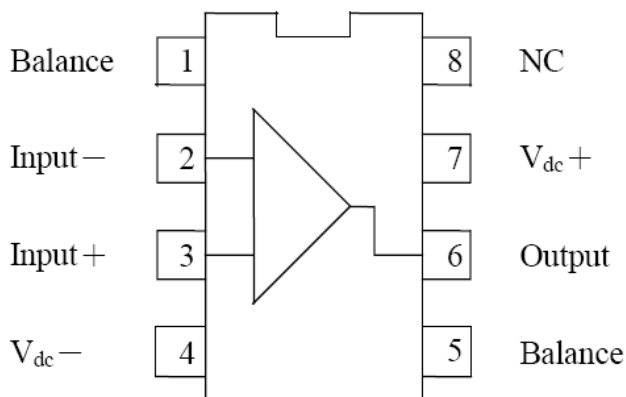


## 第六章 減法電路

國立勤益科技大學資工系  
游正義

【E424研究室】

[youjy@ncut.edu.tw](mailto:youjy@ncut.edu.tw)



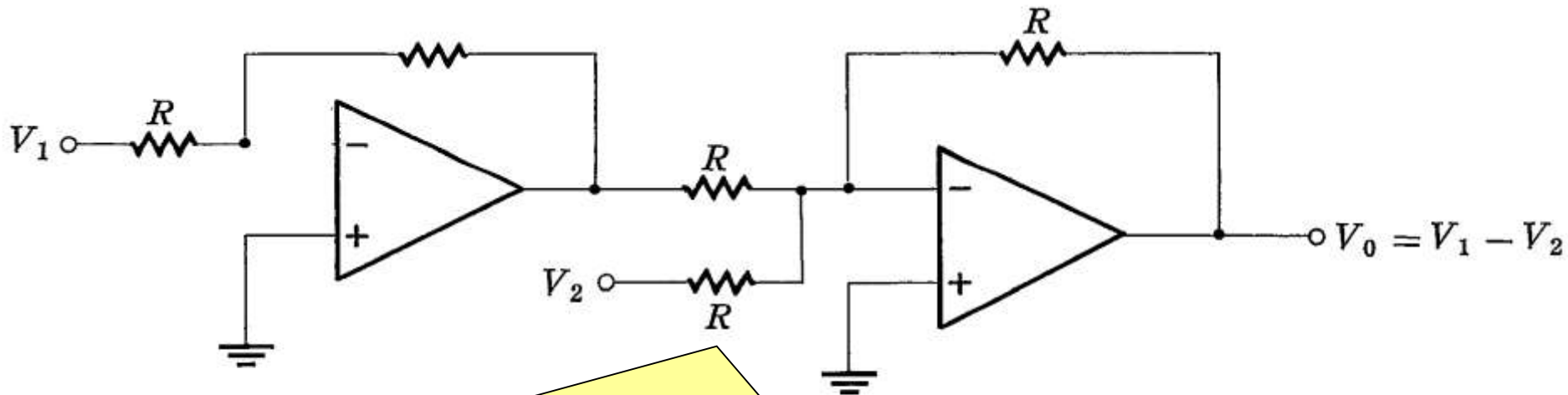
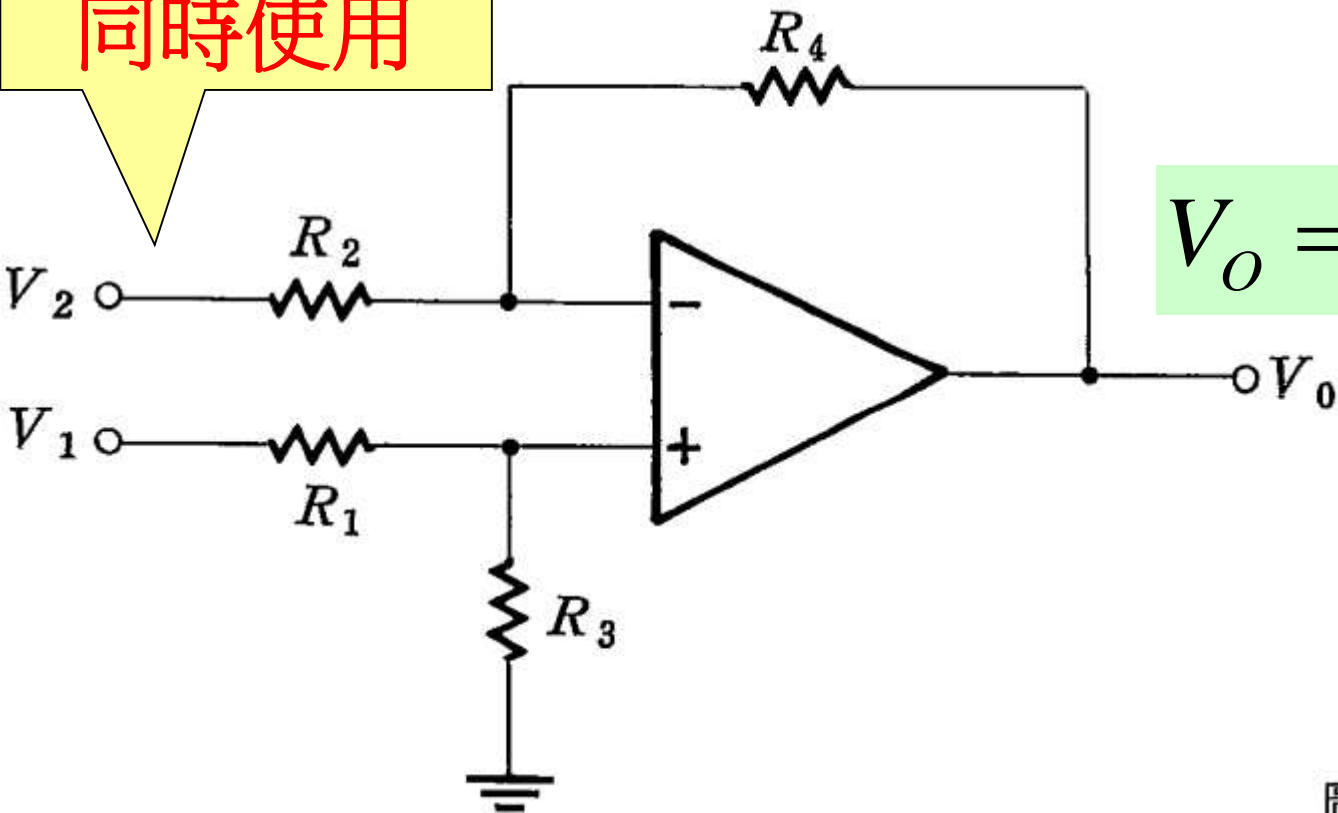


