

科學圖書大庫

# 實用積體運算放大器

譯者 陳端雅

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

# 實用積體運算放大器

譯者 陳端雅

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會  
監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

# 科學圖書大庫

版權所有

不許翻印

中華民國六十八年二月二日初版

## 實用積體運算放大器

基本定價 4.80

譯者 陳端雅 台灣電力公司工程師

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 財團法人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號  
7815250 號

發行者 財團法人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 1 5 7 9 5 號

承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

# 原 序

在編寫本書之前，市面上已出版了好幾本有關運算放大器的參考書及手冊，其中有些內容的可讀性很高，本書裡某些部份亦摘取其精華。前人努力的成果雖不可抹滅，不過至今尚無一本像本書一樣，專注於積體運算放大器，且能深入的討論標準運算放大器的應用。本書的編寫即可對已有的資料作適當的補充。

由於每個人的背景及工作環境等有所不同，故處理問題的方法也不同，但大多數人仍遵循某些基本法則來解決問題，儘管運算放大器的使用已有朝向積體運算放大器的趨勢，但在各類型的產品中，仍可找出一標準型式以作為參考。積體運算放大器的售價正逐漸下降中，且適合各方面的用途，故本書的目的在於把運算放大器使用於各種電路中，以得到最大的效果，所以命名為「實用積體運算放大器」，書中不僅闡釋許多應用電路，並不厭其煩的討論其原理。

讀者只要大略翻閱本書便可明瞭其價值，一般討論積體運算放大器不外乎以何種方式來討論，及究竟要討論些什麼，對大多數讀者而言，作者確信實際的寫法比純理論的說明來得有用，所以本書中所談到的理論，主要是在強調實用上的意義，再則使用運算放大器的目標，在於完成我們所要求的工作，並非僅求方程式的平衡，是故本書的寫法偏向於使用者的觀點，以腳踏實地的方式來討論之，因此極適合學生，技術員，設計工程師等不同程度的讀者。一本能吸引讀者的書，必須對所述說的事物交待得很清楚，且容易了解，而所討論的問題，對各程度的讀者，皆具有代表性的意義，本書雖不敢說盡善盡美，不過就此而言有獨到之處。

本書所討論的範圍包括一般型標準運算放大器，諸如 709，101，及 741，及一些已改進工作參數的特殊運算放大器，而這些特殊運算放大器目前已被工業界視為標準型式。

如果能將運算放大器加以適當的補充，便可擴大其使用範圍，且在某一特定用途上可得到最佳效果，這是設計者所追求的目標，本書的討論係在特

定應用時，應該選用何種運算放大器爲方針，並兼顧其他考慮，如速率，準確度，直流穩定度，功率消耗等工作參數。

作者也考慮到一本實用的書，對不同程度的讀者不可有所偏頗，因此在實際電路的討論上，讀者如欲更進一步的探知其原理，本書亦列有參考書，若想動手使用運算放大器電路來完成某一工作，則可利用本書所提供的電路，圖表，修改建議，及設計方程式。

**Walter G. Jung.**

## 譯 序

積體運算放大器的發展不再局限於作為類比計算機電路，亦可使用於線性電路中，其性能雖可完成整個系統的工作，但僅被視為一普通的元件，而在價格上與無源元件不相上下，因此改變了電路設計的觀念，是為一大革命，為迎合時代潮流，電子從業人員必須對積體運算放大器有透澈的了解。

本書的編寫以實用價值為著眼點，避免使用繁雜的數學，而致以簡潔但不失詳盡的方式來討論之，並有 250 幅實際的電路圖，是現行此類書籍中的佼佼者，全書分成三部份，第 I 部份介紹積體運算放大器，讓讀者先有個概念，第 II 部份討論實際的應用電路，第 III 部份列出製造廠的資料表，供作參考。

書中名詞之翻譯，以教育部公佈者為準，其間或有未公佈者，採用較通俗的譯名，至於製造廠的譯名以在本地有設廠的廠名，或分公司，或直譯為準，請對照如下：

快捷半導體公司——Fairchild Semiconductor Corp.

