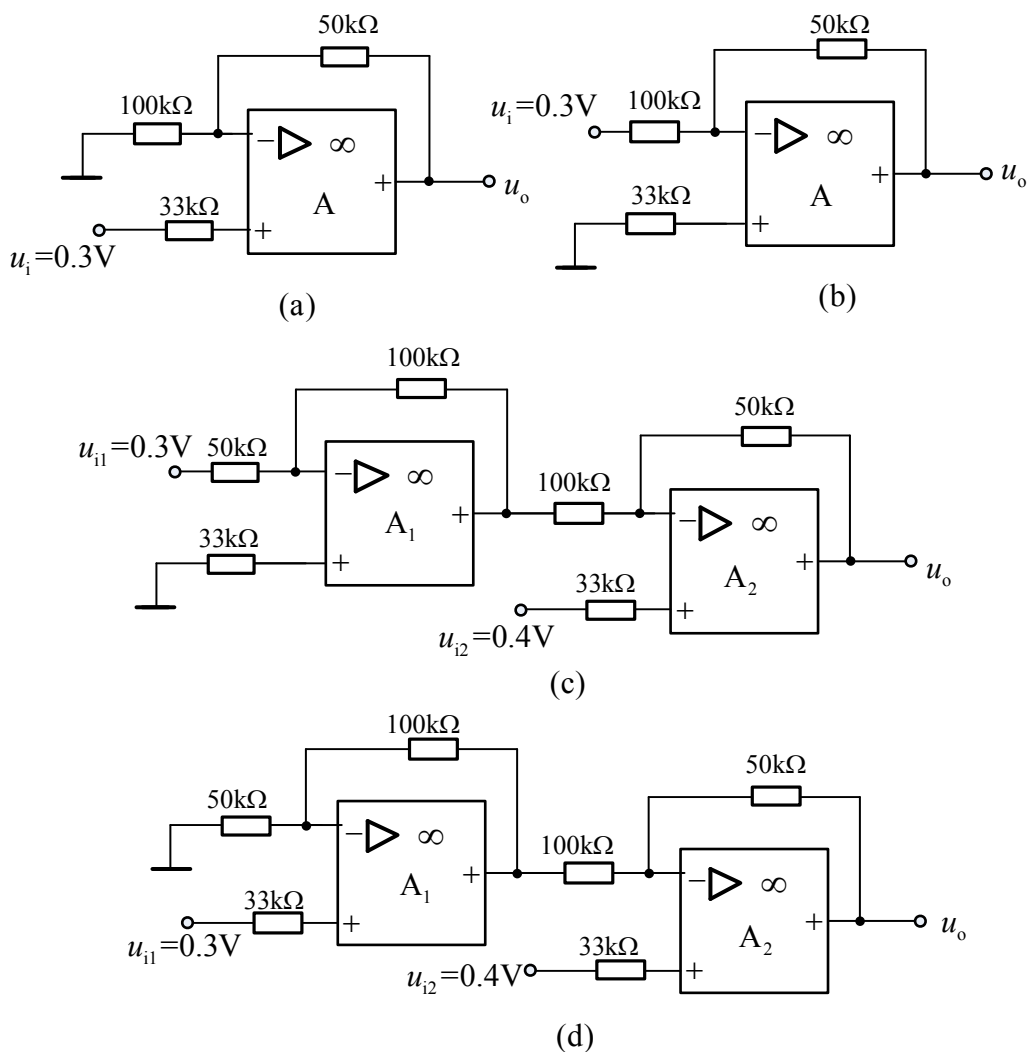


8.1 在题图 8.1 中, 各集成运算放大器均为理想的, 试求出各电路输出电压的值。



题图 8.1

解 (1) 根据虚断的特点, $i_+ = i_- = 0$, 有

$$u_- = \frac{100}{150} u_o$$

根据虚短的特点, $u_+ = u_-$, 有

$$u_- = \frac{100}{150} u_o = u_+ = u_i$$

所以, $u_o = \frac{3}{2} u_i = 0.45\text{V}$

(2) 根据虚断的特点, $i_+ = i_- = 0$, 有

$$\frac{u_i - u_-}{100} = \frac{u_- - u_o}{50}$$

根据虚短的特点, $u_+ = u_-$, 有

$$u_- = 0$$

所以, $u_o = -\frac{1}{2}u_i = -0.15\text{V}$

(3) 根据虚断的特点, $i_+ = i_- = 0$, 有

$$\frac{u_{i1} - u_-}{50} = \frac{u_- - u_{o1}}{100}, \quad \frac{u'_- - u_{o1}}{100} = \frac{u_o - u'_-}{50}$$

根据虚短的特点, $u_+ = u_-$, 有

$$u_+ = 0, \quad u'_+ = u_{i2}$$

所以, $u_o = \frac{1}{2}(3u_{i2} + 2u_{i1}) = 0.9\text{V}$

(4) 根据虚断的特点, $i_+ = i_- = 0$, 有

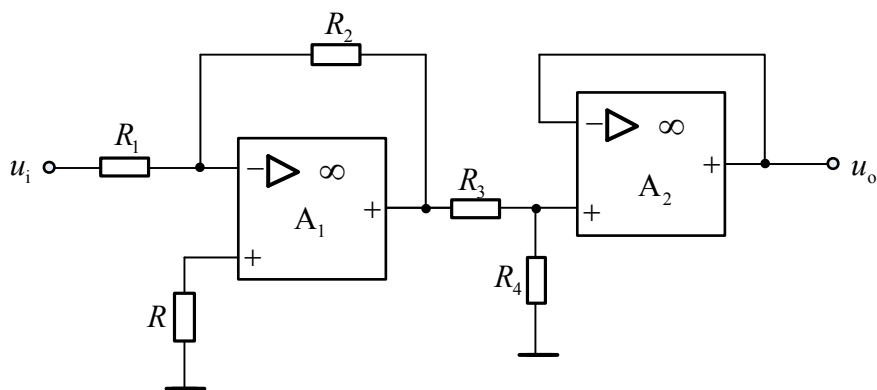
$$\frac{u_-}{50} = \frac{u_{o1} - u_-}{100}, \quad \frac{u'_- - u_{o1}}{100} = \frac{u_o - u'_-}{50}$$

根据虚短的特点, $u_+ = u_-$, 有

$$u_+ = u_{i1}, \quad u'_+ = u_{i2}$$

所以, $u_o = \frac{3}{2}(u_{i2} - u_{i1}) = 0.15\text{V}$

8.2 理想运放组成题图 8.2 所示电路。



题图 8.2

(1) 导出 $u_{o1} \sim u_i$ 、 $u_o \sim u_i$ 的关系式;

(2) 当 $R_2 = 2R_1$, $R_3 = R_4$, 运算最大输出 $U_{O\max} = \pm 15\text{V}$ 时, 画出 $u_{o1} \sim u_i$ 、 $u_o \sim u_i$ 的电压传输特性曲线。

解 (1) 根据虚断的特点, $i_+ = i_- = 0$, 有

$$\frac{u_i - u_-}{R_1} = \frac{u_- - u_{o1}}{R_2}, \quad \frac{u'_+ - u_{o1}}{R_3} = \frac{-u'_+}{R_4}$$

根据虚短的特点, $u_+ = u_-$, 有

$$u_+ = 0, \quad u'_- = u_o$$

$$\text{所以, } u_{o1} = -\frac{R_2}{R_1} u_i, \quad u_o = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} u_i$$

(2) 由(1)得, $u_{o1} = -2u_i$, $u_o = -u_i$

电压传输特性曲线如图 8.2(1) 所示。

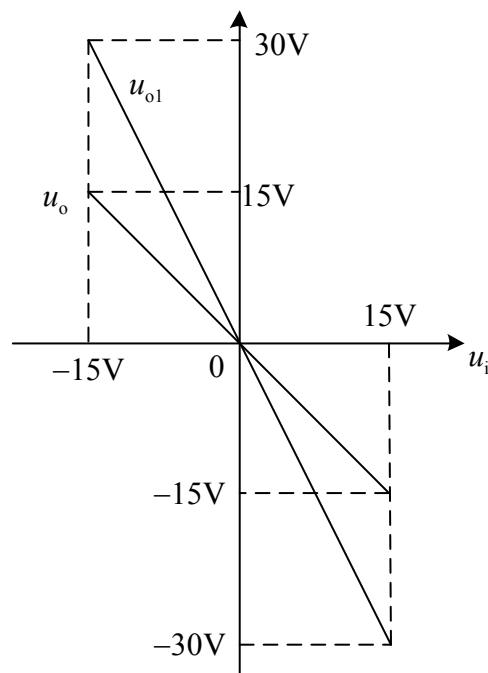
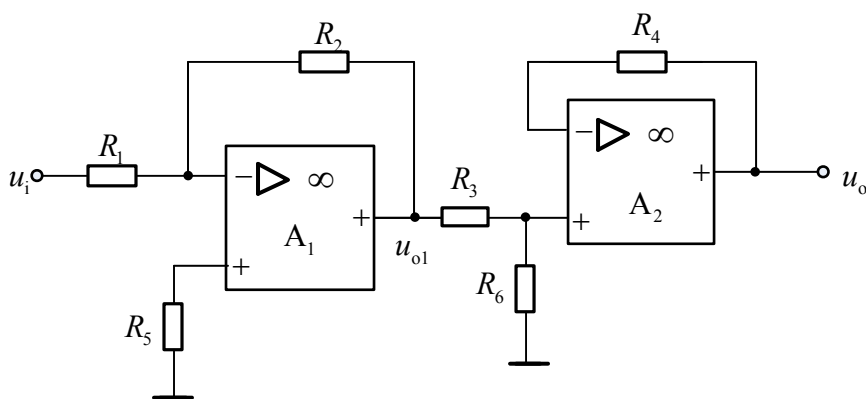


