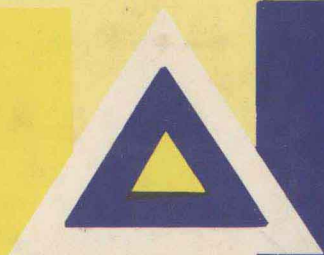


線性IC的使用 ②

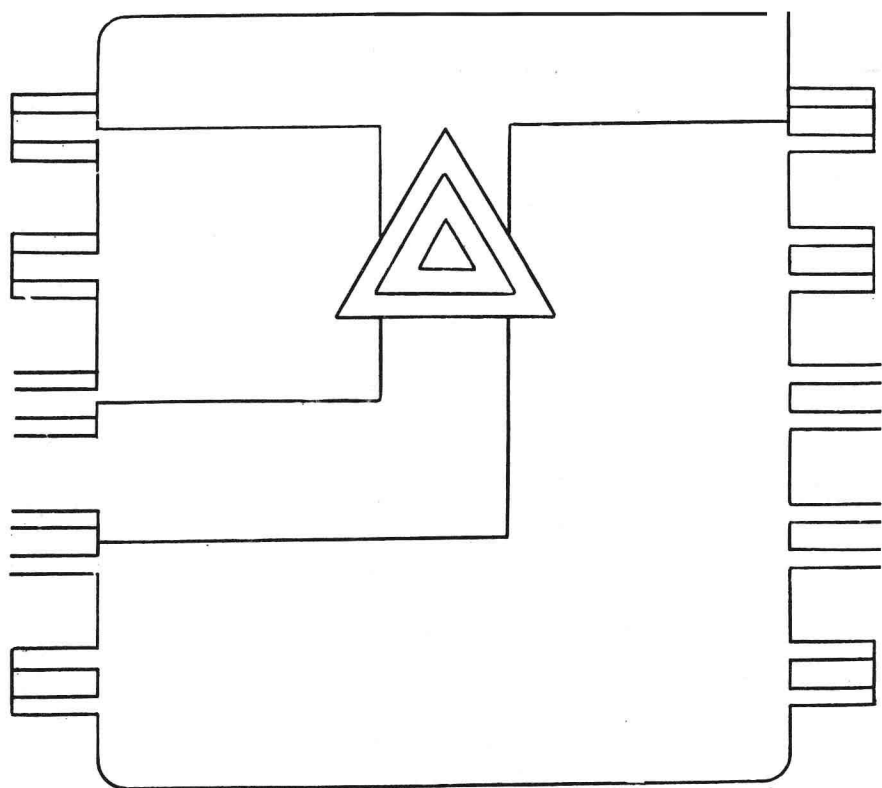
施純協 編著



羅拔書局印行

線性IC的使用 ②

施純協 編著



羅拔書局印行

線性IC的使用 ②

編著者：施純協
出版兼：羅拔書局
發行

澳門大馬路 381 號二樓 F 座

印刷者：振興印刷公司
澳門龍崙街 152 號地下

定價：港幣拾捌元正

序 言

線性 IC 的使用①出版後，受到很多鼓勵，在此先向愛護我的朋友致謝。一年多來，我服務的單位，接二連三的交下許多工作，加上本身例行的教學工作，竟然抽不出一段較長的時間，整理②冊的原稿，煩勞很多朋友垂詢，在此特致歉意。

②冊比預定的章數少，是爲了早點向看過①冊的朋友交待。這半年來，面對許多朋友的「催生」，壓力實在很大，但筆者絕不願意改變寫作的態度，隨意定稿，故只好把 14 章以後的資料移到③冊，繼續鞭策自己，分段完成本書的編寫工作。

近年來，愛護我的朋友，似乎又增多了，但有些朋友對於我改用印書紙出書，可能因爲誤解而有所不滿。固然，印書紙沒有模造紙白潔，但不刺眼。其實紙價也不便宜，本書繼續用印書紙出書，絕不是偷工減料，請愛護我的朋友原諒。

②冊共有五章，詳細探討 OPA 的使用。書中很多式子，儘量用簡單的數學式子表示。

第 9 章先以理想 OPA 的觀念介紹 OPA 的各種基本應用電路。

第 10 章深入討論實際 OPA 本身的各種特性，如偏壓電流、抵補電壓等等之影響，並提出幾種解決這些效應的對策。

第 11 章進一步討論 OPA 頻率補償的方法，同時利用頻率補償的觀念討論使用有功濾波器的各種電路。

第 12 章藉著頻率處理的觀念，適時研討 OPA 各種信號產生器的使用電路。

第 13 章除了介紹 OPA 對數與反對數電路外，主要在對整個 OPA 的領域再予統整，期能對 OPA 有全盤性的觀念，介紹幾種特殊 OPA，如 POA, MPD-OPA, OTA, 與 CDA 等之使用技術。