圖 6-1

需要兩個**OP Amp**，實用上來說不經濟，  
如只用一個**OP Amp**，就能完成減法器？

兩個訊號**V1**與**V2**要相減，可以將**V1**的訊號經過倒相器，然後和另一個訊號**V2**用加法器相加，即可得到結果。

兩個輸入端  
同時使用



$$V_0 = A_1 V_1 + A_2 V_2$$

圖 6-2

當  $V_2$  爲 0 ( 即  $V_2$  接地 ) , 則圖 6-2 可以看成一個同相放大電路, 如圖 6-3 所示, 此時  $V_0$  與  $V_1$  之關係爲

$$V_0 = V_1 \frac{R_3}{R_1 + R_3} \left( 1 + \frac{R_4}{R_2} \right)$$

故可知  $A_1 = \frac{R_3}{R_1 + R_3} \left( 1 + \frac{R_4}{R_2} \right)$

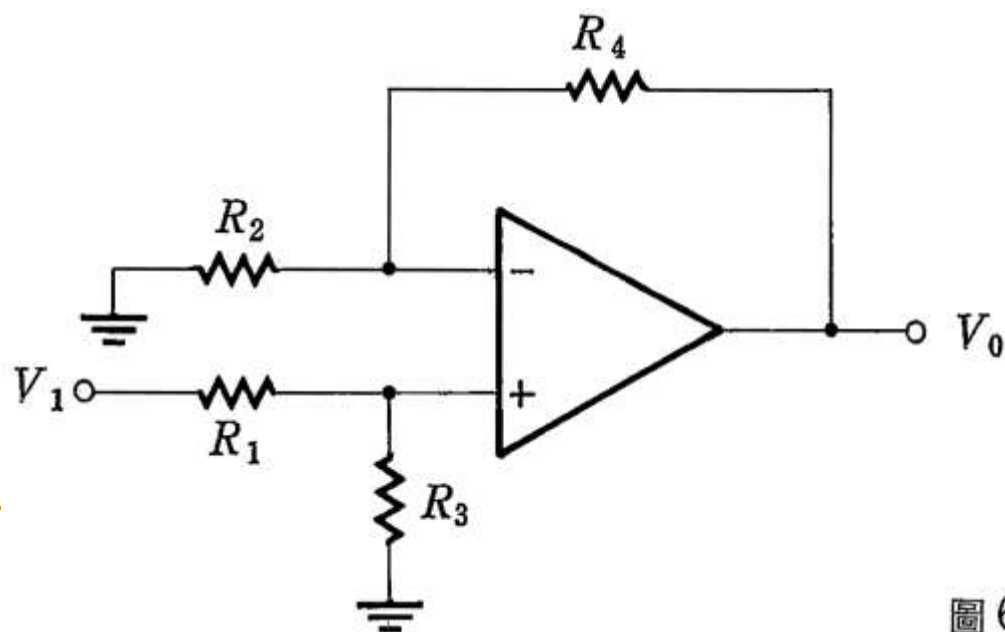


圖 6-3

當  $V_1$  為 0 (即  $V_1$  接地)，則圖 6-2 可以看成一個倒相放大電路，如圖 6-4 所示，此時  $V_0$  與  $V_2$  之關係為

