

科學圖書大庫

# 電子儀器設計與製作

譯者 周興國

徐氏基金會出版

# 譯 序

電子儀器應用 ( Electronic instrumentation ) 是電子科學中應用極廣的一環，它跨越類比 ( Analog ) 與數位 ( Digital ) 二大範圍、使用電子學中每一部份——無論是放大、濾波、整流或是振盪、鎖相、調制、解調等——可謂之取用電子學的精華。研習儀器應用無異於在對電子學作重點式的學習。

本書以運算放大器 ( Operation amplifier ) 為基本結構，說明各種儀表線路的功能、原理以及調整步驟，對各種線路所發生的問題，解釋其原因、並提出解決的方法。書中包含有儀表學內重要的換能器 ( Transducer )、波形產生器、資料轉換器、光電子學等課題，由運算放大器、I C、電晶體到微處理機 ( Microprocessor )、作者都有精闢的敘述。雖然本書涵蓋的範圍很廣，但卻以簡化的方程式、實際的範例、簡明的註釋，使得原本深奧的線路、變得容易學習與應用。作者所秉持的態度是：任何一位稍有電子知識的人，皆可設計與製作能用的，甚至複雜的電子的儀器。本書是針對業餘者 ( Hobbyist )、學生、電子工程師、設計工程師、儀錶工程師等而寫的，它可用為有系統的教科書、或手邊的參考書，相信對讀者諸君皆會有所助益。

此外，譯者在翻譯之時，發現作者在各方面資料、知識、見聞之廣，令人佩服不已。只有多讀書、多收集資料、多作實驗，才能在日益更新的電子工業界中迎頭趕上，不致落伍。美國、日本不斷有新元件、新器材、新技術出現，身為電子工業界的一員，就得時時充實自己，互相砥礪，希望在目前推動工業升級時，大家共盡一分薄力！也希望由這本書帶給諸君更紮實的儀器應用觀念，進而在工作崗位上有所獲益。

譯者 周興國

# 原 序

通常吾人將設計電子儀器視為大製造廠商研究發展部門 ( R & D ) 的電子工程師專司之職責。但有些人並不同意，因有許多電子設計工作不一定得由具電子工程師資格者才能處理。

本書對科學與計測儀器之領域加以研討，以具有基本電學與電子學知識基礎，了解電晶體與積體電路知識的讀者為對象，因此不需要從  $E = I R$  開始。對已經接受各種電子學的課程而未曾了解電晶體者，第四章提供適切的補充說明。

教導的方式應以實例敘述為最佳——用簡化的方程式或短的散文足以代替複雜的數學來使用。本書已簡化從多數教科書中可找著的知性連枷 ( Intellectual flailing )，却保持其精髓。

為配合本書實用的本質，書內包含幾章介紹如何在實際場合中進行這些奇妙行為。大多數書籍以線路設計之類為題，似乎忽略了整個工作不單是設計，而且包含了設計與製作 ( Design and build )。

此書的基本前提為任何一位稍有電子知識的人幾乎皆可設計與製作能用的，甚至更複雜的電子儀器。我所針對的“典型”讀者是癖好者、狂熱業餘者，其他非電子範疇的專家、初高級電機工程、電子工程科系的學生。

事實上，對學生而言，此書是專用的——學生可用此書有助其完成高級設計，而無論此書是由教授的認可或私下參考之用。祝讀者諸君前途似錦。

Joseph J. Carr

# 目 錄

|                     |    |                        |    |
|---------------------|----|------------------------|----|
| 譯 序 .....           | I  | 5. 特殊功能模組 .....        | 64 |
| 原 序 .....           | II | 第四章 電晶體 .....          | 65 |
| 第一章 運算放大器 .....     | 1  | 1. 基本半導體理論 .....       | 65 |
| 1. 實際特性 .....       | 1  | 2. P-N 接面 .....        | 67 |
| 2. 簡單反相隨耦器 .....    | 5  | 3. 基本電晶體 .....         | 68 |
| 3. 單一電源供給器作業 .....  | 9  | 4. 電晶體放大器 .....        | 69 |
| 第二章 數位電子學 .....     | 12 | 5. 電晶體中的電壓放大 .....     | 72 |
| 1. 數位的意義 .....      | 13 | 6. 偏壓方式 .....          | 73 |
| 2. 二進位算術 .....      | 15 | 7. 放大器結構 .....         | 76 |
| 3. 邏輯閘 .....        | 18 | 8. A C 放大器 .....       | 77 |
| 4. CMOS 閘等 .....    | 25 | 9. 頻率響應 .....          | 79 |
| 5. CMOS 與 TTL ..... | 27 | 10. 電晶體開關 .....        | 79 |
| 6. CMOS 與靜電損害 ..... | 28 | 11. 矽控整流器 .....        | 83 |
| 7. CMOS 的經驗規則 ..... | 31 | 第五章 單端 DC 放大器 .....    | 86 |
| 8. 正反器 .....        | 32 | 1. 反相隨耦器線路 .....       | 86 |
| 第三章 特殊 IC 裝置 .....  | 37 | 2. 多輸入線路 .....         | 89 |
| 1. 計時器與計數器 .....    | 37 | 3. 非反相隨耦器 .....        | 90 |
| 2. 長期間計時器 .....     | 49 | 4. 頻率響應 .....          | 93 |
| 3. 類比 IC 乘法器 .....  | 52 | 5. 超級增益 DC 放大器 .....   | 95 |
| 4. 比較器 .....        | 59 | 第六章 AC 放大器 .....       | 97 |
|                     |    | 1. 使用 A C 放大器的原因 ..... | 97 |
|                     |    | 2. A C 放大器線路 .....     | 98 |

