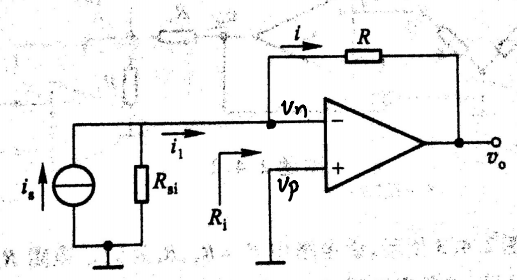
2.3.5 电流-电压转换器如图题 2.3.5 所示。设光探测仪的输出电流作为运放的输入电流 i_s；信号内阻 $R_{si} \gg R_i$，试证明输出电压 $v_o = -i_s R$，求输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o；(2) 当 $i_s = 0.5$ mA，$R_{si} = 10$ kΩ，$R = 10$ kΩ，求输出电压 v_o 和互阻增益 A_r。



图题 2.3.5

解：(1) 由 $R_{si} \gg R_i$，可知 $i_s = i_1 = i$

$\therefore v_o = -iR = -i_s R$

由 $v_n = v_p = 0$ 可知，$R_i = 0$

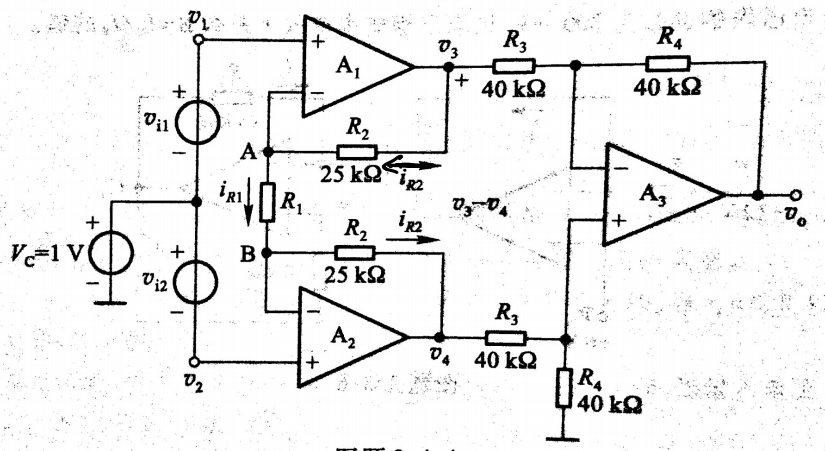
由理想运放可知，$r_o = 0$，则 $R_o = 0$

(2) $i_s = i_1 = i = 0.5\text{mA}$

$v_o = -i_s R = -5\text{V}$

$A_r = \frac{v_o}{i_s} = \frac{-5\text{V}}{0.5\text{mA}} = -10\text{k}\Omega$

2.4.4 INA2128 型仪用放大器电路如图题 2.4.4 所示，其中 R_1 是外接电阻。(1) 它的输入干扰电压 V_C=



图题 2.4.4

1 V(直流)，输入信号 $v_{i1}=-v_{i2}=0.04\sin \omega t$ V，输入端电压 $v_1=(V_C+0.04\sin \omega t)$ V，$v_2=(V_C-0.04\sin \omega t)$ V，当 R_1 = 1 kΩ时，求出 v_3、v_4、v_3-v_4 和 v_o 的电压值；(2) 当输入电压 $V_{id}=V_1-V_2=0.018\,66$ V 时，要求 $V_o=-5$ V，求此时外接电阻 R_1 的阻值。

解：(1) $V_A=V_1$，$V_B=V_2$ $\therefore i_{R1}=\dfrac{V_A-V_B}{R_1}=0.08\sin\omega t\ \text{mA}=i_{R2}$

$\therefore v_3-v_4=i_{R1}\cdot(R_1+2R_2)=4.08\sin\omega t$ V

$v_3=v_A+i_{R2}\cdot R_2=1+0.04\sin\omega t+2\sin\omega t$ (V) $=1+2.04\sin\omega t$ (V)

$v_4=v_B-i_{R2}\cdot R_2=1-2.04\sin\omega t$ (V)

