

6-4 多级放大电路与频率特性

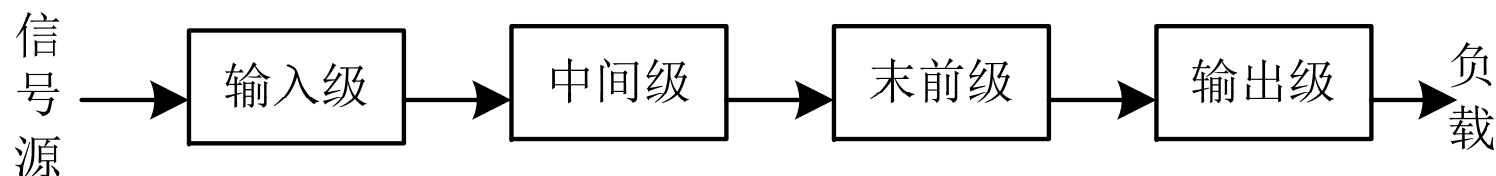


主要内容

1. 多级放大电路的级间耦合方式
2. 多级放大电路的性能指标
3. 阻容耦合放大电路的频率特性



多级放大电路组成



- 输入级，一般要求有尽可能高的输入电阻（减小对小信号获取时的能量损失）和低的静态工作点（减小输入级的噪声和功耗，同时也尽可能的减小下一级静态工作点的提高）
- 中间级的任务是提高放大电路的放大倍数，所以中间级应选用放大倍数较大的放大电路
- 输出级应尽可能选择输出电阻较小的放大电路，以利于提高放大电路的带载能力。
- 末前级和输出级组成功率放大电路。



6-4-1 多级放大电路的级间耦合方式

耦合：在多级放大电路中，每两个单级放大电路之间的连接方式。

对级间耦合电路的基本要求：

- 1.对前后级静态工作点的影响尽量小。
- 2.保证信号的传输。
- 3.减少信号电压在耦合电路上的压降。

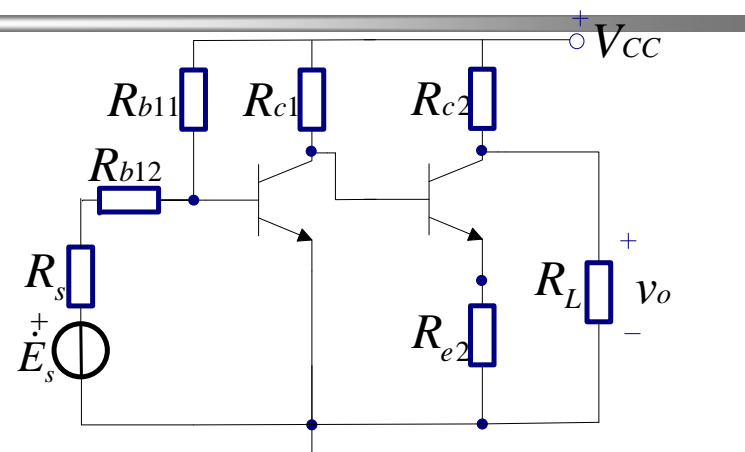
耦合方式：直接耦合、阻容耦合、变压器耦合。



1. 直接耦合

特点:

