

積體(集成)電路應用設計

A. B. 威廉姆 著
陳清祥 譯

曉園出版社
世界圖書出版公司

积体 (集成) 电路应用设计

A.B. 威廉姆 著

陈清祥 译

*

晓园出版社出版

世界图书出版公司北京公司重印

北京朝阳门内大街 137 号

北京中西印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1994 年 10 月第 一 版 开本: 787×1245 1/20

1994 年 10 月第一次印刷 印张: 47.5

印数: 0001—350 字数: 64 万字

ISBN: 7-5062-1938-7/TW·30

定价: 61.80 元 (WB9403/19)

世界图书出版公司已向台湾晓园出版社购得重印权

限国内发行

譯 序

電子或電機學系學生心中的一個共同問題就是：儘管在學校中投注了相當多的苦心，研讀了許多電子、通訊、控制、光電…等課程，可是一旦面對各種變化多端的實際電路之設計、IC之選擇、R.L.C.等元件值之計算、重要的特性參數、實際的考慮因素…時，却又一片茫茫然，不知如何下手，好像過去所學的，此時此刻全派不上用場。本書的目的，就是在幫助電子電機工程師們有效地克服這些問題，讓每一位工程師都有能力設計出他所要的電路，知道該如何選擇規格合適的IC、如何計算R.L.C值、如何掌握電路中重要的性能參數。

本書涵蓋了下列題材：運算放大器、函數電路、濾波器、通訊電路、鎖相迴路、定時器/計數器、A/D、D/A電路、光電元件電路、微處理器、周邊控制裝置、介面電路和各種SSI、MSI、LSI邏輯電路，幾乎把所有最重要、最常用的積體電路之應用和設計都網羅在內了。讀者可以很容易地從目錄或索引中查閱到您所要的資料。本書最大的優點是：對於每一種IC之應用非常清晰地教您如何做電路設計，告訴您有那些IC可供選擇、IC編號是多少、主要的控制元件值如何計算、輸出信號（例如：電壓、頻率、相位…）和元件值、輸入信號之關係，並用許多典型例題幫助讀者了解。對於每一類族應用，相關的電路參數書中都有詳盡的定義。每章中均包含有大量極優秀的電路和IC規格表，這些對電子電機工程師們助益最直接，您可以不用面對繁多的IC廠商和Data Books，就能找出最合適的IC。

許多學校採用本書作為積體電路應用設計課程的高等教科書，相信教授和學生們都可以明顯地肯定這本書的價值。本來您只能分析、看懂別人設計好的電路，却苦於自己不會設計電路。本書希望您能更上一層樓，自己也有設計電路的能力，不再只是一個擅於空談原理的電子電機工程師。本書適合於大三、大四及研究生當教科書研讀，也十分適合實驗室、電子電機產業界…等工程師使用。

陳清祥

原 序

積體電路 (IC) 已經大大地簡化了複雜的類比和數位電路之設計工作。過去廿年來，許多的製造商推出了各類的 IC。

工程師或技術人員，面對電路設計和 IC 選擇的工作時，必須遍查各製造商的 IC 目錄，並且從有限的應用手冊中去決定所需的電路圖形和最佳的 IC。

目錄資料在定義某一種特殊裝置的操作和最壞情況下的參數時很有用，但是不能當做選擇指南，因為 IC 並不是以比較基礎來評估的。而且這些目錄和應用手冊都是限定於某個特定的製造商而已，它們是按 IC 型式分類的，而不是按用途來分類。

這本書有二個目的：IC 應用和裝置選擇並重。比較受歡迎的 IC 電路，在本書中都由各方面的專家加以提出討論，所以設計人員所經常碰到的設計問題可以很容易獲得解決。這本書並不是要取代 IC 目錄，因為把所有 IC 的詳細參數都列入是不可能的。相反的，我們提供了各類應用的裝置選擇指南和比較表，並且用例題予以詳細討論，這樣可以幫助設計人員選擇出最好的裝置和應用電路。