哈里斯半導體公司——Harris Semiconductor Corp.

摩托羅拉半導體公司——Motorola Semiconductor Products, Inc.

美國無線電公司——Radio Corporation of America.

辛格恩蒂斯半導體公司——Signetics Semiconductor Corp.

利迅半導體公司——National Semiconductor Corp.

陳端雅 識

## 簡介及歷史背景

在討論近代的運算放大器之前，不妨先復習一下，何謂運算放大器？茲分成兩個步驟來了解之：(1)討論理想情況下的運算放大器，(2)討論受積電路條件限制的實際運算放大器。

在許多應用中，理想運算放大器與實際運算放大器的差別很小，可予忽略之，不過在某些應用上，其差別雖很微小，但仍可察覺出來，如能適當的選擇運算放大器的型式，並對所須要的參數加以控制，便可提高工作性能，欲達此目的，必先了解運算放大的基本觀念，及近代的積體運算放大器。

運算放大器的原始觀念導源於 1940 年使用類比計算機的技術，因其增益很高，又可作為差動輸入方式的直流放大器，且可由回授環路裡所使用的元件來控制其工作特性，故命名為運算放大器，改變回授元件的型態及排列，便可得到不同的類比運算，換言之，整個電路的特性僅由這些回授元件決定之，所以一個運算放大器能完成各種運算，此可使運算放大器的發展，在電路設計的觀念上開創一個新的境界。

早期的運算放大器係由真空管組成，但一直未能普及，到 1960 年代運算放大器的電路設計使用固態技術時，才稍有發展，這是以分立固態的設計來作我運算放大器內部電路的突破，而在 1960 年代的中期發表了第一個積體運算放大器，經過幾年的發展，積體運算放大器成為一標準設計工具，其應用範圍不再限於類比計算機電路中。

因積體電路的製造已具有能大量生產的技術，故積體運算放大器的數量甚多，而且價格低廉，今天只須花費美金一元便可買到增益為 100 分貝，輸入補償電壓為 1.0mV，輸入電流為 100 nA，頻帶寬為 1.0MHz 的一般型運算放大器，這在早期須由許多分立元件構成一龐大的系統，可是發展至今，整個運算放大器本身卻成為一分立元件，因此大大的改變了線性電路設計的型態。

由上可知，以無源元件的價格便可得到如此大的效益，故在直流及低頻的應用上，若再使用分立有源元件來設計，不僅浪費時間，且不經濟，所以很

明顯的，積體運算放大器重新定義了電子電路的基本規則，並把電路的設計著重於以系統為基礎的觀念上，讀者應當儘快熟悉運算放大器即為一系統的應用，以便迎接未來的挑戰。



# 目 錄

## 原 序

## 譯 序

## 簡介及歷史背景

## 第Ⅰ部 積體運算放大器概論

|                  |     |
|------------------|-----|
| 第一章 運算放大器基礎      | 1   |
| 理想運算放大器          | 1   |
| 非理想運算放大器         | 12  |
| 積體運算放大器規格        | 42  |
| 第二章 積體運算放大器的演進   | 52  |
| 一般型運算放大器的歷史與發展   | 52  |
| 特殊積體運算放大器及其特性    | 73  |
| 第三章 積體運算放大器的使用方法 | 84  |
| 抵補調整，標準補償，及接腳方法  | 84  |
| 誤用及失效的保護         | 95  |
| 最佳穩定性基本規則        | 103 |

