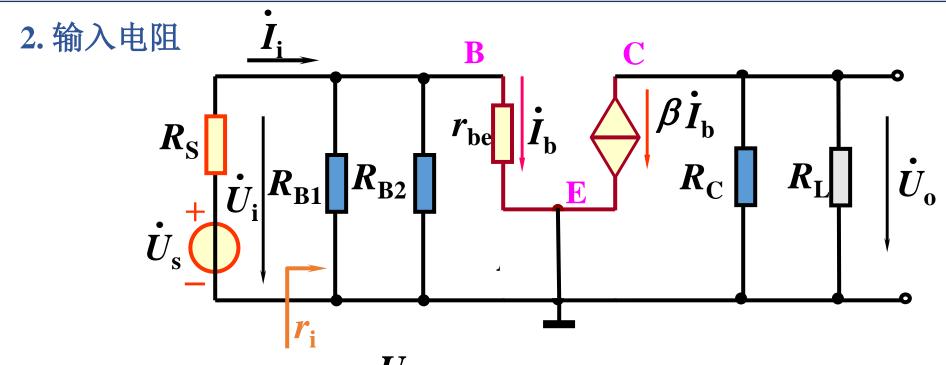
$$A_{\rm u} = \frac{\dot{U}_{\rm o}}{\dot{U}_{\rm i}} = \frac{-\beta \dot{I}_{\rm b} (R_{\rm C} /\!/ R_{\rm L})}{\dot{I}_{\rm b} r_{\rm be} + (1 + \beta) \dot{I}_{\rm b} R_{\rm E}} = -\beta \frac{R'_{\rm L}}{r_{\rm be} + (1 + \beta) R_{\rm E}}$$

沒有  
射极  
电阻 
$$\dot{I}_{u} = \frac{\dot{U}_{o}}{\dot{U}_{i}} = \frac{-\beta \ \dot{I}_{b}(R_{C}/\!/R_{L})}{\dot{I}_{b}r_{be}} = -\beta \ \frac{(R_{C}/\!/R_{L})}{r_{be}} = -\beta \ \frac{R'_{L}}{r_{be}}$$
  
由上分析可见,引入 $R_{E}$ 使 $A_{u}$ ↓ 怎么解决?



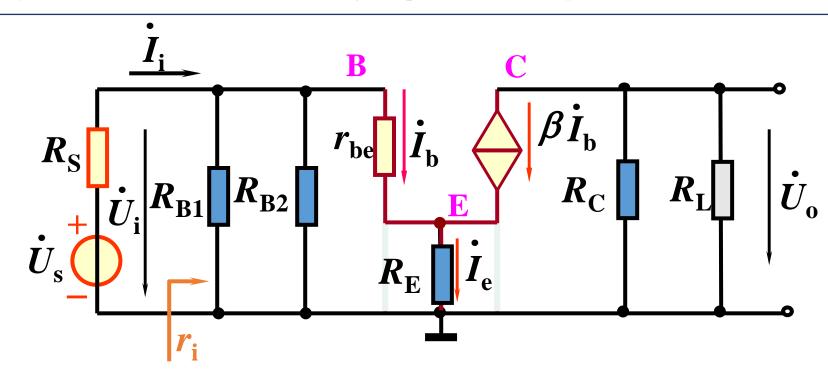






$$r_{\rm i} = \frac{U_{\rm i}}{I_{\rm i}} = R_{\rm B1} //R_{\rm B2} //r_{\rm be}$$

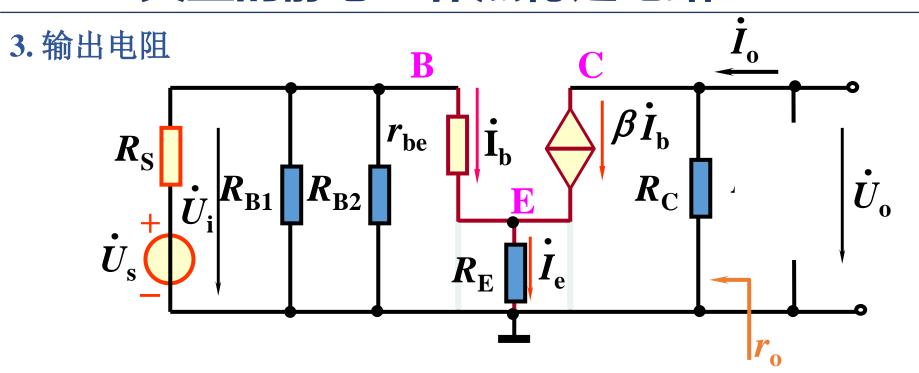




无旁路电路: 
$$r_{\rm i} = \frac{U_{\rm i}}{I_{\rm i}} = \frac{U_{\rm i}}{\frac{U_{\rm i}}{R_{\rm B1}//R_{\rm B2}} + \frac{U_{\rm i}}{r_{\rm be} + (1+\beta)R_{\rm E}}}$$

$$= \frac{R'_{\rm B}//[r_{\rm be} + (1+\beta)R_{\rm E}]}{(R'_{\rm B} = R_{\rm B1}//R_{\rm B2})},$$