運算放大器在第一章中討論。我們複習了運算放大器的原理，包括理論和實際二種觀點，並且說明了許多電路應用的例子和裝置的選擇。

第二章討論函數電路的應用和選擇。例如：多工器、波形產生器、電壓對頻率和頻率對電壓變換器…等。

第三章介紹用運算放大器設計主動性濾波器。許多受歡迎的低通、高通、帶通、帶拒電路和設計例題都有詳細的說明。

第四章涵蓋了通訊電路。例如：脈波式 / DTMF 發號器 / 編碼器、CODEC、PCM 線路濾波器和語音網路。

第五章討論了鎖相迴路原理、設計、電路選擇、裝置選擇等。

定時器 IC 在第六章中討論到。包括定時器 IC 的分析、設計、選擇和應用。

第七章是 IC 電源管理電路。涵蓋了被動和交換式調整器的原理、這類 IC 的最佳選擇和應用電路、例題等。

A/D 和 D/A 變換器的原理被涵蓋於第八章。包括：各種型式的電路、受人歡迎的電路結構和裝置選擇指南。

第九章介紹 SSI 邏輯電路。本章涵蓋了各種邏輯族和它們的應用限制。

第十章介紹MSI 邏輯電路。MSI 裝置的組合邏輯、順序邏輯應用和這類裝置的選擇指南，本章中有詳細的討論。

第十一章則討論了在應用上要決定最佳的微處理器時所必須包含的考慮因素和選擇過程。此外，也包括了晶片結構、支援軟體和其它的考慮因素等。

第十二章討論光電子學。包括：原理、應用、LED的選擇、條形圖顯示器、字母數字顯示器、光耦合器等。此外，也討論了許多個實際的例子和設計步驟。

第十三章介紹LSI 周邊裝置。涵蓋了操作、應用和裝置的選擇，例如：UART、CRT 控制器、軟性磁碟機控制器等。

介面電路的應用和選擇被討論於第十四章中。包含有：周邊驅動器、線驅動器和顯示器驅動器。在第十四章中討論。

我要感謝各章的作者和他們的公司，由於他們的鼎力幫助，使本書得以成為具有高度技術價值的設計應用工具書。

奧塞必·威廉

Arthur B. Williams

本書各章作者

- Hamil Aldridge, Paradyne Corp., Largo, Fla. (SSI 邏輯電路)
- Peter Alfke, Director, Applications Engineering, Advanced Micro Devices Inc., Sunnyvale, Calif. (MSI 邏輯電路)
- Don Birkley, Tektronix Corp., Beaverton, Oreg. (微處理器)
- Peter D. Bradshaw, Director of Advanced Applications, Array Technology Inc., San Jose, Calif. (A/D 和 D/A 變換)
- Eric G. Breeze, Atari Corp., Sunnyvale, Calif. (光電子學)
- Brian Cayton, Marketing Manager, Standard Microsystems Corp., Hauppauge, N.Y. (LSI 周邊裝置)
- Earl V. Cole, Atari Corp., Sunnyvale, Calif. (光電子學)
- Robert C. Frostholt, Account Manager, Automotive Marketing, National Semiconductor Corp., Santa Clara, Calif. (IC 電源管理電路)
- Sid Ghosh, TRW Vidar Corp., Mountainview, Calif. (鎖相迴路)
- Randall J. Hipp, Mostek Corp., Carrollton, Tex. (通訊電路)
- Robert C. Jones, Mostek Corp., Carrollton, Tex. (通訊電路)
- Darin L. Kincaid, Mostek Corp., Carrollton, Tex. (通訊電路)
- Dave Kohlmeier, Tektronix Corp., Beaverton, Oreg. (微處理器)
- Glen M. Masker, Mostek Corp., Carrollton, Tex. (通訊電路)
- William M. Otsuka, President, Optomiconix, Cupertino, Calif. (光電子學)
- H. Ilhan Refioglu, Exar Integrated Systems Inc., Sunnyvale, Calif. (定時電路)
- Joel Silverman, Marketing Manager, Siliconix Inc., Santa Clara, Calif. (函數電路)
- Michael R. Sims, Mostek Corp., Carrollton, Tex. (通訊電路)
- Carroll Smith, Applications Engineer, Texas Instruments Corp., Dallas, Tex. (介面電路)
- Jerri L. Smith, Mostek Corp., Carrollton, Tex. (通訊電路)
- Dr. William R. Warner, Tektronix Corp., Beaverton, Oreg. (微處理器)
- Arthur B. Williams, Vice President of Engineering, Research, and Development, Coherent Communications Systems Corp., Hauppauge, N.Y. (運算放大器和用運算放大器設計主動性濾波器)