$$V_0 = -\frac{R_4}{R_2} V_2$$

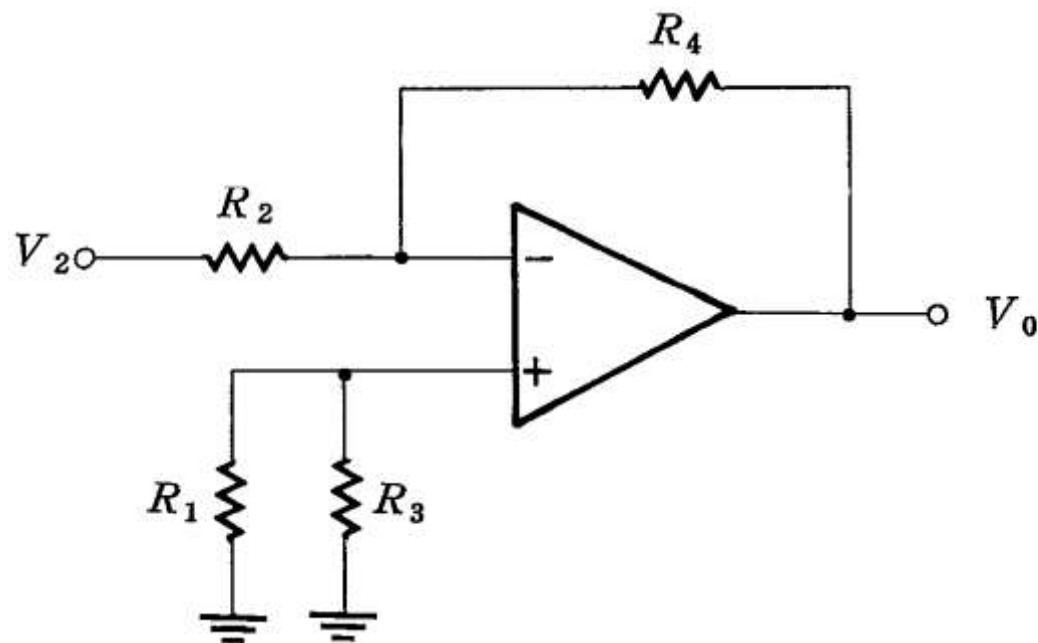


圖 6-4

此時  $R_1 \parallel R_3$  可看成輸入抵償電流的補償電路。故可知

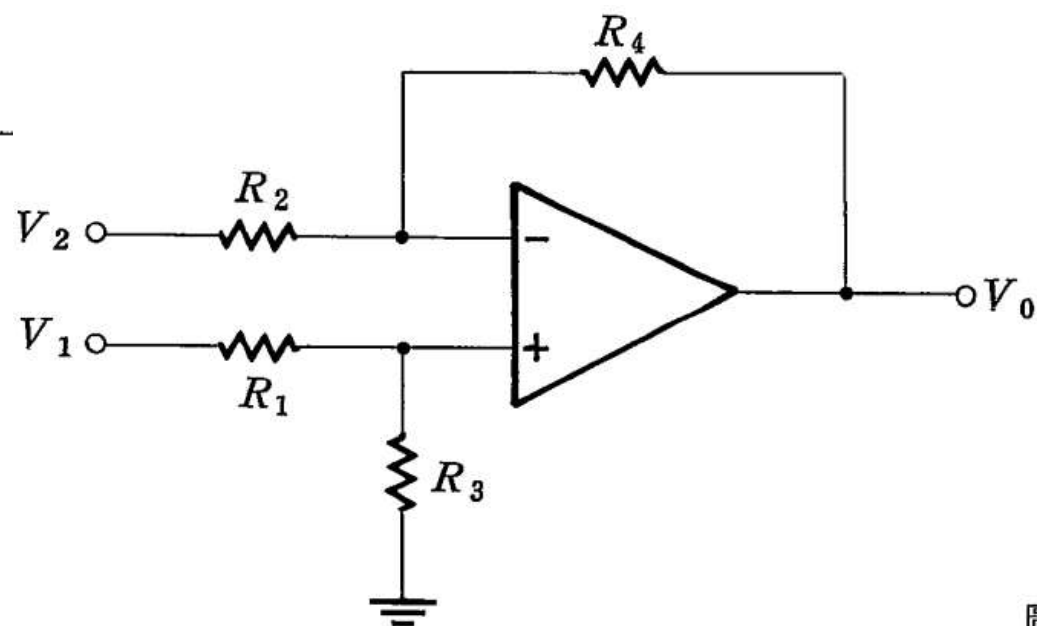
$$A_2 = -\frac{R_4}{R_2}$$

若 $V_1$ 、 $V_2$ 都不為0，依據重疊原理， $V_0$ 與 $V_1$ 及 $V_2$ 之關係為

$$V_0 = V_1 \frac{R_3}{R_1 + R_3} \left( 1 + \frac{R_4}{R_2} \right) - V_2 \frac{R_4}{R_2} \quad (1)$$

