

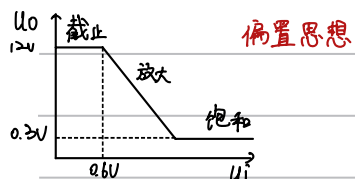
5.1.1 第五章 基本放大电路

基本放大器 单个晶体场效应管构成放大器

输入: 音频信号  0V 处于截止区

解决: 加偏置直流电压, 大于 $U_{BE(on)}$

输出: 幅度需控制使之不失真



5.1.2 直流通路和交流通路

直流通路: 提供一个合适的直流工作点 Q

(放大倍数, 输入、输出电阻)

交流通路: 围绕静态工作点 Q 上下波动 $\rightarrow$ 分析交流性能指标

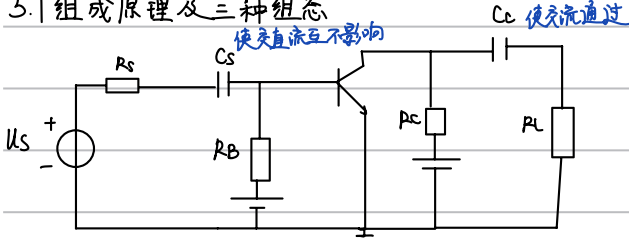
画直流通路: 不加交流信号, 电容视为断开, 电感视为短路.

恒定电压源保留

画交流通路: 所有大电容(容抗极小) 短路, 小电容 大

电感(容抗大)视为断路, 恒定电压源(内阻为0) $\rightarrow$ 短路, 接地

5.1 组成原理及三种组态



交流放大：针对交流放大，同时直流在工作点

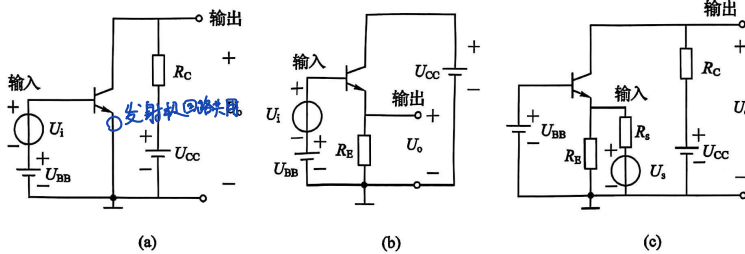


图 5.1.2 三种组态放大电路

(a) 共发射极组态；(b) 共集电极组态；(c) 共基极组态
CE CC CB

基极只作输入，集电极只作输出

当基极/集电极被失，则发射极作输入/输出

5.1.2 直流偏置电路

1. 固定偏流电路

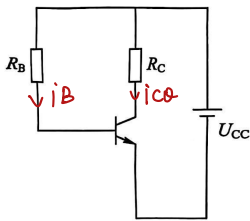


图 5.1.4 固定偏流电路

$$U_{BQ} = U_{BE(on)} = 0.7V/0.3V$$

$$U_{CC} = R_B \cdot I_{BQ} + U_{BQ}$$

$$I_{BQ} = \frac{U_{CC} - U_{BQ}}{R_B}$$

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

$$U_{CEQ} = U_{CC} - I_{CQ} \cdot R_C \text{ (集电极电压)}$$

温度变化，\$I_{CQ}\$，\$U_{CEQ}\$ 变化，不稳定

2. 电流负反馈偏置电路

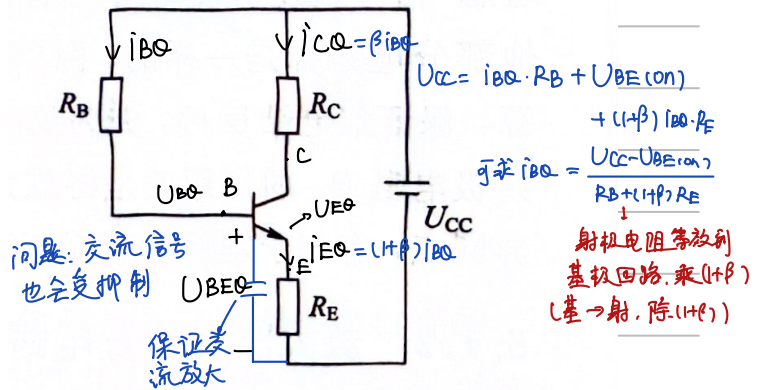
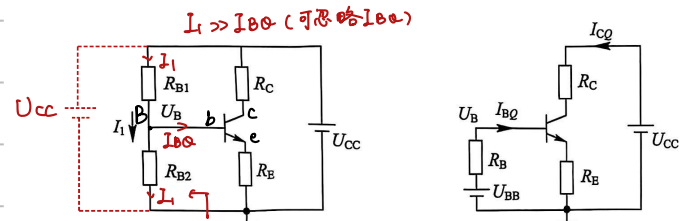