## 第Ⅱ部 運算放大器之應用

|                |     |
|----------------|-----|
| 第四章 電壓及電流調整器電路 | 107 |
| 電壓調整器          | 107 |
| 電流調整器          | 135 |
| 第五章 信號處理電路     | 147 |
| 精準二極體          | 147 |
| 精準截割器          | 148 |
| 直流復位器          | 151 |
| 半波整流器          | 152 |
| 全波精準整流器        | 154 |
| 峯值偵察器          | 156 |
| 取樣及固持電路        | 159 |
| 回授限制器          | 161 |
| 二極體橋式電路        | 165 |
| 抵補可變的電壓追隨器     | 168 |
| 符號改變器          | 168 |
| 對數轉換器          | 169 |
| 比較器電路          | 178 |
| 儀表用放大器         | 193 |
| 類比乘法器          | 202 |
| 第六章 音頻電路       | 220 |
| 積體運算放大器在音頻應用   |     |

|                  |     |
|------------------|-----|
| 上的重要參數           | 220 |
| 使用於音頻之基本運算放大器的接法 | 238 |
| 使用積體運算放大器的實用音頻電路 | 246 |
| 第七章 信號產生器電路      | 300 |
| 積分器及微分器          | 300 |
| 正弦波產生器           | 301 |
| 多諧振盪器            | 313 |
| 函數產生器            | 319 |
| 鋸齒波產生器           | 328 |
| 以電壓來控制的信號產生器及調制器 | 335 |
| 第八章 特殊運算放大器      | 341 |
| 可規劃的運算放大器        | 341 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 4250 及 776 可規劃運算放大器的應用 | 351 |
| 交換電路                   | 354 |
| 可規劃的四通道放大器             | 360 |
| HA-2400 之應用            | 362 |
| 運算互導放大器                | 376 |
| 運算互導放大器的應用             | 386 |
| 電流差放大器                 | 408 |
| 電流差放大器的應用              | 421 |

### 第Ⅲ部 附 錄

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 附錄 A 運算放大器資料表   | 447 |
| 附錄 B 積體運算放大器互換表 | 483 |

|     |     |
|-----|-----|
| 索 引 | 508 |
|-----|-----|

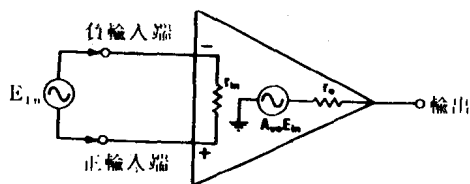
# 第 I 部 積體運算放大器概論

## 第一章 運算放大器基礎

### 1.1 理想運算放大器

理想運算放大器的基本原理極簡單，但為能更易於了解其作用，不妨先摒棄一般處理放大器元件（如電晶體、真空管等）的觀念，而僅將運算放大器視為一名詞，並考慮成有輸入端及輸出端的方塊，本章所論者，皆為理想化的運算放大器，至於方塊內電路的構造，容後再述之。

圖 1-1 為一理想運算放大器，本放大器係一種差動輸入，單端輸出的直接耦合元件，且僅於兩輸入端有電位（壓）差時，才起作用，而對各輸入端的電位不起作用，若反相輸入端（-）有正向信號，則在輸出端產生負向信號，然正相輸入端（+）有同樣的信號時，在輸出端產生正相信號，當差動輸入電壓為  $E_{in}$  時，輸出電壓  $E_o$  將等於  $A_{vo} E_{in}$ ，其中  $A_{vo}$  為本放大器的增益。運算放大器不論作何用途，其兩輸入端皆須使用，又因輸出信號為單端對地的



$$E_o = A_{vo} E_{in}$$

$$A_{vo} = \infty$$

$$r_{in} = \infty$$

$$r_o = 0$$

$$BW = \infty$$

$$E_o = 0 \text{ 若 } E_{in} = 0$$

圖 1-1 理想運算放大器的等效電路

## 2 實用積體運算放大器

比較電位，故須使用雙極（±）。

了解輸入及輸出的作用後，茲定義此種放大器的理想特性：

1. 增益為無限大： $A_{vo} = \infty$
2. 輸入阻抗為無限大： $r_{in} = \infty$
3. 輸出阻抗為零： $r_o = 0$
4. 頻帶寬為無限大： $BW = \infty$
5. 若  $E_{in} = 0$ ，則輸入抵補（offset）電壓為 0： $E_o = 0$