|           |     |
|-----------|-----|
| 3. 調整頻率響應 | 100 |
|-----------|-----|

## 第七章 DC 差動放大器 102

|              |     |
|--------------|-----|
| 1. 共同模態拒斥    | 102 |
| 2. 單一運算放大器線路 | 103 |
| 3. 其他DC差動放大器 | 107 |

## 第八章 鎖相環路裝置 112

|             |     |
|-------------|-----|
| 1. PLL理論    | 112 |
| 2. PLL-FM解調 | 114 |

## 第九章 各式有用的類比線路 117

|              |     |
|--------------|-----|
| 1. 積分        | 117 |
| 2. 被動積分器     | 117 |
| 3. 活性積分器     | 118 |
| 4. 機電積分      | 121 |
| 5. 微分器       | 122 |
| 6. 尖峯隨耦器     | 123 |
| 7. 取樣與保持線路   | 125 |
| 8. 絕對值放大器    | 129 |
| 9. 用類比乘法器的技巧 | 129 |

## 第十章 換能器 138

|           |     |
|-----------|-----|
| 1. 惠斯登電橋  | 138 |
| 2. 溫度換能器  | 139 |
| 3. 熱電偶    | 141 |
| 4. 電晶體感溫器 | 142 |
| 5. 刻度     | 146 |
| 6. IC感溫器  | 147 |
| 7. 位置換能器  | 147 |
| 8. 導出的資料  | 149 |
| 9. 應變計換能器 | 150 |

|            |     |
|------------|-----|
| 10. 電容性換能器 | 154 |
|------------|-----|

|            |     |
|------------|-----|
| 11. 電感性換能器 | 155 |
|------------|-----|

## 第十一章 電橋與載波放大器

|       |     |
|-------|-----|
| ..... | 157 |
|-------|-----|

|              |     |
|--------------|-----|
| 1. DC激勵方式    | 157 |
| 2. 載波(AC)放大器 | 163 |
| 3. AC激勵技術    | 164 |

## 第十二章 各式數位線路 170

|           |     |
|-----------|-----|
| 1. 十進位計數器 | 170 |
| 2. 位移暫存器  | 182 |
| 3. 靜態記憶IC | 183 |

## 第十三章 IC波形產生器 186

|                |     |
|----------------|-----|
| 1. 單穩(單擊)多諧振盪器 | 186 |
| 2. 非穩多諧振盪器     | 189 |
| 3. 電壓控制振盪器     | 190 |
| 4. IC功能產生器裝置   | 193 |

## 第十四章 資料轉換器 196

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 1. 着手的方式          | 196 |
| 2. 數位至類比的轉換器(DAC) | 197 |
| 3. 類比至數位(A/D)的轉換器 | 200 |
| 4. 電壓至頻率轉換器       | 205 |
| 5. 計數器型轉換器        | 205 |
| 6. 連續性近似A/D方式     | 206 |
| 7. DAC應用          | 211 |
| 8. 壓縮、擴充技術        | 214 |

