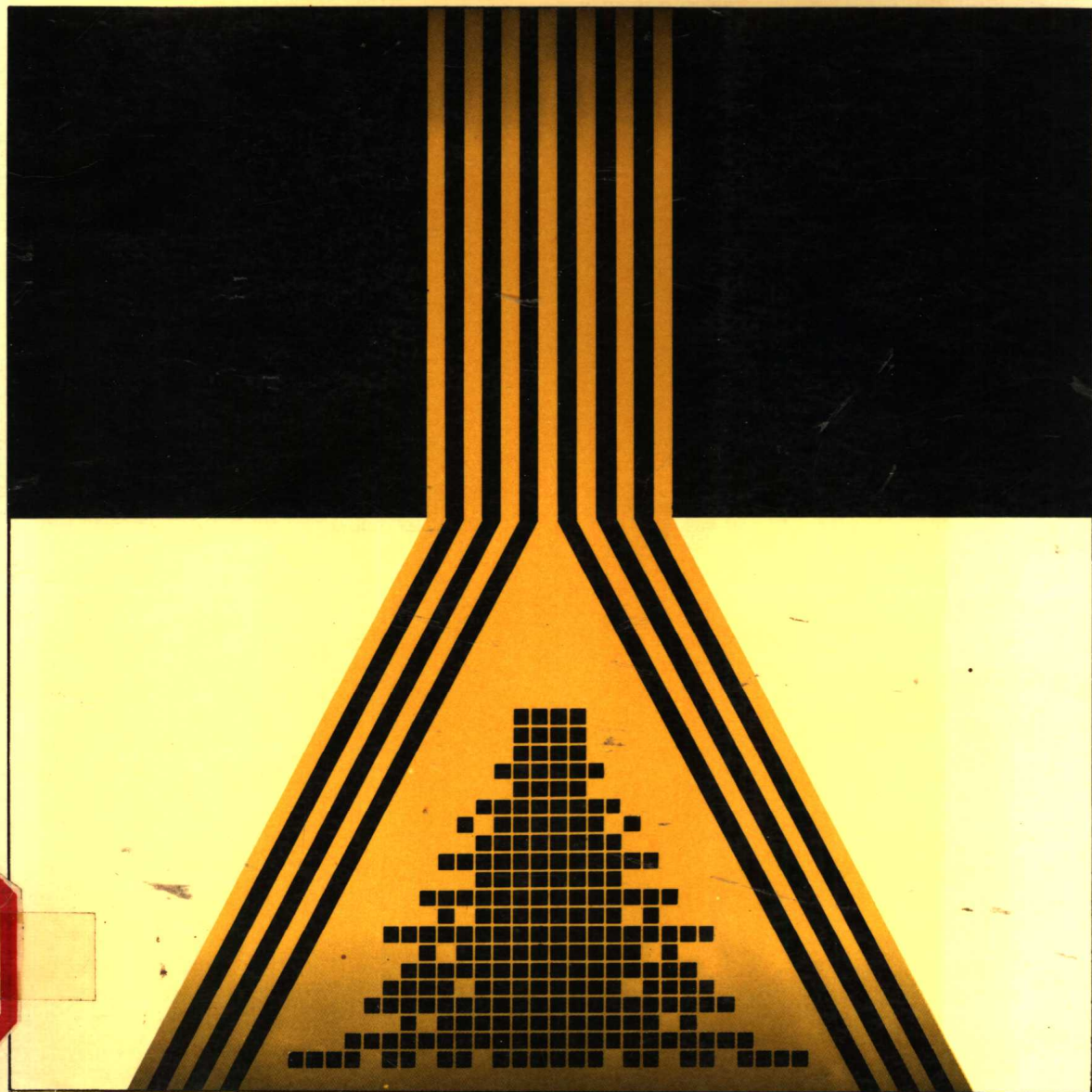


OP放大器之 寬頻帶電路設計

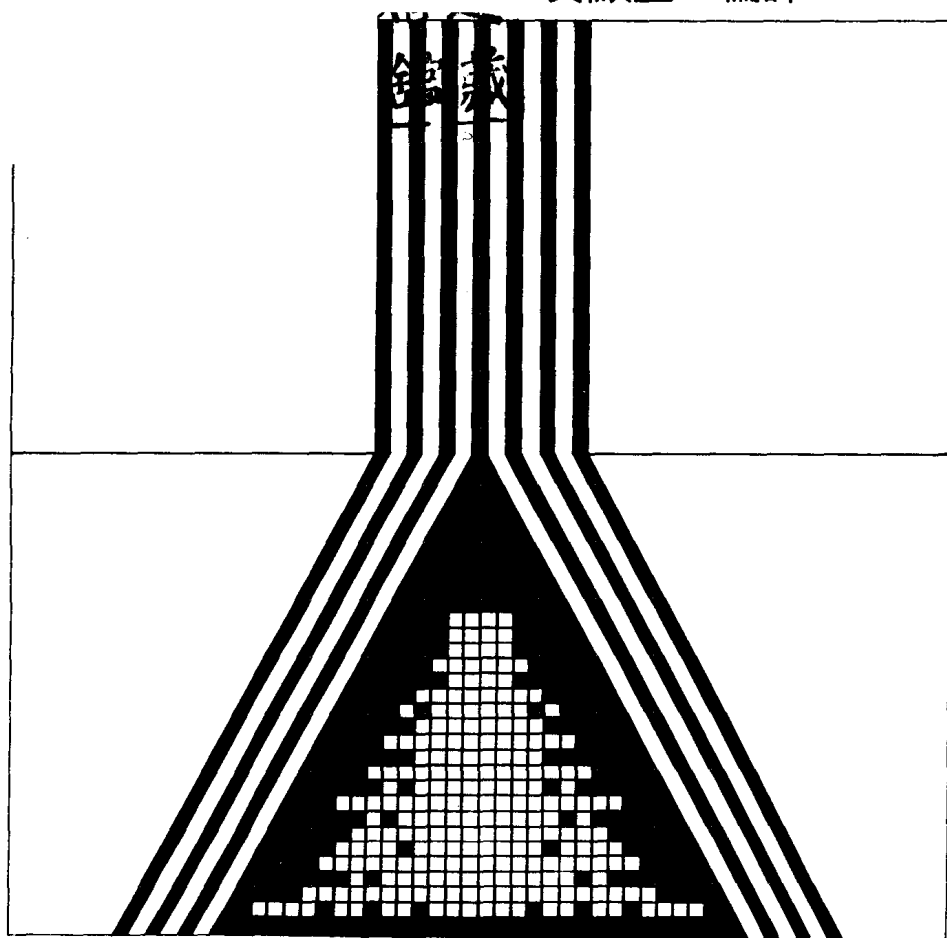
吳顯堂 編譯



全華科技圖書股份有限公司 印行

OP放大器之 寬頻帶電路設計

吳顯堂 編譯



全華科技圖書股份有限公司 印行



全華圖書

法律顧問：陳培豪律師

OP放大器之 寬頻帶電路設計

吳顯堂 編譯

出版者 全華科技圖書股份有限公司

地址 / 台北市麗江路76巷20-2號2樓

電話 / 5 0 7 1 3 0 0 (總 機)

郵撥帳號 / 0 1 0 0 8 3 6 - 1 號

發行人 陳 本 源

印刷者 宏懋打字印刷股份有限公司

電話 : 5 0 8 4 2 5 0 • 5 0 8 4 3 7 7

門市部 全友書局(黎明文化大樓七樓)

地址 / 台北市重慶南路一段49號7樓

電話 / 3 6 1 2 5 3 2 • 3 6 1 2 5 3 4

定 價 新臺幣 190 元

二版 / 77年 9 月

行政院新聞局核准登記證局版台業字第○二二三號

版權所有 翻印必究

圖書編號 0221276

我們的宗旨：

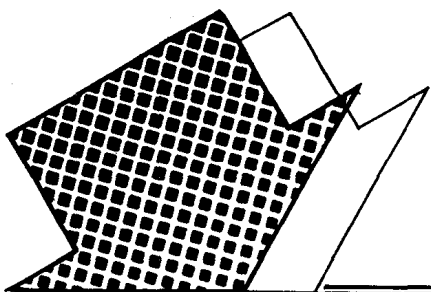
**推展科技新知
帶動工業升級**

**為學校教科書
推陳出新**

感謝您選購全華圖書
希望本書能滿足您求知的慾望

「圖書之可貴，在其量也在其質」，量指圖書內容充實，質指資料新穎夠水準，我們本著這個原則，竭心盡力地為國家科學中文化努力，貢獻給您這一本全是精華的“全華圖書”