图 8.2(1)

8.3 理想运放组成题图 8.3 所示电路。

(1) 试导出 u_o 与 u_i 的关系式;

(2) 说明电阻 R_1 大小对电路性能的影响。



题图 8.3

解 (1) 根据虚断的特点, $i_+ = i_- = 0$, 有

$$\frac{u_i - u_-}{R_1} = \frac{u_- - u_{o1}}{R_2}, \quad \frac{u'_+ - u_{o1}}{R_3} = \frac{-u'_+}{R_6}$$

根据虚短的特点, $u_+ = u_-$, 有 $u_+ = 0$, $u'_- = u_o$

所以,

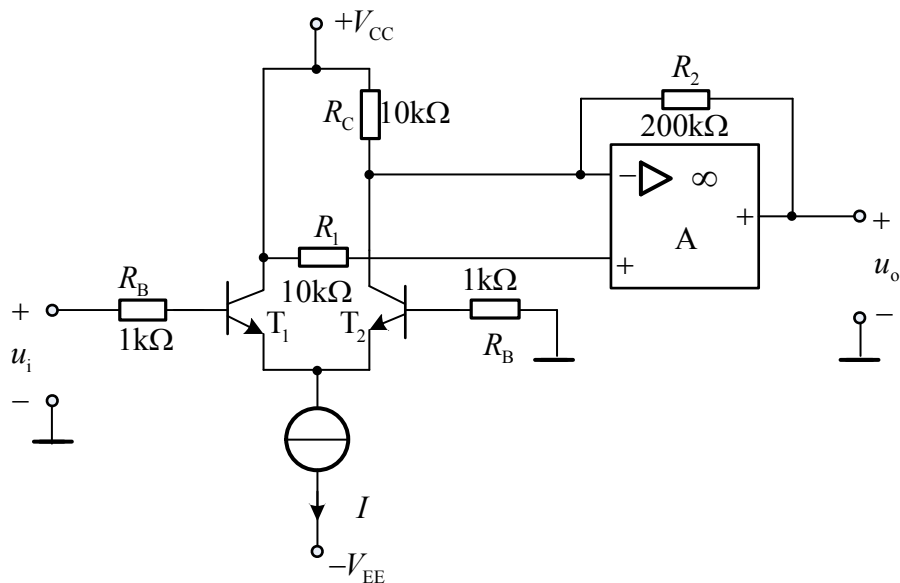
$$u_o = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{R_6}{R_3 + R_6} u_i$$

(2) R_1 越大, 反向比例运算电路的电压放大倍数(绝对值)越小; 反之, 越大。

8.4 设题图 8.4 中的 A 为理想运算放大器, 其共模与差模输入范围都足够大,

$+V_{CC}$ 和 $-V_{EE}$ 同时也是运放 A 的电源电压。已知晶体三极管 T_1 、 T_2 的

$r_{be1} = r_{be2} = 1k\Omega$, $\beta_1 = \beta_2 = 50$, I 为理想恒流源, 求电压放大倍数 $A_{uf} = \frac{u_o}{u_i}$ 。



题图 8.4

$$\text{解 } A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{\beta R_2}{2(R_B + r_{be})} = -2500$$

8.5 试用集成运放和若干电阻组成运算电路, 要求实现以下运算:

$$u_o = -(2u_{i1} + 2u_{i2}) + 10u_{i3}$$

解 若用两只运放来实现, 可将 u_{i1} , u_{i2} 直接经电阻从二级运放反向端输入, u_{i3} 经一级运放正向放大后, 再经电阻从二级运放同相端输入, 电路如图 8.5 所示。由叠加原理, u_o 为 u_{i1} 、 u_{i2} 、 u_{i3} 分别单独作用产生的输出电压(设为 u_{o1} 、 u_{o2} 、 u_{o3}) 的代数和。由电路可知

$$u_{o3} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} u_{i3}$$

所以, $R_2 = 9R_1$

$$u_{o1} = u_{o2} = -\frac{R_f}{R_3} u_{i1} = -\frac{R_f}{R_4} u_{i2}$$

所以, $R_3 = R_4 = \frac{1}{2} R_f$

R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 、 R_f 按要求得出的关系式取值即可实现要求得运算。

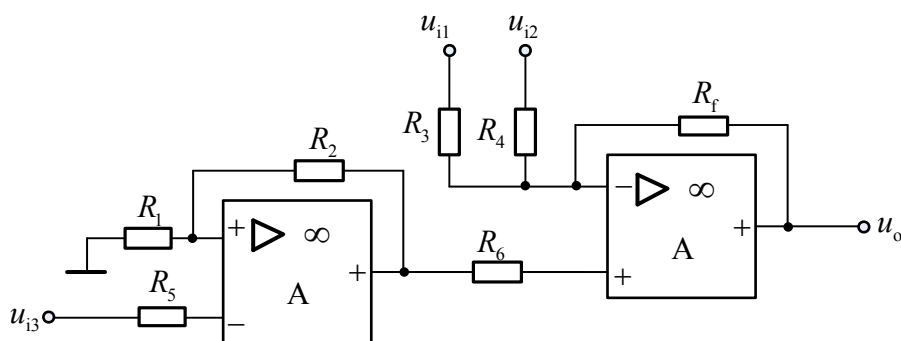
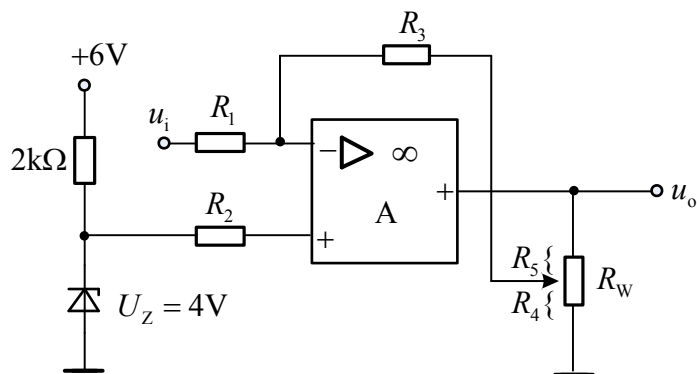


图 8.5

8.6 在题图 8.6 中, 已知运算放大器是理想的, 电阻 $R_1 = 10\text{k}\Omega$,

$R_2 = R_3 = R_5 = 20\text{k}\Omega$, $R_4 = 0.5\text{k}\Omega$, 试求输出电压 $u_o = f(u_i)$ 的表达式。



题图 8.6

解 由稳压管的定义得, $u_+ = U_Z = 4\text{V}$

根据虚断的特点, $i_+ = i_- = 0$, 有

$$\frac{u_i - u_-}{R_1} = \frac{u_- - u_w}{R_3} = \frac{u_w}{R_4} + \frac{u_w - u_o}{R_5}$$

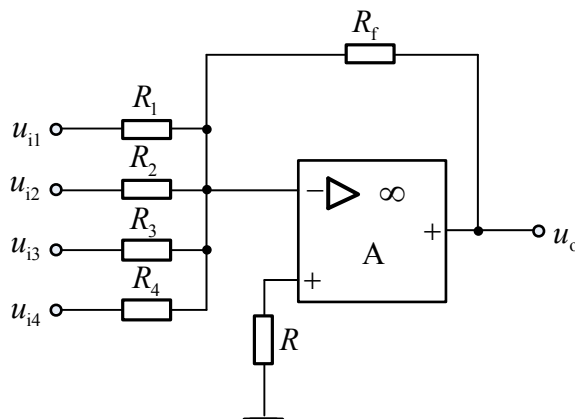
根据虚短的特点, $u_+ = u_-$, 有

$$u_o = -84u_i + 500$$

8.7 理想运放组成的方向求和电路如题图 8.7 所示。

(1) 导出 $u_o = f(u_1, u_2, u_3, u_4)$ 的关系式；

(2) 若 $R_2 = 2R_1$, $R_3 = 2^2 R_1$, $R_4 = 2^3 R_1$, $R_1 = 10\text{k}\Omega$, $R_f = 20\text{k}\Omega$, 输入 $u_1 \sim u_4$ 或为 0V 或为 4V, 确定 u_o 的变化范围, 并画出 (u_1, u_2, u_3, u_4) 从小变大时, u_o 随之变化的曲线。