目 錄

第一章 運算放大器 1

1-1 OP AMP的基本原理	1
1-2 實際放大器的參數	7
1-3 線性放大器電路	19
1-4 擴充性的操作	35
1-5 OP AMP的選擇	38

第二章 函數電路 55

2-1 四象限乘法器	55
2-2 波形產生器	75
2-3 電壓 - 對 - 頻率變換器	93
2-4 頻率 - 對 - 電壓變換器	98
2-5 OP-AMP 電路函數	102

第三章 用運算放大器設計主動濾波器 113

3-1 選擇濾波器的型式	113
3-2 低通濾波器的設計	138
3-3 高通濾波器	149
3-4 帶通濾波器	152
3-5 帶拒濾波器	164
3-6 選擇OP AMP的考慮因素	168
3-7 濾波器設計表	170

第四章 通訊電路 179

4-1 簡 介	179
4-2 脈波式撥號器	182
4-3 雙音調多頻率編碼器	188

4-4	DTMF 解碼器	201
4-5	貯存式撥號器	214
4-6	語音網路	234
4-7	編碼解碼器	241
4-8	PCM 線路濾波器	250
4-9	產品選擇指南	259

第五章 鎖相迴路 289

5-1	鎖相迴路原理	289
5-2	其他型式的鎖相迴路	307
5-3	鎖相迴路的實際設計	316
5-4	鎖相迴路應用	338

第六章 定時電路 353

6-1	簡介	353
6-2	基本 IC 定時器	357
6-3	555 定時器 IC	362
6-4	其它單週期定時器	367
6-5	微功率定時器 IC	380
6-6	計數器 / 定時器 IC	383
6-7	定時器應用	392

第七章 IC 電源管理電路 417

7-1	電源管理電路簡介	417
7-2	電源管理電路的基本操作原理	423
7-3	功率逸散	449
7-4	電壓調整器選用表	457

第八章 A/D 和 D/A 變換 469

8-1	簡介	469
8-2	D/A 變換的原理	471
8-3	重要的 DAC 規格	486
8-4	A/D 變換原理	489

8-5	重要的A/D變換器規格	508
8-6	用在D/A和A/D變換的其他電路	510
8-7	完整的資料擷取系統	519
第九章 SSI 邏輯電路 525		
9-1	簡 介	525
9-2	邏輯族的型式	525
9-3	邏輯族的特性	527
9-4	一般參數的定義	535
9-5	閘	536
9-6	門鎖和正反器	547
9-7	單 擊	558
9-8	特殊用途電路	562
第十章 MSI 邏輯電路 573		
10-1	MSI 簡介	573
10-2	組合函數	577
10-3	順序電路	641
10-4	用MSI 設計	664
第十一章 微處理器 671		
11-1	簡 介	671
11-2	選擇步驟	675
11-3	考慮因素	678
11-4	指令集	682
11-5	支援軟體	685
11-6	結 構	686
11-7	系統介面	690
11-8	輔助發展工具	691
11-9	單母板計算機和建立你自己的計算機	691
11-10	實驗室控制器的設計	692
11-11	鍵盤介面的設計	695
11-12	裝置選擇表	701

第十二章 光電子學 713

12-1	LED 燈	713
12-2	條形圖陣列	742
12-3	顯示器	747
12-4	光耦合器	783
12-5	裝置選擇表	801

第十三章 LSI 周邊裝置 813

13-1	LSI 周邊裝置的需要性	813
13-2	資料通訊電路	818
13-3	CRT 控制器	836
13-4	軟性磁碟控制器	849
13-5	鍵盤編碼器	856

第十四章 介面電路 865

14-1	簡 介	865
14-2	周邊驅動器的應用	872
14-3	線電路	896
14-4	顯示器驅動器	915

索 引 935

運算放大器

Arthur B. Williams Vice President of Engineering,
Research, and Development
Coherent Communications Systems Corp.
Hauppauge, N.Y.

