

電腦原理與結構

趙子明 編著

松崗電腦圖書資料有限公司

電腦原理與結構

趙子明 編著

松崗電腦圖書資料有限公司 印行

松崗電腦圖書資料有限公司已
聘任本律師為常年法律顧問，
如有侵害其著作權或其他權益
者，本律師當依法保障之。

長立國際法律事務所

陳長律師



電腦原理與結構

編著者：趙子明

發行人：朱小珍

發行所：松崗電腦圖書資料有限公司

台北市敦化南路五九三號五樓

電話：(02) 7082125(代表號)

郵政劃撥：0109030-8

印刷者：建發印刷設計公司

中華民國七十二年九月初版

中華民國七十六年九月第二版

版權所有

翻印必究

每本定價 220 元整

書號：5101005

本出版社經行政院新聞局核准登記，登記號碼為局版台業字第三一九六號

前 言

本書討論的範圍包括數位和類比電腦，其中，類比電腦只在第一章作概略性介紹。

本書各章節雖都是提要式的敘述，但對於觀念的闡釋，皆力求深入淺出，適合電腦概論、電腦結構等課程作為教本或參考，以及類似課程的應考自修之用。

趙子明 一九八三年九月

目 錄

第一章 類比電腦	1
§ 1-1 數位和類比電腦的比較.....	1
§ 1-2 類比電腦的構成元件.....	3
§ 1-2-1 線性元件.....	4
§ 1-2-1-1 減壓電阻.....	4
§ 1-2-1-2 運算放大器.....	6
§ 1-2-2 非線性元件.....	12
§ 1-3 類比電腦的程式設計.....	13
§ 1-4 尺度和時間校正.....	23
§ 1-5 結論.....	39
第二章 數位運算	43
§ 2-1 數字系統.....	43
§ 2-2 整數和實數.....	48

4 電腦原理與結構

§ 2-3	整數的加法和減法運算	52
§ 2-4	整數的乘法運算	56
§ 2-5	整數的除法運算	63
§ 2-6	實數的運算	66
§ 2-7	二進位碼	68
§ 2-7-1	十進位碼	68
§ 2-7-2	文數碼	71
§ 2-7-3	偵錯及改錯碼	75

第三章 邏輯線路 81

§ 3-1	基本邏輯元件	81
§ 3-2	邏輯種類	85
§ 3-3	布林函數的簡化	92
§ 3-3-1	卡氏圖	92
§ 3-3-2	哈氏圖	101
§ 3-3-2-1	P 標準式	103
§ 3-3-2-2	S 標準式	105
§ 3-3-3	昆氏法	107
§ 3-3-3-1	P 標準式	107
§ 3-3-3-2	S 標準式	109
§ 3-4	邏輯設計	112

第四章 循序邏輯 131

§ 4-1	正反器	131
§ 4-1-1	RS 正反器	131

§ 4-1-2	D 正反器	134
§ 4-1-3	JK 正反器	136
§ 4-1-4	T 正反器	142
§ 4-2	狀態圖	144
§ 4-3	線路設計	146
§ 4-4	記錄器	160
第五章	記憶結構	167
§ 5-1	主記憶	167
§ 5-1-1	磁蕊	170
§ 5-1-2	半導體記憶元件	174
§ 5-2	記憶交插和貯存記憶	178
§ 5-2-1	記憶交插	179
§ 5-2-2	貯存記憶	181
§ 5-3	串聯存取記憶	188
§ 5-4	直接存取記憶	194
§ 5-4-1	磁碟	194
§ 5-4-2	磁鼓	199
§ 5-4-3	磁泡記憶	199
§ 5-4-4	電荷耦元件	203
§ 5-5	虛擬記憶	205
第六章	中央處理單元	209
§ 6-1	線路結構	209
§ 6-2	控制信號和時序	214