题图 8.7

解 (1) 根据虚断的特点, $i_+ = i_- = 0$, 有

$$\frac{u_1 - u_-}{R_1} + \frac{u_2 - u_-}{R_2} + \frac{u_3 - u_-}{R_3} + \frac{u_4 - u_-}{R_4} = \frac{-u_o}{R_f}$$

根据虚短的特点, $u_+ = u_-$, 有

$$u_+ = 0$$

故,

$$u_o = -R_f \left(\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \frac{u_3}{R_3} + \frac{u_4}{R_4} \right)$$

(2) 由已知条件,

$$u_o = -(2u_1 + u_2 + \frac{1}{2}u_3 + \frac{1}{4}u_4)$$

(u_1, u_2, u_3, u_4) 的取值从 (0,0,0,0) 到 (4,4,4,4), 共有 $2^4 = 16$ 中取值。依次求得 u_o 的

值为 0V, -1V, -2V, ..., -13V, -14V, -15V, 用 (u_1, u_2, u_3, u_4) 的二进制数表示, u_o 随之变化的曲线如图 8.7(1) 所示。

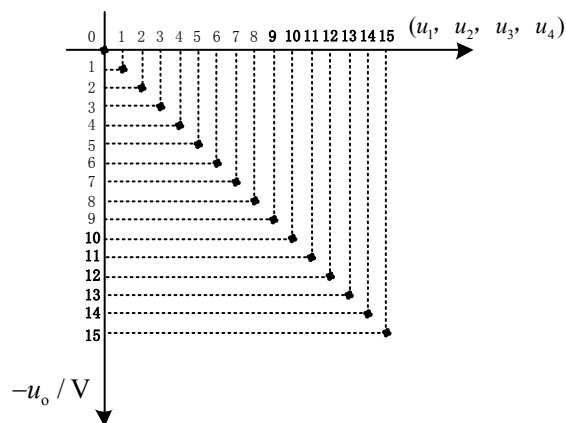
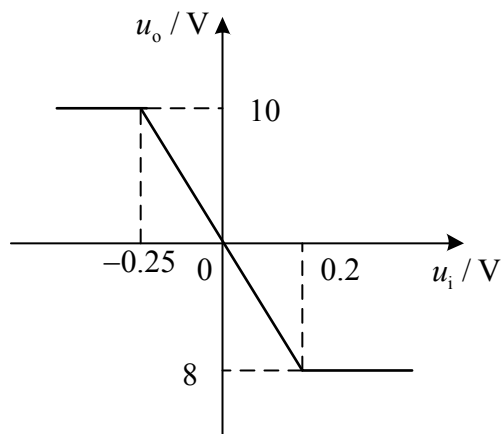


图 8.7

8.8 题图 8.8 所示是某放大电路的电压传输特性。问这个电路的输出电压与输入电压之间是何种运算关系？电路的电压放大倍数是多少？输入正弦信号时，最大不失真输出电压有效值有多大？



题图 8.8

解 由图可以求得，直线的斜率就是放大倍数，

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = -40$$

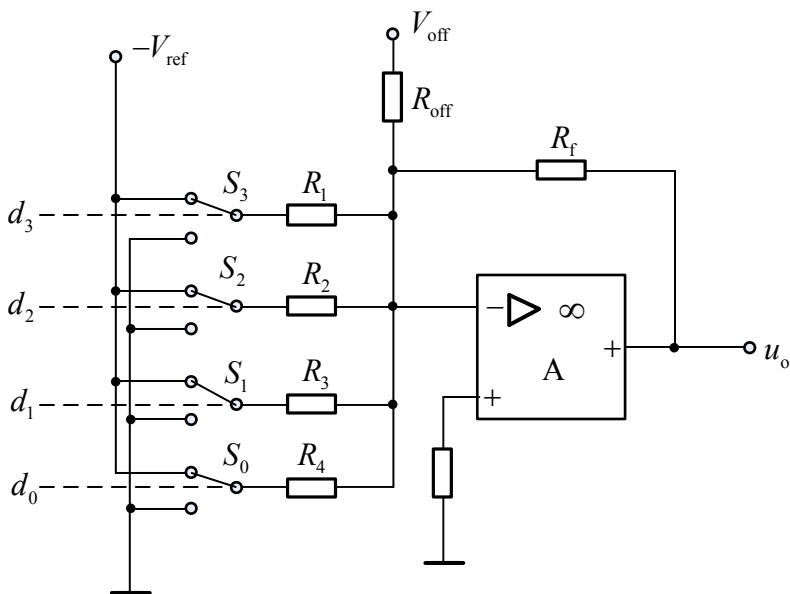
所以此电路是反向比例运算电路。

由图可知，最大失真输出电压的有效值为 $u_{om\max} = \frac{8V}{\sqrt{2}} = 5.66V$

8.9 理想运放组成题图 8.9 所示电路，其中 S_i 为电子开关，当输入 $d_i = 1$ 时， S_i

自动打向上方，反之当 $d_i = 0$ 时， S_i 打向下方。电阻 R_i 满足如下关系：

$$R_1 = R_0/2^4, R_2 = R_0/2^3, R_3 = R_0/2^2, R_4 = R_0/2。$$



题图 8.9

(1) 写出输出 u_o 的表达式;

(2) 说明支路 V_{off} 、 R_{off} 的作用;

(3) 当时 $V_{\text{ref}} = 12\text{V}$, $V_{\text{off}} = 10.5\text{V}$, $R_0 = 9\text{k}\Omega$,

$R_{\text{off}} = R_f = 18\text{k}\Omega$ 时, 画出 u_o 输出随输入

$d_3d_2d_1d_0$ 变化的特性曲线。

解 由题意, 显然可以用 $u_- - (-V_{\text{ref}}d_i)$ 表示 R_i

两端电压, 所以电流就可以确定。

根据虚断的特点, $i_+ = i_- = 0$, 有

$$\sum_{i=0}^3 \frac{u_- - (-V_{\text{ref}}d_i)}{R_i} + \frac{u_- - u_o}{R_f} = \frac{V_{\text{off}} - u_-}{R_{\text{off}}}$$

根据虚短的特点, $u_+ = u_-$, 有

$$u_+ = 0$$

所以,

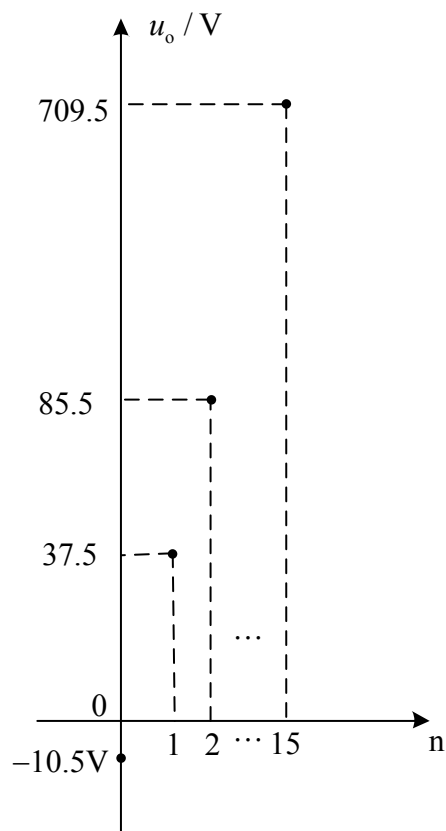


图 8.9(1)

$$u_o = R_f \cdot \left[\sum_{i=0}^3 \frac{V_{\text{ref}} d_i}{R_i} - \frac{V_{\text{off}}}{R_{\text{off}}} \right] = R_f \cdot \left[\frac{V_{\text{ref}}}{R_o} \left(\sum_{i=0}^3 2^{5-i} d_i \right) - \frac{V_{\text{off}}}{R_{\text{off}}} \right]$$