有旁路电容:
$$r_{\rm o}$$
=  $\frac{U_{\rm o}}{I_{\rm o}} \Big|_{\substack{U_{\rm S}=0 \ R_{\rm L}=\infty}} = R_{\rm C}$ 

无旁路电容: 
$$r_o = \frac{U_o}{I_o} \Big|_{\substack{U_S = 0 \\ R_L = \infty}} = R_C$$

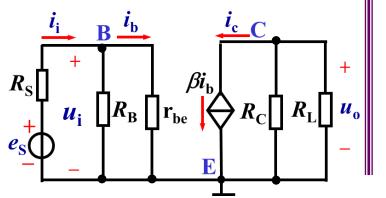


#### 有旁路电容 $C_{\rm E}$

$$A_u = -\beta \frac{R_L'}{r_{\rm be}}$$

$$r_{\rm i} = R_{\rm B} // r_{\rm be}$$

$$r_{\rm o} = R_{\rm c}$$

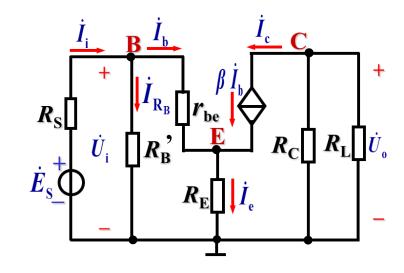


#### 无旁路电容 $C_{\rm E}$

$$A_u = -\frac{\beta R_L'}{r_{\text{be}} + (1 + \beta)R_E}$$

$$r_{\rm i} = R_{\rm B1} // R_{\rm B2} // [r_{\rm be} + (1 + \beta) R_{\rm E}]$$

$$r_{\rm o} = R_{\rm c}$$

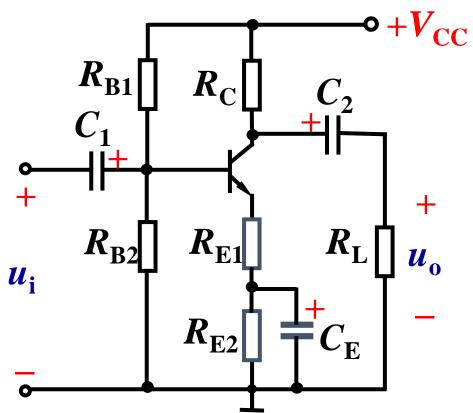




在图示放大电路中,已知 $V_{\rm CC}$ =12V,  $R_{\rm C}$ =6k $\Omega$ ,  $R_{\rm E1}$ =300 $\Omega$ ,  $R_{\rm E2}$ =2.7k $\Omega$ ,  $R_{\rm B1}$ =60k $\Omega$ ,  $R_{\rm B2}$ =20k $\Omega$ 

 $R_{\rm L}$ = 6k $\Omega$  ,晶体管  $\beta$ =50,  $U_{\rm BE}$ =0.6V,试求:

- (1) 静态工作点  $I_{\rm B}$ 、 $I_{\rm C}$ 及  $U_{\rm CE}$ ;
- (2) 画出微变等效电路;
- (3) 输入电阻 $r_i$ 、 $r_o$ 及 $A_u$ 。





#### (1)由直流通路求静态工作点。

$$V_{\rm B} \approx \frac{R_{\rm B2}}{R_{\rm B1} + R_{\rm B2}} U_{\rm CC} = \frac{20}{60 + 20} \times 12 \text{V} = 3 \text{V}$$
 $I_{\rm C} \approx I_{\rm E} = \frac{V_{\rm B} - U_{\rm BE}}{R_{\rm E}} = \frac{3 - 0.6}{3} \text{mA}$ 
 $R_{\rm B1}$ 
 $R_{\rm C}$ 
 $I_{\rm C}$ 



#### (2) 由微变等效电路求 $A_u$ 、 $r_i$ 、 $r_o$ 。

其中 
$$R_{\rm B} = R_{\rm B1} // R_{\rm B2} = 15 \,\mathrm{k}\Omega$$

$$r_{\rm be} = 200 + (1 + \beta) \frac{26}{\mathrm{I}_{\rm E}} = 200 + 51 \times \frac{26}{0.8} \Omega = 1.86 \,\mathrm{k}\Omega$$

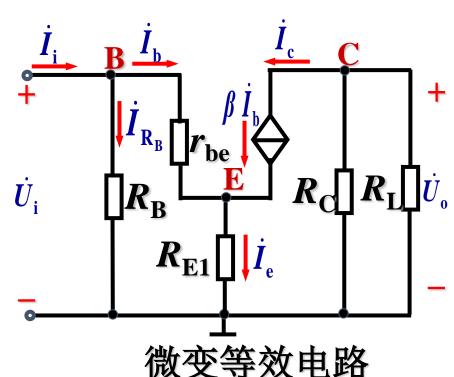
$$r_{\rm e} = R_{\rm e} //[r_{\rm e} + (1 + \beta_{\rm e})R_{\rm ex}]$$