為保護您的眼睛，本公司特別
採用不反光的米色印書紙！！



原 序

最近幾年，由於微電腦的快速進步與前景的看好，使以數位（digital）技術為專長的電子技術人員急遽增加。造成目前數位技術人員飽和，類比（analog）技術人員不足的現象。就是現在剛想學習電子技術的年輕人，大部分也還是以微電腦的硬體與軟體為重心的數位技術，做為他們學習的目標；以能熟練地應用 OP 放大器或線性 IC 的類比技術為學習重點的人，幾乎少之又少。原因是，一般都認為，以微電腦為代表的數位技術是最新穎、最尖端的科技。不僅電路的好壞容易判別、容易理解，也容易下手。因此，只要經過幾年的工夫，就能概略地熟練其中的某一項工作。

但是類比技術，在學習中，具有難予令人一目瞭然的辛苦。從表面上看來，電路雖然簡單，好壞却很難判斷。因為其中蘊藏着很難令人瞭解的因素，學習上，就有不知從何着手的難題。要熟練其中的某一項工作，必須累積相當多的技術與經驗。所以，需要耗費好幾年的學習工夫。

以微電腦為中心的數位技術之進步，確實給類比技術帶來革命性的變化。例如，在測試與自動控制的裝備中，早期的類比電路，就目前看來，是一種非常基本而又單純的電路。就是採用以往的最高級技術製作而成的，複雜的類比電路，也可能達不到以微電腦的技術所能達成的性能。因此，把數位技術混合在類比技術中使用，將能使性能提高數十倍以上。

以微電腦為基礎的數位技術，由於不斷地進步與普及，使數位電路漸漸侵入類比電路，兩者的界線也出現微妙的關係。但是

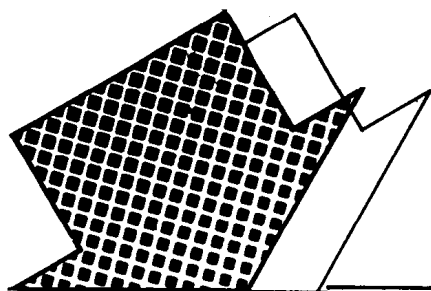
數位電路還是始終不能完全取代類比電路，只能共存或融合成一體。因為我們人類所賴於生存的自然環境，幾乎都是以類比的現象存在或變化。因此，處理沒有明顯的界線或連續變化的類比技術，永遠都具有不可或缺的重要性。這也是，以“1”與“0”（或“ON”與“OFF”）的邏輯電路為基礎的數位技術，無法完全取代本質上就不相同的類比技術之主要原因。

至於兩種技術之間的溝通，則有賴於A-D變換器與D-A變換器加以進行。因為A-D變換器的前半段和D-A變換器的後半段，都有處理類比訊號的放大器或推動電路，而其餘的才是數位電路。

本書是在出版公司預測“不久的將來，電子工程人員還會回過頭來重視類比技術”的前提下，要求以最容易瞭解，又有實用價值的放大器為中心，詳細說明最新的類比電路之設計法。

由於電子技術的不斷進步，完全用電晶體等零件所組成的類比電路，已逐漸被OP放大器所取代。所以，本書也準備以OP放大器為重心的寬頻帶高級放大器之設計為目標，在尋求儘快進入設計階段的意願下，減少對OP放大器的基本知識，以及設計電路時所需要的數學公式之說明，以便留下篇幅，用以容納更高層次的電路技術與應用方面的說明。

本書在執筆當中，是最具有實用價值的內容為目標，但是，其中有一部份可能還是和原來的意願不盡符合。不過，對從事類比電路的技術人員，仍然能多多少少有所幫助，則亦感榮幸。



譯者序

OP 放大器 (operational amplifier), 又譯成運算放大器, 是早期為類比計算機所設計的運算用放大器。但是, 由於有優異的直線性, 鉅大的增益, 以及往後不斷改進的結果, 又有寬濶的頻帶, 大量生產的低廉價格等良好條件, 使 OP 放大器的應用不再局限於類比計算機的運算, 還更廣泛地應用於低頻至超高頻的直線性電路中。