(2) 组成偏置电路, 使电路由单极性输出变为双极性输出。

(3) 有已知条件, 得

$$u_o = 24 \sum_0^3 (2^{5-i} d_i) - 10.5 \text{V}$$

将 $d_3 d_2 d_1 d_0$ 的取值用二进制表示, 范围为 $0 \sim$ 。故

$$u_o = 48n - 10.5 \text{V} \quad (n=0, 1, 2, \dots, 15),$$

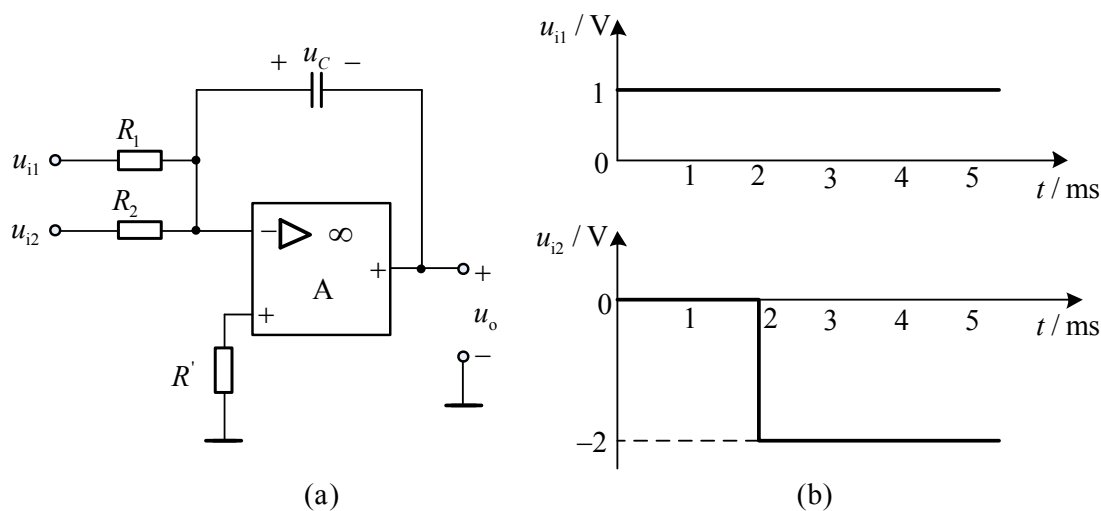
所以容易画出曲线如图 8.9(1) 所示。

8.10 电路如题图 8.10(a) 所示。A 为理想运算放大器。

(1) 求 u_o 与 u_{i1} 、 u_{i2} 的运算关系式;

(2) 若 $R_1 = 1\text{k}\Omega$, $R_2 = 2\text{k}\Omega$, $C = 1\mu\text{F}$, u_{i1} 和 u_{i2} 的波形如题图 8.10(b) 所示, $t = 0$

时, $u_C = 0$, 画出 $u_o (0 \leq t \leq 5\text{ms})$ 的波形图, 并标明电压值。



题图 8.10

解 (1) 由题图, 根据虚断的特点, $i_+ = i_- = 0$, 有

$$\frac{u_{i1} - u_-}{R_1} + \frac{u_{i2} - u_-}{R_2} = \frac{u_- - u_o}{-j\frac{1}{\omega C}}$$

根据虚短的特点, $u_+ = u_-$, 有

$$u_+=0$$

所以,

$$u_o(j\omega) = j\frac{1}{\omega C} \cdot \left(\frac{u_{i1}(j\omega)}{R_1} + \frac{u_{i2}(j\omega)}{R_2} \right)$$

$$u_o(t) = -\frac{1}{C} \int \left(\frac{u_{i1}(t)}{R_1} + \frac{u_{i2}(t)}{R_2} \right) dt$$

(2) 由已知条件, 有

$$u_o(t) = -500 \int_0^t [2u_{i1}(t) + u_{i2}(t)] dt + u_o(0)$$

$$t=0 \text{ 时, } u_c=0, \quad u_o(0)=u_{i1}=1V$$

$$t=1\text{ms 时, } u_o = -500 \int_0^{1 \times 10^{-3}} 2dt + 1V = 0V, \quad t=2\text{ms 时, } u_o = -500 \int_{1 \times 10^{-3}}^{2 \times 10^{-3}} 0dt + 0V = 0V$$

$$t=3\text{ms 时, } u_o = -500 \int_{2 \times 10^{-3}}^{3 \times 10^{-3}} 0dt + 0V = 0V, \quad t=4\text{ms 时, } u_o = -500 \int_{3 \times 10^{-3}}^{4 \times 10^{-3}} 0dt + 0V = 0V$$

$$t=5\text{ms 时, } u_o = -500 \int_{4 \times 10^{-3}}^{5 \times 10^{-3}} 0dt + 0V = 0V$$

波形图如图 8.10(1) 所示。

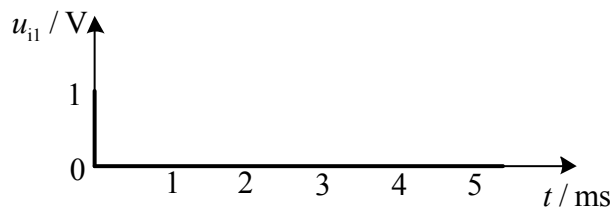
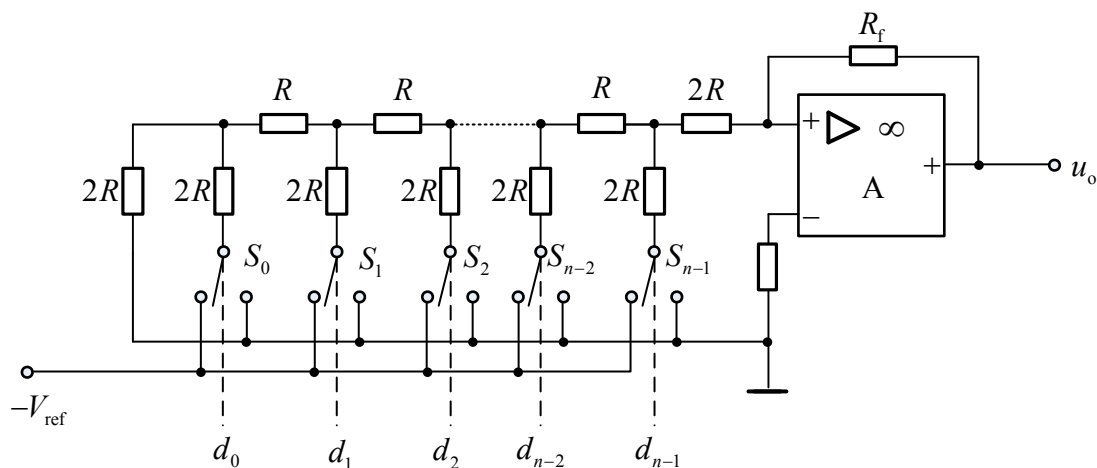


图 8.10(1)



题图 8.11

8.11 题图 8.11 所示为理想运放和 T 型电阻网络组成的 T 型网络 D/A 转换电路，其中 S_i 为电子开关，当相应的 d_i 端接高电平时，自动打向左侧接通 $-V_{\text{ref}}$ ，反之当 d_i 端为低电平时， S_i 打向右侧接地。

(1) 简述 T 型电阻网络的特点；

(2) 导出输出 u_o 和输入 $d_{n-1} \cdots d_0$ 的关系式；

(3) 电阻网络为 8 位时， $V_{\text{ref}} = 10\text{V}$ ， $R = 20\Omega$ ， $R_f = 60\text{k}\Omega$ ，求输出 u_o 的范围。

解 (1) 每个节点由 3 个支路构成，每个支路的电阻为 $2R$

(2) 设 d_i 接高电平时， $d_i = 1$ ； d_i 接低电平时， $d_i = 0$ 。

由题图，根据虚断的特点， $i_+ = i_- = 0$ ，有

$$\sum_{i=0}^{n-1} \frac{u_- - (-V_{\text{ref}} d_i)}{2^{n-i} \cdot (R + 2R)} = \frac{u_o - u_-}{R_f}$$

根据虚短的特点， $u_+ = u_-$ ，有

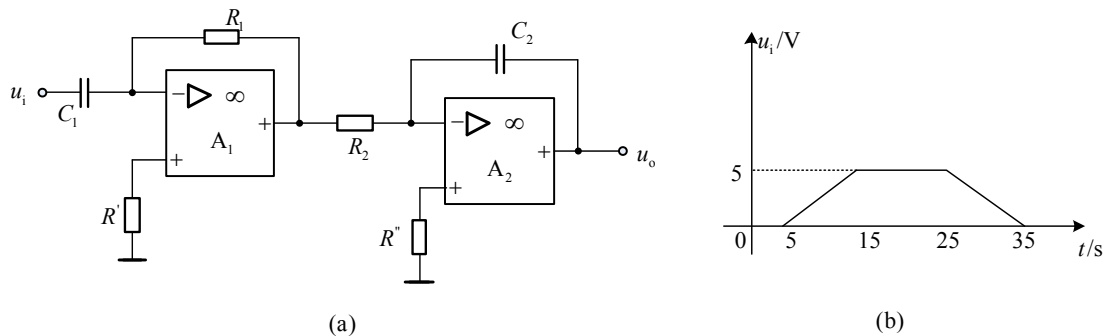
$$u_+ = 0$$

所以，

$$u_o = \frac{V_{\text{ref}} R_f}{2^n \cdot 3R} \left(\sum_{i=0}^{n-1} 2^i d_i \right)$$

当 $i=0$ 时, $u_{o\min}=0$; 当 $i=0$ 时, $u_{o\max}=\frac{2^8-1}{2^8}V_{\text{ref}}=10\text{V}$

所以, $0\leq u_o\leq 10\text{V}$



题图 8.12

8.12 理想运放组成题图 8.12(a) 电路, 其中 $R_1=R_2=100\text{k}\Omega$, $C_1=10\mu\text{F}$, $C_2=5\mu\text{F}$ 。