$$r_{\rm i} = R_{\rm B} / / [r_{\rm be} + (1 + \beta) R_{\rm E1}]$$

$$\approx 8.03 \text{ k}\Omega$$

$$r_{\rm o} = R_{\rm C} \approx 6 \text{ k}\Omega$$

$$A_{u} = -\frac{\beta R'_{L}}{r_{be} + (1 + \beta)R_{E1}}$$





作业

2.10

2.11

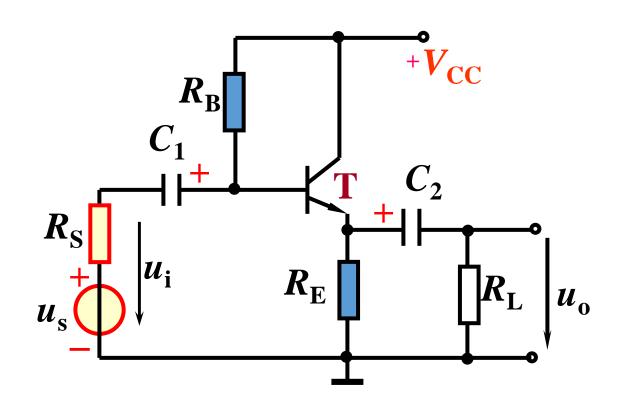


# 第2章 基本放大电路

- 2.1 放大的概念和放大电路的主要性能指标
- 2.2 基本共射放大电路的工作原理
- 2.3 放大电路的分析方法
- 2.4 放大电路静态工作点的稳定
- 2.5 晶体管单管放大电路的三种基本接法
- 2.6 场效应管放大电路



电路结构

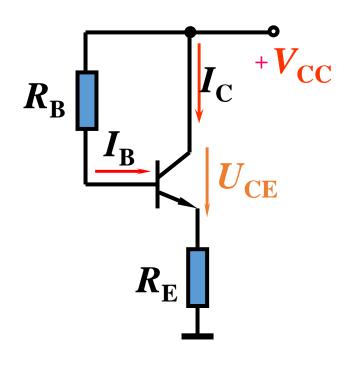


对交流信号而言,集电极接地,共集电极放大电路。

从发射极和地之间取输出电压,故又称射极输出器



#### 静态分析



$$V_{\mathrm{CC}} = I_{\mathrm{B}}R_{\mathrm{B}} + U_{\mathrm{BE}} + (1 + \beta) I_{\mathrm{B}}R_{\mathrm{E}}$$

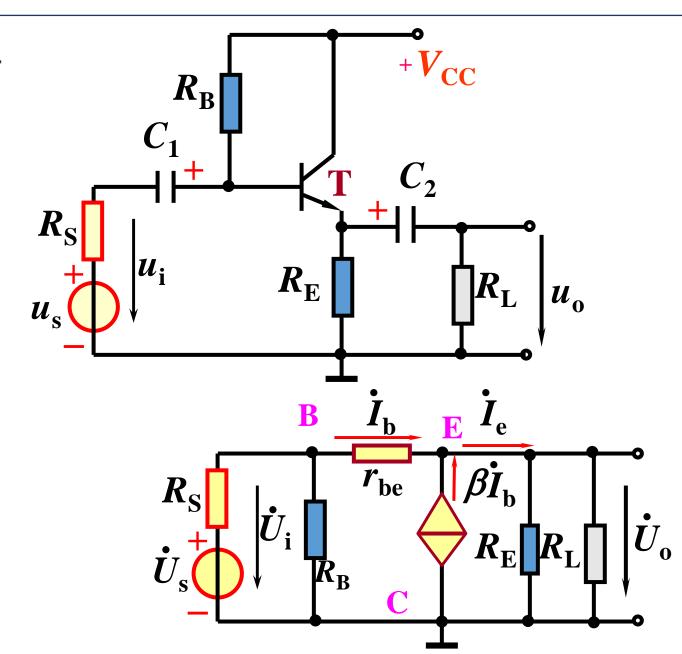
$$I_{\mathrm{B}} = \frac{V_{\mathrm{CC}} - U_{\mathrm{BE}}}{R_{\mathrm{B}} + (1 + \beta)R_{\mathrm{E}}}$$

$$I_{\mathrm{C}} = \beta I_{\mathrm{B}}$$

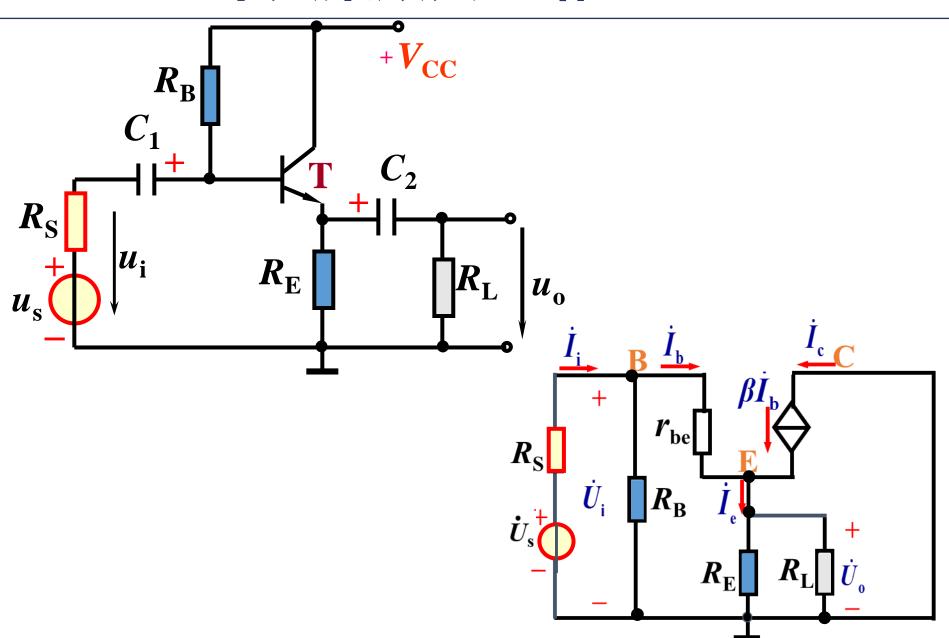
$$U_{\mathrm{CE}} = V_{\mathrm{CC}} - I_{\mathrm{E}}R_{\mathrm{E}}$$