- 传送交流信号, 同时还传输直流信号
- 第一级放大电路会提高第二级放大电路的静态工作点, 有可能使第二级输出信号产生饱和失真。

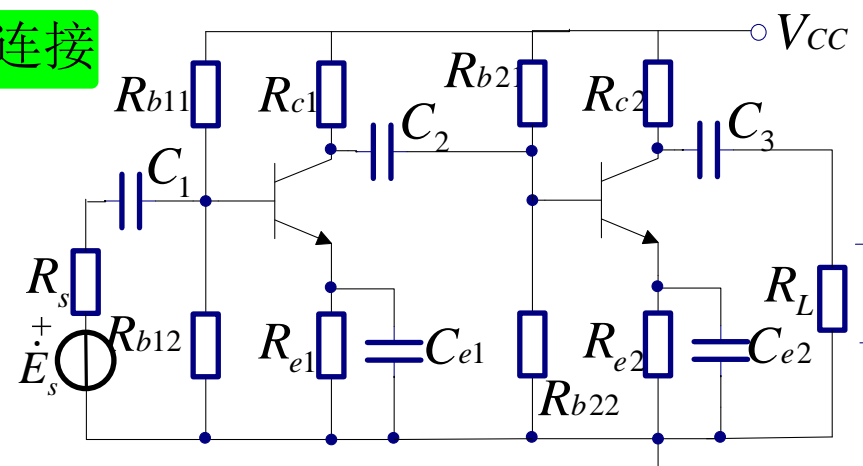


2 阻容耦合

两级之间通过耦合电容 C_2 与下一级电路连接

特点:

- 可以抑制零点漂移。
- 无法放大低频信号和直流信号。
- 在集成电路中, 无法制造大电容。
- 各级电路的静态工作点相互独立, 便于设计和调试。





6-4-2 多级放大电路的 \dot{A}_u, R_i, R_o

前级的输出信号 \dot{V}_{o1} 即为后级输入信号 \dot{V}_{i2}
而后级的输入电阻 R_{i2} 即为前级负载 R_{L1}

对于两级放大电路，

第一级电压放大倍数： $\dot{A}_{u1} = \frac{\dot{V}_{o1}}{\dot{V}_i}$ 第二级电压放大倍数： $\dot{A}_{u2} = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_{o1}}$

则总的放大倍数： $\dot{A}_u = \frac{\dot{V}_{o1}}{\dot{V}_i} \times \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_{o1}} = \dot{A}_{u1} \times \dot{A}_{u2}$

对于n级电压放大电路，其总电压放大倍数是各级电压放大倍数的乘积：

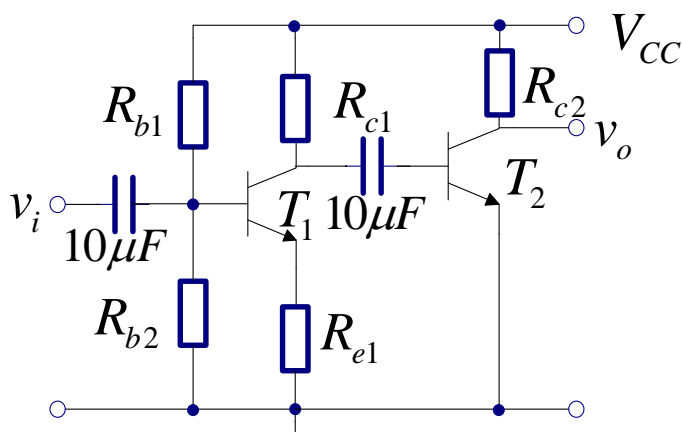
$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \times \dot{A}_{u2} \times \cdots \times \dot{A}_{un}$$