题图 8.12(b) 为输入信号波形, 分别画出 u_{o1} 、 u_o 相对 u_i 的波形。

解 由题图, 根据虚断的特点, $i_+=i_-=0$, 有

$$\frac{u_i - u_-}{1/j\omega C_1} = \frac{u_- - u_{o1}}{R_1}, \quad \frac{u_o - u'_-}{1/j\omega C_2} = \frac{u'_- - u_{o1}}{R_2}$$

根据虚短的特点, $u_+=u_-$, 有

$$u_+=0, \quad u'_+=0$$

所以,

$$u_i = -\frac{1}{j\omega R_1 C_1} u_{o1}$$

$$u_o = \frac{R_1 C_1}{R_2 C_2} u_i$$

故

$$u_i(t) = -\int u_{o1}(t) dt, \quad u_{o1}(t) = -\frac{du_i(t)}{dt}$$

$$u_o(t) = 2u_i(t)$$

u_{o1} 、 u_o 相对 u_i 的波形如图 8.12(1) 所示。

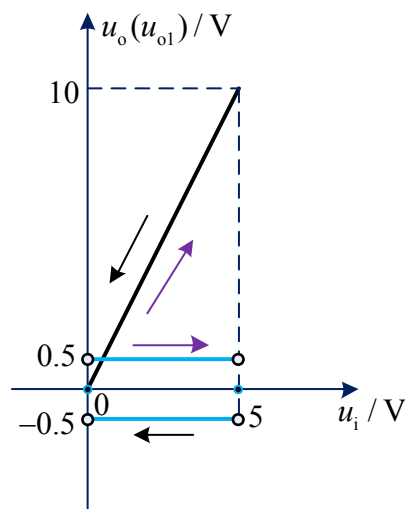


图 8.12(1)

8.13 设题图 8.13 电路中各三极管的参数相同，各个输入信号都大于零。

(1) 试说明各组成何种基本运算电路；

(2) 分别给出两个电路的输出电压与输入电压之间的关系表达式。

解 (1) (a) 由题图，根据虚断、虚短的特点， $i_+ = i_- = 0$ ， $u_+ = u_-$ ，有

$$u_{o1} = -U_T \ln\left(\frac{u_i}{I_{ES1} R_1}\right), \quad u_{o2} = -\frac{R_3}{R_2} u_{o1}, \quad u_o = -R_4 I_{ES2} e^{\frac{u_{o2}}{U_T}}$$

解得：

$$u_o = -I_{ES2} R_4 \left(\frac{u_i}{I_{ES1} R_1}\right)^{R_3/R_2}$$

所以实现了反向比例运算。

(b) 由题图，根据虚断、虚短的特点， $i_+ = i_- = 0$ ， $u_+ = u_-$ ，有

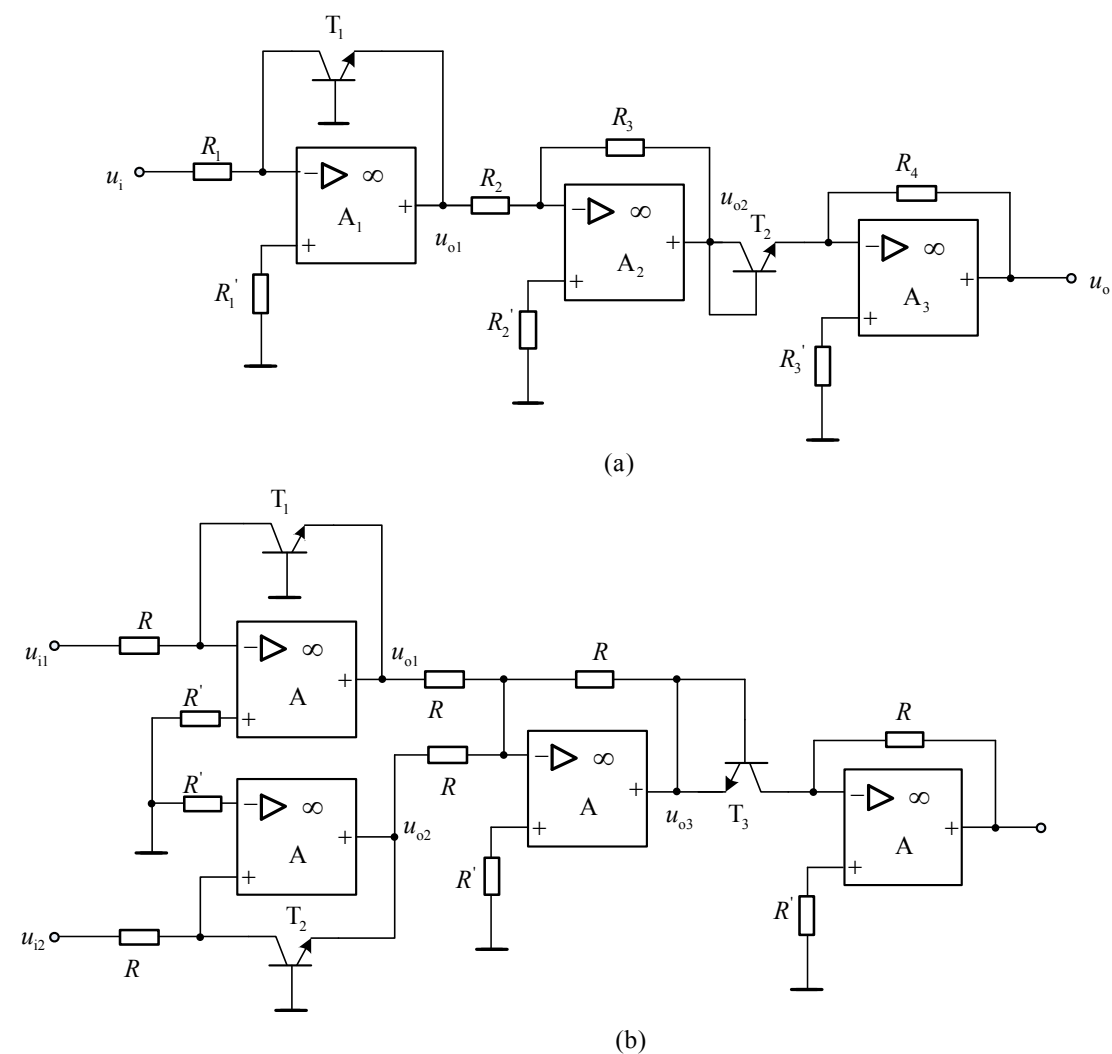
$$u_{o1} = -U_T \ln\left(\frac{u_{i1}}{I_{ES} R}\right), \quad u_{o2} = -U_T \ln\left(\frac{u_{i2}}{I_{ES} R}\right), \quad u_{o3} = -(u_{o1} + u_{o2}), \quad u_o = -R I_{ES} e^{\frac{u_{o3}}{U_T}}$$

解得：

$$u_o = -\frac{u_{i1} \cdot u_{i2}}{I_{ES} R}$$

所以实现了乘法运算。

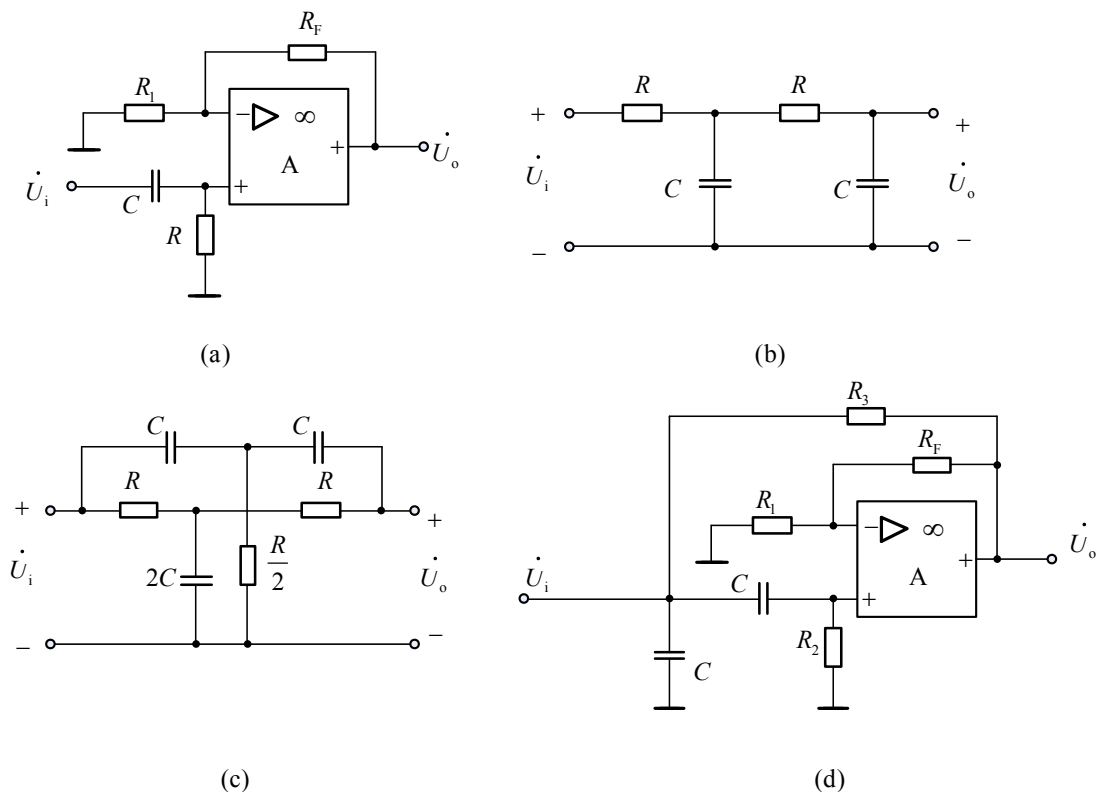
$$(2) \quad u_o = -I_{ES2} R_4 \left(\frac{u_i}{I_{ES1} R_1}\right)^{R_3/R_2}, \quad u_o = -\frac{u_{i1} \cdot u_{i2}}{I_{ES} R}$$