本書的編寫過程，承協和工商戴建耘老師之幫助得以順利付梓在此謹以致謝。

施純協序

目 錄

9 OPA 使用技術(二).....	1
9-1 理想OPA.....	3
9-2 常見OP AMP的幾個基本電路.....	5
9-3 OP AMP 幾個基本應用電路.....	27
9-4 實習部門.....	35
10 OPA 使用技術(三).....	39
10-1 概 說.....	41
10-2 輸入偏壓電流與輸入抵補電流的認識.....	42
10-3 偏壓電流對輸出電壓有何影響.....	44
10-4 抵補電流對輸出電壓的影響.....	47
10-5 輸入抵補電壓.....	49
10-6 漂 移.....	54
10-7 偏壓電流與抵補電壓影響的消除.....	55
10-8 OPA的轉動率.....	64
10-9 OPA的頻率響應.....	72
11 OPA 使用技術(四).....	83
11-1 為何需要頻率與相位的補償.....	85
11-2 頻率響應相位落後補償的方法.....	89
11-3 波德曲線介紹.....	102
11-4 如何利用OPA作模擬電感與電容.....	111
11-5 有功濾波器.....	114

12 OPA 使用技術(五)	139
12-1 OPA 方波產生器	141
12-2 斜波產生器	155
12-3 三角波產生器	160
12-4 鋸齒波產生器	167
12-5 正弦波產生器	173
13 OPA 使用技術(六)	187
13-1 OPA 之對數與指數電路	189
13-2 OPA 之各種精密交流——直流轉換電路	204
13-3 OPA 與一般放大器型式之綜合研討	217
13-4 使用 OVA 作各類放大器	225
13-5 可設定特性 OPA 之使用簡介 (POA)	
— LM 4250, μ A 776	241
13-6 數位式設定多通道 OPA (MDP-OPA)	
使用簡介—HA 2400	248
13-7 互導運算放大器 (OTA) 使用簡介	
— CA 3060, CA 3080, CA 3090	252
13-8 電流差動式 OPA (CDA) 使用簡介	
— LM 3900, MC 3401 / 3301	264
主要參考書目	277

9 OPA使用技術(二)

本章分下列四節討論：

9-1 理想OPA

9-2 常見OPAMP的幾個基本電路

9-3 OP AMP 幾個基本應用電路

9-4 實習部門

經過本書第一冊扼要的介紹後，相信您對於綫性 IC 觀念的建立，已有相當的基礎，本章接續第八章的內容，仍然以 OPA 為重點，利用你已有的觀念，進一步對 OPA 的基本電路形態加以研究，使同學不但能很快地判別電路的功用，而且能作電路的計算工作。不僅由「做中學」，同時再由「學中做」，儘量合乎工科教學法，步進方式 (Step by step) 的要求。

9-1 理想 OPA

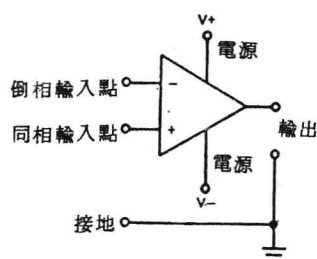
還記得吧！在第八章中，我們曾經看過一些 OPA 零件的內部結構，如 $\mu A 702$ ， $\mu A 709$ ，LM 301， $\mu A 741$ ，LM 3900 等，它們內部的電路都是一大堆，看起來不勝其繁，但是歸納的結果，元件外部的腳號，以及腳號的使用技巧才是運用 OPA 的重點。因此，在尚未深入探求 OPA 的內涵之前，不妨先瞭解一下，理想 OPA 的條件與特性是什麼，這樣，對於 OPA 實際應用電路的推理將會有莫大的幫助。茲將理想 OPA 的方塊記號與特性列示如下：

- 1 具有無窮大的放大倍數，亦即 $A = \infty$ 。
- 2 輸入內阻抗為無窮大，也就是 $Z_{IN} = \infty$ 。
- 3 輸出阻抗為零，亦即 $Z_{OUT} = 0$ 。
- 4 無限大的頻帶寬度，也就是 $BW = \infty$ 。
- 5 共模電壓增益 $A_c = 0$ 。
- 6 $V_{OUT} = -A V_{IN}$ 。
- 7 當 $V_{IN} = 0$ 時， $V_{OUT} = 0$ 。
- 8 輸出的位準，能夠立刻由飽和值恢復到所欲的輸出值。