多级放大电路的输入电阻即为第一级放大电路的输入电阻；
输出电阻即为最后一级的输出电阻

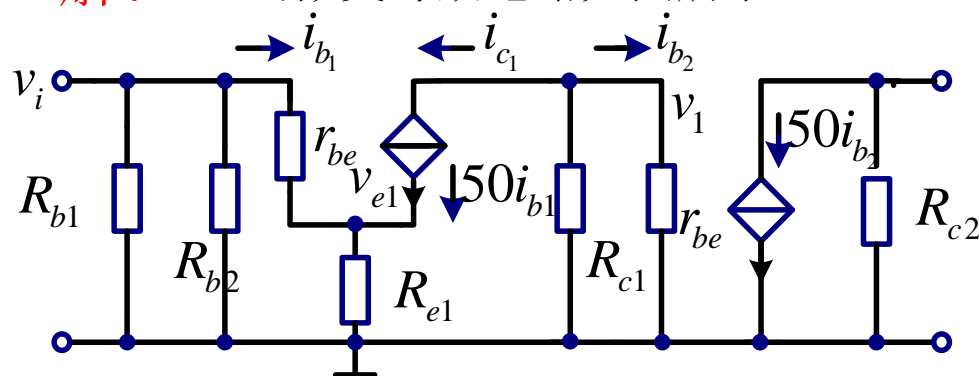


【例】用微变等效电路概念与方法，分析如图所示电路的功能、交流信号的输入—输出关系和参数特性，假设三极管都具有相同的参数， $\beta = 50$

$R_{b1} = 50k\Omega$, $R_{b2} = 10k\Omega$, $R_{c1} = 1k\Omega$, $R_{c2} = 10k\Omega$, $R_{e1} = 80\Omega$, $V_{CC} = 9V$, 电容都为 $10\mu F$



解：画出微变等效电路如图所示。

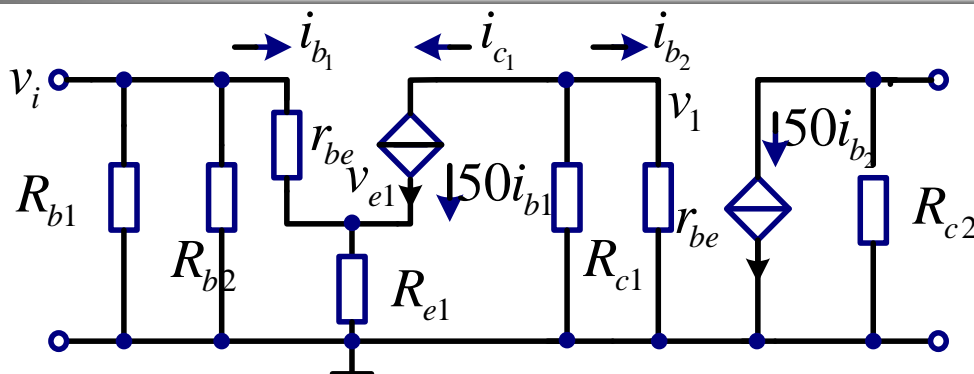


$$r_{be} = r_b + (1 + \beta) \cdot \frac{V_T}{I_{EQ}} \approx 1k\Omega$$

$$i_{b1} = \frac{v_i - v_{e1}}{r_{be}}$$

$$v_{e1} = (i_{c1} + i_{b1})R_{e1}$$

$$\text{解得： } i_{b1} = \frac{v_i}{r_{be} + (1 + \beta)R_{e1}}$$



$$i_{b1} = \frac{v_i}{r_{be} + (1 + \beta)R_{e1}}$$

$$i_{c1} = \beta i_{b1}$$

$$v_1 = -i_{c1}(R_{c1} // r_{be}) \quad v_1 = \frac{-(R_{c1} // r_{be})\beta}{r_{be} + (\beta + 1)R_{e1}} v_i \approx -5v_i$$

$$\frac{v_o}{v_1} = \frac{-\beta i_{b2} \cdot R_{c2}}{i_{b2} r_{be}} = -\beta \frac{R_{c2}}{r_{be}} = -500 \quad v_o = 2500v_i$$

整个电路对信号源的输入电阻是第一级电路的输入电阻：

$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // (r_{be} + (1 + \beta)R_{e1}) \approx 3k\Omega$$

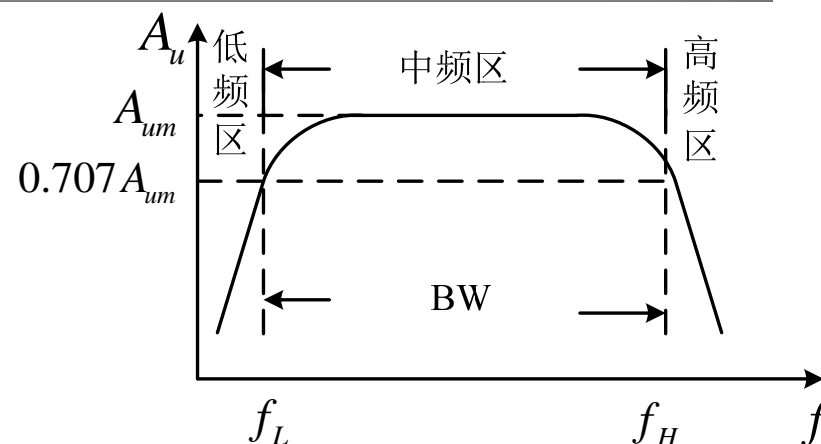
整个电路的输出电阻是第二级电路 T_2 的输出电阻： $R_o = R_{c2} = 10k\Omega$