题图 8.13

8.14 假设实际工作中提出以下要求，试选择滤波器的类型(低通、高通、带阻、带通)：

- (1)有效信号为 $20 \sim 2000\text{Hz}$ 的音频信号，消除其他频率的干扰噪声；
- (2)抑制频率低于 100Hz 的信号；
- (3)在有效信号中抑制 50Hz 的工频干扰；
- (4)抑制频率高于 20MHz 的噪声。



题图 8.15

解 (1) 带通；(2) 高通；(3) 带阻；(4) 低通。

8.15 试判断题图 8.15 中的各种电路是什么类型的滤波器(低通、高通、带通还是带阻滤波器，有源还是无源，几阶滤波)。

解 (a) 一阶有源高通滤波器；(b) 二阶无源低通滤波器；

(c) 二阶无源带阻滤波器；(d) 二阶有源带通滤波器。

8.16 二阶带通滤波电路如题图 8.16 所示，已知电路增益 \dot{U}_o / \dot{U}_i 表达式为

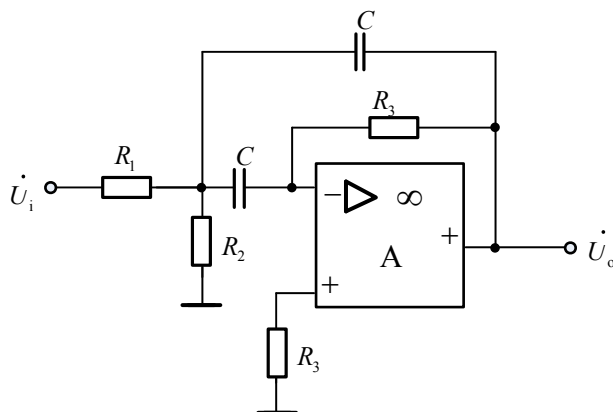
$$\frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-A_o}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega}\right)}$$

式中， $A_o = \frac{R_3}{2R_1}$ ， $\omega_o = \frac{1}{C} \sqrt{\frac{1}{R_3} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}$ ， $Q = \frac{1}{2} \sqrt{R_3 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}$ 。

在下述参数条件下，求出 A_o 、 f_o 、 Q 。

(1) $R_1 = 1.3\text{k}\Omega$ ， $R_2 = 2\text{k}\Omega$ ， $R_3 = 80\text{k}\Omega$ ， $C = 0.1\mu\text{F}$ ；

(2) $R_1 = 1.6\text{k}\Omega$ ， $R_2 = 250\text{k}\Omega$ ， $R_3 = 160\text{k}\Omega$ ， $C = 0.5\mu\text{F}$ 。



题图 8.16

解 (1) $A_o = \frac{R_3}{2R_1} = 30.8$, $f_o = \frac{\omega_o}{2\pi} = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{1}{R_3}(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})} = 200\text{Hz}$,

$$Q = \frac{1}{2} \sqrt{R_3(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})} = 5$$

(2) $A_o = \frac{R_3}{2R_1} = 50$, $f_o = \frac{\omega_o}{2\pi} = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{1}{R_3}(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})} = 20\text{Hz}$, $Q = \frac{1}{2} \sqrt{R_3(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})} = 5$

8.17 将正弦信号 $u_i = U_m \sin \omega t$ 分别加到题图 8.17 (a)、(b)、(c) 三个电路的输入

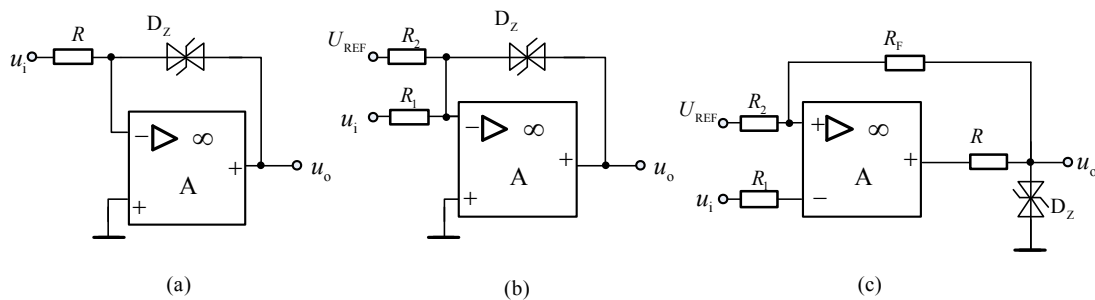
端，试画出它们的输出电压 u_o 的波形，并在波形图上标明电压值。已知

$$U_m = 15\text{V};$$

(1) 图(a)中稳压管的稳压值 $U_Z = \pm 7\text{V}$;

(2) 图(b)中稳压管参数同上，且参考电压 $U_{\text{REF}} = 6\text{V}$, $R_1 = R_2 = 10\text{k}\Omega$;

(3) 图(c)中稳压管参数同上，且 $U_{\text{REF}} = 6\text{V}$, $R_1 = 8.2\text{k}\Omega$, $R_2 = 50\text{k}\Omega$, $R_f = 10\text{k}\Omega$ 。



题图 8.17

解 (1) 参考电压 $U_{\text{REF}} = 0\text{V}$ ，所以为过零比较器。又 U_Z 小于输入信号的幅值，因

此输出的幅值受稳压管的限制。输出波形如图 8.17(1)所示。

(2) 图(b)是一个具有输出限幅的单门限比较器。输出波形如图 8.17(2)所示。

(3) 图(c)是一个迟滞比较器。

$$U_{T1} = \frac{R_F}{R_2 + R_F} U_{REF} + \frac{R_2}{R_2 + R_F} (-U_Z) = -4.83V$$

$$U_{T2} = \frac{R_F}{R_2 + R_F} U_{REF} + \frac{R_2}{R_2 + R_F} U_Z = 6.83V$$

$$\Delta U_T = U_{T2} - U_{T1} = 11.67V$$

输出波形如图 8.17(3)所示。

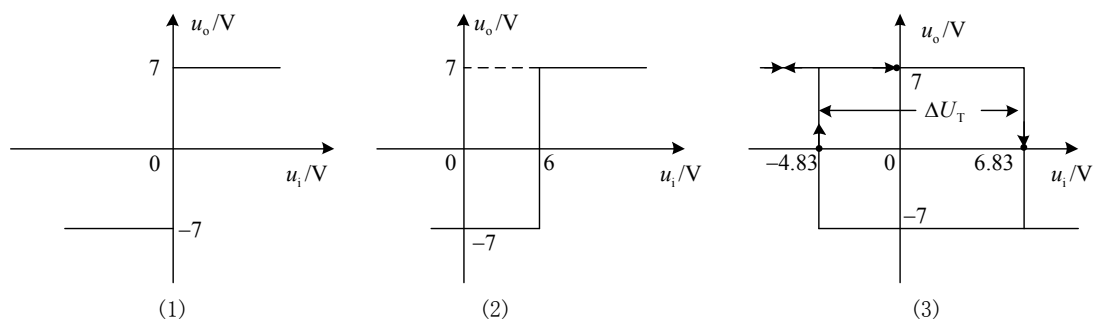
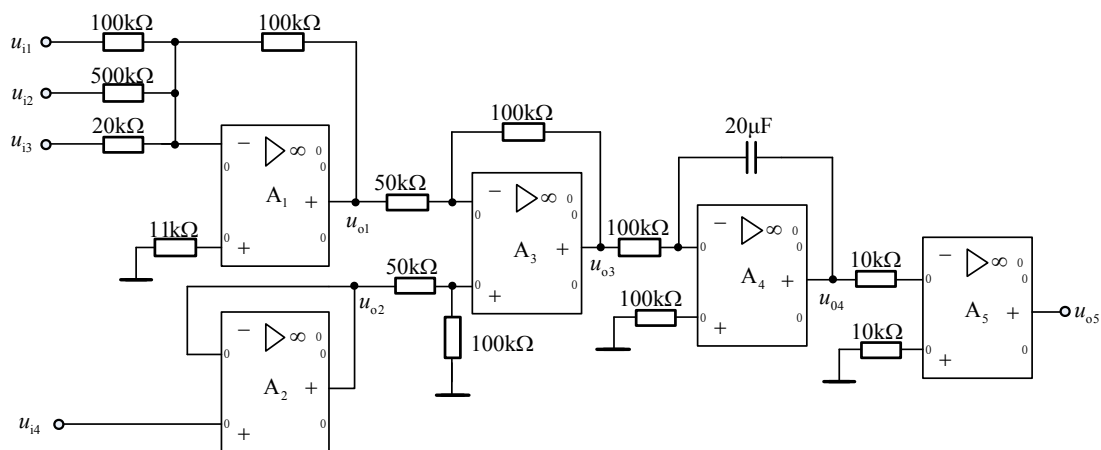