故我們稱圖 6-2 之電路為減法電路。假使選擇 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ ，則(1)式可寫成

$$V_0 = V_1 - V_2$$



此時之電路可稱之為減法器。

圖 6-2

假使我們要減掉兩個不同電壓值，可在“-”輸入端再增加一電阻如圖6-5所示。

此時  $V_2$  與  $V_3$  均被倒相且增益為1，而  $V_1$  電壓在  $V_2 = V_3 = 0$  之情況下，經一同向放大電路，可在輸出端得到一電壓為

$$V_O = V_1 \frac{R}{R+R} \left( 1 + \frac{R}{R//R} \right) = \frac{3}{2} V_1$$

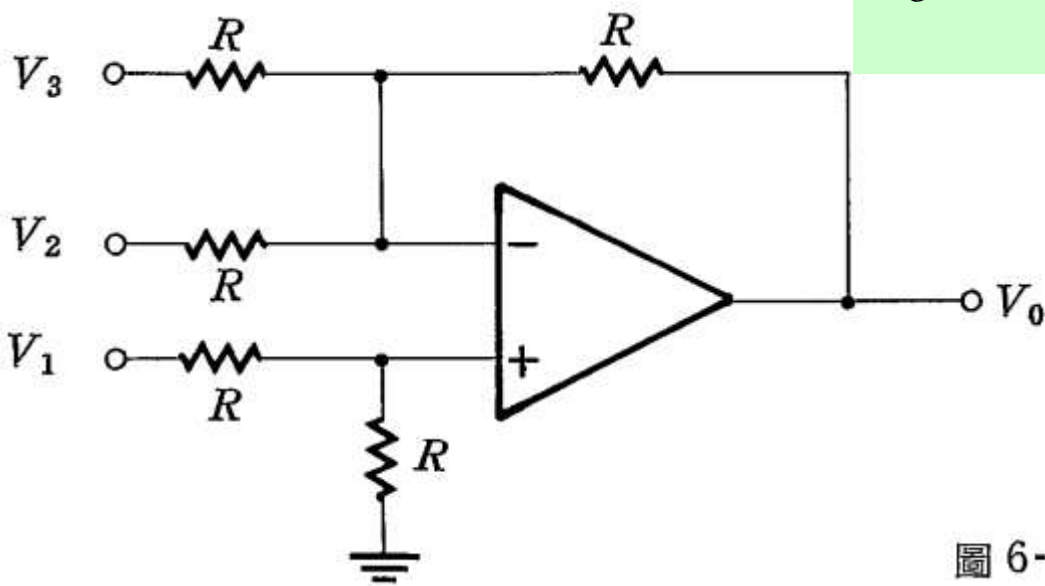


圖 6-5

因此整個輸出電壓  $V_O$  對  $V_1$ 、 $V_2$  及  $V_3$  而言，其關係可表示為

$$V_O = \frac{3}{2} V_1 - V_2 - V_3$$

非我們想要之結果  