1-1 OP AMP 的基本原理

運算放大器 (operational amplifier, 簡稱 op amp) 可能是電子電路中使用得最廣泛的裝置。這種裝置可以執行無數變化多端的工作, 包括信號的線性和非線性運算。

一直到 1960 年代中期, 單石 (monolithic) 積體電路 $\mu A 709$ 發展成功以前, 運算放大器都是用獨立的元件所組合而成, 成本相當高昂。至今已有許多新一代的 op amp 開發出來, 提供了許多特殊的功能, 性能也大幅地改進了。

1-1a 理想的 Op Amp

op amp 是一個高增益 (high-gain) 放大器, 有二個輸入端, 一個信號輸出端, 內部是直接耦合 (coupled) 的。圖 1-1 (a) 是 op amp 的標準符號, 圖 1-1 (b) 是它的等效電路。輸出電壓 V_o 是二個輸入端的電壓差乘上放大器增益 A 。正的信號加到正 (+) 的輸入端, 輸出端的結果是正的。因此, (+) 端稱為非反相輸入 (noninverting input) 端。正的信號若加到負 (-) 的輸入端, 輸出端的結果是負的。所以 (-) 端稱為反相輸入 (inverting input) 端。

運算放大器對於輸入的信號差可以提供非常高的增益, 因為一般 A 非常的大。若把一個信號同時加到二個輸入端 (共模輸入), 輸出為零, 因為淨輸入信號差

2 第一章 運算放大器

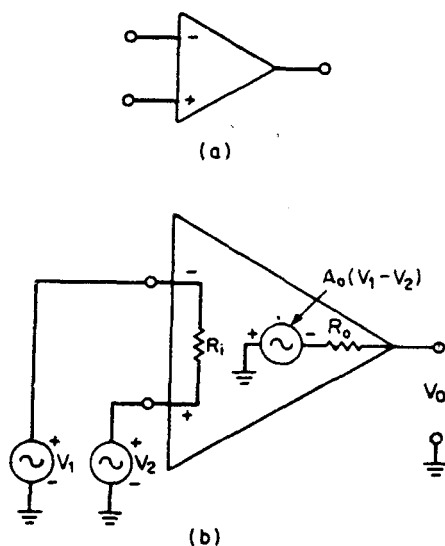


圖 1-1 運算放大器。(a)符號；(b)等效電路。

是零。

運算放大器的輸入阻抗是 R_i ，輸出阻抗是 R_o 。理想的運算放大器 R_i 是無限大， R_o 是零，而且電壓增益 A_o 也是無限大。

反相放大器 假如負回授 (feedback) 由輸出端加到輸入端，並假設放大器是理想的，則輸入端的電壓差被強制為零。這種結果稱為“**虛接地 (virtual ground)**”效果”。因此，反相輸入端可以當做一個電流匯集的節點，產生許多種有用的電路；也可以用簡化的圖分析電路。

反相運算放大器表示於圖 1-2。如果放大器是理想的，則輸入端的電壓差 V_i 為零，相當於把反相輸入端放到接地電位，因為負回授路徑是經由 R_2 。電阻器電流是：