從以上的理想特性裡，又可推論出運算放大器另外兩種極重要的特性，既然電壓增益為無限大，故如有任何輸出信號，必是由一無限小的輸入信號所產生的結果，所以。

1. 差動輸入電壓為零。

且因輸入阻抗為無限大，故

2. 無電流流入兩輸入端。

這兩種特性將視為不變的法則，以後對運算放大器電路的分析與設計可遵循之。一旦了解其特性，任何運算放大器電路的工作，皆可推演出來，茲討論一些基本的電路，以證明之。

**1.1.1 基本運算放大器接法** 運算放大器可接線成兩種基本的放大器電路：(1)反相及(2)正相結構。所有的運算放大器都導源於這兩種接法，此外，差動（differential）放大器亦這兩種接法合併使用而成的電路。

**反相放大器** 圖 1-2 的反相放大器為基本運算放大器的第一種接法，本電路中，正相輸入端（+）接地，信號經  $R_{in}$  輸至反相輸入端（-），且從輸出端經  $R_f$  同授至負輸入端，秉持上面所述理想運算放大器的特性，本電路分析如下：

因增益為無限大，故輸入電壓為零時，便能產生輸出電壓  $E_o$ ，但放大器的差動輸入電壓為  $E_s$ ，故  $E_s = 0$ ，若  $E_s$  為零，則總輸入電壓  $E_{in}$  必加於  $R_{in}$ ，所以  $R_{in}$  的電流為

$$I_{in} = \frac{E_{in}}{R_{in}}$$

因輸入阻抗為無限大，故  $I_s = 0$ ，所以輸入電流  $I_{in}$  亦流經  $R_f$ ，即

$$I_f = I_{in}$$

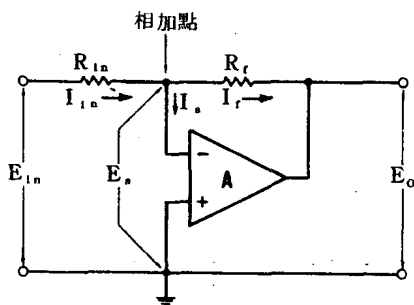
因信號經過放大後相位相反，故跨接  $R_f$  所產生的輸出電壓  $E_o$  為負，若以  $E_o$  及  $R_f$  表示  $I_f$ ，即

$$I_f = \frac{-E_o}{R_f}$$

因  $I_n$  等於  $I_f$ ，故

$$\frac{E_{in}}{R_{in}} = \frac{-E_o}{R_f}$$

上式即為求理想反相放大器增益的方程式。



$I_n = 0$ ,  $E_n = 0$ ,  $\therefore$  SP 為零電位或  
虛線接地

$$\text{而, } I_{in} = \frac{E_{in}}{R_{in}}$$

因,  $I_n = 0$ ,  $I_f = I_{in}$

$$\text{且 } I_f = \frac{-E_o}{R_f} \quad (\text{因反相})$$

$$\text{故 } \frac{E_{in}}{R_{in}} = \frac{-E_o}{R_f}$$

$$\text{增益} = \frac{E_o}{E_{in}} = \frac{-R_f}{R_{in}}$$

反相放大器特性摘要：

- (1) 增益  $= \frac{-R_f}{R_{in}}$ ，值域無限制 ( $R_f$  為零時，增益等於零)
- (2) 輸入阻抗  $= R_{in}$
- (3)  $I_f = I_{in}$  ( $R_f$  為任何值皆可)
- (4) 相加點為虛接地，與正向輸入端 (+) 同電位。

圖 1-2 反相運算放大器

反相運算放大器有其他須注意的特性，調整  $R_f$  或  $R_{in}$  便能改變其增益，因增益與  $R_f$  電阻值成正比，故當  $R_f$  從零改變至無限大時，增益亦從零改變至無限大，又因輸入阻抗等於  $R_{in}$ ，且  $E_{in}$  與  $R_{in}$  決定  $I_n$  電流值，所以不論  $R_f$  電阻值為若干， $I_f = I_{in}$ 。