 $V_O = V_1 - V_2 - V_3$

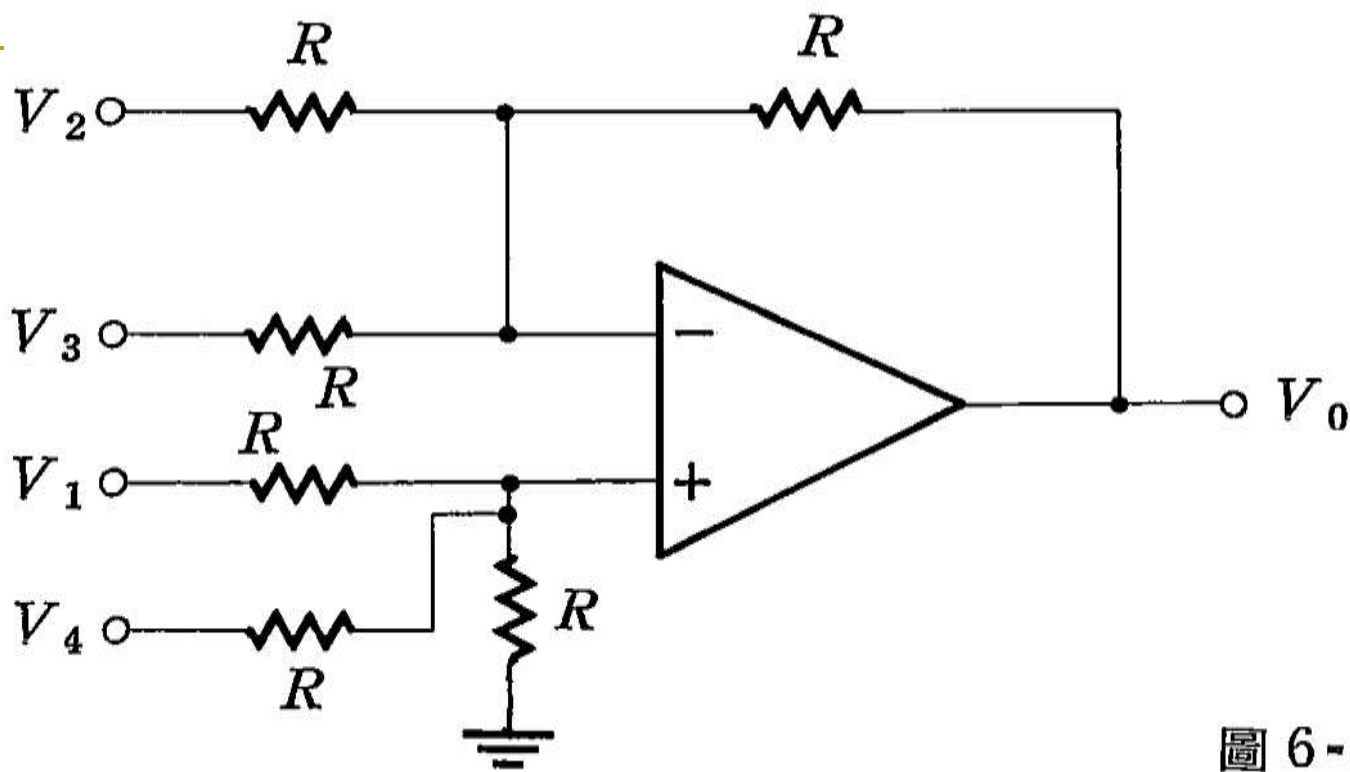


圖 6-6

$$\begin{aligned}
 V_o &= V_1 \frac{R // R}{R + R // R} \left( 1 + \frac{R}{R // R} \right) + V_4 \frac{R // R}{R + R // R} \left( 1 + \frac{R}{R // R} \right) - V_2 \frac{R}{R} - V_3 \frac{R}{R} \\
 &= V_1 \frac{\frac{1}{2} R}{\frac{3}{2} R} \left( 1 + \frac{R}{\frac{1}{2} R} \right) + V_4 \frac{\frac{1}{2} R}{\frac{3}{2} R} \left( 1 + \frac{R}{\frac{1}{2} R} \right) - V_2 - V_3 \\
 &= V_1 + V_4 - V_2 - V_3
 \end{aligned}$$