|                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| <b>第十五章 光電子學</b> .....215    | <b>第二十章 構造實務</b> .....271    |
| 1. 光電效應.....215              | 1. 焊接.....271                |
| 2. 光電作用與發光二極體<br>LED.....216 | 2. 工具之選擇.....272             |
| 3. 光電裝置與線路.....217           | 3. 計劃的文件.....277             |
| 4. 光電晶體與LED線路.....222        | 4. 標準底架.....277              |
| <b>第十六章 儀器應用技術</b> .....225  | <b>第二十一章 設計方法</b> .....283   |
| 1. 儀器應用的型式.....225           | 1. 設計：一種哲學.....283           |
| 2. 信號的獲得.....226             | <b>第二十二章 構造設計</b> .....287   |
| <b>第十七章 主動濾波器</b> .....233   | 1. 最初步.....287               |
| 1. 簡單濾波器.....233             | 2. 中增益單端前置放大器.....287        |
| 2. 數學基礎.....234              | 3. 對衰減器.....289              |
| 3. 較佳之主動濾波器設計.....235        | 4. 通用運算放大器.....294           |
| <b>第十八章 線路問題</b> .....242    | 5. 零電壓計.....298              |
| 1. DC補償問題.....242            | 6. 高增益放大器.....299            |
| 2. 振盪.....248                | 7. 多目的微分器.....303            |
| 3. 溫度漂移.....249              | 8. 寬帶增益方塊.....307            |
| <b>第十九章 電源供給</b> .....251    | 9. 換能器前置放大器.....307          |
| 1. 電源供給之要素.....251           | 10. 通用前置放大器.....311          |
| 2. 整流器型式.....252             | 11. 通用輸出級.....315            |
| 3. 整流器線路.....253             | 12. 積分器.....317              |
| 4. 濾波.....255                | 13. 通用電源供給1.....322          |
| 5. 一些數字.....256              | 14. 通用電源供給2.....323          |
| 6. 電壓調整.....257              | 15. 高電流+5伏DC電源供<br>給.....323 |
| 7. 電流調整.....261              | <b>第二十三章 微處理機</b> .....328   |
| 8. 精確電壓參考.....265            | 1. 背景.....328                |
| 9. 各種顯示.....267              | 2. 介紹微處理機.....328            |
|                              | 3. 微處理機通用性.....329           |
|                              | <b>參考書目</b> .....332         |
|                              | <b>英漢名詞對照</b> .....334       |

# 第一章 運算放大器

運算放大器 ( Operational Amplifier ) 爲具有下列特性的積體電路增益方塊：

- 無限大的開路增益 ( Open - loop gain )
- 零輸出阻抗
- 無限大的輸入阻抗
- 無限長的頻帶寬度 ( Bandwidth )

當然，我們無法嚴格期望實際的運算放大器裝置能迎合這些規格，但在市面上實際可用的近似品已經夠好了，使運算放大器成爲在設計者智囊中最易應用以及最有趣的線性 ( Linear ) IC。本書將依次對這些特性的意義加以解釋。

## 1. 實際特性

運算放大器之開路電壓增益 (  $A_v$  ) ——就是沒有回授的增益——比常見的任何閉路結構增益爲大。運算放大器的典型輸出電壓轉移函數 ( Transfer function ) 爲：

$$E_{out} = \pm A_v E_{in} \quad (1-1)$$

其中：

- $E_{out}$  爲輸出電壓
- $A_v$  爲閉路電壓增益
- $E_{in}$  爲輸入電壓

±符號意指輸出電壓可爲任一極性，這需要能提供雙極性電壓的運算放大器電源供給器。

圖 1-1 爲典型運算放大器電源供給器線路。使用二組電池；一組產生對共同點爲正的電壓、另一組對共同點爲負。多數常用運算放大器作業的電壓位準最小極限約爲 1.5 至 3.5 伏特，最高極限爲 15 至 40 伏特。最常用的規格爲 ± 18 伏特。

## 2 電子儀器設計與製作

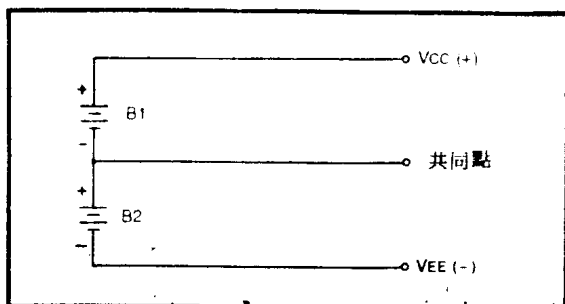


圖 1-1 運算放大器電源供給器結構

例中電池組在最實際電子線路中，是從 A C 電源線引出電子直流（D C）電源供給。當然這些須為調整好的、良好濾波的 D C 電源，否則將產生問題。在需要穩壓情形下，必須用某種程度調整器（Regulator）線路，在以後幾章將提供一些實例。

圖 1-2 中為典型的運算放大器線路符號。於實際應用中可發現  $V_{CC}$ （正 D C 電源供給）與  $V_{EE}$ （負 D C 電源供給）端在線路圖上不畫出。以免圖面擁擠，以利閱讀。然而，無論圖上是否有電源供給，都不可忘了必須加上電源。