不論  $I_{in}$  為任何值，運算放大器輸入端（或輸入信號與回授信號的交點）的電壓為零，故此交點為虛接地點（virtual ground），亦即此點永遠與正相輸入端 (+) 同電位，因輸入信號與輸出信號相加於此交點，所以有時也稱為相加點（summing point），本特性又可推論出基本運算放大器的第三種法則，它常應用於閉合環路的工作裡。

#### 4 實用積體運算放大器

3. 當環路閉合時，反向輸入端(-)將被驅到至與正相輸入端(+)，或參考輸入端同電位。

就前所論，運算放大器的差動輸入電壓為零，所以兩輸入端同電位的特性，極為明顯，但這種觀念有助於了解，為何將正相輸入端設為參考點，以決定兩輸入端的位階，故正相輸入端可為接地（如圖所示），或任何電位。

**正相放大器** 圖 1-3 的正相放大器為理想運算放大器的第二種基本接法，本電路將印證第三法則的效用，電路中電壓  $E_{in}$  輸至正相輸入端(+)，且有部份輸出信號  $E_o$ ，從  $R_f - R_{in}$  所形成的分壓器，輸至反相輸入端(-)，因無輸入電流流至兩輸入端，且  $E_s = 0$ ，故  $E_{in}'$  等於  $E_{in}$ ，但

$$I_{in} = \frac{E_{in}}{R_{in}}$$

故

$$I_{in} = \frac{E_{in}'}{R_{in}}$$

又因

$$I_f = I_{in}$$

所以

$$E_o = I_f (R_{in} + R_f)$$

及

$$E_o = I_{in} (R_{in} + R_f)$$

代換後

$$E_o = \frac{E_{in}}{R_{in}} (R_{in} + R_f)$$

以增益表示之

$$\frac{E_o}{E_{in}} = \frac{R_{in} + R_f}{R_{in}}$$

上式即為求理想正相放大器增益的方程式。

從本電路尚可推論出其他特性，當  $R_f = 0$  時，增益為 1，此即為本放大器增益的下限，在反相放大器裡，不論  $R_f$  值為若干，電流  $I_f$  由電流  $I_{in}$  決定之，（在正相放大器裡亦同），故  $R_f$  可作為線性增益控制，使增益從最小值 1，改變至無限大，又因假設為理想的放大器，故其輸入阻抗為無限大。

#### 反相及正相電路的合併應用

**差動放大器 (Differential Amplifier)** 運算放大器的第三種接法稱為差動放大器，此為上兩種接法的合併應用，且有其獨特的特性，其電路如圖 1-4，信號輸至兩輸入端，並以運算放大器的自然差異放大之。

欲了解本電路的工作，先分別考慮各輸入信號，然後再一起考慮，同前， $E_s = 0$ ， $I_s = 0$ ， $I_R = 0$ ，且  $R_f' = R_f$ ， $R_{in}' = R_{in}$ 。

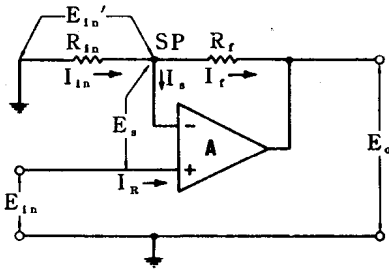
輸入信號  $E_{in_1}$  所產生的輸出電壓設為  $E_{o_1}$ ，使用正相電路求增益的方程式，加上分壓器  $R_{in} - R_f$  的影響，解  $E_{o_1}$  為

正相放大器摘要：

(1) 增益  $= \frac{R_{in} + R_f}{R_{in}}$ ，增益的下限為  $R_{in} = \infty$ ，或  $R_f = 0$

(2) 輸入阻抗  $= \infty$

(3) 不論  $R_f$  為若干， $I_f = I_{in}$



$$E_s = 0$$

$$I_s = 0$$

$$I_R = 0$$

$$I_{in} = \frac{E_{in}}{R_{in}}$$

$$E_{in} = E_{in}$$

$$\text{故, } I_{in} = \frac{E_{in}}{R_{in}}$$

$$I_f = I_{in}$$

$$E_o = I_f (R_{in} + R_f)$$

$$E_o = I_{in} (R_{in} + R_f)$$

$$\text{且 } E_o = \frac{E_{in}}{R_{in}} (R_{in} + R_f)$$

$$\text{增益} = \frac{E_o}{E_{in}} = \frac{R_{in} + R_f}{R_{in}}$$

圖 1-3 正相運算放大器

$$E_{o1} = E_{in1} \left( \frac{R_f}{R_{in} + R_f} \right) \left( \frac{R_{in}' + R_f'}{R_{in}'} \right)$$