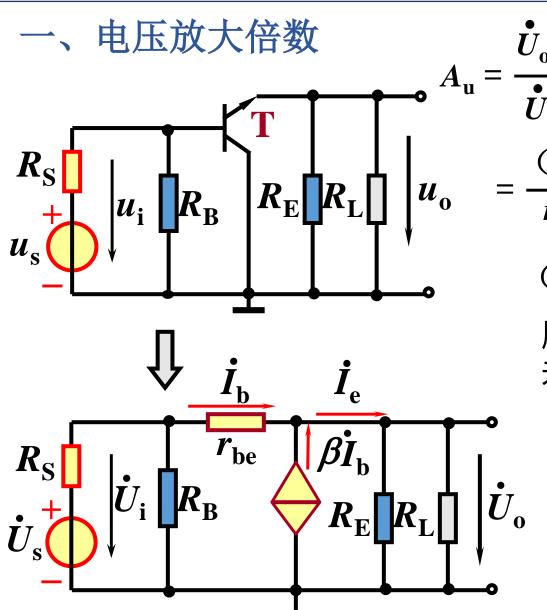
动态分析











$$\frac{\dot{U}_{o}}{\dot{U}_{i}} = \frac{(1+\beta) \dot{I}_{b}(R_{E}//R_{L})}{\dot{I}_{b}r_{be} + (1+\beta) \dot{I}_{b}(R_{E}//R_{L})}$$

$$= \frac{(1+\beta) (R_{E}//R_{L})}{r_{be} + (1+\beta) (R_{E}//R_{L})}$$

$$\frac{(1+\beta) (R_{E}//R_{L})}{(1+\beta) (R_{E}//R_{L})} >> r_{be}$$

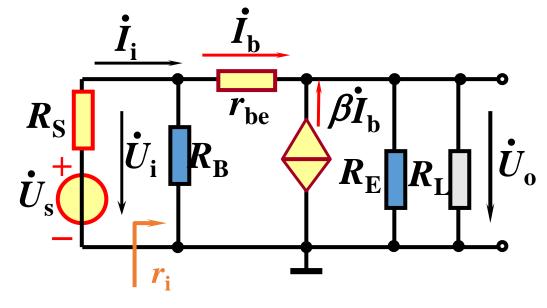
所以 $A_{u} \approx 1$ ,但恒小于1。电压未被放大。

上式说明 $u_o$ 与 $u_i$ 大小近似相等,且同相,所以该电路又称电压跟随器。

$$\dot{I}_{\mathrm{e}}$$
=(1+ $oldsymbol{eta}$ ) $\dot{I}_{\mathrm{b}}$ ,可放大电流







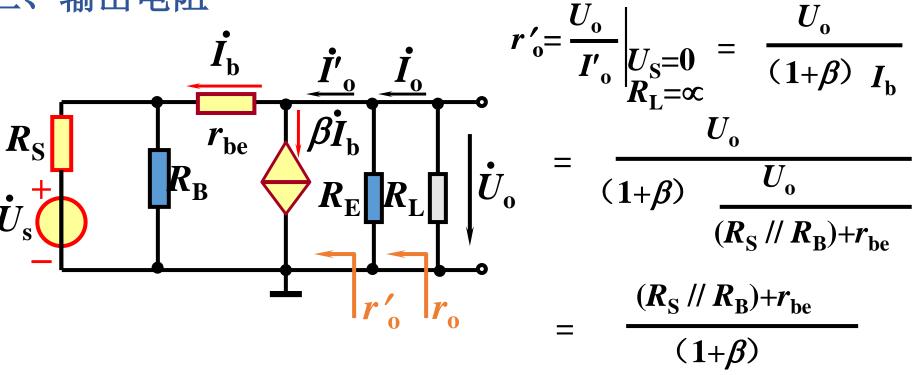
$$r_{\rm i} = rac{U_{
m i}}{I_{
m i}} = rac{U_{
m i}}{U_{
m i}} + rac{U_{
m i}}{r_{
m be} + (1+eta)(R_{
m E}/\!/R_{
m L})}$$