图 8.17

8.18 设题图 8.18 中各个集成运放均为理想运放。



题图 8.18

(1) 分析 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 是否虚地或虚短；

(2) 各集成运放分别组成何种基本应用电路；

(3) 根据电路参数值写出 u_{o1} 、 u_{o2} 、 u_{o3} 、 u_{o4} 和 u_{o5} 表达式；

(4) 假设 $u_{i1} = 1V$ ， $u_{i2} = -1V$ ， $u_{i3} = -0.5V$ ， $u_{i4} = 0.5V$ ，试问当 $t = 1s$ 时， u_{o4} 、 u_{o5}

分别等于多少？已知运放最大输出幅度为 $\pm 15\text{V}$ ，当 $t=0$ 时，电容 C 上得电压为零。

解 (1) A_1 、 A_4 为虚地， A_2 、 A_3 为虚短

(2) 由图易知， A_1 为反相加法器， A_4 为积分器， A_2 为电压跟随器， A_3 为减法器， A_5 为过零比较器。

(3) 根据虚短、虚断的特性，可以求得 u_{o1} 、 u_{o2} 、 u_{o3} 、 u_{o4} 和 u_{o5}

$$u_{o1} = -(u_{i1} + \frac{1}{5}u_{i2} + 5u_{i3}), \quad u_{o2} = u_{i4}$$

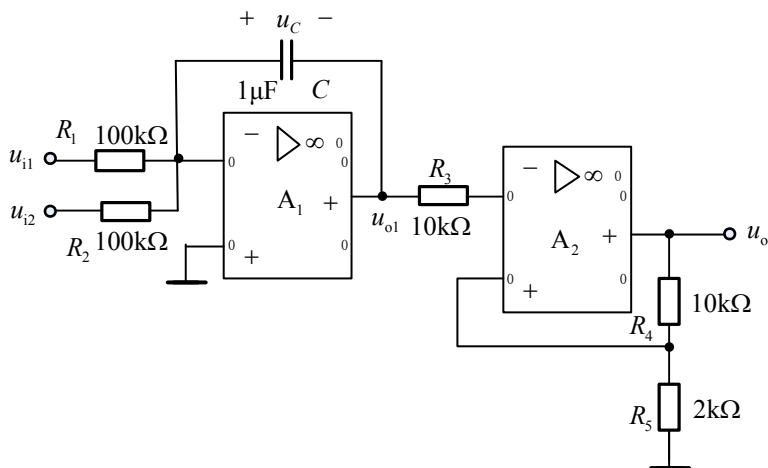
$$u_{o3} = 2(u_{o2} - u_{o1}), \quad u_{o4} = -U_{C(0)} - \frac{u_{o3}}{2}t$$

$$(4) \text{ 由 (3) 得, } u_{o4} = -U_{C(0)} - (u_{i1} + \frac{1}{5}u_{i2} + 5u_{i3} + u_{i4})t$$

所以当 $t=1\text{s}$ 时，

$$u_{o4} = 1.2\text{V}; \quad u_{o5} = -15\text{V}$$

8.19 在题图 8.19 所示电路中，运放 A_1 、 A_2 的最大输出电压为 $\pm 12\text{V}$ ：



题图 8.19

(1) 分析电路由哪些基本单元组成；

(2) 设 $u_{i1} = u_{i2} = 0$ 时，电容上的电压 $u_C = 0$ ， $u_o = 12\text{V}$ 。求当 $u_{i1} = -10\text{V}$ ， $u_{i2} = 0$ 时，经过多长时间 u_o 由 $+12\text{V}$ 变为 -12V ；

(3) u_o 变成 -12V 时， u_{i2} 由 0 改为 $+15\text{V}$ ，求经过多少时间由 -12V 变为 $+12\text{V}$ ；

(4) 画出 u_{o1} 和 u_o 的波形。

解 (1) 由图易知, A_1 为积分器, A_2 为迟滞比较器。

(2) 根据虚短与虚断的特点有,

$$\frac{u_{i1} - u_-}{R_1} + \frac{u_{i2} - u_-}{R_2} = \frac{u_- - u_{o1}}{1/j\omega C}, \quad u_+ = 0$$

$$\frac{u_o - u_+}{R_4} = \frac{u_+}{R_5}, \quad u_- = u_{o1}$$

$$\text{解得, } u_o = -\frac{1}{j\omega C} \cdot \frac{R_4 + R_5}{R_5} \cdot \left(\frac{u_{i1}}{R_1} + \frac{u_{i2}}{R_2} \right), \text{ 即}$$

$$u_o = -\frac{1}{C} \cdot \frac{R_4 + R_5}{R_5} \int \left(\frac{u_{i1}(t)}{R_1} + \frac{u_{i2}(t)}{R_2} \right) dt = -60 \int [u_{i1}(t) + u_{i2}(t)] dt$$

设经过 Δt 时间, u_o 由 +12V 变为 -12V, 则

$$\Delta u_o = -60 \int_0^{\Delta t} (-10) dt = 12$$

解得, $\Delta t = 20\text{ms}$

$$(3) \text{ 由题意, } \Delta u_o = -60 \int_0^{\Delta t'} (5) dt = -24$$

解得, $\Delta t = 80\text{ms}$

(4) 波形图略。

8.20 集成电压比较器 LM311 组成题图 8.20

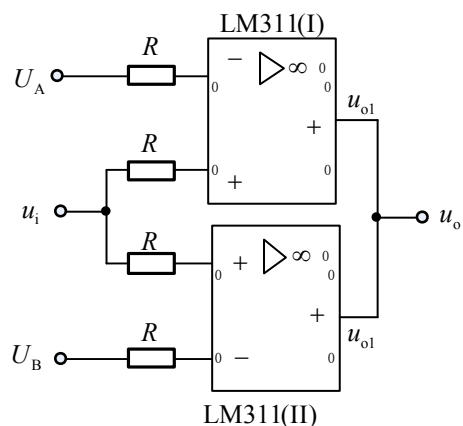
所示的电路。已知 LM311 输出高电平

$U_{OH} = 5\text{V}$, 输出低电平 $U_{OL} = 0\text{V}$, 其输出

端并联, 满足逻辑与的关系。设图中

$U_A = +5\text{V}$, $U_B = +2.5\text{V}$, 分析电路的工作

原理, 画出 $u_o - u_i$ 曲线。



题图 8.20

解 分析: 当输入电压 $u_i < U_B = 2.5\text{V}$, 两个集成电压比较器输出均为低电平

($U_{OL} = 0\text{V}$), 进行“与”运算后为低电平; 当输入电压 $U_A < u_i < U_B$ 时, LM311(I)

输出为低电平, LM311(II) 输出为高电平 ($U_{OH} = 5\text{V}$), 进行“与”运算后为高电平。

当 $u_i > U_A = 5\text{V}$ 时，两个集成电压比较器输出均为高电平，进行“与”运算后为低电平。 $u_o - u_i$ 曲线如图 8.20(1) 所示。

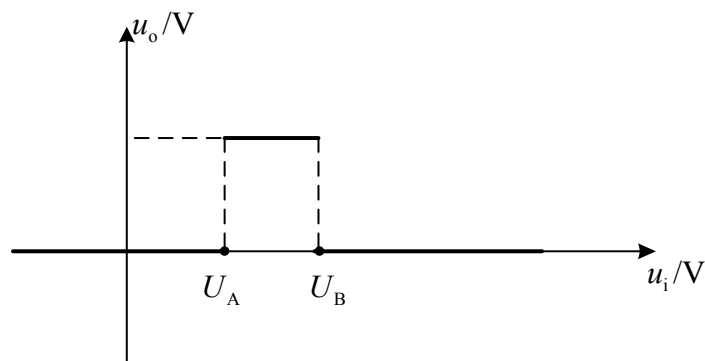
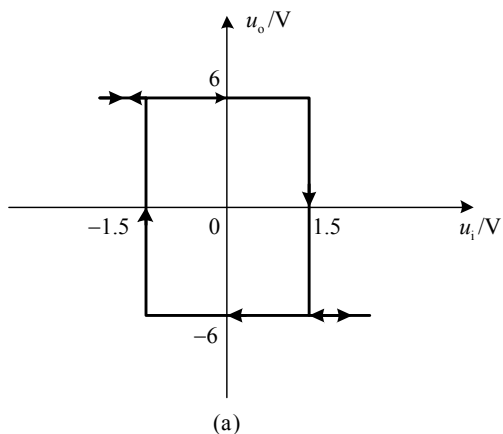
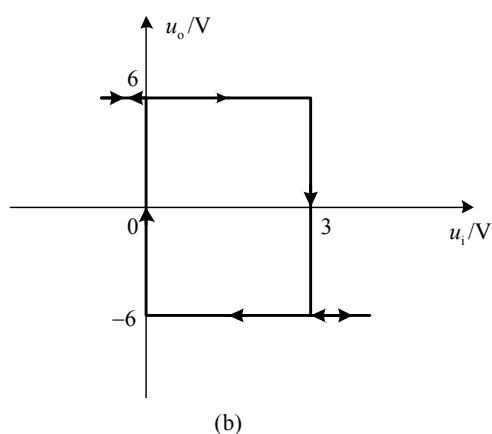