消去相等的各項，並代換之，得

$$E_{o1} = E_{in1} \left( \frac{R_f}{R_{in}} \right)$$

此即為  $E_{in1}$  所產生的輸出電壓。

輸入信號  $E_{in2}$  所產生的輸出電壓設為  $E_{o2}$ ，使用反相電路求增益的方程式，解  $E_{o2}$  為

$$\begin{aligned} E_{o2} &= -E_{in2} \left( \frac{R_f'}{R_{in}'} \right) \\ &= -E_{in2} \left( \frac{R_f}{R_{in}} \right) \end{aligned}$$

總輸出  $E_o$  等於  $E_{o1}$  與  $E_{o2}$  的總和，故

$$E_o = E_{in1} \left( \frac{R_f}{R_{in}} \right) + [ -E_{in2} \left( \frac{R_f}{R_{in}} \right) ]$$

重排之

差動放大器特性摘要：

(1) 差模增益 ( $E_{in1} \neq E_{in2}$ )

$$\frac{E_o}{E_{in1} - E_{in2}} = \frac{R_f}{R_{in}}$$

(2) 共模增益

當

$$\frac{R_f}{R_{in}} = \frac{R_f'}{R_{in}'} = 0$$

當

$$\frac{R_f}{R_{in}} \neq \frac{R_f'}{R_{in}'} = \frac{R_f R_{in}' - R_f' R_{in}}{R_{in}' R_{in} + R_{in} R_f'}$$

對阻抗匹配 (最劣情況)

$$= 4\delta \left( \frac{R_f}{R_{in} + R_f} \right)$$

其中

$\delta$  = 不平衡電阻的百分比 ( $1.0\% = 0.01$ ),

且

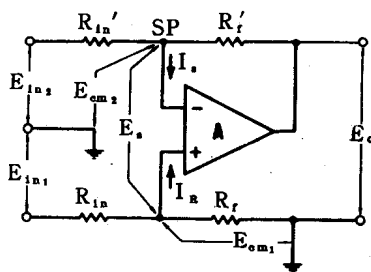
$R_{in}$  及  $R_f$  為假設值。

(3) 輸入阻抗

(-) 輸入 =  $R_{in}$

(+) 輸出 =  $R_{in} + R_f$

差動 =  $R_{in} + R_{in}'$



$$E_o = 0, I_s = 0, I_n = 0$$

$$R_f = R_f', R_{in} = R_{in}'$$

令  $E_{in1}$  所產生的輸出為  $E_{o1}$ ,

$$\text{則 } E_{o1} = E_{in1} \left( \frac{R_f}{R_{in} + R_f} \right) \left( \frac{R_{in}' + R_f'}{R_{in}'} \right)$$

$$= E_{in1} \left( \frac{R_f}{R_{in}} \right)$$

令  $E_{in2}$  所產生的輸出為  $E_{o2}$

$$\text{則 } E_{o2} = -E_{in2} \left( \frac{R_f'}{R_{in}'} \right) = -E_{in2} \left( \frac{R_f}{R_{in}} \right)$$

