

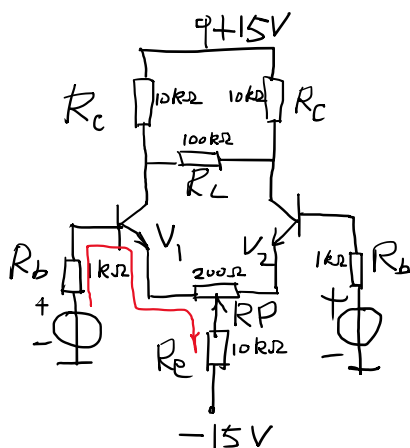
习题五、集成运算放大器

5.1 什么是差模信号？什么是共模信号？差动放大电路对这两种信号的放大能力如何？差动电路的发射极电阻 R_e 对差模信号和共模信号的作用各如何？

答：差模信号是施加在差动放大电路两个输入端的大小相同方向相反的两个信号；共模信号是施加在这两个输入端的大小与方向完全相同的信号。差动放大电路需要对差模信号进行放大，对共模信号进行抑制。发射极电阻对差模信号没有负反馈作用，对于共模信号，它相当于电流串联负反馈，可以降低共模电压放大倍数，提高共模抑制比。

5.7 某差动放大电路如下图所示。 V_1 与 V_2 的参数相同， $V_{BE} = 0.7V$ ； $\beta = 150$ 。为了使输入为 0 时，输出也是 0，加了调零电位器 RP 。已知 $r_{bb'} = 200\Omega$ ， $R_{BP} = 200\Omega$ ，其他参数如图。试计算：

- (1) 静态时两管的 I_{BQ} ， I_{CQ} 和 V_{CEQ} 各为多少？
- (2) 计算差模电压增益 A_{vd} ；
- (3) 计算差模输入电阻 R_{id} 和差模输出电阻 R_{od} ；
- (4) 求共模输入电阻 R_{ic} 、共模电压增益 A_{vc} 和共模抑制比 K_{CMRR} 。



解：(1) 如图所示 BE 回路， $R_b \cdot I_{BQ} + 0.7 + (1 + \beta) \cdot I_{BQ} \cdot \left(2 \cdot R_e + \frac{1}{2} R_{RP}\right) = 15V$

$$I_{BQ} = \frac{15 - 0.7}{R_b + (1 + \beta) \left(\frac{1}{2} R_{RP} + 2R_e\right)} = \frac{-14.3}{-1 + 151 \times (0.1 + 20)} = \frac{14.3}{3036.1} = 4.7\mu A;$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 150 \times 4.7 = 705\mu A;$$

$$15 - I_{CQ} R_c - V_{CEQ} - I_{EQ} \cdot \frac{1}{2} R_{RP} - 2I_{EQ} R_E = -15$$

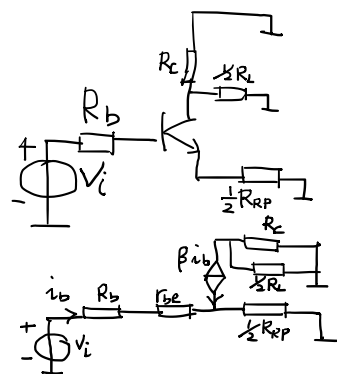
$$V_{CEQ} \approx 30 - I_{CQ} \left(R_c + \frac{R_{RP}}{2} + 2R_E\right)$$

$$= 30 - 0.705(10 + 0.1 + 20) = 8.78V$$

(2) 差模电压增益 A_{vd} 。交流通路及微变等效电路如图所示。

$$v_i = i_b(R_b + r_{be}) + (1 + \beta)i_b \frac{1}{2} R_{RP}$$

$$v_o = -\beta i_b R'_L = -\beta i_b \left(R_c \parallel \frac{1}{2} R_c\right)$$



