

符号主义

- $V_{CEQ}$  直流量
- $V_{ce}$  交流量
- $v_{ce}$  瞬时量
- $V_{opp}$  交流量的有效值, 峰峰值

主要性能指标

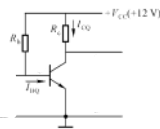
- 增益
  - $A_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i}$
  - $A_{vo} = \frac{V_{oo}}{V_i}$
  - $A_{vs} = \frac{V_o}{V_s}$
- 输入电阻  $R_i = \frac{V_i}{I_i}$  反映放大电路从源级取电压的能力, 影响  $A_{vs}$
- 输出电阻  $R_o = \frac{V_o'}{I_o'} \bigg|_{V_s=0, R_L=\infty} = \left( \frac{V_{oo}}{V_o} - 1 \right) R_L$  反映放大电路带负载的能力

静态分析

$V_i = 0$

单电源偏置:

不能保持Q点稳定



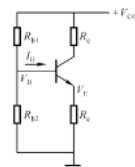
$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BEQ}}{R_b}$$

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

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} \cdot R_c$$

分压偏置:

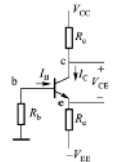
自动稳定Q点 (负反馈)



$$V_{BB} = \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} \cdot V_{CC} \quad R_b' = R_{b1} // R_{b2}$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BEQ}}{R_b' + (1 + \beta) R_e} \quad V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} (R_c + R_e)$$

双电源射极偏置



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

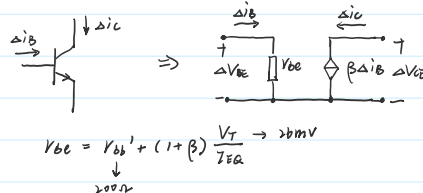
$$V_{CEQ} = V_{CC} + V_{EE} - I_{CQ} (R_c + R_e)$$

单管放大电路

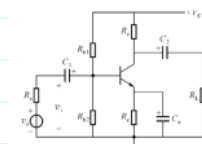
交流通路与小信号模型

交流通路: 电容短路, 直流电源以短路

三极管小信号模型



共射CE组态



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

$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // r_{be} \quad R_o = R_c$$

Q过高, 会出现饱和失真:  $V_{o(max)} = V_{CEQ} - V_{CES}$

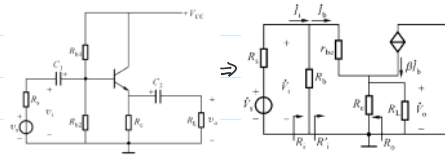
Q过低, 会出现截止失真:  $V_{o(max)} = I_{CQ} \cdot R_L'$

Q过高, 先出现饱和失真:  $V_{o(max)} = V_{CEQ} - V_{CEs}$

Q过低, 先出现截止失真,  $V_{o(max)} = I_{CQ} \cdot R_L'$

动态分析

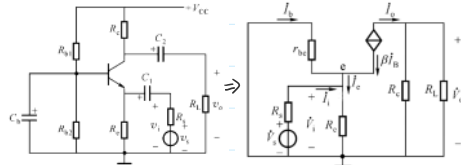
共集CC组态



$$\dot{A}_v = \frac{(1+\beta)R_L'}{r_{be} + (1+\beta)R_L'}$$

$$R_i = R_b // [r_{be} + (1+\beta)R_L'] \quad R_o = R_e // \frac{r_{be} + R_b // R_s}{1+\beta}$$

共基CB组态



$$\dot{A}_v = \frac{\beta R_L'}{r_{be}}$$

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

|         | 电压增益      | 输入电阻     | 输出电阻   | 特点               | 用途          |
|---------|-----------|----------|--------|------------------|-------------|
| 共射 (CE) | 反相, 电压增益大 | 较大 (几千欧) | 较大 (欧) | 既有电压放大, 又有电流放大作用 | 应用广泛, 中间级   |
| 共集 (CC) | 同相, 近似为1  | 最大       | 最小     | 输入电阻高, 输出电阻低     | 阻抗变换, 电压缓冲器 |
| 共基 (CB) | 同相, 电压增益大 | 最小 (几十欧) | 较大 (欧) | 频率特性好            | 宽频或高频放大电路   |