6 電腦原理與結構

§ 6-3 指令與定址方式	219
§ 6-4 算術邏輯單元	224
§ 6-5 並行作業	226
§ 6-5-1 MISD 並行作業	230
§ 6-5-2 SIMD 並行作業	234
§ 6-6 微處理器	237

第七章 微程式設計243

§ 7-1 微指令	243
§ 7-2 微指令長度之簡化	248
§ 7-3 微程式	254
§ 7-4 微程式循序器	263
§ 7-5 微程式控制的電腦結構	267

第八章 輸出入結構.....273

§ 8-1 輸出入作業	273
§ 8-2 記憶直接存取	277
§ 8-3 中斷	281
§ 8-4 串聯界面	287
§ 8-5 並聯界面	296
§ 8-6 通道	306

練習	311
----------	-----

索引	329
----------	-----

第一章 類比(analog)電腦

§ 1.1 數位(digital)和類比電腦的比較

一般通稱的電腦，大都指數位電腦。在數位電腦裡，資料的表示方式，有如算盤的珠子一樣，乃是一種計數設備，由原始資料開始，逐步完成各種運算和處理工作，換言之，資料以數位形式表示，資料的處理，以串聯方式完成。

圖 1-1 為典型的數位電腦結構圖，數位資料由左方送入控制單元，依事先的程式設計，該資料可傳送至記憶單元或算術邏輯單元，以保存該資料或作進一步處理。處理過的資料，也可經由右方的輸出設備輸出，圖中的五個單元合稱硬體(hardware)，以別於軟體(software)，即程式設計等非設備部份。

另一類電腦為類比電腦，資料並非數位形式，而是某種連續的物理量，例如，長度、電壓、角度等。資料在處理時，以並聯方式完成。圖 1-2 裡的線路圖便是類比電腦的連線圖例，與數位電腦迥異。