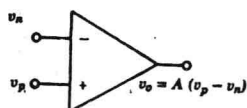
希望同學們，以圖 9-1 (c) 的圖形，對照所列示的理想 OPA 特性，在腦海中印上深刻的構想，把它「活背」是最好不過了，你不妨將這些當做是我們進行計算 OPA 遊戲的規則，一切就 OK 了！

引用上面所陳述的幾點 OPA 的特性，我們還要介紹 OPA 一個重要的觀念，那就是虛性接地 (Virtual Ground) 的觀念，請同學參考圖 9-2

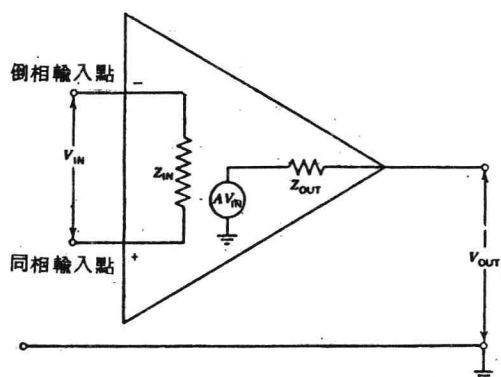
4 線性 I C 的使用(一)



(a) OPA 符號



(b) 常用之 OPA 符號



(c) OPA 之等效電路

圖 9-1.

及上述第 1、2 等項，我們可推知

因為 $V_o = -A \cdot V_i$

式中 $V_o = \text{有限值}$, $A = \infty$

可見 $V_i \cong 0$

所以就輸入兩端點而言，為短路

但又因為 $Z_{IN} = \infty$

所以

$$I_n = \frac{V_i}{Z_{IN}} \cong 0$$

照理說短路電路的電流應該為很大（甚至為無窮大），但在此 $I_n \cong 0$

，且 $V_i \cong 0$ 。因此，我們就特別為 OPA 這種特性稱之為「虛性接地

」，或「虛地」。這個重要性質有助於我們對OPA的更進一步認識。總之，虛性接地的觀念是：雖然電壓幾乎為0V，但卻不會有電流經OPA放大器的輸入端至地。

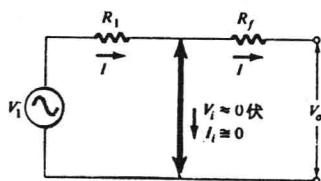


圖 9-2 OPA 的虛地特性

9-2 常見OP AMP 的幾個基本電路

本節中，將利用前一節所介紹理想OPA的特性，分別舉幾種常見的電路基本型態，並腳踏實地——計算它們的電路增益 A_v ，使同學對OPA的「運算」能力，奠立良好的基礎。

由於不論是理想OPA或是實際的OPA電路，OPA本身的增益 A 差不多是在 $10^6 \sim 10^8$ 這麼高的數值，因此，即使輸入信號非常小，却可能因放大後的輸出幅度太大，使輸出電壓產生飽和現象（Saturation），所以同學們在實習的時候，應當絕對避免圖9-3(a)這種開環路的接法。為了這

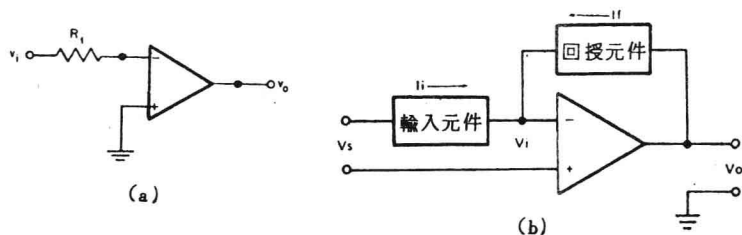


圖 9-3

個原故，OPA 通常是不會以開環路的情況存在，而必須如圖 9-3(b) 所示在 OPA 外面再加接回授元件，如電阻 R ，電容 C ，電感 L ，或是二極體等等，以控制整個 OPA 電路的轉移特性，進而改變電路電壓增益的大小。