多级放大电路

耦合方式

阻容耦合: 低频响应差

直接耦合: 零点漂移

变压器耦合:  $\alpha$  互不影响; 频率特性差

光电耦合

分析计算

逐级计算,  $R_{in}$  作为后级放大电路的负载

计算:  $R_i$ : 若一级为 CC 电路, 受后级  $R_i$  的影响

计算:  $R_o$ : 末级为 CC 电路, 受前级  $R_o$  的影响

频率特性

低频段:  $\dot{A}_v = \frac{j\omega/\omega_L}{1 + j\omega/\omega_L}$

$20\lg|\dot{A}_v| = 20\lg\frac{\omega}{\omega_L} - 20\lg\sqrt{1 + (\frac{\omega}{\omega_L})^2}$   $\omega < \omega_L$  十倍频增 20dB  
 $\varphi = 90^\circ - \arctan\frac{\omega}{\omega_L}$   $0.1\omega_L < \omega < 10\omega_L$  十倍频减 45°

高频段:  $\dot{A}_v = \frac{1}{1 + j\omega/\omega_H}$

$20\lg|\dot{A}_v| = -20\lg\sqrt{1 + (\frac{\omega}{\omega_H})^2}$   $\omega > \omega_H$  十倍频减 20dB  
 $\varphi = -\arctan\frac{\omega}{\omega_H}$   $0.1\omega_H < \omega < 10\omega_H$  十倍频减 45°

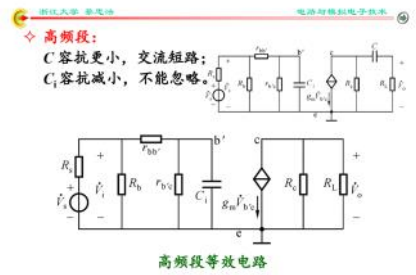
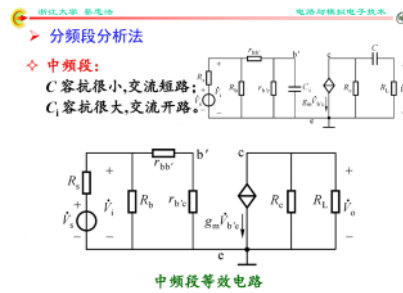
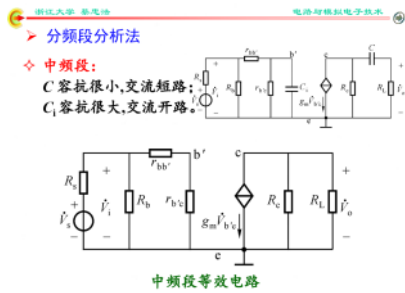
全频段电压放大倍数:  $\dot{A}_{vs} = \dot{A}_{vsm} \cdot \frac{j\omega/\omega_L}{1 + j\omega/\omega_L} \cdot \frac{1}{1 + j\omega/\omega_H}$

低频段:  $\dot{A}_{vs} \approx \dot{A}_{vsm} \cdot \frac{j\omega/\omega_L}{1 + j\omega/\omega_L}$

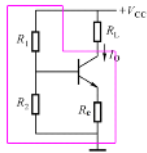
中频段:  $\dot{A}_{vs} \approx \dot{A}_{vsm}$

高频段:  $\dot{A}_{vs} \approx \dot{A}_{vsm} \cdot \frac{1}{1 + j\omega/\omega_H}$

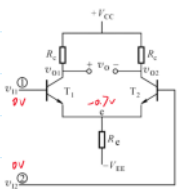
## 分频段分析



## 电流源电路



## 差分放大

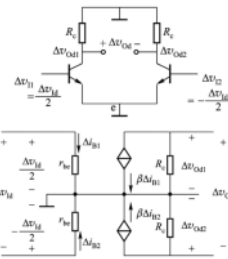


静态分析:  $I_C \approx I_E = \frac{V_{EE} - 0.7}{2R_E}$

差模 (大) 共模 (小)

$\Delta V_O = A_{vd} \Delta V_{id} + A_{vc} \Delta V_{ic}$

交流分析  
(差模)



双端:  $A_{vd} = -\frac{\beta \cdot R_C}{r_{be}}$   $R_{id} = 2r_{be}$   $R_o = 2R_C$

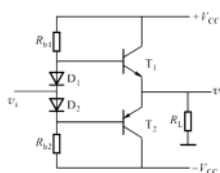
单端输出:  $A_{vd1} = -\frac{\beta \cdot R_C}{2r_{be}}$   $R_{id} = 2r_{be}$   $R_o = R_C$

$A_{vd2} = \frac{\beta \cdot R_C}{2r_{be}}$

共模抑制比  $K_{CMR} = \left| \frac{A_{vd}}{A_{vc}} \right|$  可用 dB 表示

## 互补对称共集

交越失真



D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> 用于  
提供 T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> 的  
静态偏置

乙类放大: 导通角为  $\theta = \pi$ ;  
甲类放大: 导通角为  $\theta = 2\pi$ ;  
甲乙类放大: 导通角介于  $\pi$  和  $2\pi$  之间。

## 集成运放