2 電腦原理與結構

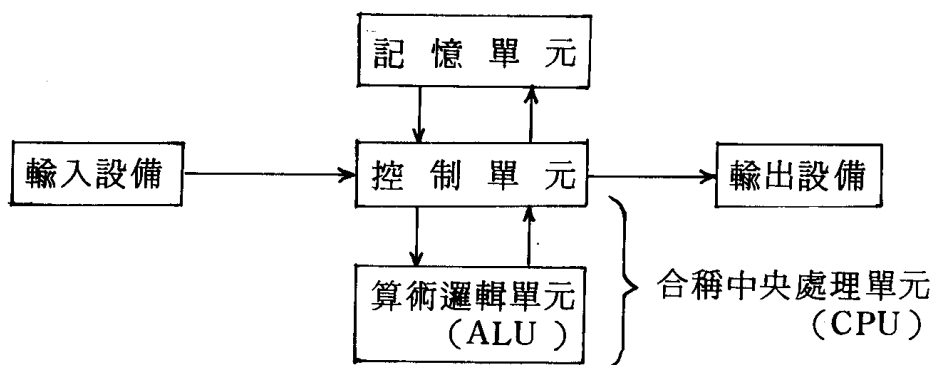


圖 1-1 數位電腦結構概要

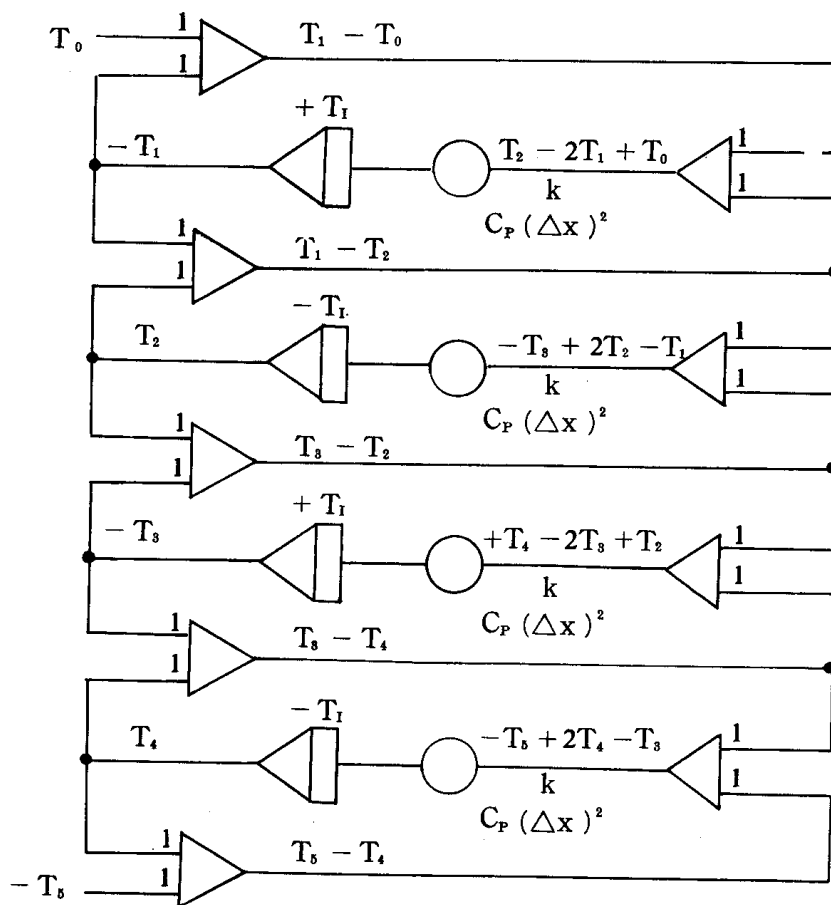


圖 1-2 類比電腦應用例

數位電腦的精確度，理論上來說，並沒有限制，一個十進位計數設備的精確度，如要提高十倍，只需多提供一個基數位置便可。反之，如應用於類比電腦，以一個簡單的計算尺為例，就得把計算尺的長度加長十倍，自然不合乎實際，同時，對於比較複雜的運算，由於應用方式之不同，運算誤差也大受影響。不過在許多工程計算的應用裡，類比電腦均可勝任，而且比較經濟，特別在分析微分方程式的應用上，類比電腦優於數位電腦。

本書從第二章起所要介紹的，都是數位電腦的概念和結構，而本章從下一節起，則要專門介紹類比電腦的基本概念和應用設計。

§ 1.2 類比電腦的構成元件

類比電腦的各種構成元件，都用來執行某種數學運算，可分為線性和非線性兩類。線性者，可執行下面四種運算：

- (1) 乘一個常數。
- (2) 倒相 (invert)。
- (3) 相加。
- (4) 積分。

這四種運算功能已能處理線性微分方程式。

非線性者所處理的數學運算，包括下面三種：

- (1) 變數的乘除。
- (2) 產生某一個函數。
- (3) 基本邏輯運算等。

非線性元件配合線性元件，便可利用類比電腦來模擬較複雜的非線性系統。

4 電腦原理與結構

§ 1-2-1 • 線性元件

§ 1-2-1-1 減壓電阻 (attenuator)

用來取出部份直流電壓，其作用相當於，該直流電壓值乘以一個小於 1 的常數，參圖 1-3，圖裡的減壓電阻，依一般類比電腦的使用情形，分為兩類：接地和非接地方式。減壓電阻的總電阻一般約從 2,000 至 30,000 Ω ，視設計而定。

