

共射放大电路

直流: $V_{BEQ} + I_{EQ}R_e = V_B$
下半圈 KVL: $V_{BEQ} + I_{EQ}R_e = V_B$
VB处 KCL: $\frac{V_{CC} - V_B}{R_{b1}} = \frac{V_B}{R_{b2}} + I_{BQ}$
KCL: $V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c - I_{EQ}R_e$

交流通路: V_{CC} 接地, 电容短路
 $KVL: i_2R_b' = i_b r_{be} + (1 + \beta)i_b R_e \Rightarrow i_2$
 $i_1 = i_2 + i_b$ 求放大倍数时认为没有 R_{Si} $v_i = i_2R_b'$
 $A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{r_{be}i_b + (1 + \beta)i_b R_e}{\beta i_b R_L'}$
 $R_i = \frac{v_i}{i_1} = \frac{v_i}{i_2 + i_b} = R_b' // [r_{be} + (1 + \beta)R_e]$

求输出电阻: 去掉 v_s 和 R_L , 在 R_L 原来的位置加测试电压 v_t , 此时 KVL 得 $i_b = 0$, $R_o = R_c$

共集

直流: $V_{BEQ} + I_{EQ}R_e = V_B$
下半圈 KVL: $V_{BEQ} + I_{EQ}R_e = V_B$
VB处 KCL: $\frac{V_{CC} - V_B}{R_{b1}} = \frac{V_B}{R_{b2}} + I_{BQ}$
KCL: $V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c - I_{EQ}R_e$

交流通路: 令 $R_L' = R_e // R_L$
 $KVL: i_2R_b' = i_b r_{be} + (1 + \beta)i_b R_e \Rightarrow i_2$
 $i_1 = i_2 + i_b$ 求放大倍数时认为没有 R_{Si} $v_i = i_2R_b'$
 $A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{(1 + \beta)i_b R_L'}{i_b r_{be} + (1 + \beta)i_b R_L'} \approx 1$
 $R_i = \frac{v_i}{i_1} = R_b' // [r_{be} + (1 + \beta)R_L']$
 $R_o = \frac{v_t}{i_t}, i_b = -\frac{v_t}{r_{be} + R_{Si} // R_b}, i_t = i_e' - i_b - \beta i_b = \frac{v_t}{R_e} - (1 + \beta)i_b R_c$
 $R_o = R_e // \frac{r_{be} + R_{Si} // R_b}{1 + \beta} \sim \frac{r_{be}}{1 + \beta}$ 求输出电阻: (此时不再有 $i_{e'} = (1 + \beta)i_b$)

共基

直流: $V_{BEQ} + I_{EQ}R_e = V_B$
下半圈 KVL: $V_{BEQ} + I_{EQ}R_e = V_B$
VB处 KCL: $\frac{V_{CC} - V_B}{R_{b1}} = \frac{V_B}{R_{b2}} + I_{BQ}$
KCL: $V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c - I_{EQ}R_e$

交流等效: R_{b1}, R_{b2} 均被短路
 $KVL: 0 = i_b r_{be} + (1 + \beta)i_b (R_{Si} // R_e) \Rightarrow i_b = 0 \Rightarrow R_o = R_c$
 $r_{be} \approx 200\Omega + (1 + \beta) \frac{26(mV)}{I_{EQ}(mA)}$
 $A_{vs} = \frac{u_o}{u_i} = A_v \cdot \frac{R_i}{R_i + R_{Si}}$

BJT:

截止失真: 输入失真 \rightarrow 输出失真
Q点选的太低, 增大 V_{CC} 或者减小 R_b

饱和失真: 输出失真
Q点选的太高, 减小 V_{CC} 或增大 R_b 或减小 R_c

倒T型网络DAC

不管开关如何设置, 电阻网络的电特性不变, A、B、C、D 端口等效电阻都是 R

量化: $i_j = \frac{V_{REF}}{2^j R} (D_j 2^j), j = 0 \sim 3$
 $v_o = -\frac{V_{REF}}{2^4} \cdot D (D \text{ 是 Bin} \rightarrow \text{Dec 的结果})$
和寄存器配合可以制作阶梯波形产生电路

只舍不入量化方式: 取量化单位 Δ , 量化中把不足 Δ 部分舍弃, 其最大量化误差为 Δ 。
四舍五入量化方式: 取量化单位 Δ , 量化中将不足半个 Δ 部分舍去, 对于等于或大于半个 Δ 的部分按一个量化单位处理。其最大量化误差为 $1/2 \Delta$ 。 量化 \rightarrow 编码