為避免初學的讀者, 因字義上的直覺, 而把這種直線性 IC, 誤以為專供運算之用; 或用於直線性放大電路, 却稱為運算放大器, 而產生觀念上的困惑。因此, 簡略地以 OP 放大器加以稱呼。

書中, 尚有許多專有名詞, 因國內沒有統一譯名, 只好採用筆者認為最適切之名詞, 再於頭一次出現時, 註明英文原名, 以免讀者混淆。惟對讀者或仍有不便之處, 實非得已。

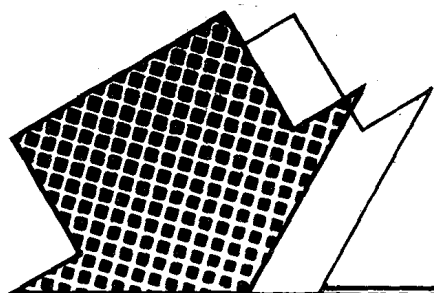
由於科技人員的不斷鑽研, OP 放大器 IC 不僅特性大獲改善, 型樣也日漸繁多, 使應用範圍比例地擴大。前幾年出版的相關方面之書籍, 已不再能滿足今日之需要。編輯部為應此一時代要求, 從外國圖書出版界尋找最新的, 確實具有實用價值的, 有關這方面之書籍, 要求筆者翻成中文, 以供本國讀者參考。筆者乃憑服務電子科學界之熱誠, 毅然應允。惟因能力有限, 必有不臻完美之處, 尚請讀者鑒諒。

本書, 誠如原著者所表明, 是以實用價值為宗旨, 所以從基本原理開始, 就盡量避免以數學方式進行推論與說明。所列之數學公式, 只限於電路設計時, 確有必要之部份。在本書的後半部

，更不厭其煩地詳細說明電路裝配時，所應瞭解之各種電路零件特性，與實體裝配時，所應注意之重要事項。並於最後一章，搜集可應用於各種領域之實用參考電路。使讀者在熟讀本書之後，不僅能在紙上設計直線性 OP 放大器電路，也能在實際的印刷板電路上，找出故障或不理想之問題所在。因此，確實是一部實用價值非常高的參考書籍。

本書之能順利出版，乃得力於編輯部葉青雲先生等同仁之鼎力支持與協助，在此一併致謝。

譯者 謹識

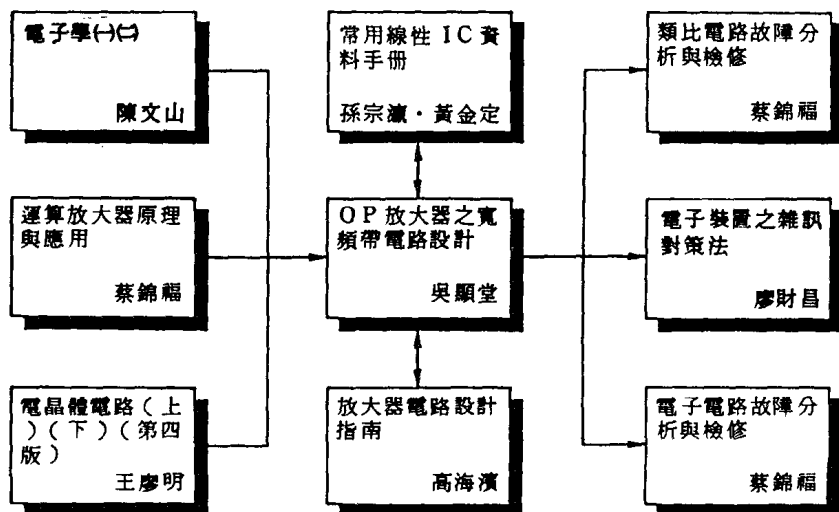


編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

本書是以實用價值為宗旨，所以從基本原理開始，就盡量避免以數學方式進行推論與說明，在本書的後半部，更不厭其煩地詳細說明電路裝配時，所應瞭解的各種電路零件特性，與實體裝配時，所應注意之重要事項，並於最後一章，搜集可應用於各種領域之實用參考電路，是電路設計與維修人員及工專電路設計課程的最佳參考書。