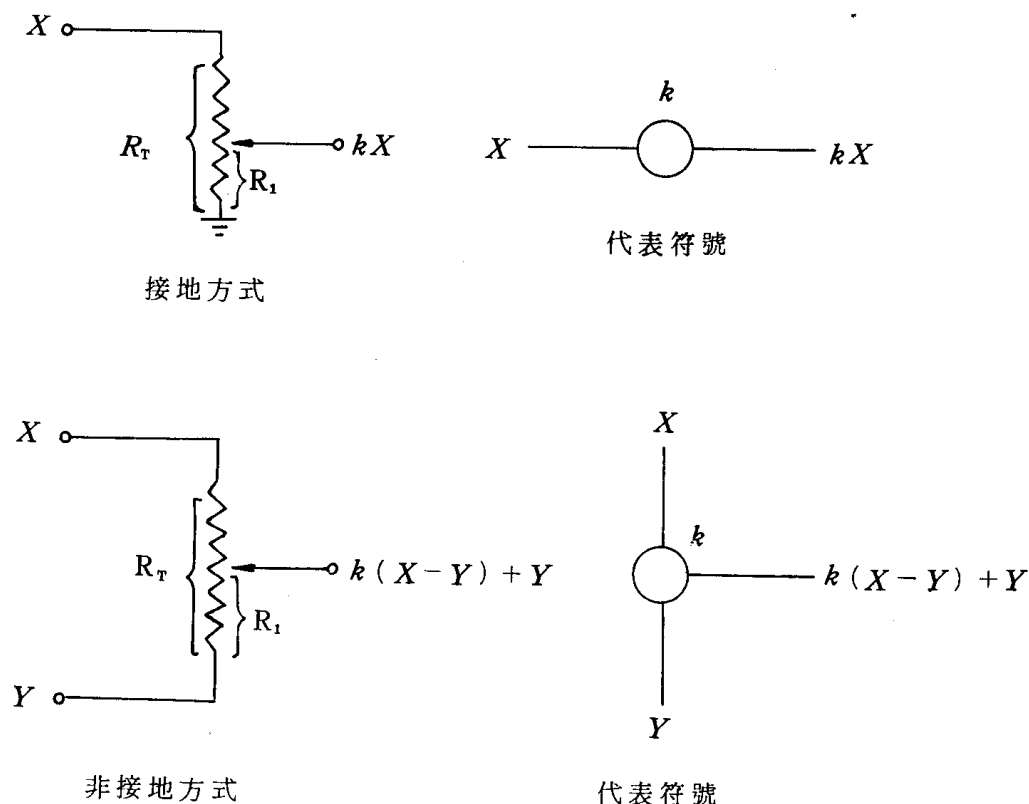


圖 1-3 減壓電阻的使用方式和作用

接地方式的參考電壓為零，所以當分接點的離地電阻調至 R_1 時，分接點的離地電壓等於 kx ， k 為輸入電壓值 X 轉為輸出電壓值時，所乘的倍數，等於 R_1 / R_T ， R_T 為總電阻。

非接地方式的參考電壓 Y 不為零，故輸入端兩個端點的壓差為 $X - Y$ 。分接點對輸入端下端的電壓差為 $k(X - Y)$ ， k 值如前，表示倍數，此壓差係以輸入端下端為參考點，該點的對地電壓為 Y ，故分接點對地的總電壓為 $k(X - Y) + Y$ 。

不論接地或非接地方式，改變分接點的位置，便能改變 k 值，而輸出電壓也跟著改變。一般應用上，一部類比電腦所含的減壓電阻數，約為放大器（容後介紹）的一倍半，其中，約 80% 為接地式。

圖 1-3 裡的減壓電阻都使用於開路狀態，也就是說，分接點並未接上負載，亦即分接點未有電流流出，實際應用時，均接有負載，如圖 1-4，設負載的等值電阻為 R_L ，一般約從 $1K$ 至 $1M\Omega$ ，此時，分接點對參考點的電阻並非單純的 R_1 ，而是 R_1 和 R_L 的並聯值，如下：