图 5.1.5 电流负反馈型偏置电路

(\$R_E\$ 两端电压)
\$T \uparrow, I_{CQ} \uparrow, U_{EQ} = I_{EQ} R_E \uparrow, U_{BEO} = U_{CC} - U_{BE(on)} - U_{EQ} \downarrow\$
\$I_{BQ} \downarrow, I_{CQ} = \beta I_{BQ} \downarrow\$ (负反馈)
\$R_E\$ 越大，抑制效果越强

3. 分压式电流负反馈



目的：固定 (\$U_B\$ (\$\frac{1}{5} \sim \frac{1}{3} U_{CC}\$), \$I_C = \beta I_B\$ 基本不变化)

图 5.1.6 分压式电流负反馈偏置电路

等效：\$U_{BB} = U_{CC} \cdot \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}\$ (串联分压) 忽略 \$I_{BQ}\$ 后得到

$$R_B = R_{B1} \parallel R_{B2}$$

$$U_{BB} = R_B \cdot I_{BQ} + R_E \cdot I_{EQ} + U_{BE(on)}$$

$$I_{BQ} = \frac{U_{BB} - U_{BE(on)}}{R_B + (1+\beta) R_E}$$

快速估算：\$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{U_B - U_{BE(on)}}{R_E}\$

$$U_{CEQ} = U_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E)$$

$$U_{CEQ} = U_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E)$$

4. 讨论：

① \$R_E\$ 的影响

\$R_E \uparrow, U_{CEQ} \downarrow, I_{CQ} \downarrow\$ 接近截止区

② R_B 的影响

$R_B \uparrow (R_{B1} \uparrow, R_{B2} \downarrow) \rightarrow U_{BE} \downarrow$

5. 工作状态 (饱和, 放大, 截止)

(1) 判断已结 (发射结正偏 or 反偏)

$U_{BE} \geq U_{BE(on)}$

(2) 若截止 $I_{BQ} = I_{CQ} = 0$

$U_{CEQ} = U_{CC}$

(3) 若导通

① 先假设在放大, 计算 $U_{CEQ} = U_{CC} - U_{BE} > 0$ | > 0 放大
| < 0 饱和

若放大, 则所有计算有效

若饱和, 则 $U_{CEQ} = U_{CESat}$

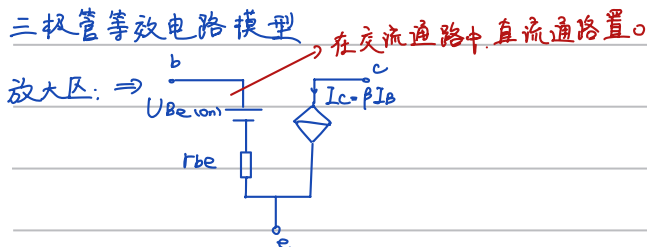
△ 等效电路分析

① 用直流通路计算工作点, 确认电路处于放大区

② 用放大模型代入交流通路

③ 求解各参数

三极管等效电路模型



△ 共射放大器分析

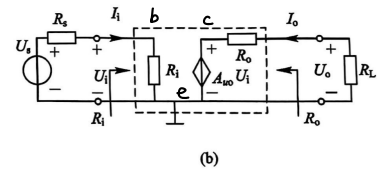
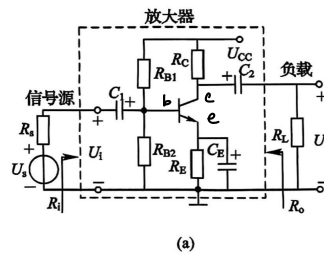