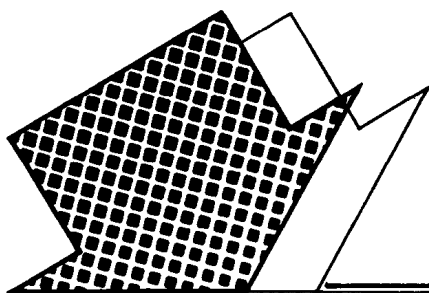
同時，為了使您能有系統且循序漸進研習電子方面叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。



全華電子相關圖書

- 0817 運算放大器原理與
應用
蔡錦福編著
20K/320頁/220元
- 0494 運算放大器手冊
歐福源、劉良俊編譯
25K/296頁/150元
- 1212 放大器電路設計指
南
高海濱編譯
20K/256頁/190元
- 1284 印刷電路基板設計
實務
白中和編譯
16K/208頁/190元
- 1324 電子電路零組件應
用手冊
張西川編譯
20K/528頁/320元
- 0554 類比電路故障分析
與檢修
蔡錦福編譯
25K/344頁/190元
- 0475 電子電路故障分析
與檢修
蔡錦福編譯
25K/320頁/170元

●上列書價若有變動
請以最新目錄為準



1	OP 放大器之基本知識	1
	• OP 放大器之理想與現實	2
	• OP 放大器之基本電路增益	2
	• OP 放大器之開迴路增益與增益誤差	6
	• 頻率特性與相位	10
	• 輸入阻抗與有效開迴路增益	18
	• 輸出阻抗與有效開迴路增益	22
	• 偏置電壓與偏置電流	24
	• 消除偏置電壓之方法	29
	• 精研負反饋之效果	41
2	訊號水準之調整	51
	• 用修整電阻直接調整	52
	• 用電壓調整	56
	• 切換類比開關進行調整	61
	• 用乘算型D-A變換器直接調整	64
3	電路昇級法	67
	• 提高PSRR之方法	68
	• 提高動作速度，加大頻帶寬度	69
	• 提高輸出電壓之方法	75
	• 提高輸出電流之方法	79

• 減輕漂移之方法	82
4 差動放大器之設計	87
• 設計要訣	88
• 提高 CMRR 之方法	89
• 降低漂移量之方法	96
• 抑制雜波之方法	97
• 提高轉變率及頻帶寬度之方法	98
• 強化 CMRR 之方法	100
• 輸入、輸出都是差動的差動放大器	102
• 差動放大器之增益調整法	103
• 設計實例	108
5 綜合放大器之設計	115
• 綜合放大器之種類	116
• 反向型綜合放大器	118
• 非反向型綜合放大器	119
• 綜合放大器之增益對頻率特性	120
• 斬波式直流放大器	121
• 斬波式直流放大器之負反饋加法及其效果	125
• 設計實例	129
6 避免產生異常現象之要領	145
• 使前授放大器確實動作之實體裝配法	146
• OP 放大器之輸入容量可能引起電路振盪	147
• 防止負載電容量造成電路振盪之方法	149
• 電容器各有適當之用途	152
• 適合相位補償之電容器	154
• 傍路電容器必須考慮頻率特性	155
• 必須注意電阻之不同用途	156