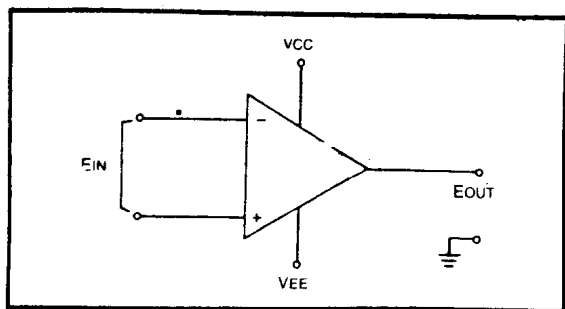


圖 1-2 運算放大器線路符號

大部份運算放大器具有單端輸出端，但輸入對地是差動的（Differential）。就是表示二個輸入端對輸出電壓有相等却反相的效果。若相同接地的參考電壓加於輸入端，其相對效應將對銷，產生零輸出電位。這種狀況見圖 1-3。

輸入之一標為（-），稱為反相輸入。它將產生與輸入電壓極性相反的



輸出電壓，即與輸入有  $180^\circ$  相位差。

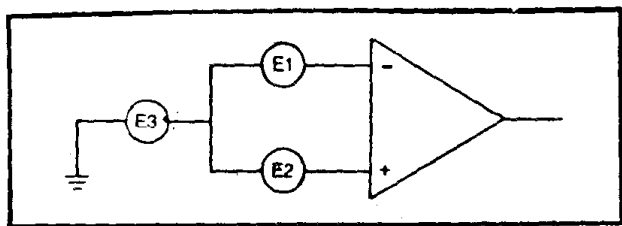


圖 1-3  $E_2 + E_1$  電壓視為差動電壓，而  $E_3$  為共同模態

另一輸入標為 (+)，稱為非反相輸入。同理可推出 (+) 輸入產生與輸入電壓同相、同極性的輸出電壓。

二輸入端相反的特性使共同模態 (Common mode) 電壓 (亦即圖 1-3 中的  $E_3$ ) 在輸出電壓上產生淨效應為零。欲觀察這種狀況，可視二輸出係代數相加，其和為零。再後面將作更實際的解釋。

差動放大器 (Differential amplifier)，在輸入狀況 ( $E_1$ — $E_2$ ) 之量非零時，產生輸出信號。可把等式 1-1 重寫成：

$$E_{out} = -A_v E_1 \quad (1.2)$$

$$E_{out} = +A_v E_2 \quad (1.3)$$

$$E_{out} = A_v (E_2 - E_1) \quad (1.4)$$

等式 1.4 更簡潔定義出運算放大器的轉移特性。本書其他部份中將依照慣例，把  $(E_2 - E_1)$  量稱作  $E_{in}$ ，因此等式 1.4 可寫成：

$$\text{若 } E_{in} = (E_2 - E_1) \quad (1.5)$$

$$\text{則 } E_{out} = A_v E_{in} \quad (1.6)$$

$E_{in}$  常代表差動輸入電壓——亦即跨在運算放大器 (+) 與 (-) 輸入端的電壓。

大多數運算放大器為積體電路，最好將它看成具有前面定義特性的簡單增益方塊。順便說到，這些特性使吾人僅需處理回授環路 (Feedback loop)，即可對運算放大器裝置組成的一級完滿敘述出全部特性。

雖然不必太擔心 IC 運算放大器內部情形，但最基本的認識有助於讀者成為更精明的設計者。因此很快瀏覽一下典型低價格運算放大器 IC 內部工作情形。

圖 1-4 為 IC 運算放大器實際的線路圖。電晶體  $Q_1$  及  $Q_2$  形成差動對。  $Q_1$  的基極是非反相 (+) 輸入，而  $Q_2$  的基極形成反相 (-) 輸入。這兩個電晶體的射極接在一起，再連至一個定電流電源 (CCS)。為了簡化

圖形，用符號來顯示 CCS，事實上它是二個或更多電晶體，以適當偏壓方式，使其中一個電晶體的集極電流在廣泛負載阻抗範圍中保持為常數。差動對的輸出是由 Q 2 的集極取出一——A 點。因此這三個電流間的關係為：