$$R_1 \parallel R_L = \frac{R_1 R_L}{R_1 + R_L}$$

故，

$$k = \frac{\frac{R_1 R_L}{R_1 + R_L}}{R_T} = \frac{R_1}{R_T}$$

所以接上負載後，倍數會改變，實際上在調整分接點時，要同時注意分接點電壓表的讀數，以調整至所要的數值。

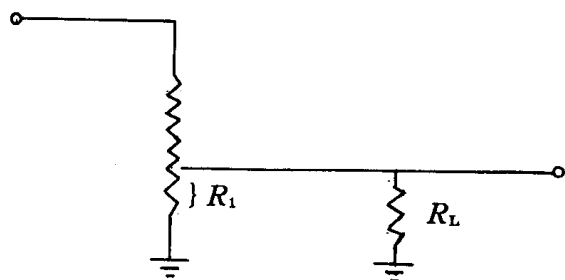


圖 1-4 減壓電阻的分接點接上負載 R_L

§ 1-2-1-2 運算放大器 (Operational amplifier)

運算放大器係類比電腦裡的重要元件，依連接方式之不同，可達成各種線性運算的要求，同時，也可配合特殊線路，以處理非線性運算。分下列數項說明：

1. 乘一個常數

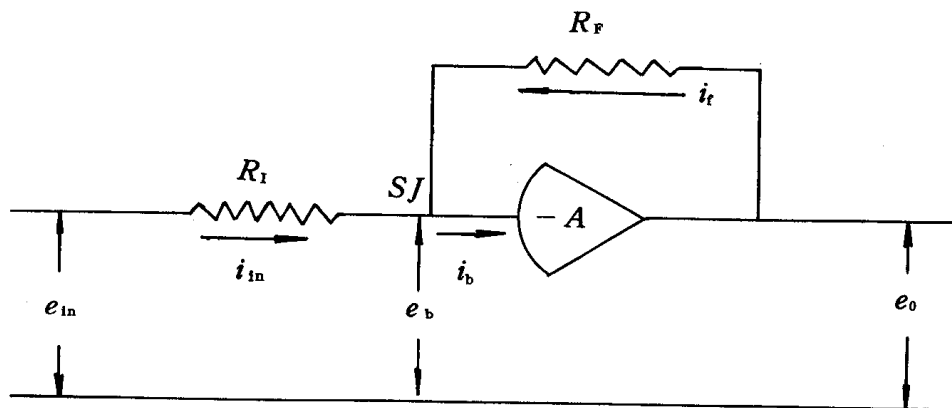


圖 1-5 運算放大器應用例

如圖 1-5，扇形符號表示運算放大器，其內註明 $-A$ ，表示電壓

放大倍數，即 $e_o = -Ae_b$ ， e_o 表示輸出電壓； e_b 則為緊接放大器前端的電壓。以圖中的接線方式，輸入電壓還在 e_b 的更前方，即 e_{in} 。接著要說明 e_o 和 e_{in} 的關係，先從圖中註明 SJ 的那一點開始，流入該點的電流包括 i_{in} 和 i_f ；而流出的電流為 i_b 。根據克希荷夫定律 (Kirchhoff's law)，

$$i_b = i_{in} + i_f$$

又從歐姆定律 (Ohm's law)，電流等於電壓除以電阻，上式改寫如下，

$$i_b = \frac{e_{in} - e_b}{R_I} + \frac{e_o - e_b}{R_F}$$

由於 i_b 值很小，大約 $10^{-9} A$ ，忽略 i_b 後，上式改寫如下，

$$\frac{e_{in} - e_b}{R_I} = - \frac{e_o - e_b}{R_F}$$

$$\frac{e_{in} - \frac{e_o}{-A}}{R_I} = - \frac{e_o - \frac{e_o}{-A}}{R_F}$$

$$e_o = \frac{\frac{-R_F}{R_I} e_{in}}{1 + \frac{1}{A} \left(\frac{R_F}{R_I} + 1 \right)}$$