图 5.2.4 共射放大器电路及模型

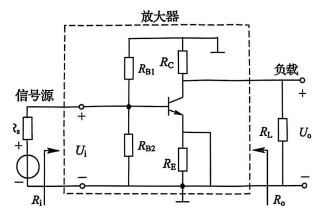


图 5.2.5 放大器的交流通路

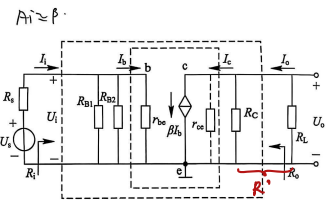


图 5.2.6 共射放大器的交流小信号等效电路

① A_u $I_b = \frac{U_i}{r_{be}}$, $I_c = \beta I_b = \frac{\beta U_i}{r_{be}}$

$U_o = -I_c \cdot (R_C // R_L) = -\frac{\beta U_i}{r_{be}} \cdot (R_C // R_L)$

$\therefore \frac{U_o}{U_i} = -\frac{\beta}{r_{be}} (R_C // R_L) = -\frac{\beta \cdot R_L'}{r_{be}}$ 其中 $R_L' = R_C // R_L$

很小

② 输入阻抗 $R_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be} \approx r_{be}$
(电流源阻抗视为无穷大)

③ 输出阻抗: 从 R_L 向里看 $R_o = R_C$ 较不理想

④ 电流增益 A_i (负载为电流表, 输入为电流信号) 功率增益

r_{be} 小, $I_b \approx I_i$, $I_c = \beta I_b = I_o$

$\therefore A_i = \beta$

优点: 电压与电流放大倍数大, 有功率增益

缺点: 输入阻抗太小, 输出阻抗太大

共射

△ 电流负反馈放大器分析

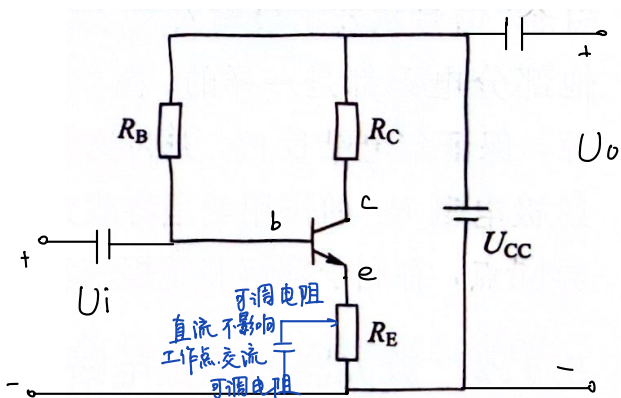
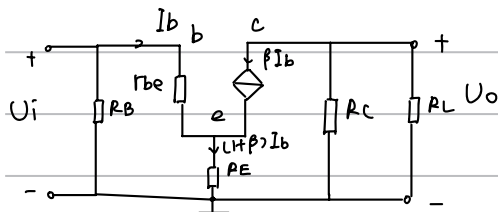


图 5.1.5 电流负反馈型偏置电路

交流小信号模型



① 电压增益 A_u

$$U_i = I_b \cdot r_{be} + (1 + \beta) I_b \cdot R_E$$

$$U_o = -\beta I_b \cdot (R_C \parallel R_L)$$

$$\therefore A_u = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{\beta (R_C \parallel R_L)}{r_{be} + (1 + \beta) R_E} \approx -\frac{R_C \parallel R_L}{R_E} \approx -\frac{R_C}{R_E}$$

$\Rightarrow R_L$ 很大

射极 → 基极转化

A_u 几乎与 β 无关

输入阻抗变大

② 输入阻抗 $R_i = R_B \parallel (r_{be} + (1 + \beta) R_E) \approx R_B \parallel (1 + \beta) R_E$

③ 输出阻抗 $R_o = R_C$

△ 共集电极放大器 (CC 放大器)