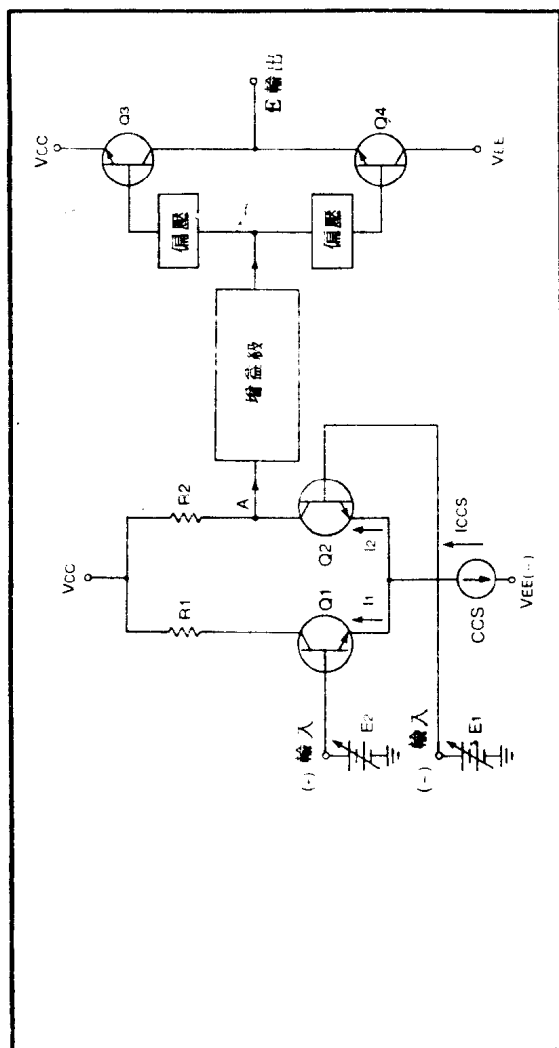


圖 1-4 典型運算放大器的內部線路圖

$$I_{cc} = I_1 + I_2 \quad (1.7)$$

當輸入電壓  $E_1$  與  $E_2$  相等時，電流  $I_{cc}$  等分為二，使  $I_1 = I_2$ 。這種情形下，A 點的電壓呈現靜止值，約等於  $V_{cc}$  的一半。設  $E_2$  大於  $E_1$ ，即等於在非反相輸入上施加正電位。這使  $Q_1$  的偏壓重過  $Q_2$  者，因此  $I_1$  將大於  $I_2$ 。 $I_{cc}$  為常數， $I_1$  的增加必須使  $I_2$  減少，以滿足 1.7 式。 $I_2$  電流減低意即  $Q_2$  中集—射電流較少，因此跨於  $Q_2$  集極電阻 ( $R_2$ ) 上的電壓降也低。出現在 A 點的電壓為電源電壓減去跨於  $R_2$  的壓降，因此當跨於  $R_2$  的壓降減低時，其電壓升高，在非反相輸入上施加正電壓，將於 A 點上產生正向 (Positive-going) 電壓。同樣的，在非反相輸入上施加負向電壓，則在 A 點上可得負向電壓。在反相輸入上加以電位也會產生相似的效應，只是與非反相輸入者相反。

## 2. 簡單反相隨耦器

圖 1-5 為簡單反相隨耦器 (Inverting follower)，是一種很普遍——或許是最普遍——之運算放大器線路。此線路中把非反相輸入接地以簡化之。

運算放大器另一種特性只於裝置擁有 ( + ) 與 ( - ) 的輸入時適用：全差動放大器各別的輸出將依附在一起 (Stick together)。亦即由一個輸入上加電位，使另一個輸入似乎也已經施加相同的電位。

就簡單反相隨耦器而言，( + ) 輸入接地。因有這種特性，可視反相輸入似乎也接地。因這個輸入實際上為高阻抗輸入，吾人稱此狀況為虛接地 (Virtual ground)。

全運算放大器之輸入將既不能沈陷 (Sink)，亦不能供給 (Source) 電流，在寫等式時，把此輸入接面視為接地的。用這些特性寫出實際的轉換式有兩種方法。目前將考慮稱作克希荷夫定律 (Kirchhoff's law) 之方式。為了討論，只考慮前述之特性，加上可把輸出端視為電壓電源的事實。

當加上輸入電流 ( $E_{in}$ ) 時，電流 ( $I_{in}$ ) 將流進輸入電阻 ( $R_{in}$ )。此電流等於：

$$I_{in} = \frac{E_{in}}{R_{in}} \quad (1.8)$$

不錯，這只是歐姆定律。雖然可將輸入接面在數學上視為接地的，但實際上它是一個高阻抗，故輸入將不會接受或產生電流。為了滿足克希荷夫電流定律，必須產生一個電流  $I_r$ ，以抵銷  $I_{in}$ 。