• 高輸入阻抗電路之洩漏電流問題	159
• 勿使大電流流過低訊號水準放大器之接地線	162
• 訊號源不在同一裝備中，OP 放大器的輸入端必須加以保護	165

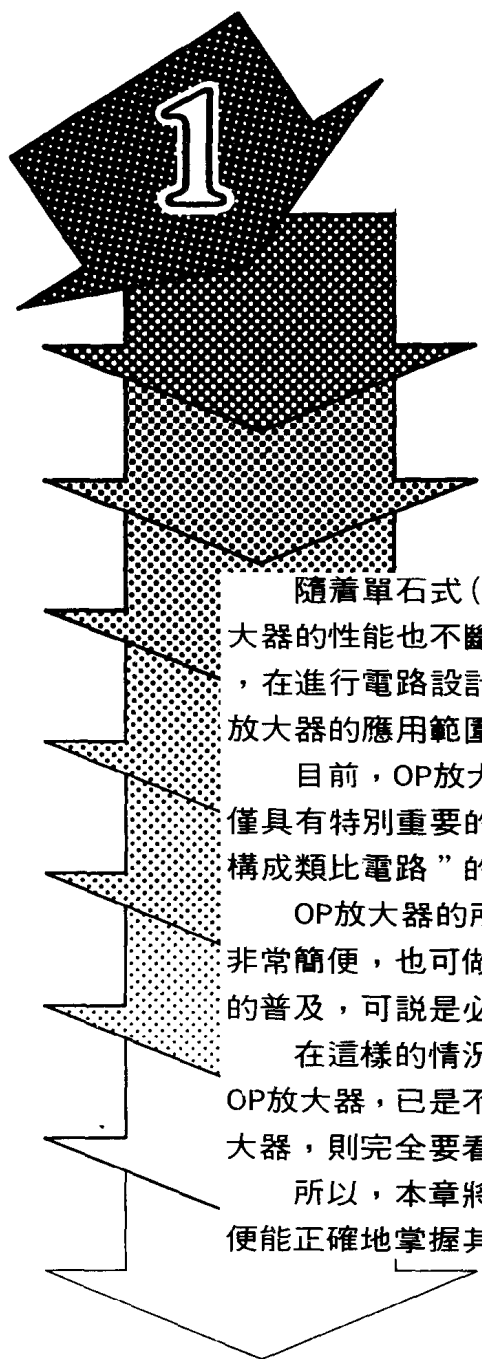
7 裝備設計之要點 169

• 裝備之基本結構	170
• 電源配線法	171
• 含類比、數位電路之裝備構成法	177

8 應用電路實例 189

• 增益 0 dB 之低漂移量、寬頻帶放大器	190
• 動作快速絕對值放大器	191
• 視頻訊號分配器	192
• 視頻訊號絕緣傳輸電路	193
• 示波器用前置放大器	194
• 示波器用輸出放大器	195
• D-A 變換器用輸出緩衝放大器	197
• 快速動作 A-D 變換器用輸入緩衝放大器	200
• 光電電路之應用	203
• 快速動作、高耐壓推動器	205
• 乘算器	207
• CRT 之直線性矯正器	209
• 高功率、寬頻帶偏向放大器	213
• 波形產生器	215
• 使用電晶體之絕對值放大電路	216
• 快速絕對值放大器	219
• 對數放大器	220
• 反對數放大器	223
• 以單連可變電阻改變頻率之寬頻帶正弦波振盪器	225

• 快速抽樣與保持電路	227
• 快速峯壓感知器	231
• 快速、寬頻帶非反向放大器	232
• 串、並列型 A-D 變換器用類比減算器	234
• 低漂移量視頻放大器	235



OP放大器之 基本知識

隨着單石式 (monolithic) IC 的製造技術之進步，OP放大器的性能也不斷地在提高，價格則相對地在降低。因此，在進行電路設計時，對其需求也漸漸增加。也就是，OP放大器的應用範圍正不斷地在擴大。

目前，OP放大器在組成類比電路的許多零件當中，不僅具有特別重要的地位，甚至已到“沒有OP放大器就不能構成類比電路”的地步。

OP放大器的所以會被普遍採用，不只是因為使用方法非常簡便，也可做許許多多不同的應用。因此，能有今天的普及，可說是必然的結果。

在這樣的情況下，做為一個電子技術者，想完全漠視OP放大器，已是不可能的事。至於，能否純熟地運用OP放大器，則完全要看自己對其特性是否十分瞭解而定。

所以，本章將詳細說明有關OP放大器的基本知識，以便能正確地掌握其特性，有效地活用OP放大器。

OP 放大器之理想與現實

理想的 OP 放大器所必須具備的基本條件，可列舉如下：

- (1) 電壓增益無限大
- (2) 頻帶寬度無限大
- (3) 輸入阻抗無限大
- (4) 輸出阻抗等於 0
- (5) 雜波完全沒有

實際上，要完全滿足(1)~(5)的理想，是不可能的。不過，具有現實意義的，接近理想之方法是

- (1) 將輸入電壓降到和輸出電壓相比，可加以忽視之程度。
- (2) 使 OP 放大器對所處理的訊號，具有寬濶的頻帶寬度與功率幅度。並能穩定地加上深重的負反饋 (negative feedback) 作用。
- (3) 使流入 OP 放大器的輸入端電流，和流入電路的輸入端電流相比，小到可加以忽視之程度。
- (4) 儘量降低輸出阻抗，使負載阻抗的變動不致於影響 OP 放大器的特性。
- (5) 與所處理的訊號相比，偏置電壓 (off-set voltage)、偏置電流 (off-set current) 以及內部雜波，都微弱到可不計之程度。