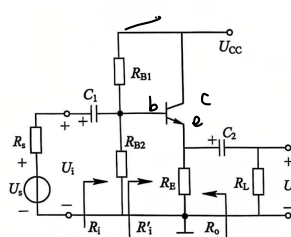


图 5.3.1 共集组态放大器电路

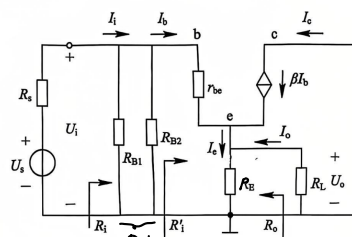


图 5.3.2 共集组态放大器小信号等效电路

直流通路: 分压负反馈偏置电路

① 电压放大倍数

$$U_o = I_e \cdot (R_E \parallel R_L) = (1 + \beta) I_B \cdot (R_E \parallel R_L)$$

$$U_i = I_b \cdot r_{be} + (1 + \beta) I_B \cdot (R_E \parallel R_L)$$

$$\therefore \frac{U_o}{U_i} = \frac{(1 + \beta)(R_E \parallel R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)(R_E \parallel R_L)} \approx 1$$

$\rightarrow$ 可忽略

② 输入电阻 $R_i = R_B \parallel (r_{be} + (1 + \beta) R_L) \approx R_B \parallel (1 + \beta) R_L$ 很大

③ 输出电阻 $R_o = R_E \parallel \frac{r_{be} + (R_S \parallel R_{B1} \parallel R_{B2})}{1 + \beta}$ 很小

④ 电流增益 $A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{(1 + \beta) I_B}{I_B} = 1 + \beta$

△ 共基极放大器 类似于 I/V 变换器

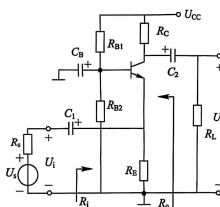


图 5.4.1 共基极放大器电路

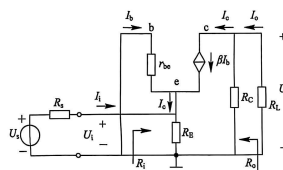


图 5.4.2 共基极放大器小信号等效电路

特性与共射相反

$$A_u = \frac{\beta \cdot (R_C \parallel R_L)}{r_{be}}$$

$$R_i = R_E \parallel \frac{r_{be}}{1 + \beta}$$

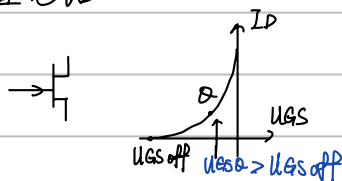
$$R_o = R_C$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{\beta I_B}{(1 + \beta) I_B} \approx 1$$

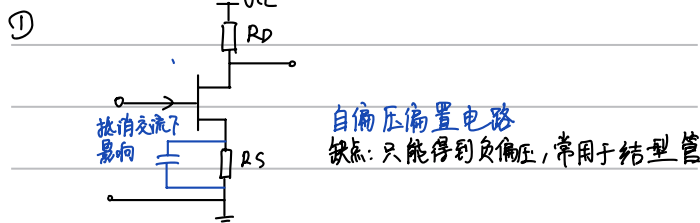
总结	共射	共集	共基
A_u	$-\frac{\beta \cdot R_L}{r_e}$	≈ 1	$\frac{\beta \cdot R_L'}{r_e}$
A_i	β	$1+\beta$	≈ 1
R_i	r_{be}	$(1+\beta)R_L'$	$\frac{r_{be}}{1+\beta}$
R_o	R_C	$\frac{r_{be}}{1+\beta}$	R_C

5.5 场效应管放大器 (工作在恒流区, 压控电流源)