$$= R_{
m B}/\!/[r_{
m be} + (1+eta)(R_{
m E}/\!/R_{
m L})]$$

与共射极放大电路相比,共集电极放大电路的 输入电阻大大提高了。



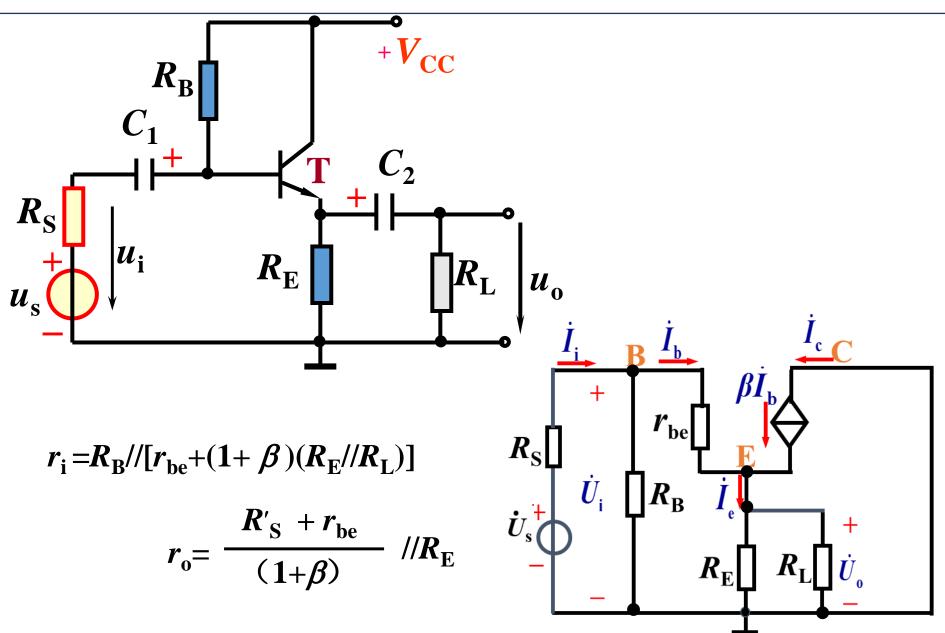




$$r_0 = r'_0 / / R_E = \frac{R'_S + r_{be}}{(1+\beta)} / / R_E$$
  $(R'_S = R_S / / R_B)$ 

输出电阻很低







#### 结论

#### 一、射极输出器的特点

- 1. 电压放大倍数近似等于1, 但恒小于1。
- 2. 输出电压与输入电压同相,具有跟随作用。
- 3. 输入电阻高。
- 4. 输出电阻低。

#### 二、射极输出器的应用

射极输出器可作多级放大电路的输入级、输出级或中间级。 作输入级时,因其输入电阻高,可以减小放大电路对信号 源的影响;

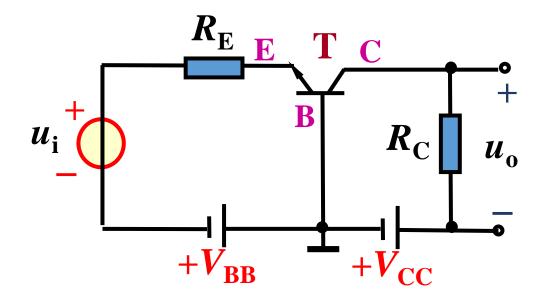
作输出级时,利用它输出电阻低的特点,可以稳定输出电压,提高带负载能力;

将射极输出器接在两级共发射极放大电路之间作中间级时,可以起阻抗变换作用,改善电路间直接相连所带来的影响。

## 2.5.2 基本共基放大电路



#### 电路结构



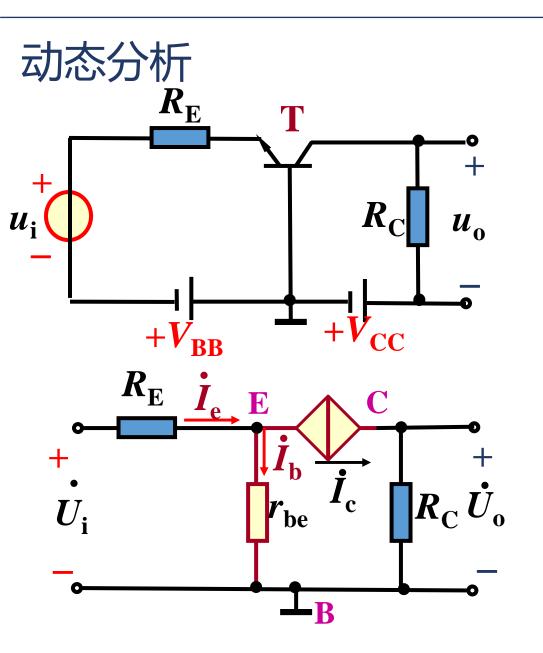
#### 静态分析

$$U_{
m E}$$
=- $U_{
m BE}$ 
 $U_{
m C}$ = $V_{
m CC}$  - $I_{
m C}R_{
m E}$ 

$$\left\{egin{array}{l} I_{
m E}=rac{V_{
m BB}-U_{
m BE}}{R_{
m E}} \ I_{
m B}=rac{I_{
m E}}{1+oldsymbol{eta}} \ U_{
m CE}=U_{
m C}-U_{
m E}=V_{
m CC}-I_{
m C}R_{
m E}+U_{
m BE} \end{array}
ight.$$