第二级求差电路，由公式可知：$V_o=-\dfrac{R_4}{R_3}\cdot(v_3-v_4)=-4.08\sin\omega t$ V

(2) $V_{AB}=V_1-V_2=0.018\,66$ V

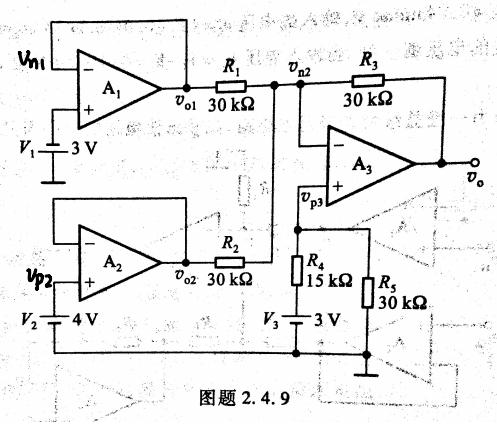
$\therefore v_3-v_4=\dfrac{V_{AB}}{R_1}\cdot(R_1+2R_2)$

第二级差分放电路公式为：$V_o=-\dfrac{R_4}{R_3}\cdot\dfrac{R_1+2R_2}{R_1}\cdot V_{AB}$

代入 $R_2=25$ kΩ，$R_3=R_4=40$ kΩ，$V_o=-5$ V，$V_{AB}=0.018\,66$ V

得 $R_1\approx 187\ \Omega$

2.4.9 电路如图题 2.4.9 所示，设运放是理想的，试求 v_{o1}、v_{o2}及 v_o的值。



图题 2.4.9

解：$V_{o1} = V_{n1} = -3V$，$V_{o2} = V_{p2} = 4V$

采用叠加原理计算：

① $V_3 = 0$ 时，为减法运算电路。

$$\therefore V_o' = -\frac{R_3}{R_1}\cdot V_{o1} - \frac{R_3}{R_2}\cdot V_{o2} = -1V$$

② $V_1 = V_2 = 0$ 时，$v_{o1} = v_{o2} = 0$

$$\therefore \frac{v_o'' - v_{n2}}{R_3} = \frac{v_{n2}}{R_1} + \frac{v_{n2}}{R_2}$$

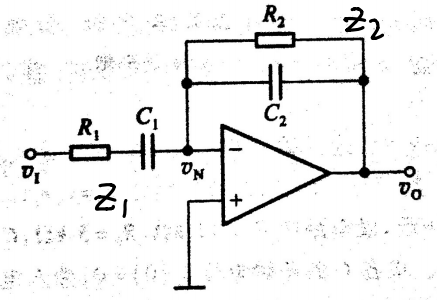
得：$V_o'' = (1 + \frac{R_3}{R_1} + \frac{R_3}{R_2})\cdot v_{n2} = 3v_{n2}$

而 $\frac{v_{p3}}{R_5} = \frac{3 - v_{p3}}{R_4}$ 得 $v_{p3} = 2V$

$\therefore V_o'' = 3v_{n2} = 3v_{p3} = 6V$

叠加得：$v_o = V_o' + V_o'' = 5V$

2.4.14 一实用微分电路如图题 2.4.14 所示，它具有衰减高频噪声的作用。(1) 确定电路的传递函数 $V_o(s)/V_i(s)$；(2) 若 $R_1 = R_2 = R$，$C_1 = C_2 = C$，试问输入信号 v_I的频率应当怎样限制，才能使电路不失去微分的功能？



图题 2.4.14

解：(1) 此为反相放大电路：$V_O(S) = -\frac{Z_2(S)}{Z_1(S)}\cdot V_i(S)$

其中：$Z_2(S) = (\frac{1}{R_2} + SC_2)^{-1}$，$Z_1(S) = R_1 + \frac{1}{SC_1}$

$$\therefore \frac{V_O(S)}{V_i(S)} = -\frac{1}{(R_1 + \frac{1}{SC_1})(\frac{1}{R_2} + SC_2)} = -\frac{SC_1R_2}{(SC_1R_1 + 1)(1 + R_2SC_2)}$$

(2) $\because R_1 = R_2 = R$，$C_1 = C_2 = C$ $\therefore \frac{V_O(S)}{V_i(S)} = -\frac{SRC}{(1 + SRC)^2}$