并行比较ADC:
电阻分压网络将参考电压 V_{REF} 分成7个等级电压, 比较器同时将输入模拟电压 v_i 与7个等级电压比较, 触发器在每个时钟保存比较结果, 优先编码器对触发器状态编码

逐次比较ADC

放电 $T_1 = \frac{2R_1 R_6 C}{R_2}$, 充电 $T_2 = \frac{2R_1 R_5 C}{R_2}$
最长转换时间: $n * T_{CLK}$

0. 数据寄存器清零
1. 最高位置1 $D = T_2 f_{CLK}$
若 $v_O > v_I$, 则清0, 否则保留
2. 次高位置1
若 $v_O > v_I$, 则清0, 否则保留
1. $v_L = 1, S_0$ 打开, $S_1 \rightarrow v_I, v_O = \frac{1}{C} \int_0^{T_1} \frac{v_I}{R} dt = \frac{-T_1 v_I}{RC}$
2. $S_1 \rightarrow -V_{REF}, v_O = \frac{1}{C} \int_0^{T_2} \frac{V_{REF}}{R} dt - \frac{v_L}{RC} T_1 = 0, T_2 = \frac{T_1 v_I}{V_{REF}}$

集成运算放大器

差模信号: $v_o = v_p - v_n$, 共模信号: $v_c = (v_p + v_n) / 2$
 $v_o = A(v_p - v_n)$, $v_o = v_{od} + v_{oc} = A_{od} v_d + A_{oc} v_c$

反相输入端: N , 输出端: O , 同相输入端: P

理想运放: 开环差模电压增益 $A_{vo} = 20 \lg \left| \frac{v_o}{v_d} \right| \text{ dB} \rightarrow \infty$
差模输入电阻 $r_i \rightarrow \infty$, 输出电阻 $r_o \rightarrow 0$
共模抑制比 $K_{CMR} = 20 \lg \left| \frac{A_{od}}{A_{oc}} \right| \text{ dB} \rightarrow \infty$

运放电路分析方法

虚短: $v_o = A_{vo}(v_p - v_n)$, A_{vo} 很大 (线性区), 故 $v_p \approx v_n$
虚断: 因 $r_i \rightarrow \infty, i_p, i_n \rightarrow 0$; 放大倍数恒定: $v_L = \frac{R_L}{R_o + R_L} v_o = v_o$
工作曲线: 线性区很窄, 例: $V_{om} = 15V, V_{im} = 15\mu V$, 当 $|v_i| > V_{im}$ 时饱和, $v_o = \pm V_{om}$

电压反馈: 反馈信号的大小与输出电压成比例, 反馈电路直接从输出端引出, 将输出电压“短路”, 反馈信号为零; 电流反馈: 反馈信号的大小与输出电流成比例, 反馈电路从负载电阻靠“地”端引出, 将输出电压“短路”, 反馈信号仍然存在。

线性应用: 虚断、虚短、引入负反馈

同相比例: $A_v = \frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$
反相比例: $A_v = -\frac{R_2}{R_1}$
电压跟随器: $A_v = 1$
加法: $v_o = -\left(\frac{R_f}{R_{11}} v_{i1} + \frac{R_f}{R_{12}} v_{i2}\right)$
减法: $v_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \frac{R_3}{R_2 + R_3} v_{i2} - \frac{R_f}{R_1} v_{i1}$

多个电源用叠加定理也可

积分: $v_o = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^{t_1} v_i dt + v_o(t_0)$
微分: $v_o = -R_1 C \frac{dv_i}{dt}$

非线性: 正反馈, 虚断成立, 虚短不成立 ($v_p \neq v_n$)

单门限电压比较器: 可通过调换运放同相/反相端, 来改变跳变方向

迟滞比较器: 找 $v_p = v_n$ 临界条件求出 $v_T(+/-)$
 $v_p = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{REF} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_o$
 $v_{T+} = v_p (v_o = V_{OH})$
 $v_{T-} = v_p (v_o = V_{OL})$

方波和锯齿波产生电路

同相输入迟滞比较器: 输出限幅

积分电路: 输入限幅

逐次比较ADC

数据寄存器: 存储转换结果

控制逻辑: 控制比较器、DAC、寄存器

转换控制信号: CLK , S_0, S_1