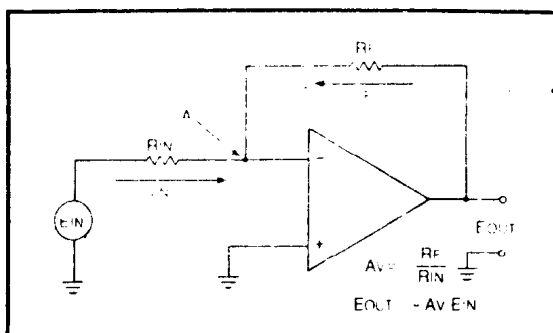


圖 1-5 反相隨耦線路

由克希荷夫電流定律：

$$I_{i_n} + I_f = 0 \quad (1.9a)$$

$$I_{i_n} = -I_f \quad (1.9b)$$

運算放大器輸出端供應電壓和回授電阻，產生此電流：

$$I_f = \frac{E_{out}}{R_f} \quad (1.10)$$

因 1.9 b 等式存在，可將 1.8 式與 1.10 式代入 1.9 式中，而得出：

$$\frac{E_{i_n}}{R_{i_n}} = \frac{-E_{out}}{R_f} \quad (1.11)$$

轉換式表示輸出電壓為輸入電壓的函數，而且線路進行反相作業。對運算放大器放大作用而言，由解 1.11 式中的  $E_{out}$ ，可得轉換式

$$E_{out} = -\frac{R_f}{R_{i_n}} E_{i_n} \quad (1.12)$$

1.12 式中的  $(R_f / R_{i_n})$  項，給予吾人反相隨耦器電壓增益，等於 1.6 式中的  $A_v$  項。特別得記住的是反相隨耦器的電壓增益為：

$$A_v = \frac{-R_f}{R_{i_n}} \quad (1.13)$$

藉基本回授理論之利也可探討運算放大器。在回授放大器中基本的增益等式為：

$$A_v = \frac{A_{v_{ol}} C}{1 + A_{v_{ol}} B} \quad (1.14)$$

其中： $A_v$  為閉路電壓增益

$A_{vol}$  為開路電壓增益（由運算放大器製造者詳加記載）

$B$  為回授路徑之衰減（Attenuation）

$C$  為輸入線路之衰減

開路電壓增益由廠商設定，為選擇特殊運算放大器之用。某些具有開路增益 20,000 的裝置，價格很低廉；但大多數均屬於數萬的範圍之內。有些特級運算放大器，其開路增益超過 1,000,000，而一般 741——族系裝置持有 50,000 左右。

二個衰減項是因回授電阻  $R_f$  與輸入電阻  $R_{in}$  之故。參閱圖 1-6。此線路中 A 點與圖 1-5 中 A 點相同。把運算放大器視為電壓電源，稱其為圖 1-6 (a) 中的  $E_{out}$ 。A 點至地的  $E_{out}$  電壓成份，可用標準分壓器等式：

$$E_A = (E_{out}) \frac{R_{in}}{R_{in} + R_f} \quad (1.15)$$

$R_{in} / (R_{in} + R_f)$  因數稱為衰減因數，其值為 1.14 式中的  $B$ 。相同以輸入電壓之觀點來看，跨於 A 點至地間的電壓只是由輸入電壓引起跨在  $R_f$  上的電壓降。再者，藉分壓器得等式：

$$E_A = (E_{in}) \frac{R_f}{R_{in} + R_f} \quad (1.16)$$

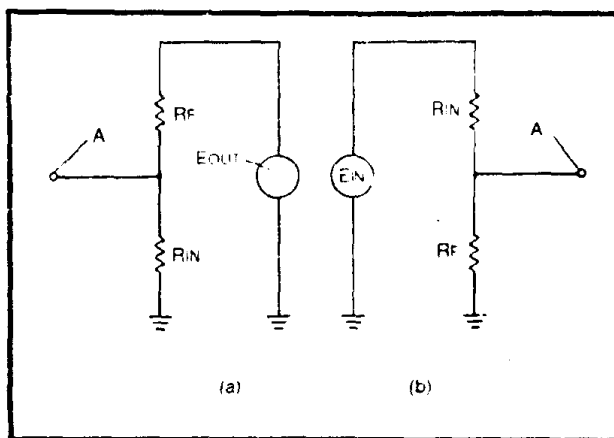


圖 1-6 圖 1-5 中 A 點電位的等效電路

$R_f / (R_{in} + R_f)$  因數為輸入之衰減因數，完全詳述出 1.14 式中的  $C$ 。把 1.15 式與 1.16 式插入 1.14 式，得出反相隨耦器的回授表示式，為：

$$A = \frac{A_{vol} \left\{ \frac{R_f}{R_{in} + R_f} \right\}}{1 + A_{vol} \left\{ \frac{R_{in}}{R_{in} + R_f} \right\}} \quad (1.17)$$