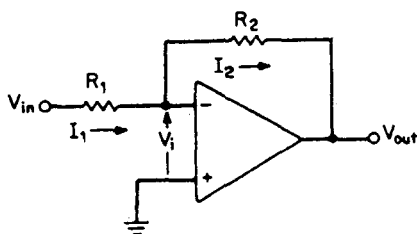


圖 1-2 反相放大器。

$$I_1 = \frac{V_{in}}{R_1} \quad (1-1)$$

和

$$I_2 = -\frac{V_{out}}{R_2} \quad (1-2)$$

因為放大器是假設為理想的，輸入阻抗無限大，沒有電流可以流入反相輸入端；因此， I_1 必須等於 I_2 。如果計算式 (1-1) 和 (1-2)，並解出閉迴路 (close-loop) 增益，得到

$$A_c = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (1-3)$$

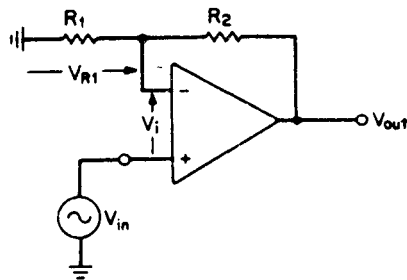
結論是理想反相放大器的電路增益等於二個電阻器的比例，而與放大器本身無關。輸入阻抗是 R_1 ，輸出阻抗是零。

非反相放大器 現在我們看非反相運算放大器，如圖 1-3。因為負回授，輸入端的電壓差 V_i 被強制為零。跨於電阻器 R_1 的電壓 V_{R1} 等於 V_{in} 。因為， R_1 和 R_2 形成一個分壓器 (voltage divider)，輸出電壓是

$$V_{out} = V_{R1} \frac{R_1 + R_2}{R_1} = V_{in} \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad (1-4)$$

它也可以表示為

$$A_c = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (1-5)$$

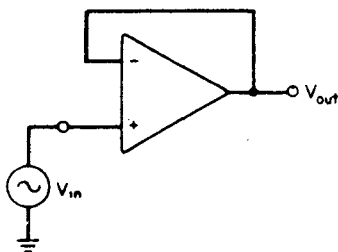


■ 1-3 非反相圖形。

4 第一章 運算放大器

非反相放大器的增益是二個電阻器的比例加上 1。輸入阻抗是無限大，輸出阻抗是零。

假如我們考慮特殊情形， R_1 無限大， R_2 是零，則它變成電壓隨耦器(voltage-follower) 電路，如圖 1-4。它的電路增益是一，輸入阻抗無限大，輸出阻抗零。這個電路和陰極隨耦器或射極隨耦器的功能相同，可以當做緩衝器。



■ 1-4 電壓隨耦器。

1.1b 回授公式

爲了要導出圖 1-2 反相放大器回授公式，我們首先把 V_i 用輸入和輸出電壓的重疊法表示

$$V_i = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{out} \quad (1-6)$$

因爲放大器的開迴路 (open-loop) 增益是 $-A_o$ ，我們在 (1-6) 式中以 $-V_{out}/A_o$ 代替 V_i 。重新安排各項，得到閉迴路增益公式

$$A_c = \frac{\frac{R_2}{R_1 + R_2}}{\frac{1}{-A_o} - \frac{R_1}{R_1 + R_2}} \quad (1-7)$$

其中

$$A_c = V_{out}/V_{in}$$

如果令

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

則

$$1 - \beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

現在，再把式 (1-7) 用 β 表示，則增益公式變為

$$A_c = \frac{1 - \beta}{\frac{1}{-A_o} - \beta} \quad (1-8)$$

或更好的形式

$$A_c (\text{反相}) = \frac{A_o (\beta - 1)}{1 + A_o \beta} \quad (1-9)$$

現在，看圖 1-3 非反相輸入圖形。由於分壓器的作用，我們可以說

$$V_{R_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{\text{out}} = \beta V_{\text{out}} \quad (1-10)$$

而且

$$V_i = V_{\text{in}} - V_{R_1} \quad (1-11)$$

輸出電壓因此是

$$V_{\text{out}} = A_o (V_{\text{in}} - V_{R_1}) \quad (1-12)$$

假如我們把 V_{R_1} 用式 (1-10) 的 βV_{out} 代替，然後解閉迴路增益，得到

$$A_c (\text{非反相}) = \frac{A_o}{1 + A_o \beta} \quad (1-13)$$

式 (1-9) 和 (1-13) 是反相和非反相放大器的一般回授公式。這些式子對於已經讀過回授系統或伺服 (servo) 理論的人必然很熟悉。 β 稱為回授因素，因為它代表輸出被回授到輸入的部分。乘積 $A_o \beta$ 稱為“迴路增益”。這些式子的重要性將在 1-2 節中予以證明。