根據以上的說法，我們先舉出基本電流放大器電路。

9-2-1 使用 OPA 作為基本電流放大器

圖 9-4 為簡單電流放大器，由於 OPA 的輸入電流 $I_i \approx 0$ ，所以電流的電流 I_{IN} 就流向回授電阻 R_F ，使 $I_{IN} = I_F$ ，同時由於輸入端點可假想為虛性接地，輸出電壓就等於輸出電流與回授電阻的乘積，即 $V_{OUT} = I_{OUT} R_F$

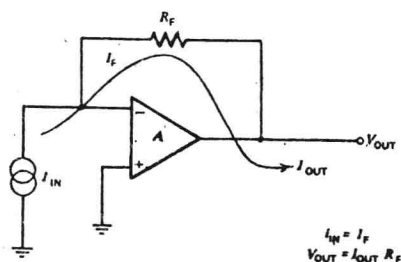


圖 9-4

。由此式中可略為轉變成

$$I_{OUT} = \frac{V_{OUT}}{R_F}$$

可明顯的看出，輸出電流的大小只與輸出電壓 V_{OUT} 與回授電阻 R_F 有關，而與負載的大小無關，像這種電路的應用，在電視機的偏向電路中就是最常見的例子，偏掃電流的大小不受偏向綫圈的影響。

如果同學還有興趣，我想反問諸位，到底加上回授電阻後，此電路的輸入阻抗成為多少呢？你想想再看看電路圖，發現回授電路的元件 R_F 是與信號成為並聯回授的關係，可見輸入阻抗必然降低，而不是原先 OPA 無窮大的輸入阻抗，茲以式子，運算如下：

由圖中，考慮 V_{IN}

$$\begin{aligned}
 \therefore Z_{IN} &= \frac{V_{IN}}{I_{IN}} \\
 I_{IN} &= \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{R_F} \\
 Z_{IN} &= \frac{V_{IN} R_F}{V_{IN} - V_{OUT}} \\
 &= \frac{V_{IN} R_F}{V_{IN} - (-V_{IN} A)} \\
 &= \frac{R_F}{1 + A}
 \end{aligned} \quad (\text{式 9-1})$$

已知OPA的增益A幾乎為無窮大，從式(9-1)， $Z_{IN} \cong 0$ ，輸入阻抗差不多為零，這結果代表兩種意義：第一、輸入仍然與前面所討論的“虛地”構想不謀而合，第二、電流源的電流全部為電路所吸收，因此本電路組態實在是很漂亮的電流轉換電路。

9-2-2 使用OPA 作為倒相器

圖 9-5 與圖 9-4 相似，但多加了一個輸入電阻 R_{IN} ，這個電路我們曾經見過，請翻閱第 1 冊第 201 頁實習 8-2-1，它就是倒相直流放大器輸入信號從反相(記號)端點加入。我們已討論過此電路的電壓放大因數是由二個電阻的比值所決定，但在此重提，以作為運算放大器更完整的研討。

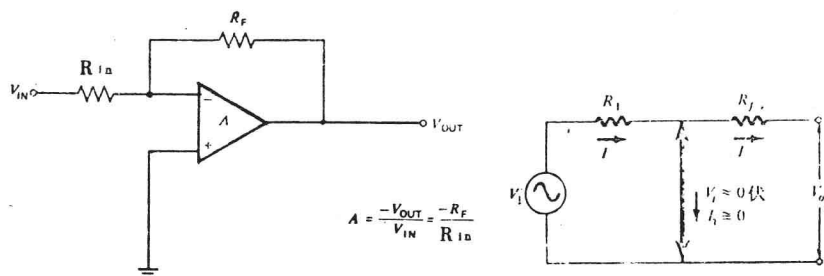


圖 9-5 倒相器

8 線性 IC 的使用(二)

圖 9-5(a)的電路增益式子計算如下：

由圖 9-5(b)中，

$$\therefore I_f \cong 0, \quad V_f \cong 0$$

$$\text{則 } I_{IN} = I_f$$

$$\text{而 } I_{IN} = \frac{V_{IN}}{R_{IN}}; \quad I_f = \frac{-V_{OUT}}{R_f} \quad (\text{反相之故})$$

$$\therefore \frac{V_{IN}}{R_{IN}} = \frac{-V_{OUT}}{R_f}$$

$$\text{結果 } \boxed{A = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{-R_f}{R_{IN}}} \quad (\text{式 9-2})$$