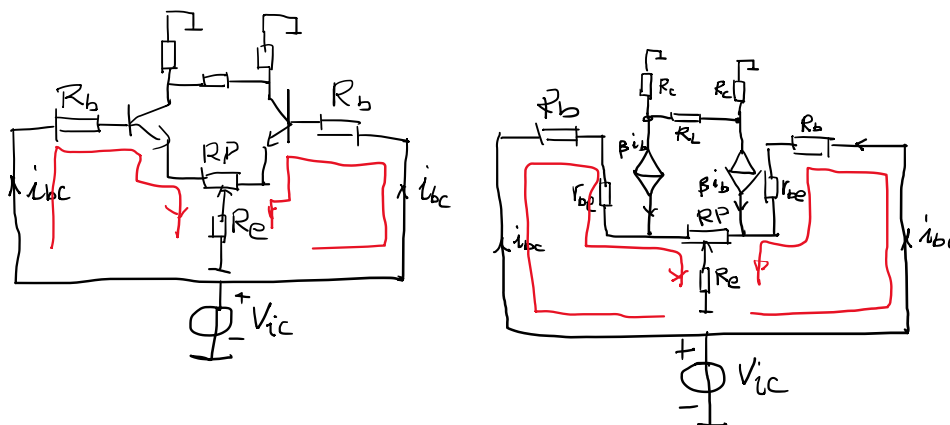
$$A_{vd} = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-\beta(R_c \parallel \frac{1}{2}R_c)}{(R_b + r_{be}) + (1+\beta)\frac{1}{2}R_{RP}}, \quad r_{be} = r_{bb'} + \frac{26}{I_E} = 0.2 + \frac{26}{4.7} = 5.73k\Omega$$

$$A_{vd} = -\frac{150 \times (10 \parallel 50)}{1 + 5.73 + (1+150) \times 0.1} = -\frac{1250}{21.83} = -57.26,$$

(3) 差模输入电阻 $R_{id} = 2 \left[(R_b + r_{be}) + (1+\beta)\frac{1}{2}R_{RP} \right] = 2 \times 21.83 = 43.66k\Omega$ 。

输出电阻 $R_{od} = 2R_c = 20k\Omega$

(4) 共模输入回路和微变等效电路如图所示。



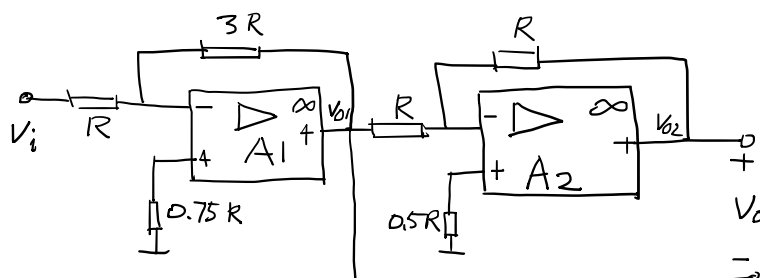
$$V_{ic} = i_{bc} \left(R_b + r_{be} + (1+\beta)\frac{1}{2}R_{RP} + 2(1+\beta)R_e \right)$$

$$R_{ic} = \frac{v_{ic}}{2i_{bc}} = \frac{\left(R_b + r_{be} + (1+\beta)\frac{1}{2}R_{RP} + 2(1+\beta)R_e \right)}{2}$$

$$= \frac{1 + 5.73 + 151 \times 0.1 + 2 \times 151 \times 10}{2} = \frac{3041.83}{2} = 1520.9k\Omega = 1.5M\Omega$$

