

放大器基础

放大器基本概念

放大的原理和实质

符号

直流用大写字母，交流用小写字母

下标

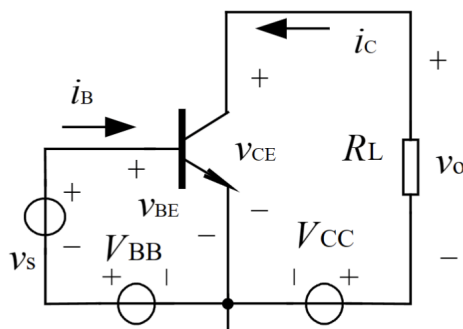
下表的两个字母代表两个点，有顺序，例如

$$V_{BE} = -V_{EB}$$

直流用大写，交流用小写，瞬时信号符号大写下标小写

$$v_{BE} = V_{BE} + v_{be}$$

原理



$$v_{BE} = V_{BB} + v_{be}$$

$$i_B = I_{BQ} + i_{bm}$$

由此可以写出

$$i_C = \beta i_b = \beta I_{CQ} + \beta i_b = I_{CQ} + I_{cm} \sin \omega t$$

$$v_{CE} = V_{CC} - i_C R_L = V_{CC} - I_{CQ} R_L - I_{cm} R_L \sin \omega t$$

其中 $-I_{CQ} R_L - I_{cm} R_L \sin \omega t = -V_{om} \sin \omega t = v_o$ 是交流信号 v_s 在放大器作用后输出的信号。只要 R_L 足够大，输出信号振幅 V_{om} 就有可能大于输入信号振幅 V_{sm}

下面进行功率分析：

发射结消耗功率：

$$P_I = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_{BE} i_B d\omega t = V_{BB} I_{BQ} + \frac{1}{2} V_{sm} I_{bm}$$

电源 V_{CC} 提供功率：

$$P_D = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{CC} i_C d\omega t = V_{CC} I_{CQ}$$

负载 R_L 上得到的功率：

$$P_L = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_C^2 R_L d\omega t = v_O i_C = I_{CQ}^2 R_L + \frac{1}{2} I_{cm}^2 R_L$$

其中 $v_O = -i_C R_L$

加到三极管上的电压：

$$P_C = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_C v_{CE} d\omega t = V_{CC} I_{CQ} - I_{CQ}^2 R_L - \frac{1}{2} I_{cm}^2 R_L$$

根据上面的式子，可以得到：

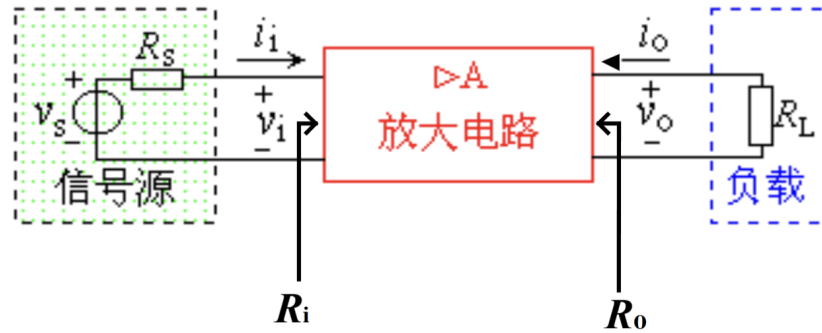
$$P_D = P_L + P_C$$

上面分析表明， V_{CC} 保证了三极管工作在放大区，而且也是提供能量的电源，小信号放大所需的能量来自 V_{CC} 。三极管起到能量转换器的作用，即将 V_{CC} 提供的部分功率转换为输出信号的功率。

放大器的性能指标

一、输入电阻、输出电阻

放大器可以看作有源四端网络



输入电阻 R_i

对于输入信号，放大器可以看作负载。用等效电阻 R_i 表示

$$R_i = \frac{v_i}{i_i}$$

R_i 越大，放大器输入端口得到的电压信号越大。 R_i 越小输入端口得到的电流信号越大。若此放大器的前面是另一极放大器， R_i 是前一极的负载。

输出电阻 R_o

从放大器的输出端向放大器看去，考虑到信号源的内阻，将输出电阻定义修正为，在独立电压源开路 $v_s = 0$ 或独立电流源开路 $i_s = 0$ 时，保留信号源内阻，由 R_L 两端向放大器看进去的等效电阻。可以用戴维南定理将电路简化

$$R_o = -\frac{v_{ot}}{i_{on}}$$

其中， v_{ot} 是 R_L 断路， v_i 或 i_i 在放大器输出端产生的开路电压， i_{on} 是将 R_L 短接， v_i 或 i_i 在输出端产生的短路电流。