一般使用情形， $\frac{R_F}{R_I}$ 之值約在 30 以內，而 A 值遠大於 1，直流時約在

10^8 之譜，故上式中分母部份約等於 1。

$$e_o = \frac{-R_F}{R_I} e_{in}$$

即輸出和輸入電壓之間的關係，僅與 R_F 和 R_I 有關，改變其值，便可改變輸出入電壓之間的倍數關係，如下：

$R_F = R_I = R$ ，則 $e_o = -e_{in}$ （倒相關係）

$R_F = 1 M\Omega$ ， $R_I = 0.1 M\Omega$ ，則 $e_o = \frac{-1}{0.1} e_{in} = -10e_{in}$

$R_F = 0.1 M\Omega$ ， $R_I = 1 M\Omega$ ，則 $e_o = -0.1 e_{in}$

2. 相加

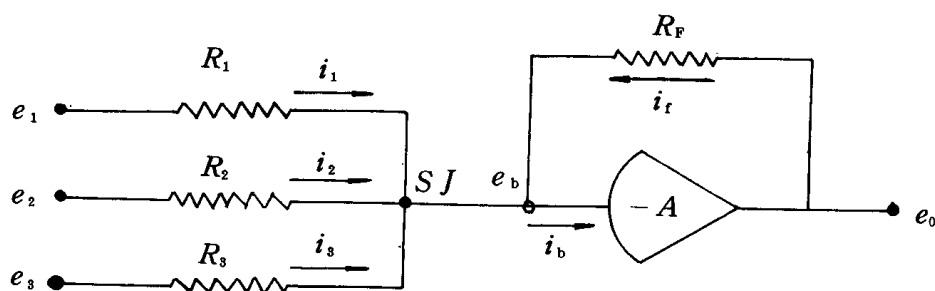


圖 1-6 運算放大器應用例

如圖 1-6，在 SJ 點流入和流出的電流應相同，

$$i_1 + i_2 + i_3 + i_f = i_b$$

$$\frac{e_1 - e_b}{R_1} + \frac{e_2 - e_b}{R_2} + \frac{e_3 - e_b}{R_3} + \frac{e_o - e_b}{R_F} = i_b$$

上式近似於，

$$\frac{e_1}{R_1} + \frac{e_2}{R_2} + \frac{e_3}{R_3} + \frac{e_o}{R_F} = 0$$

$$e_o = - \left(\frac{R_F}{R_1} e_1 + \frac{R_F}{R_2} e_2 + \frac{R_F}{R_3} e_3 \right)$$

上式改寫成一般式，設輸入電壓有N個，

$$e_o = - \left(\frac{R_F}{R_1} e_1 + \frac{R_F}{R_2} e_2 + \cdots + \frac{R_F}{R_N} e_N \right)$$

3. 積分

如圖 1-7，在放大器的兩端跨接一個電容器，其電容為 C ，電容器的電壓和電流關係為，

$$e = \frac{1}{C} \int_0^t i \, dt \quad (\text{不考慮電容器的初值電荷})$$

e 表示電容器兩端的電壓，

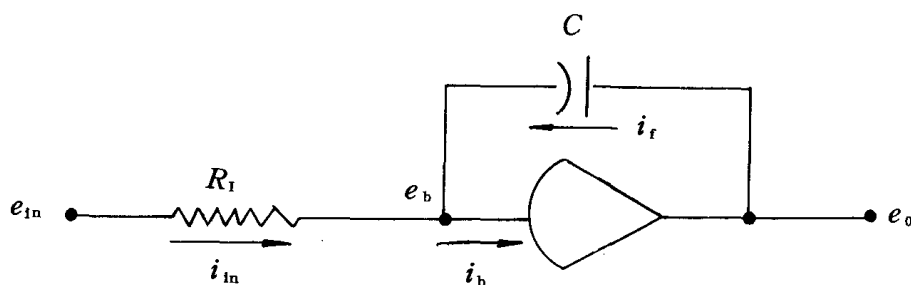


圖 1-7 運算放大器應用例