# 2.5.2 基本共基放大电路





$$A_{\rm u} = \frac{\dot{U_{\rm o}}}{\dot{U_{\rm i}}} = \frac{\dot{I_{\rm c}}R_{\rm C}}{\dot{I_{\rm e}}R_{\rm E} + \dot{I_{\rm b}}r_{\rm be}}$$
$$= \frac{\beta R_{\rm C}}{r_{\rm be} + (1 + \beta)R_{\rm E}}$$

只能放大电压不能放大电流

$$r_{
m i}$$
=  $rac{U_{
m i}}{I_{
m i}}$  =  $R_{
m E}$ +  $rac{r_{
m be}}{(1+eta)}$ 
 $r_{
m o}$ =  $rac{U_{
m o}}{I_{
m o}}igg|_{egin{array}{c} U_{
m S}=0 \ R_{
m L}=\infty \end{array}}$  工作频带宽

# 2.5.3 三种接法的比较



#### 晶体管单管放大电路的三种基本接法的特点:

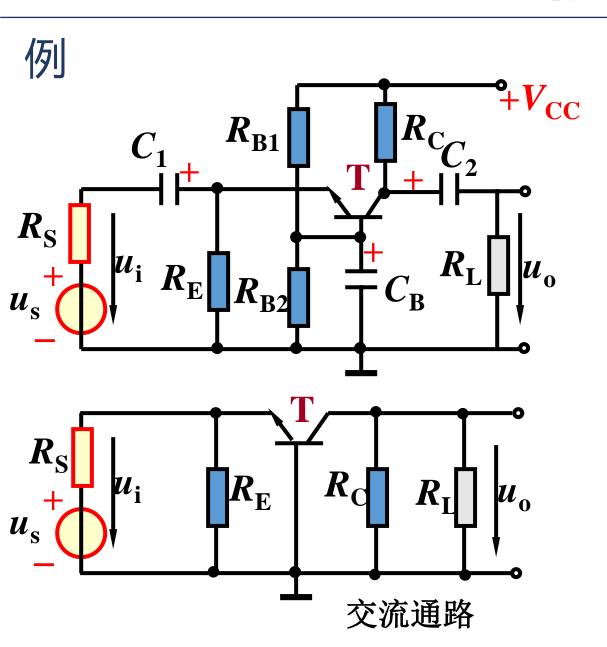
共射极电路既能放大电流又能放大电压,输入电阻在三种电路中居中,输出电阻较大,频带较窄。常做为低频电压放大电路的单元电路。

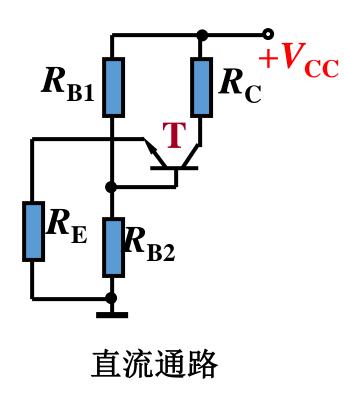
共集电极电路只能放大电流不能放大电压,是三种接法中输入电阻最大、输出电阻最小的电路,并具有电压跟随的特点。常用于电压放大电路的输入级和输出级,在功率放大电路中也常采用射极输出的形式。

共基极电路只能放大电压不能放大电流,输入电阻小,电压放大倍数和输出电阻与共射极电路相当,频率特性是三种接法中最好的电路。常用于宽频带放大电路。

# 2.5.2 基本共基放大电路



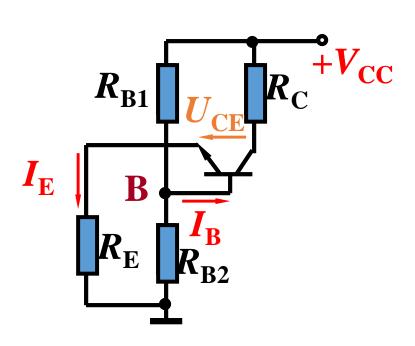




### 2.5.2基本共基放大电路



#### 静态分析



忽略 $I_{\rm B}$ ,则

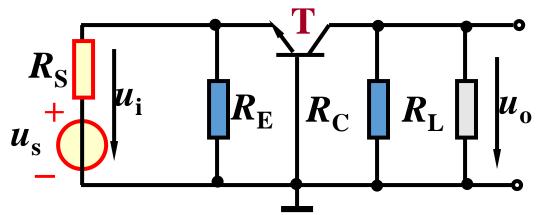
$$U_{\rm B}=V_{\rm CC} \; \frac{R_{\rm B1}}{R_{\rm B1}+R_{\rm B2}}$$