令 $S = j\omega$，$RC = \frac{1}{\omega_H}$ $\therefore \frac{V_O(j\omega)}{V_i(j\omega)} = -\frac{j\frac{\omega}{\omega_H}}{1 + 2j\frac{\omega}{\omega_H} - (\frac{\omega}{\omega_H})^2}$

① 当 $\omega = \omega_H$ 时，$A(j\omega) = -\frac{1}{2}$，电路为反相比例运算电路。

② 当 $\omega \gg \omega_H$ 时，$A(j\omega) \approx -\frac{j\frac{\omega}{\omega_H}}{2j\frac{\omega}{\omega_H} - (\frac{\omega}{\omega_H})^2} = -\frac{j}{2j - \frac{\omega}{\omega_H}} = -\frac{j(2j + \frac{\omega}{\omega_H})}{-4 - (\frac{\omega}{\omega_H})^2}$

$$= \frac{j\frac{\omega}{\omega_H}}{4+\left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^2} - \frac{2}{4+\left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^2}$$

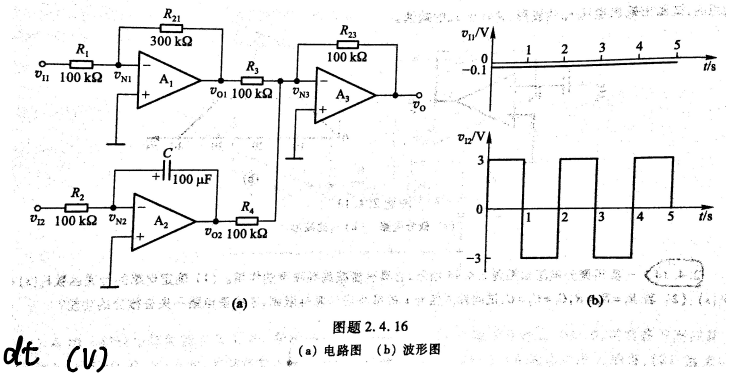
$\therefore \frac{\omega}{\omega_H} \gg 4$ $\therefore A(j\omega) = j\frac{\omega_H}{\omega} - 2\left(\frac{\omega_H}{\omega}\right)^2 \approx j\frac{\omega_H}{\omega} = -\frac{1}{j\omega RC}$，电路具有积分功能.

② 当 $\omega \ll \omega_H$ 时，$A(j\omega) \approx -\frac{j\frac{\omega}{\omega_H}}{1+2j\frac{\omega}{\omega_H}} = \frac{-j\frac{\omega}{\omega_H}(1-2j\frac{\omega}{\omega_H})}{1+4\left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^2} = \frac{-j\frac{\omega}{\omega_H}-2\left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^2}{1+4\left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^2} \approx -j\frac{\omega}{\omega_H} = -j\omega RC$

$\therefore$ 电路具有微分功能

$\therefore$ 当 $\omega \ll \frac{1}{RC}$ 时，即 $f \ll \frac{1}{2\pi RC}$ 时，电路有微分功能.

2.4.16 电路如图题 2.4.16a 所示。设运放是理想的，电容器 C 上的初始电压为零，即 $v_C(0)=0$，$v_{I1}=-0.1$ V，v_{I2} 是幅值为 ±3 V，周期 $T=2$ s 的矩形波。（1）求出 v_{O1}、v_{O2} 和 v_O 的表达式；（2）当输入电压 v_{I1}、v_{I2} 如图题 2.4.16b 所示时，试画出 v_O 的波形。



图题 2.4.16
（a）电路图 （b）波形图

解：(1) A_1 组成反相运算电路，A_2 组成积分电路，A_3 组成反相求和电路.