吾人已測定成極高數值的  $A_{vol}$ ，即使低廉的運算放大器亦不例外。因此，可寫出等式：

$$\frac{A_{vol}}{1 + A_{vol}} \approx \frac{A_{vol}}{A_{vol}} \approx 1 \quad (1.18)$$

雖然這樣可能在代數上好像不對，但它對所有正當的 B 與 C 項都適合。即使 741 級中較低端，最壞的運算放大器的  $A_{vol}$  也有 20,000。因此 1.18 式成為 20,000/20,001，或是 0.99995，對所有實際目的而言，它已極近似 1。此使 1.17 式變得更簡單：

$$A_v = \frac{\frac{R_f}{R_{in} + R_f}}{\frac{R_{in}}{R_{in} + R_f}} \quad (1.19)$$

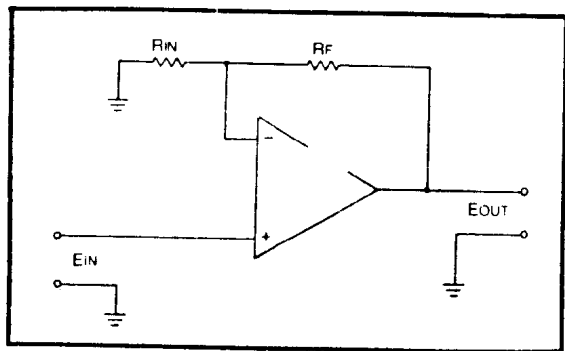


圖 1-7 非反相隨耦器

1.19 式簡化成分數除法問題而已，因此可將分母顛倒然後相乘：

$$A_v = \left\{ \frac{R_{in} + R_f}{R_{in}} \right\} \cdot \left\{ \frac{R_f}{R_{in} + R_f} \right\} \quad (1.20)$$

( $R_{in} + R_f$ ) 項可約分，因此重寫 1.20 式得：

$$A_v = \frac{R_f}{R_{in}} \quad (1.21)$$

然後可看出反相隨耦器的閉路電壓增益之值由回授電阻與輸入電阻的比值而定，與用來進行分析的技術無關。

同理可求出反相輸入者，圖 1-7 顯示一個例子。此例中輸入電壓直接加至非反相輸入，因此不發生輸入電壓衰減。這樣消除 1.14 式中回授等式的 C 項。然後非反相隨耦器可寫成：

$$A_v = \frac{A_{v,oi}}{1 + A_{v,oi} B} \quad (1.22)$$

把 B 項插進，成為：

$$A_v = \frac{A_{v,oi}}{1 + A_{v,oi} \left( \frac{R_{in}}{R_f + R_{in}} \right)} \quad (1.23)$$

此情形中， $A_{v,oi} / (1 + A_{v,oi})$  項近似 1，因此 1.23 式成為：

$$A_v = \frac{1}{\left( \frac{R_{in}}{R_{in} + R_f} \right)} \quad (1.24)$$

再者，將分母顛倒，解出分數除法問題：

$$A_v = \left( \frac{R_{in} + R_f}{R_{in}} \right) \quad (1) \quad (1.25)$$

$$A_v = \left( 1 + \frac{R_f}{R_{in}} \right) \quad (1.26)$$

1.26 式為非反相隨耦器的電壓增益因數。由 1.6 式中得出：

$$E_{out} = A_v E_{in} \quad (1.27a)$$

因此：

$$E_{out} = \left( 1 + \frac{R_f}{R_{in}} \right) (E_{in}) \quad (1.27b)$$

### 3. 單一電源供給器作業

就運算放大器而言，有許多應用需要用單極性的電源供給器（通常是對地為正的）來提供作業。可發生於限定規格的電源供給器中，如汽車或手提設備，或設計中有一、二個不甚重要的運算放大器。若使用第二個電源供給器就太昂貴了。單一電源供給器也可作用於其中，因別人不過以一個無須熔