双端输出: $A_{vc} \approx 0, K_{CMRR} \approx \infty$ 。

5.12 由两个运算放大器构成的单端输入差动输出放大电路如图所示。写出输出电压 v_o 与输入电压 v_i 的关系式。



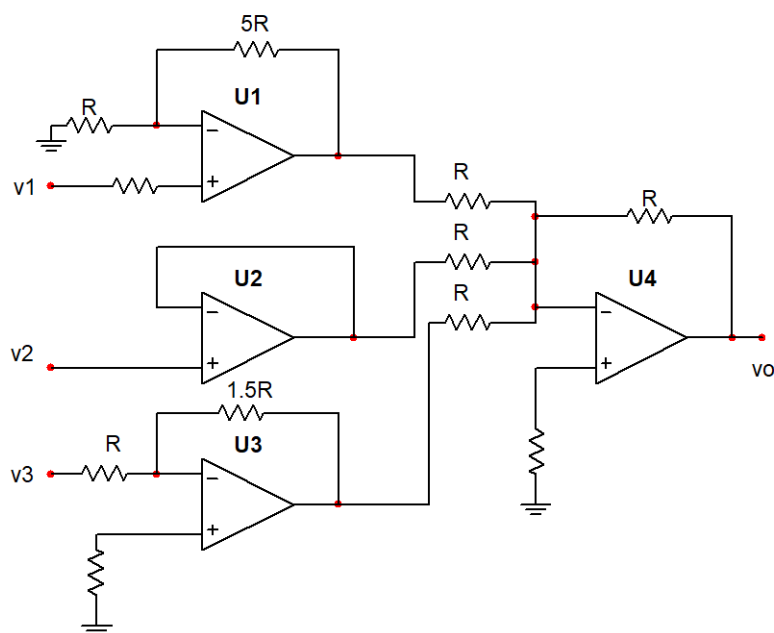
$$\text{解: } v_{01} = -\frac{v_i}{R} \cdot 3R = -3v_i, \quad v_{02} = -\frac{v_{01}}{R} \cdot R = -v_{01} = 3v_i$$

$$v_o = v_{02} - v_{01} = 6v_i。$$

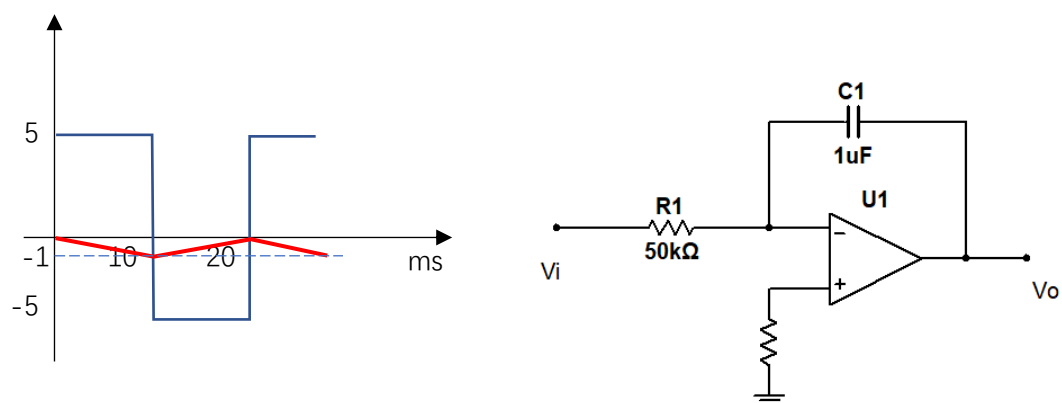
5.14 设计一个运算电路，完成 $v_0 = -6v_{i1} - v_{i2} + 1.5v_{i3}$ 。

解： $v_0 = -(6v_{i1} + v_{i2} - 1.5v_{i3}) = -(x + y + z)$

$x = 6v_{i1}, y = v_{i2}, z = -1.5v_{i3}$



5.17 设有一如下图所示的方波加在电路的输入端，其中 $R_1 = 50k\Omega$ ， $C = 1\mu F$ 。试画出理想情况下输出电压的波形。



$$v_0 = -\int \frac{1}{RC} v_i dt = -\frac{1}{RC} \int v_i dt = -\frac{1}{0.05} \int v_i dt = -20 \int v_i dt$$

10ms 充电， $\Delta v_0 = -20 \times 10 \times v_i = -0.2v_i$ ，前半周： $\Delta v_0 = -1V$ 。