以上所說明的特性，在分析 OP 放大器的電路時，將頻繁地 (或許在潛藏的情況下) 被利用。因此，能牢記將會很方便。

OP 放大器之基本電路增益

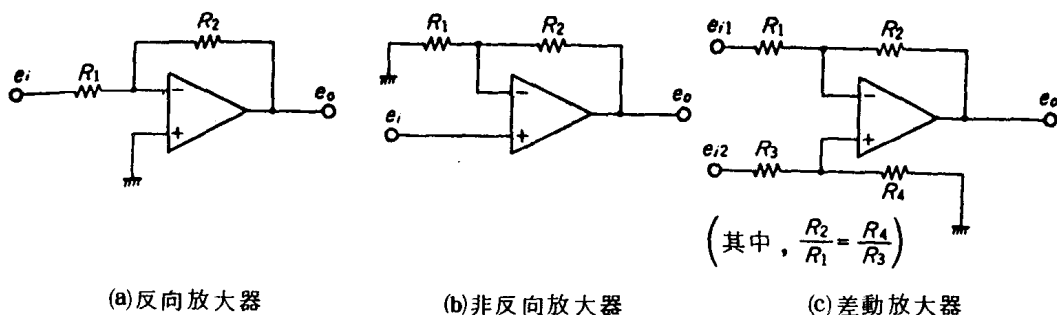


圖 1-1 以 OP 放大器構成之放大器基本電路

以 OP 放大器構成的電路，如圖 1-1 所示，有三種基本型態。(a)是反向型 (inverted) 放大器，(b)是非反向型 (non-inverted) 放大器，(c)是差動型 (differential) 放大器。

把這三種基本電路做任意的組合，就可構成一組放大電路系統。但是想要構成一組放大電路系統之前，必須事先瞭解單位基本電路的增益，才能確定所組成的系統增益是否合乎設計上的需要。

下面說明，如何以簡單的數學式求取這三種基本電路的增益之方法。

首先，就圖 1-2 的反向放大器之增益加以分析。

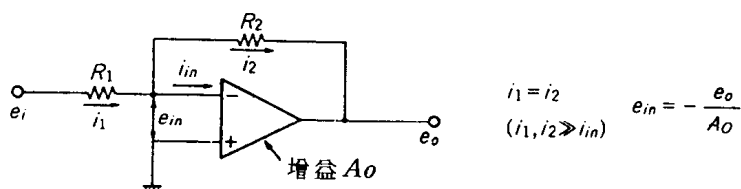


圖 1-2 反向放大器

假定 A_o 為 OP 放大器的開迴路 (open loop) 增益， e_i 為輸入訊號電壓， e_o 為輸出訊號電壓， e_{in} 為加於反向輸入點 $\ominus$ 與非反向輸入點 $\oplus$ 之間的電壓， R_1 為輸入電阻， i_1 為流經 R_1 的電流， R_2 為反饋電阻， i_2 為流經 R_2 的電流。於是，可得下列的關係式

$$i_1 = \frac{e_i - e_{in}}{R_1}$$

$$i_2 = \frac{e_{in} - e_o}{R_2}$$

$$e_{in} = -\frac{e_o}{A_o}$$

OP 放大器的輸入阻抗，一般都非常高。因此，流入反向輸入點的電流 i_{in} ，和 i_1 與 i_2 相比，能加以忽視時，則 $i_1 = i_2$ 的條件將可成立。根據這一條件，由上式可求出 e_o/e_i 的關係式為

$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + (1/A_o \cdot \beta)} \dots\dots\dots (1-1)$$

此處， β 為反饋率，可用下式表示之。