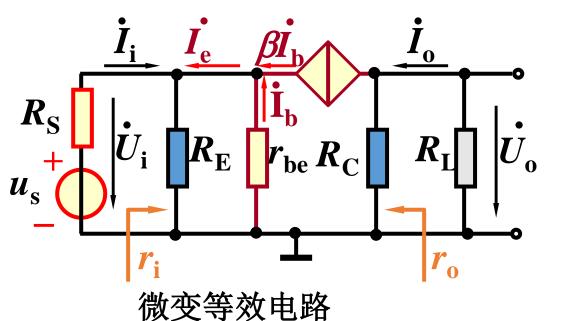
$$\begin{cases} I_{\mathrm{C}} \approx I_{\mathrm{E}} = \frac{U_{\mathrm{B}} - U_{\mathrm{BE}}}{R_{\mathrm{E}}} \\ I_{\mathrm{B}} = \frac{I_{\mathrm{E}}}{1 + \beta} \\ U_{\mathrm{CE}} = V_{\mathrm{CC}} - I_{\mathrm{C}} (R_{\mathrm{C}} + R_{\mathrm{E}}) \end{cases}$$

# 2.5.2基本共基放大电路









$$A_{\rm u} = \frac{\dot{U_{\rm o}}}{\dot{U_{\rm i}}} = \frac{-\beta \ \dot{I_{\rm b}} R_{\rm C} /\!/R_{\rm L}}{-\dot{I_{\rm b}} r_{\rm be}}$$
$$= \beta \frac{(R_{\rm C} /\!/R_{\rm L})}{r_{\rm be}}$$

$$= \frac{U_{\rm i}}{I_{\rm i}} = \frac{U_{\rm i}}{\frac{U_{\rm i}}{R_{\rm E}} + (1+\beta) \frac{U_{\rm i}}{r_{\rm be}}}$$
$$= \frac{r_{\rm be}}{(1+\beta)}$$

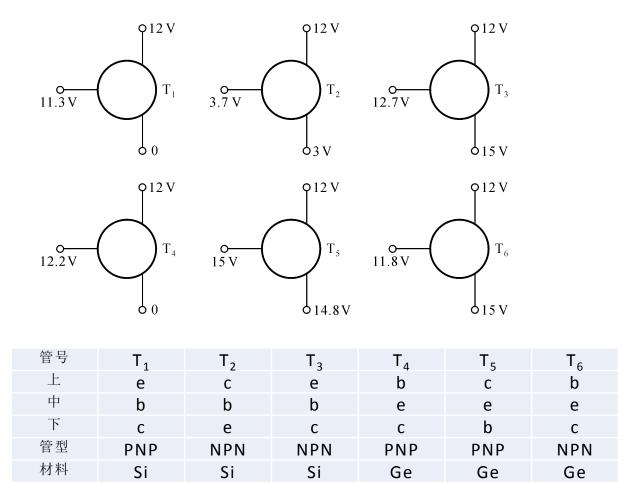
$$r_{\rm o} = \frac{U_{\rm o}}{I_{\rm o}} \bigg|_{\substack{U_{\rm S}=0 \\ R_{\rm L}=\infty}} = R_{\rm C}$$