至於電路的輸入阻抗，可直接看出為

$$\boxed{Z_{IN} = R_{IN}} \quad (\text{式 9-3})$$

求得倒相放大器的電壓增益與輸入阻抗後，先運用這兩個式子，計算下列各例。

【例 9-1】 圖 9-5(a)的電路，若 $R_1 = 200 \text{ K}\Omega$ ， $R_f = 500 \text{ K}\Omega$ ，則當輸入電壓為 $V_{IN} = -2 \text{ V}$ 時的輸出電壓為多少？假如 $V_{IN} = +4 \text{ V}$ 時，結果又如何？輸入阻抗又為多少？

解：

由式 9-2 可知

$$V_{OUT} = \left(-\frac{R_f}{R_{IN}} \right) V_{IN} = \left(-\frac{500 \text{ K}}{200 \text{ K}} \right) V_{IN} = \left(-\frac{5}{2} \right) V_{IN}$$

$$\text{當 } V_{IN} = -2 \text{ V}$$

$$V_{OUT} = \left(-\frac{5}{2} \right) (-2 \text{ V}) = +5 \text{ V}$$

$$\text{當 } V_{IN} = +4 \text{ V}$$

$$V_{OUT} = \left(-\frac{5}{2} \right) (+4 \text{ V}) = -10 \text{ V}$$

電路之輸入阻抗變為

$$Z_{IN} = R_1 = 200 \text{ K}\Omega$$

請特別留意上例中，輸出電壓與輸入電壓的大小以及符號關係，所得結果是否成反相。茲再舉一例，希望同學反覆思考。

【例9-2】以圖9-6為電路，已知此放大器之電壓增益為 -100 ，輸入電阻 $R_{IN} = 1 \text{ K}\Omega$ ，試求回授電阻 R_f 應為多少？若增益為 -50 ，則 R_f 又為多少？

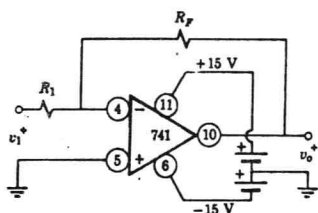


圖 9-6

解：

首先應用式(9-2)，可化成

$$R_f = -A_v \cdot R_{IN}$$

則當 $A = -100$ 時

$$R_f = -(-100) 1 \text{ K}\Omega = 100 \text{ K}\Omega$$

當 $A = -50$ 時

$$R_f = -(-50) 1 \text{ K}\Omega = 50 \text{ K}\Omega$$

從此兩例中我們知道，無論是 R_f 或是 R_{IN} 改變，都會影響電路的增益與輸出大小，當然，如果同時改變 R_f 與 R_{IN} 或許仍可維持增益 A 的大小，但是我們還必須考慮電路的輸入阻抗，以求得最佳匹配情況。

為了使同學們對OPA基本反相電路，具有更清晰的觀念起見，再以電子槓桿(Electronic Lever)圖解的方式來說明它的電路特性。如圖9-7(a)所示，橫軸(x方向)代表電阻值，以OPA的負端e點為基點，左方代表 R_{IN} 的值，右方代表 R_f 的值，縱軸(y方向)代表電壓值，由於e。與e。的相位相反，所以它們的方向也就相異，一個在上，另一者在下。請你觀察圖9-7(a)與(b)，再回憶式(9-2)，可以比較出， R_f 的值愈大，電

路增益就愈大，那麼 e_o 與 e_i 的高度差矩也就愈大。將這種觀念再推廣至任意的 R_f 值，就可畫成如圖 9-7(c) 的標示法，由於 R_{IN} 與 R_f 的比值為固定，所以對任何 e_i 的輸入信號與 e_o 輸出信號就成為一對一的對應關係，像圖中的 ① e_i 輸入對應 ① e_o 輸出點，餘此類推。