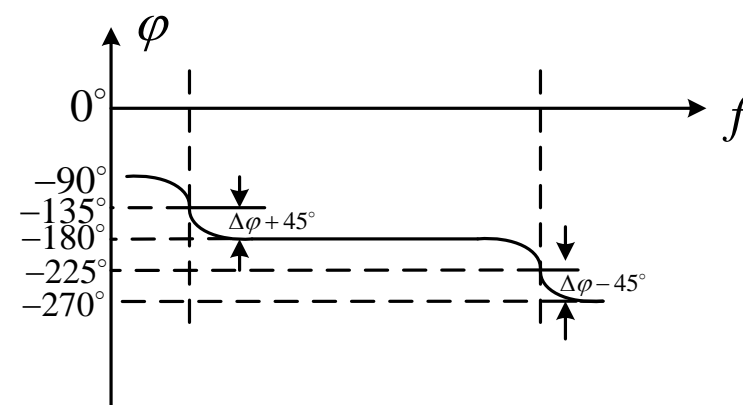
6-4-3 阻容耦合放大电路的频率特性

实际应用中输入放大电路的信号往往是由许多不同频率的信号分量（谐波分量）组合而成的复杂信号，信号的频率范围可能从几赫兹到几百兆赫兹

阻容耦合电路中除了耦合电容和旁路电容，还有晶体管本身所拥有的极间电容和电路的分布电容。极间电容和电路分布式电容都很小，约几皮法到几百皮法，它们的容抗随输入信号频率的变化而变化，从而影响放大电路的放大倍数和输出信号的相位。



单级阻容耦合放大电路的幅频特性



单级阻容耦合放大电路的相频特性



1. 中频区 C_1 C_2 C_e 的容抗较小可视为短路

三极管极间电容和电路分布式电容很小可以视为开路

放大倍数和输出信号的相位与电容无关的常量

此时电压的放大倍数幅值称为中频放大倍数；而幅角为-180度（共射放大电路电路）表示输出信号与输入信号反相。前面所讲的放大电路的微变等效以及电压放大倍数计算，均是指中频区的情况。

2. 低频区 C_1 C_2 C_e 不能再视为短路，

容抗随着频率的降低变大，其分压作用增强，导致信号传输损耗加大
旁路电容加大使得交流负反馈加大，结果导致电压放大倍数减小
同时，使输出电压相位对中频区前移一个附件相位： $\Delta\varphi$

3. 高频区 C_1 C_2 C_e 视为短路

三极管的结电容和电路的分布式电容不能再视为开路，结电容的容抗减小，导致放大电路的输入和输出阻抗减小，电压放大倍数减小，而且产生一个附加相位： $-\Delta\varphi$



放大电路的频率特性

- 当输入信号的频率高于某一数值后，三极管的 β 值将随频率的增加而减小
- 频率失真：
 - 幅频失真：放大电路输入信号的频率在高频段或者低频段时，放大电路对不同谐波信号的放大倍数不一样，将造成输出信号的幅度失真。
 - 相频失真：同样，所带来的对不同谐波产生的附加相移不同而导致输出信号的相位失真，称为相频失真。
- 直接耦合电路不存在耦合电容和旁路电容，因此在低频区电压放大倍数和相移不随频率的变化而变化，和中频区一样。在高频区三极管的结电容和电路分布式电容的影响依然存在，其高频的频率特性和阻容耦合放大电路的高频特性一样。