作业 2.12

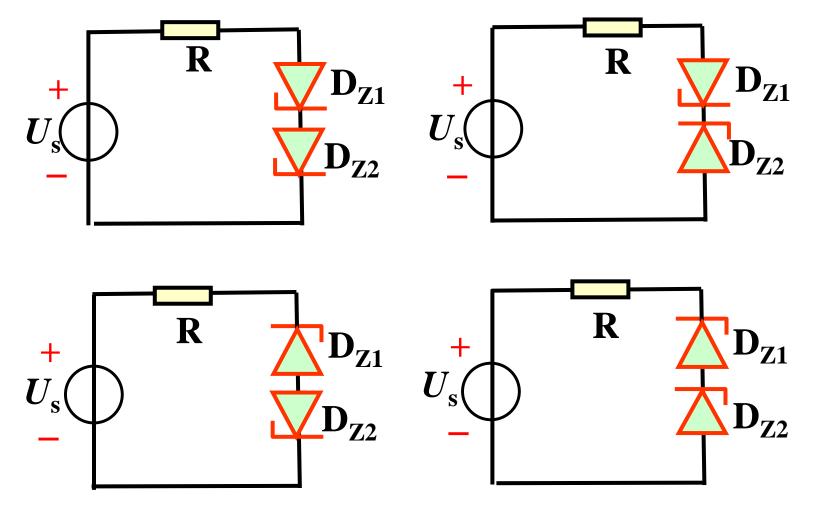


# 测得放大电路中六只晶体管的直流电位如图所示。在圆圈中 画出管子,并分别说明它们是硅管还是锗管。





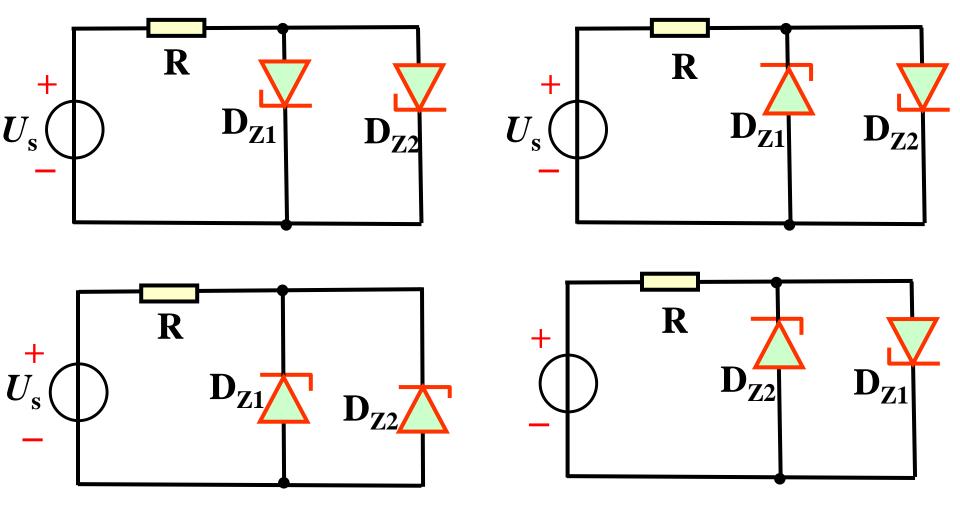
- 它们的稳定电压分别为6V和8V,正向导通电压为0.7V。试问:
  - (1) 若将它们串联相接,则可得到几种稳压值?各为多少?
  - (2) 若将它们并联相接,则又可得到几种稳压值?各为多少?





它们的稳定电压分别为6V和8V,正向导通电压为0.7V。试问:

- (1) 若将它们串联相接,则可得到几种稳压值?各为多少?
- (2) 若将它们并联相接,则又可得到几种稳压值?各为多少?

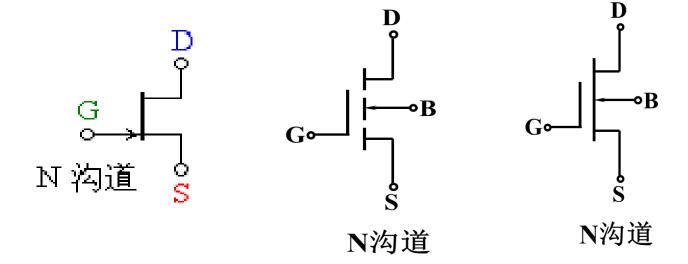




# 第2章 基本放大电路

- 2.1 放大的概念和放大电路的主要性能指标
- 2.2 基本共射放大电路的工作原理
- 2.3 放大电路的分析方法
- 2.4 放大电路静态工作点的稳定
- 2.5 晶体管单管放大电路的三种基本接法
- 2.6 场效应管放大电路



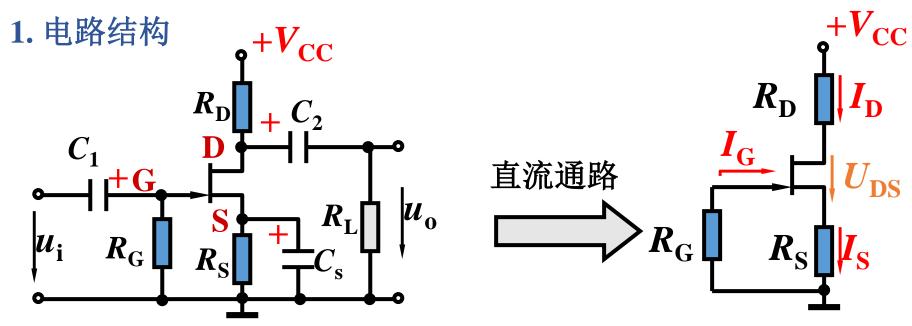


# 2.6 场效应管放大电路



#### 共源极放大电路

一、自给偏压电路



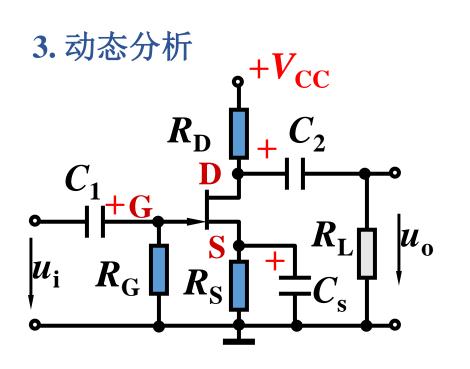
#### 2. 静态分析

$$I_{\rm G}$$
=0,  $I_{\rm D}$ = $I_{\rm S}$ 

$$U_{ ext{GS}} = -I_{ ext{D}}R_{ ext{S}}$$
 $I_{ ext{D}} = I_{ ext{DSS}}(1 - \frac{U_{ ext{GS}}}{U_{ ext{GS(off)}}})^2$ 
 $U_{ ext{DS}} = V_{ ext{CC}} - I_{ ext{D}}(R_{ ext{D}} + R_{ ext{S}})$ 

# 2.6 场效应管放大电路





(1) 电压放大倍数

$$A_{\rm u} = \frac{\dot{U}_{\rm o}}{\dot{U}_{\rm i}} = -g_{\rm m}(R_{\rm D}//R_{\rm L})$$

- (2) 输入电阻  $r_i = \frac{U_i}{I_i} = R_G$
- (3) 输出电阻  $r_{o} = \frac{U_{o}}{I_{o}} \mid U_{i} = 0 = R_{D}$