二、增益

增益又被称为放大倍数，用 A 表示，定义为放大器输出量与输入量的比值

四种增益

电压增益：

$$A_v = \frac{v_o}{v_i}$$

电流增益：

$$A_i = \frac{i_o}{i_i}$$

互导增益：

$$A_g = \frac{i_o}{v_i}$$

互阻增益：

$$A_r = \frac{v_o}{i_i}$$

负载开路 and 短路时的增益

为了表明 R_L 对增益的影响，引入负载开路或短路时的增益。

R_L 开路时的电压增益

$$A_{vt} = \frac{v_{ot}}{v_i}$$

R_L 趋近于无穷时， $A_{vt} = A_v$

利用关系式

$$v_o = v_{ot} \frac{R_L}{R_o + R_L}$$

可以得到

$$A_v = A_{vt} \frac{R_L}{R_o + R_L}$$

R_o 越小， A_v 越大， R_L 对 A_v 影响也越小，当 $R_o \ll R_L$ 时， A_v 达到最大，与 R_L 几乎无关。

R_L 短路时的电流增益定义为

$$A_{in} = \frac{i_{on}}{i_i}$$

利用关系式

$$i_o = i_{on} \frac{R_o}{R_o + R_L}$$

可以得到

$$A_i = A_{in} \frac{R_o}{R_o + R_L}$$

R_o 越大, A_i 越大, R_L 对 A_i 的影响越小, 当 $R_o \gg R_L$ 时, $A_i \approx A_{in}$, A_i 达到最大, 与 R_L 几乎无关。

源增益

当输入电压源激励时, v_i 是 v_s 在 R_i 上的分压值, 即

$$v_i = v_s \frac{R_i}{R_s + R_i}$$

相应的源电压增益为

$$A_{vs} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{v_i} \cdot \frac{v_i}{v_s} = A_v \frac{R_i}{R_s + R_i}$$

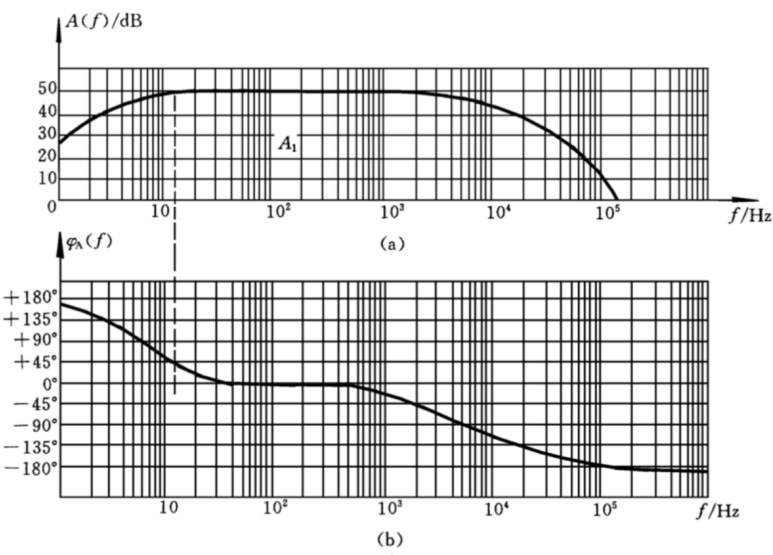
R_i 越大, A_{vs} 就越大。当 $R_i \gg R_s$ 时, $A_{vs} \approx A_v$, 达到最大, 且与 R_s 无关

四种放大器

放大器有四种增益表达式, 对应就有四种功能的放大器, 它们的区别表现在对 R_s 和 R_i 的要求上, 对应的功能也不同。

类型	增益	对 R_i 要求	对 R_o 要求	功能
电压放大器	A_v, A_{vs}	$R_i \gg R_s$	$R_o \ll R_L$	小电压变大电压
电流放大器	A_i, A_{is}	$R_i \ll R_s$	$R_o \gg R_L$	小电流变大电流
互导放大器	A_g, A_{gs}	$R_i \gg R_s$	$R_o \gg R_L$	小电压变大电流
互阻放大器	A_r, A_{rs}	$R_i \ll R_s$	$R_o \ll R_L$	小电流变大电压

频率响应



规定 $A(\omega)$ 自 A_i 下降到 $\frac{\sqrt{2}}{2}$ 倍所对应的频率分别为上限频率 f_H 和下限频率 f_L , 通频带

$$BW_{0.7} = f_H - f_L$$

失真

基本放大器