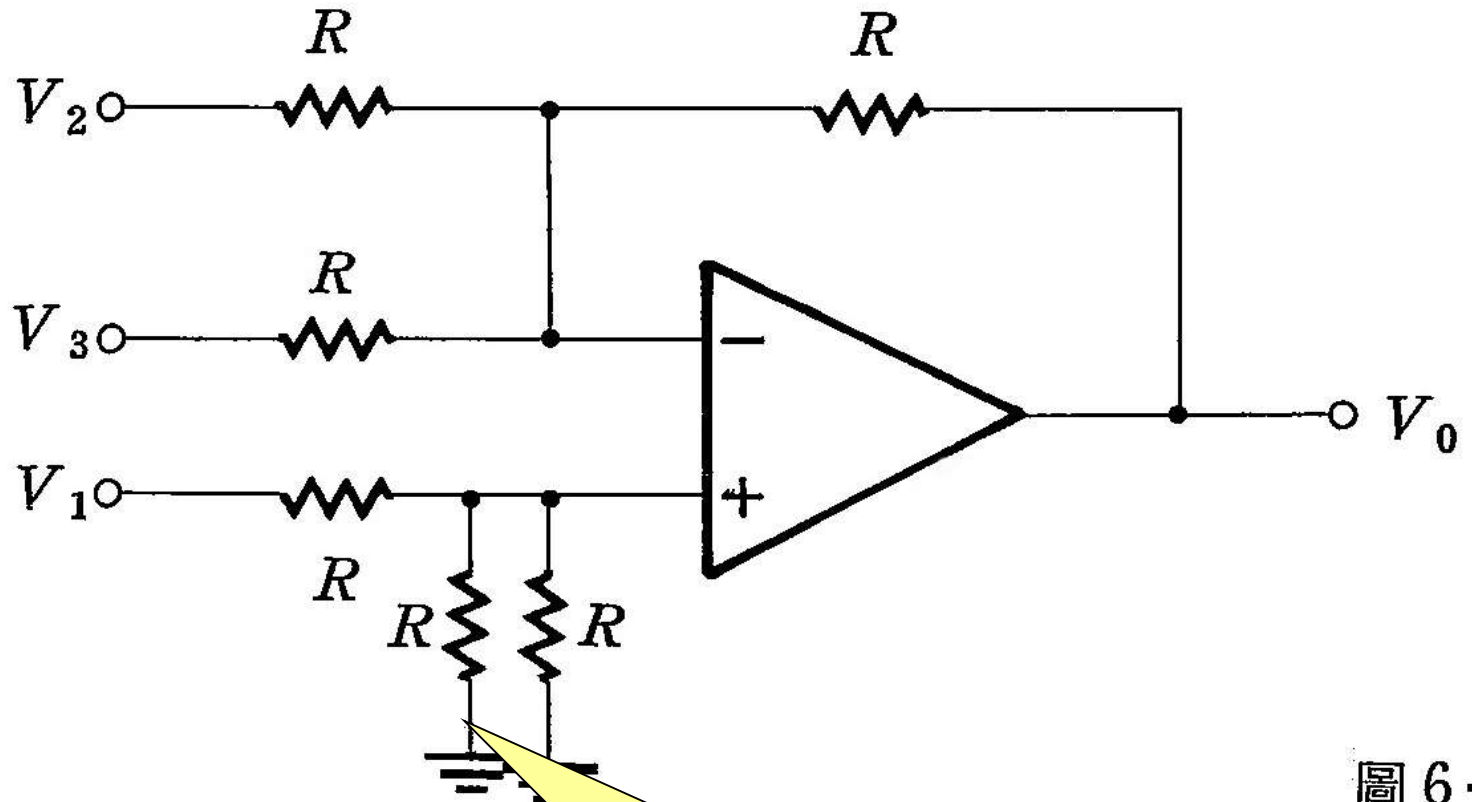


圖 6-7

將 $V_4$ 接地（即 $V_4 = 0$ ），  
即可得 $V_O = V_1 - V_2 - V_3$

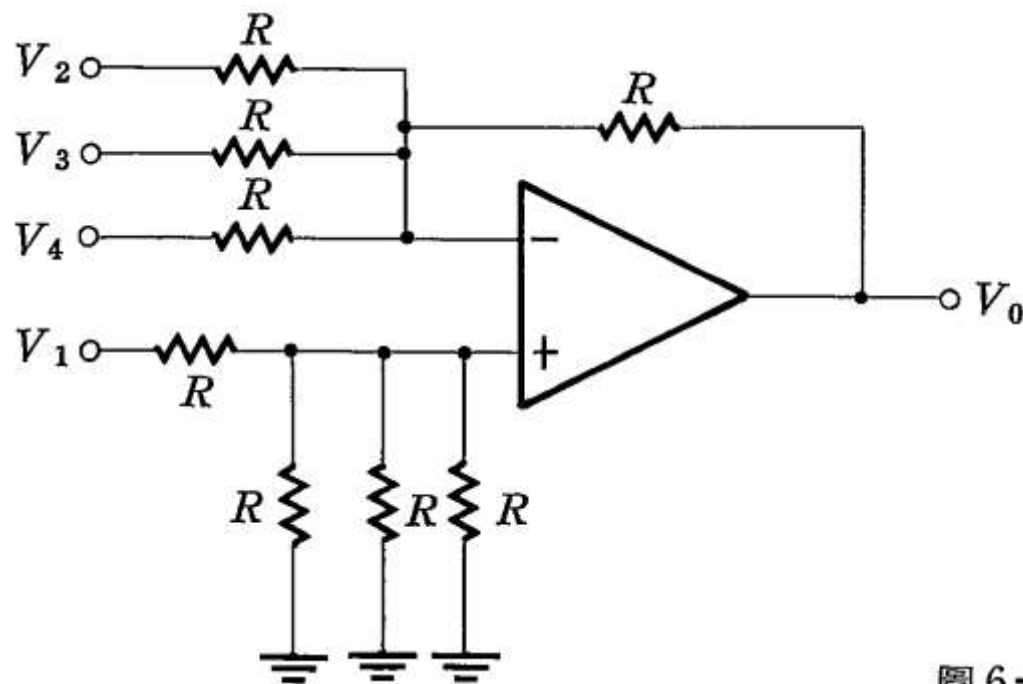


圖 6-8

由上面之例子，可以瞭解到要作一個多電壓的減法器，必須要有成對“+”“-”輸入端之輸入點，再將不需要的輸入點接地，圖 6-8 所示之電路，其輸出電壓  $V_0$  可表示為

$$V_0 = V_1 - V_2 - V_3 - V_4$$

### 三、實驗步驟

1 利用兩片 OP Amp 組成之減法電路的測試：

(1) 如圖 6-9 連接線路。

(2) 選擇  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 10\text{ K}$ ，置  $V_1$  為  $+1\text{ V}$  直流電壓， $V_2$  為  $+2\text{ V}$  直流電壓。