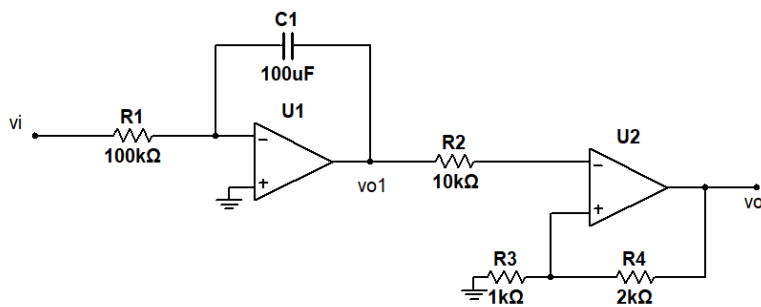
5.19 电路如下所示，运放为理想运放，最大输出电压 $v_{om} = \pm 12V$ 。

(1) 说明电路由哪两种电路组成的；

(2) 设电路初始电压是 0， $t=0$ 时， $v_0=-12V$ 。当加入 $v_i=1V$ 的阶跃信号后，需多长时间 v_0

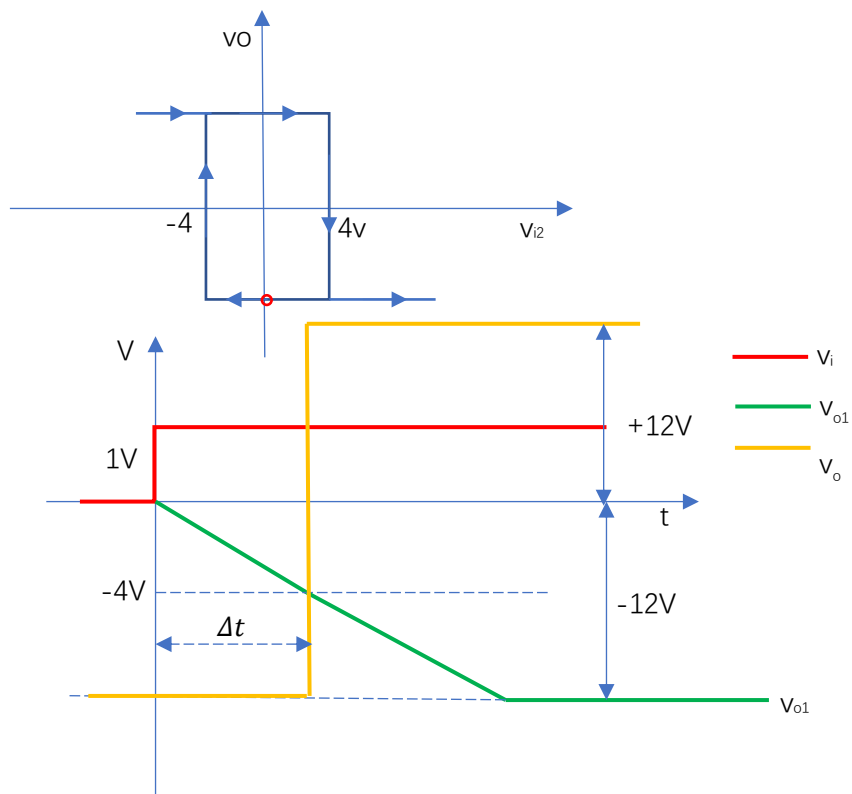
跳变到+12V;

(3)画出 v_{o1} 与 v_o 的波形。



解：(1) 电路由积分器与施密特触发器构成；

(2) U2 施密特触发器 $v_{T+} = \frac{1}{3} \times 12 = 4V$, $v_{T-} = \frac{1}{3} \times (-12) = -4V$



$$v_{o1} = -\frac{1}{R_1 C} \int v_i dt = -\frac{1 \cdot \Delta t}{100k\Omega \times 100\mu F} = -0.1\Delta t = -4V$$

$$\Delta t = 40s。$$