總輸出 =  $E_o = E_{o1} + E_{o2}$

$$E_o = E_{in1} \left( \frac{R_f}{R_{in}} \right) + [-E_{in2} \left( \frac{R_f}{R_{in}} \right)]$$

$$= (E_{in1} - E_{in2}) \left( \frac{R_f}{R_{in}} \right)$$

$$\text{增益} = \frac{E_o}{E_{in1} - E_{in2}} = \frac{R_f}{R_{in}}$$

圖 1-4 差動運算放大器

$$E_o = (E_{in1} - E_{in2}) \left( \frac{R_f}{R_{in}} \right)$$

以增益表示

$$\frac{E_o}{E_{in1} - E_{in2}} = \frac{R_f}{R_{in}}$$



上式即為求本級差模 ( differential-mode ) 信號增益的方程式。

若將同一信號輸至兩輸入端，此信號稱為共模 ( Common-mode ) 信號，因差動輸入電壓為零，故本放大器對這種信號發生消除作用，茲詳述如下：

當  $E_{in_1}$  與  $E_{in_2}$  的信號相同時， $E_{in_1}$  經  $R_{in}$  及  $R_f$  分壓後，跨接  $R_f$  產生一微小電壓  $E_{cm_1}$ ，因放大器的增益為無限大，且差動輸入電壓為零，故在相加點 SP 所產生的電壓  $E_{cm_2}$  與  $E_{cm_1}$  相等，既然  $R_{in}' - R_f'$  的網路與  $R_{in} - R_f$  相同，而且兩輸入端的電壓相同，所以  $E_o$  必須為零，以使  $E_{cm_2}$  等於  $E_{cm_1}$ ， $E_o$  的電位與  $R_f$  底端的電位相同，即為地電位，差動放大器的這種特性，能消除共模雜音，而僅放大差模信號，若  $R_f'/R_{in}'$  等於  $R_f/R_{in}$ ，且輸至兩輸入端的信號相等，則無增益，故本放大器對共模信號的增益為零。

此放大器的兩輸入阻抗並不相等，對正輸入端 (+) 而言，其輸入阻抗為  $R_{in} + R_f$ ，而反相輸入端 (-) 的輸入阻抗為  $R_{in}'$ ，差動輸入阻抗 (對浮動信號源而言) 為兩輸入端之間的阻抗，或為  $R_{in} + R_{in}'$ 。

和反相器 ( Summing Inverter ) 利用反相放大器中相加點之虛接地的特性，便可作成如圖 1-5 之和反相器，如同反相放大器，本電路之  $E_s = 0$ ， $I_f = I_{in}$ ，但和反向器之  $I_{in}$  為  $I_{in_1}$ ， $I_{in_2}$ ， $I_{in_3}$  等各輸入電流的總和，故

$$I_{in_1} = \frac{E_{in_1}}{R_{in_1}}, \quad I_{in_2} = \frac{E_{in_2}}{R_{in_2}}, \quad I_{in_3} = \frac{E_{in_3}}{R_{in_3}}$$

$$\text{且} \quad I_{in} = I_{in_1} + I_{in_2} + I_{in_3}, \quad I_f = \frac{-E_o}{R_f};$$

$$\text{所以} \quad \frac{-E_o}{R_f} = I_{in_1} + I_{in_2} + I_{in_3}$$

代換並重排之，得

$$E_o = - \left[ E_{in_1} \left( \frac{R_f}{R_{in_1}} \right) + E_{in_2} \left( \frac{R_f}{R_{in_2}} \right) + E_{in_3} \left( \frac{R_f}{R_{in_3}} \right) \right]$$

由上式知，輸出電壓為各輸入電壓的反相代數和，且與  $R_f$  成比例，故此電路可稱為定比加法器 ( scaling adder )。

本電路之總增益由  $R_f$  設定，其作用與基本的反相放大器相同，各通道的增益由  $R_{in_1}$ ， $R_{in_2}$ ， $R_{in_3}$  等與  $R_f$  的比例決定之，且各通道的輸入阻抗為  $R_{in_1}$ ， $R_{in_2}$ ， $R_{in_3}$ 。

因所有的信號皆輸至一虛接地點，故各線性信號在相加點混合，且各輸入端之間不發生干擾現象，如在電路的相加點加上更多的輸入電阻，諸如  $R_{in_4}$ ， $R_{in_5}$  等，便可適合任何數量的輸入。