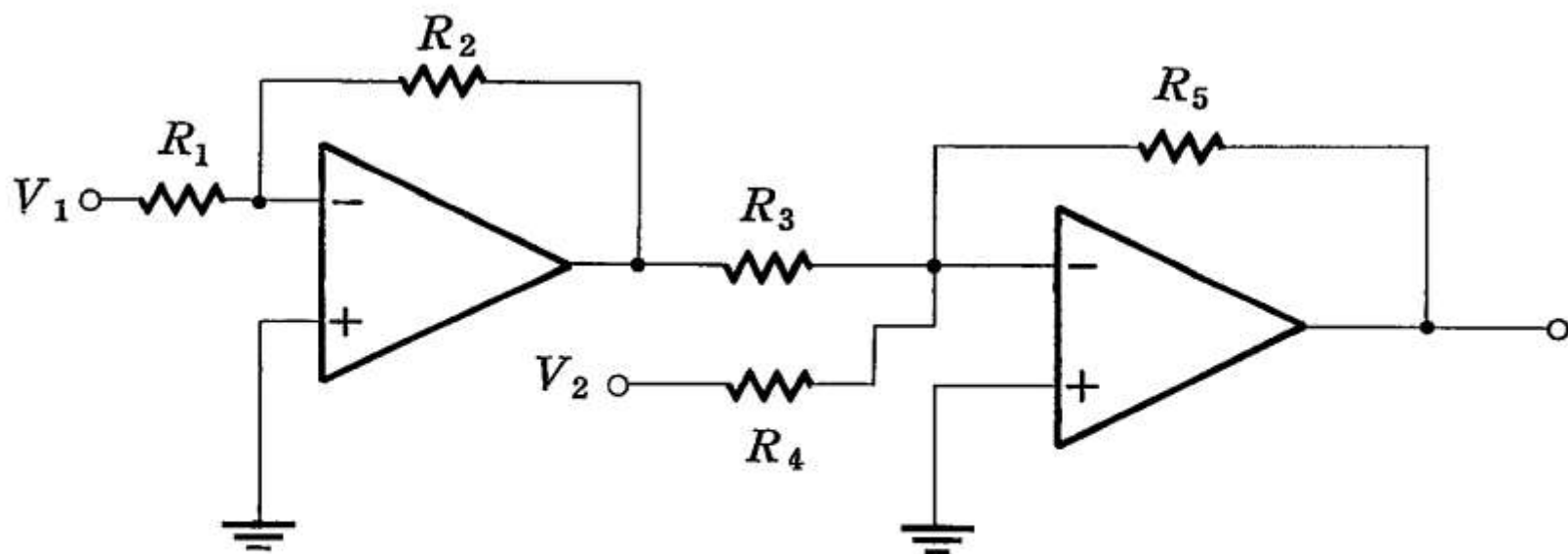


圖 6-9

- (3) 以示波器 *DC* 檔或三用表測量輸出電壓  $V_0$ ，並記錄其結果於表 6-1 中。
- (4) 由公式計算出理論值，並與測試值相比較。
- (5) 改變  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  及  $R_5$  電阻與輸入電壓  $V_1$ 、 $V_2$  如表 6-1 所示，重複 (3)、(4) 之步驟，並記錄其結果於表 6-1 中。
- (6) 將  $V_1$  及  $V_2$  兩輸入電壓改為正弦波（其頻率相同），選擇  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 10\text{ K}$ ，置  $V_1$  為 1 V 峯值， $V_2$  為 2 V 峯值。
- (7) 以示波器 *DC* 檔觀測輸出電壓波形，並繪出其波形於表 6-2 中。
- (8) 由公式繪出理論之波形，並與測試波形相比較。
- (9) 改變  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  及  $R_5$  電阻與輸入電壓  $V_1$ 、 $V_2$  如表 6-2 所示，重複 (7)、(8) 之步驟，並繪出其波形於表 6-2 中。
- (10) 若  $V_1$  改為方波，而  $V_2$  仍為正弦波（頻率相同，相位為零），選擇  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 100\text{ K}$ ，置  $V_1$  為 1 V 峯值， $V_2$  為 2 V 峯值。
- (11) 以示波器 *DC* 檔觀測輸出電壓波形，並繪出其波形於表 6-3 中。
- (12) 由公式繪出理論之波形，並與測試波形相比較。
- (13) 改變  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  及  $R_5$  電阻與輸入電壓  $V_1$ 、 $V_2$  如表 6-3 所示，重複 (11)、(12) 之步驟，並繪出其波形於表 6-3 中。
- (14) 若  $V_1$  改為直流電壓，而  $V_2$  仍為正弦波，選擇  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 100\text{ K}$ ，置  $V_1$  為 +2 V 直流電壓， $V_2$  為 2 V 峯值。