絲保險絲的供電器之角度來想——這是常有的事。

不論這是否是最佳步驟，讓我們來考慮它的作業情形。

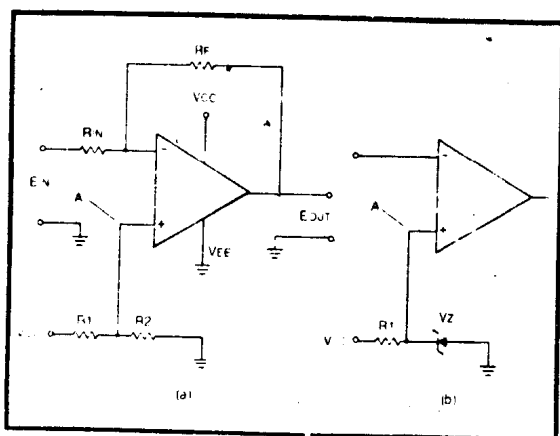


圖 1-8 運算放大器的單一供給作業

最簡易也是大多數設計者所使用的示於圖 1-8 a 上。基本上此線路為反相隨耦器，但  $V_{cc}$  電源供給端不接負電源供給而接地——相當節省。在原先的反相隨耦器線路中，這樣接會發生不平衡，使運算放大器輸出達到飽和而反對電源供給器軌限 (Rail limit)。雖然如此，但用電阻分壓器可使非反相輸入昇達某個正電位，而變更運算放大器之操作點。本人因此很反對用單一供給器；它也提昇靜止的輸出達到相同的位準。輸出信號將不在零附近改變，而脫離範圍達到某個正電位。

圖 1-8 (b) 為執行相同方式的替代方法。此線路中摺納 (Zener) 二極體在非反相輸入上設定電位。

運算放大器非反相輸入上必須加以相當小的電壓，每一種等級者均不同。可由製造廠提供的該裝置資料文件或其內部圖來決定。此最小值由輸入端與  $V_{cc}$  電源供給端間的 PN 接面數而定。這些接面必須施加偏壓，因而產生壓降，否則此裝置根本不會作業。一般而言，此情報可由資料文件規格計算出來。它為  $V_{cc}$  最大容許值與最大容許的負輸入電壓之差。換句話說，此電壓等於：

$$V_A = (V_{cc}) - (E_{m(max)}) \quad (1.28)$$

若規格文件上沒有這個情報，則須審視裝置內部，計算出現的 PN 接面



數。一定得計算基—射與基—集接面。把PN接面總數乘0.9伏特。大多數運算放大器中，此合成電壓約在2.7伏特與3.5伏特之間。因此可發現有些幾微功率（micropower）形式者，具有電壓值低到1.5伏特。

把A點定於 $V_{ee}$ 的三分之一以上已成為一般慣例，也常高達 $V_{ee}$ 的二分之一者。後者使 $R_1 = R_2$ ，前者使 $R_1 = 2R_2$ 。選定介於1000歐姆與20,000歐姆間的值來匹配。

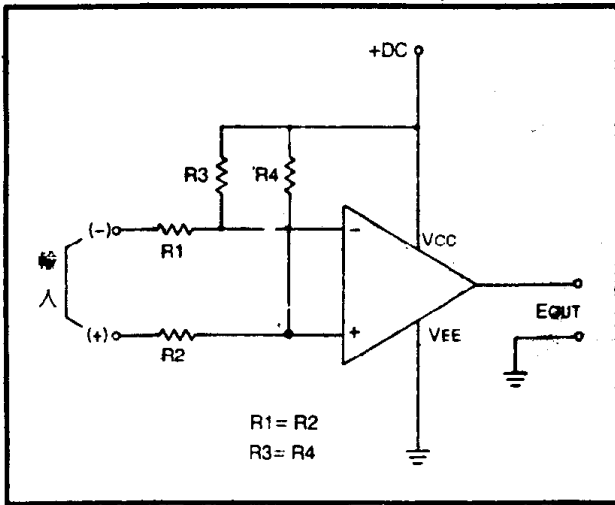


圖 1-8 運算放大器差動單一供給器作業

另一種方式見圖 1-9，使用包含 $R_1$ ， $R_2$ ， $R_3$ ， $R_4$ 電阻組成的橋式線路。事實上這與前例的技術相同，但它也保留了運算放大器二輸入端的差動特性。應用圖 1-8(a)所需要相同的定則，此外需要 $R_1 = R_2$ ， $R_3 = R_4$ 。須由手動、或用电阻計、或購買精密形式者來匹配這些電阻。當計算閉路電壓增益時，必須將 $R_1$ 與 $R_3$ 的並聯組合包含在 $R_{in}$ 內。

最後考慮的方式見圖 1-10。此處用電壓調整器，由單極主電源驅動 $V_{ee}$ 與 $V_{cc}$ 電位。圖 1-10(a)中使用槽納二極體調節器。 $V_{ee}$ 與 $V_{cc}$ 各需一個，共計二個槽納二極體調節器。電容器不是用作濾波（因所採用的為直流電源），而是去耦（Decoupling）及保持穩定度。附帶提起，這些電容器不是絕對必要的，但却是很好的習慣。

代替的方式見圖 1-10(b)，使用三端 IC 電壓調節器，如 LM 340 / LM 320 或 MC 7800 / MC 7900 系列。再者，仍用去耦電容器。圖 1-10 (a)與(b)線路中運算放大器的共同點及底架接地點將不會是相同的一點，