1.1c 術語

下列術語定義與運算放大器有關的基本參數。

6 第一章 運算放大器

通道分離比 (Channel Separation) : 一個被驅動通道的輸出電壓變動相對於其它通道的變動比例。

共模輸入阻抗 (Common-Mode Input Resistance) : 介於二個輸入端和接地之間，小信號輸入電阻的並聯組合。

共模排斥比 (Common-Mode Rejection Ratio) : 差量 (differential) 對共模電壓增益比。

等效輸入雜訊電流 (Equivalent Input Noise Current) : 可以並聯地放在輸入端的理想電流源，它用以代表內部所產生的雜訊源。

等效輸入雜訊電壓 (Equivalent Input Noise Voltage) : 可以串聯地放在輸入端的理想電壓源，它用以代表內部所產生的雜訊源。

增益邊限 (Gain Margin) : 在 180° 相移時，迴路增益低於 0 dB 時的分貝值。

輸入偏壓電流 (Input Bias Current) : 當輸出電壓為零伏特時，二個輸入電流的平均值。

輸入電容 (Input Capacity) : 介於輸入端和接地端之間的電容。

輸入抵補電流 (Input Offset Current) : 當輸出電壓為零伏特時，二個輸入電流的差額。

輸入抵補電壓 (Input Offset Voltage) : 要讓輸出電壓為 0 伏特時，所需跨於輸入端的差量電壓。

輸入電阻 (Input Resistance) : 介於輸入端和接地端之間的電阻。

輸入電壓範圍 (Input Voltage Range) : 任一輸入端的電壓範圍不超過正常操作的容許電壓值。

大信號電壓放大 (Large-Signal Voltage Amplification) : 峯對峯 (peak to peak) 輸出電壓擺動對輸入電壓改變的比例。

最大峯對峯輸出電壓擺幅 (Maximum Peak-to-Peak Output Voltage Swing) : 在靜態 DC 輸出是零伏特，發生截削之前，所能得到的最大輸出電壓。

輸出電阻 (Output Resistance) : 輸出電壓接近零伏特時，由輸出端所看到的小

105/105-11
61

信號等效電源阻抗。

過量 (Overshoot) : 輸入為步階信號時，輸出信號值對最終穩定值的最大偏移比例。

相位邊限 (Phase Margin) : 當迴路增益頻率是一時，迴路增益相移低於 180° 時的度數。

供應電源排斥性 (Power Supply Rejection) : (看供應電壓靈敏度)

上升時期 (Rise Time) : 輸入為步階 (step) 信號時，輸出電壓由全幅 (full amplitude) 的 10 % 上升到 90 % 所需的時間。

設定時間 (Settling Time) : 輸入為步階式信號時，輸出達到終值某一特定範圍時所需之時間。

短路輸出電流 (Short-Circuit Output Current) : 當輸出端短路到接地時，所發生的最大輸出電流。

上升率 (Slew Rate) : 輸入為步階式信號時，單位時間輸出電壓的變量。

電源電流 (Supply Current) : 當電源供應器沒有負載，而且輸出電壓是零伏特時，所流入放大器的電流。

電源電壓靈敏度 (Supply-Voltage Sensitivity) : 輸入抵補電壓的變量對電源電壓的變量之比例。

總功率逸散 (Total Power Dissipation) : 供應到裝置的總 DC 功率小於傳遞到輸出負載的功率。

增益-頻帶寬 (Unity-Gain Bandwidth) : 開迴路增益為一時的頻率。

1-2 實際放大器的參數

1.2 a 放大器電路結構

圖 1-5 是一個典型 op amp 簡化的電路圖。輸入部分由一個差動 (differential) 放大器組成，它對操作的參數有重要的影響。第二個差動放大器進一步地提供了增益和緩衝。為了在輸出端不產生 DC 抵補 (offset) 電壓，需使用一級位準提升