- (15) 以示波器  $DC$  檔觀測輸出電壓波形，並繪出其波形於表 6-4 中。
  - (16) 由公式繪出理論之波形，並與測試波形相比較。
  - (17) 改變  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_4$  電阻與輸入電壓  $V_1$ 、 $V_2$  如表 6-4 所示，重覆(15)、(16)之步驟，並繪出其波形於表 6-4 中。
- 2 利用一片 OP Amp 作成之減法電路的測試：
- (1) 如圖 6-10 連接線路。
  - (2) 選擇  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10\text{ K}$ ，置  $V_1$  為  $+1\text{ V}$  直流電壓， $V_2$  為  $+2\text{ V}$  直流電壓。

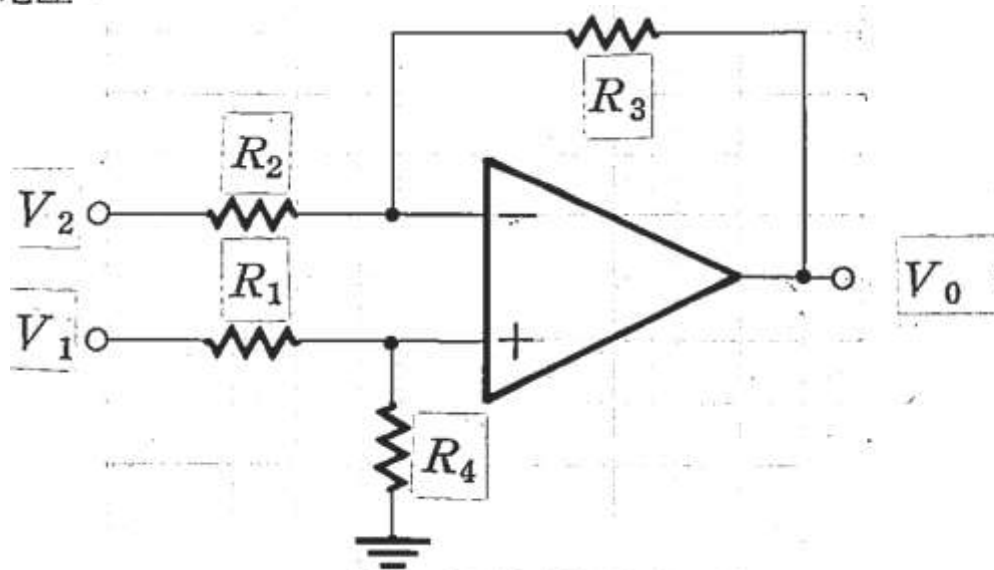


圖 6-10

- (3) 以示波器 *DC* 檔或三用表測量輸出電壓  $V_o$ ，並記錄其結果於表 6-5 中。
- (4) 由公式計算出理論值，並與測試值相比較。
- (5) 改變  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  及  $R_4$  電阻與輸入電壓  $V_1$ 、 $V_2$  如表 6-5 所示，重覆(3)、(4)之步驟，並記錄其結果於表 6-5 中。
- (6) 將  $V_1$  及  $V_2$  兩輸入電壓改爲正弦波（其頻率相同），選擇  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10K$ ，置  $V_1$  爲 1 V 峯值， $V_2$  爲 2 V 峯值。
- (7) 以示波器 *DC* 檔觀測輸出電壓波形，並繪出其波形於表 6-6 中。
- (8) 由公式繪出理論之波形，並與測試波形相比較。
- (9) 改變  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  及  $R_4$  電阻與輸入電壓  $V_1$ 、 $V_2$  如表 6-6 所示，重覆(7)、(8)之步驟，並繪出其波形於表 6-6 中。
- (10) 若  $V_1$  改爲方波，而  $V_2$  仍爲正弦波（頻率相同，相位爲零），選擇  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 100 K$ ，置  $V_1$  爲 1 V 峯值， $V_2$  爲 2 V 峯值。



- (11) 以示波器 *DC* 檔觀測輸出電壓波形，並繪出其波形於表 6-7 中。
- (12) 由公式繪出理論之波形，並與測試波形相比較。
- (13) 改變  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  及  $R_4$  電阻與輸入電壓  $V_1$ 、 $V_2$  如表 6-7 所示，重覆(11)、(12)之步驟，並繪出其波形於表 6-7 中。
- (14) 若  $V_1$  改為直流電壓，而  $V_2$  仍為正弦波，選擇  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 100\text{ K}$ ，置  $V_1$  為  $+2\text{ V}$  直流電壓， $V_2$  為  $2\text{ V}$  峯值。
- (15) 以示波器 *DC* 檔觀測輸出電壓波形，並繪出其波形於表 6-8 中。
- (16) 由公式繪出理論之波形，並與測試波形相比較。
- (17) 改變  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  電阻與輸入電壓  $V_1$ 、 $V_2$  如表 6-8 所示，重覆(15)、(16)之步驟，並繪出其波形於表 6-8 中。

# 討論