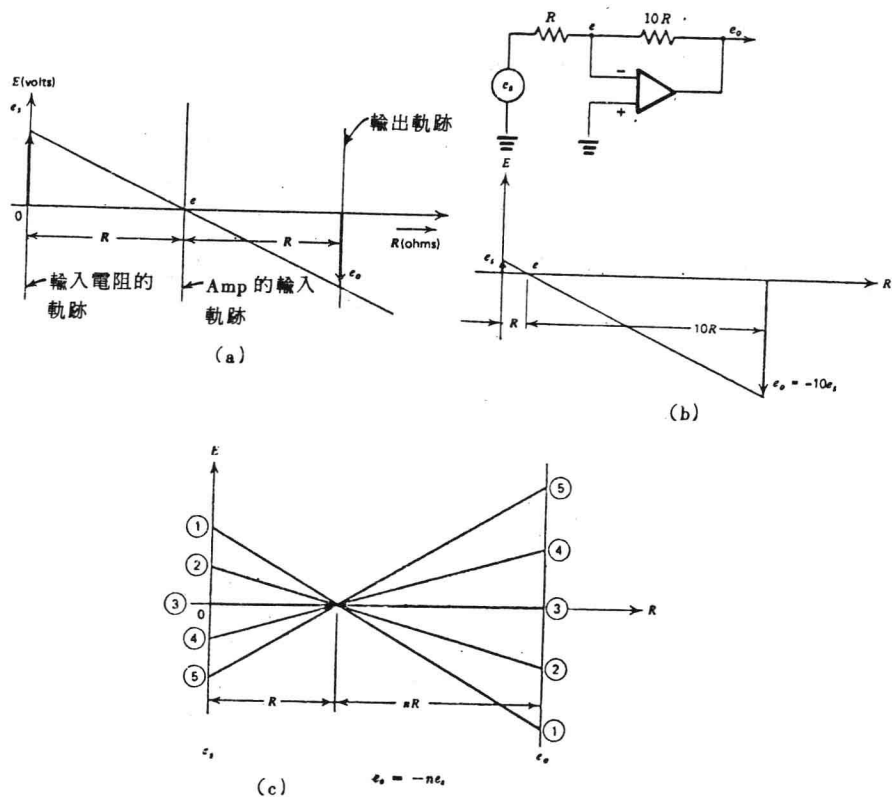


圖 9-7

把例 9-1 所計算的結果與圖 9-7 相對照，同學更能夠體會出這種圖形表示法的功用，但是前面我們所討論的範圍只是局限於具有放大作用的反相器，其實，OPA 倒相器亦可作成很精確的衰減器 (attenuator) 反相器。圖 9-8 就是一個 3 比 1 的衰減倒相器，如同例 9-2 所討論的結果相似，只要改變 R_{IN} 與 R_f 的比值，使增益小於 1，就可達到我們的要求。

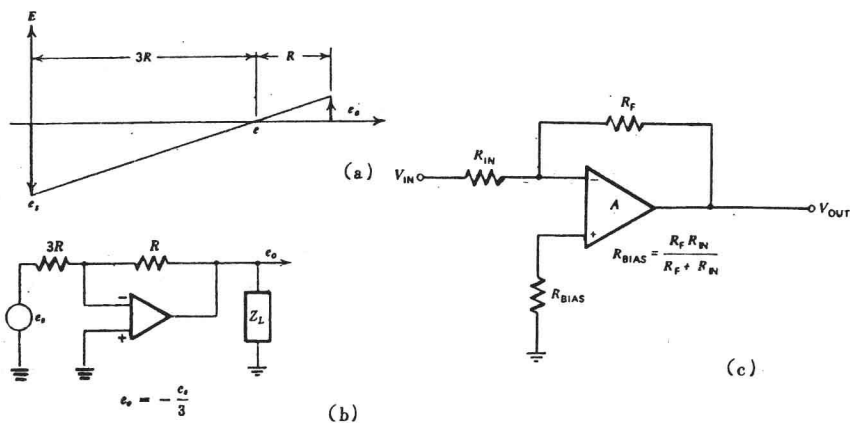


圖 9-8

最後，再提供同學較完整的基本OPA倒相放大器，如圖9-8(c)所示，與圖9-5比較，即可看出OPA的正(+)輸入端並不是直接接地，而多接了一個叫做偏壓電阻(bias resistor) R_{BIAS} ，其值大約等於回授電阻 R_F 與輸入電阻 R_{IN} 的並聯值，它的作用是爲了減少由輸入偏壓電流對放大器的輸出所引起的抵補電壓(off-set voltage)。至於什麼是輸入偏壓電流(input-bias current)，與抵補電壓的關係又如何，請稍等，在第十章將給你滿意的答覆。

9-2-3 OPA 倒相加算電路

前面所討論的OPA倒相放大電路，只有一個輸入信號，如果在負端輸入點多並加幾個輸入電阻，以便能夠有二個以上的信號加入就構成倒相加算電路了，如圖9-9(a)所示即是。關於此種電路的導出式與實習，相信同學已見過，請參考本書第1冊193頁實習(8-1-1)，在此仍然將重要部分列出如下：

運用9-1節所列示的幾項OPA特性，寫出各輸入電流匯集點(即OPA的負端上)的節點電流公式爲

$$I_f = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$