$\therefore v_{O1} = -\frac{R_{21}}{R_1}\cdot v_{I1} = 0.3\,V$

$v_{O2} = -\frac{1}{R_2C}\int_0^t v_{I2}\,dt = -\frac{1}{10}\int_0^t v_{I2}\,dt$ (V)

$v_O = -\frac{R_{23}}{R_3}\cdot v_{O1} - \frac{R_{23}}{R_4}\cdot v_{O2} = -0.3 + \frac{1}{10}\int_0^t v_{I2}\,dt$ (V)

(2) 当 $t=0$ 时，$v_O = -0.3\,V$

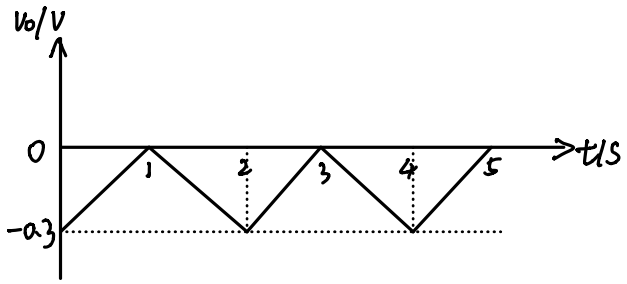
当 $t=1$S 时，$\int_0^t v_{I2}\,dt = \int_0^1 3\,dt = 3$

$\therefore v_O = -0.3 + \frac{1}{10}\times 3$ (V) $= 0\,V$

当 $t=2$S 时，$\int_0^t v_{I2}\,dt = \int_0^1 3\,dt + \int_1^2 -3\,dt = 0$

$\therefore v_O = -0.3\,V$

$\therefore$ 画出 v_O 的波形：



补充题(设计题)

LM324是一种内含4个运放的集成电路芯片。现有两片LM324和若干种电阻（电阻值在1KΩ~1MΩ）。试用它们设计一个电路，实现以下运算 $v_o = 2v_1 + 3v_2 - 4v_3 - 5v_4$，同时要求对应每个信号的输入电阻不小于1MΩ。

（画出电路原理图，并给出设计过程）

由于此运算即有加法又有减法，且放大器仅有2个.

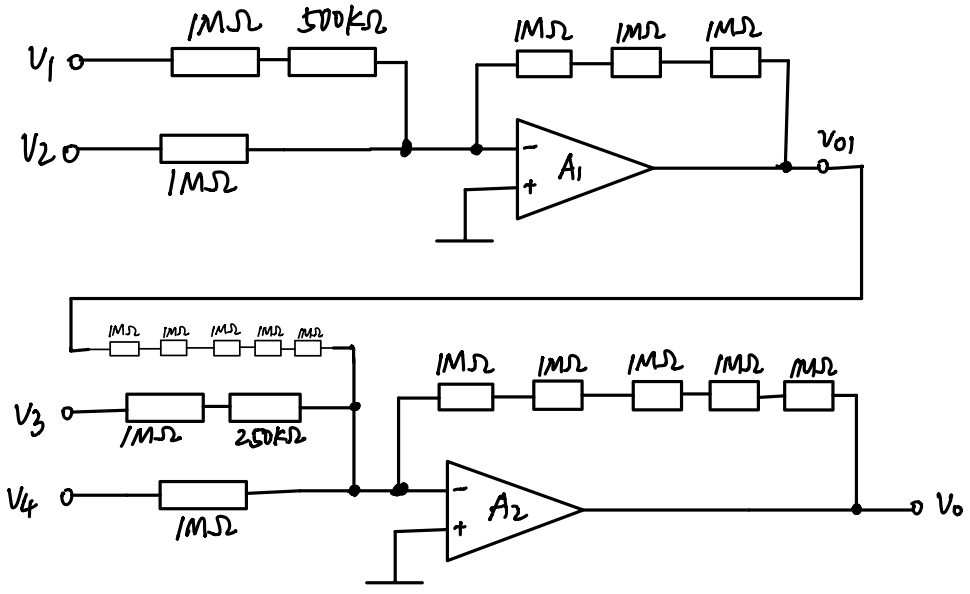
故思考采用二级反相求和放式，正号为两级加法运算的结果，

负号为一级运算的结果.

故先运算运算 v_1 与 v_2，其结果再与 v_3 与 v_4 运算.

由于每个信号的输入电阻不小于1MΩ，而电阻值仅有1KΩ与1MΩ之间电阻.

故输入电阻需多个电阻组合.



$v_{01} = -2v_1 - 3v_2$

$v_o = -v_{01} - 4v_3 - 5v_4 = 2v_1 + 3v_2 - 4v_3 - 5v_4$.