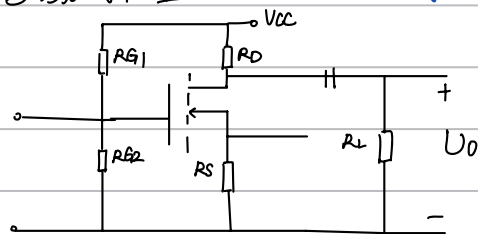
1. 偏置电路



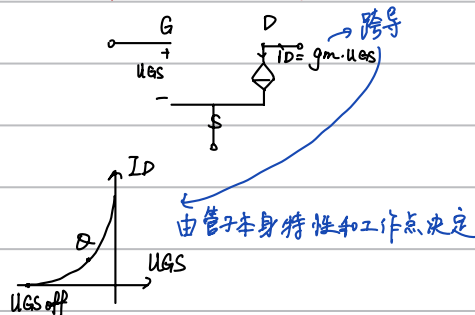
$$U_{DS} > U_{GS} - U_{GS(off)}$$



② 分压式偏置电路 优点: 可得到正、负、零多种偏压



FET 工作在恒流区 等效为一个压控电流源



△ 共源放大器

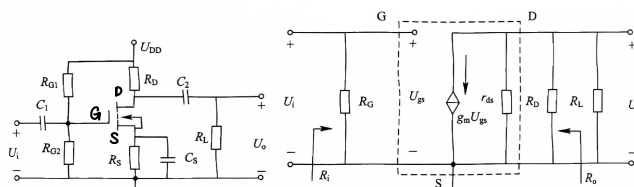


图 5.7.4 共源放大器电路

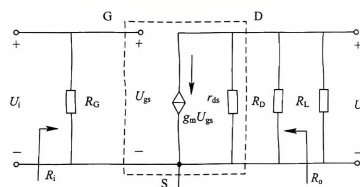


图 5.7.5 共源放大器的小信号等效电路

$$① A_u = \frac{-g_m \cdot U_{GS} \cdot (R_D // R_L)}{U_{GS}} = -g_m \cdot (R_D // R_L)$$

$$② R_i = R_G$$

$$③ R_o = R_D$$

△ 共漏放大器

1. 共漏放大器

共漏放大器信号从栅极输入、源极输出, 漏极交流接地, 其电路及小信号等效电路分别如图 5.7.7(a)、(b) 所示。

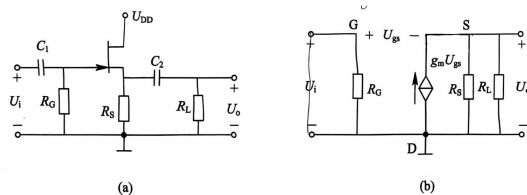


图 5.7.7 共漏放大器电路及其小信号等效电路

(a) 共漏放大器电路; (b) 小信号等效电路

$$① A_u = \frac{g_m \cdot U_{GS} \cdot (R_S // R_L)}{U_{GS} + g_m \cdot U_{GS} \cdot (R_S // R_L)} = \frac{g_m \cdot (R_S // R_L)}{1 + g_m \cdot (R_S // R_L)}$$

$$② R_i = R_G$$

$$③ R_o = R_S // \frac{1}{g_m} \quad (1-)$$

△ 共栅放大器

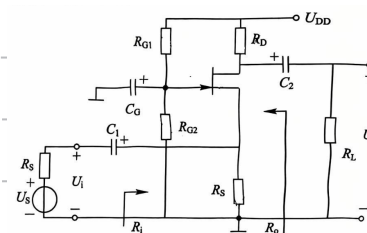


图 5.7.9 共栅放大器电路

$$① A_u = g_m \cdot (R_D // R_L)$$

$$② R_i = R_S // \frac{1}{g_m} \approx \frac{1}{g_m}$$

$$③ R_o = R_D$$

5.6 放大器的组合(级联)

5.6.1 级间耦合

(1) 电容耦合 交流传递, 阻断直流 (可由电容实现)

(2) 变压器 优点: 能实现阻抗变换, 实现阻抗匹配, 允许两端不共地

(3) 直接耦合 (直流耦合)

① 直流工作点配置问题 (越往后, 信号输出范围越小)

② 工作点漂移 —— 各级均引入电流负反馈

5.6.2 级联放大倍数 A_u , R_i , R_o 的计算

① $A_u = A_{u1}' \cdot A_{u2}' \dots A_{un}'$ (增益可通过级联来扩大)

$\frac{u_{o1}}{u_{i1}}$ | 级联状态下 (考虑了第二级负载)

② $R_i = R_{i1}'$ (R_{i1} | 级联状态下) (第一级对 R_i 起决定作用)

③ $R_o = R_{on}'$ (R_{on} | 级联状态下) (最末级对 R_o 起决定作用)

(1) CC-CE 组合 (改善输入, 输出特性)

(2) CE-CB 组合 改善高频特性