图 8.20(1)

8.21 试用运放实现电压传输特性如题图 8.21(a)、(b) 所示的迟滞电压比较电路，画出相应的电路图。



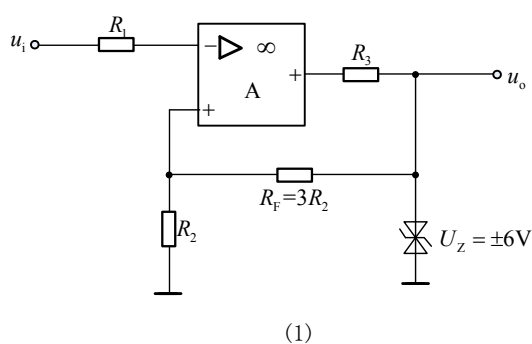
(a)



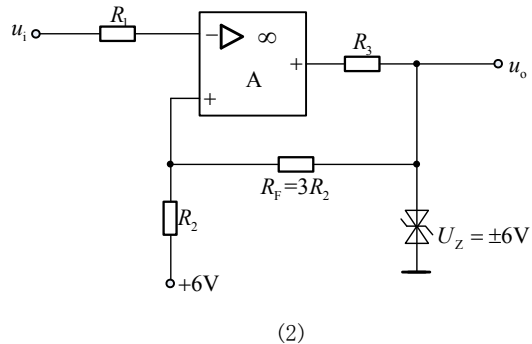
(b)

题图 8.21

解 实现图(a)、(b)相应的迟滞电压比较电路如图 8.21(1) (过零比较器)、(2) 所示。



(1)

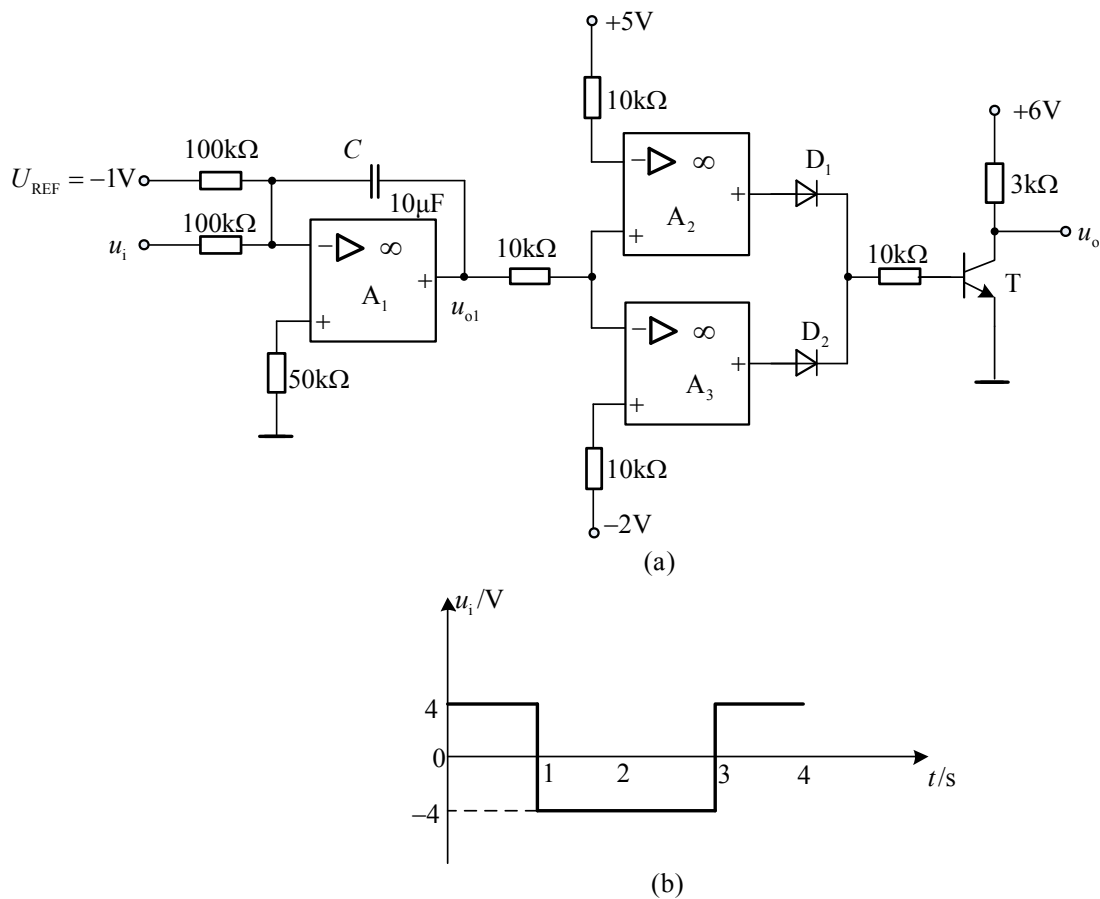


(2)

图 8.21

8.22 电路图如题图 8.22(a) 所示， $A_1 \sim A_3$ 均为理想运算放大器，其电源电压为

$\pm 15\text{V}$ 。晶体管 T 的饱和管压降 $U_{\text{CE(sat)}} = 0.3\text{V}$ ，穿透电流 $I_{\text{CEO}} = 0$ ，电流放大系数 $\beta = 100$ 。当 $t = 0$ 时，电容器初始电压 $u_C(0) = 0\text{V}$ 。输出电压 u_i 的波形如图 8.22(b) 所示，试画出对应于 $u_i(0 \leq t \leq 4\text{s})$ 的 u_{o1} 和 u_{o2} 的波形。



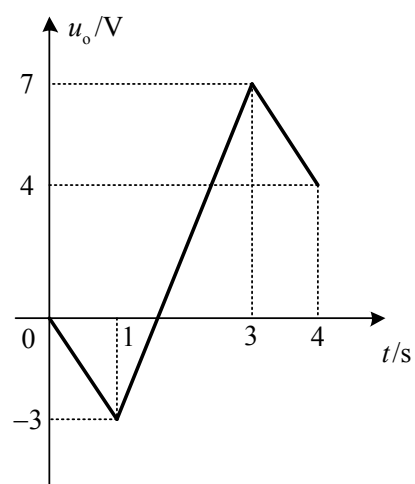
题图 8.22

解 根据微分运算电路、窗口比较器、共射极放大电路的特性容易求得：

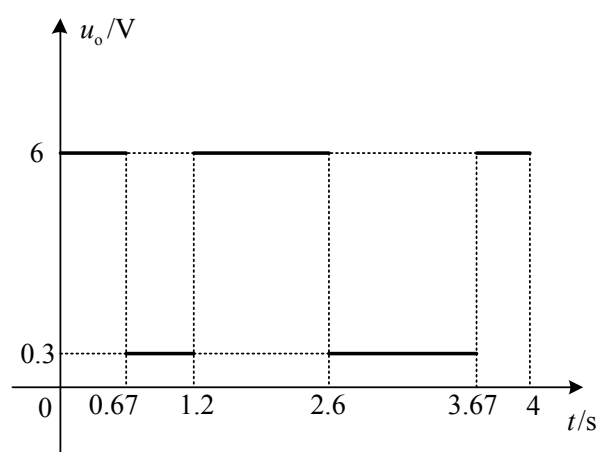
$$u_{o1} = \begin{cases} -3t, & 0 \leq t \leq 1\text{s} \\ 5t - 8, & 1\text{s} < t \leq 3\text{s} \\ -3t + 16, & 3\text{s} < t \leq 4\text{s} \end{cases}$$

$$u_{o2} = \begin{cases} 6\text{V}, & 0 \leq t \leq 0.67\text{s} \\ 0.3\text{V}, & 0.67\text{s} < t \leq 1.2\text{s} \\ 6\text{V}, & 1.2\text{s} < t \leq 2.6\text{s} \\ 0.3\text{V}, & 2.6\text{s} < t \leq 3.67\text{s} \\ 6\text{V}, & 3.67\text{s} < t \leq 4\text{s} \end{cases}$$

波形分别如图 8.22(1)、(2) 所示。



(1)



(2)

图 8.22