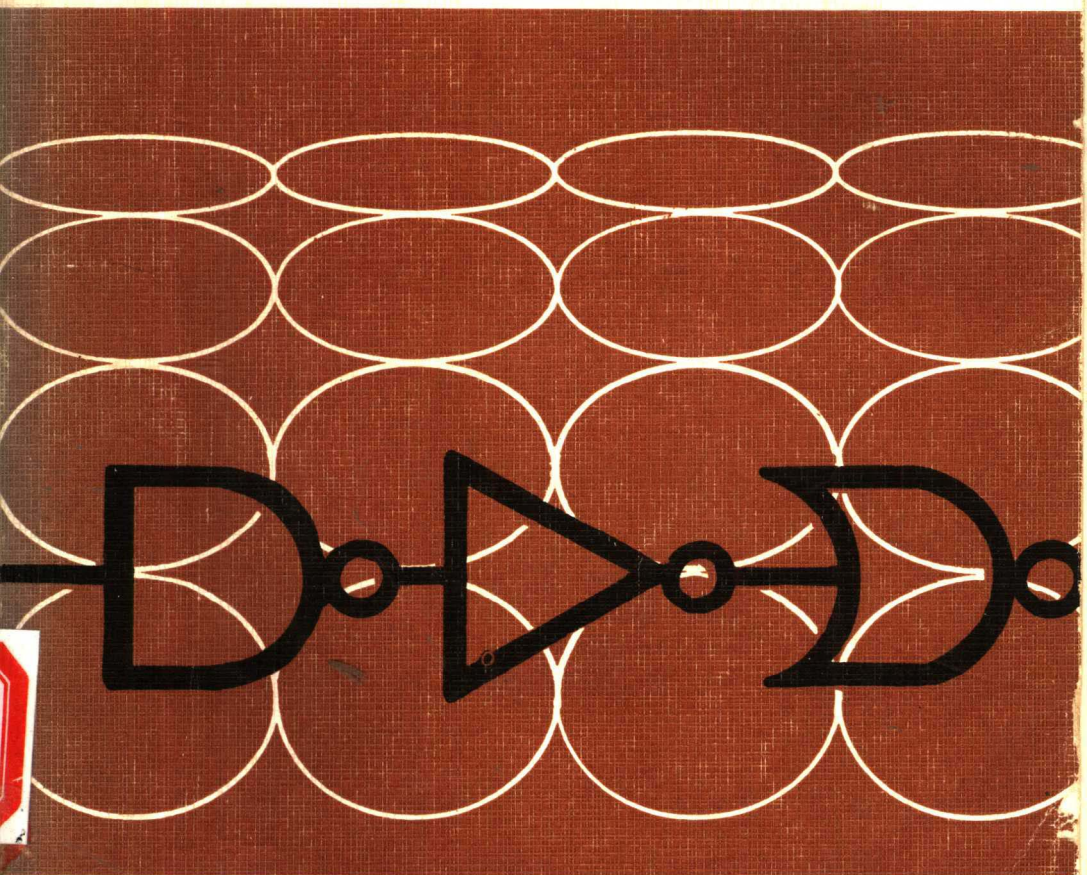


電算機邏輯設計

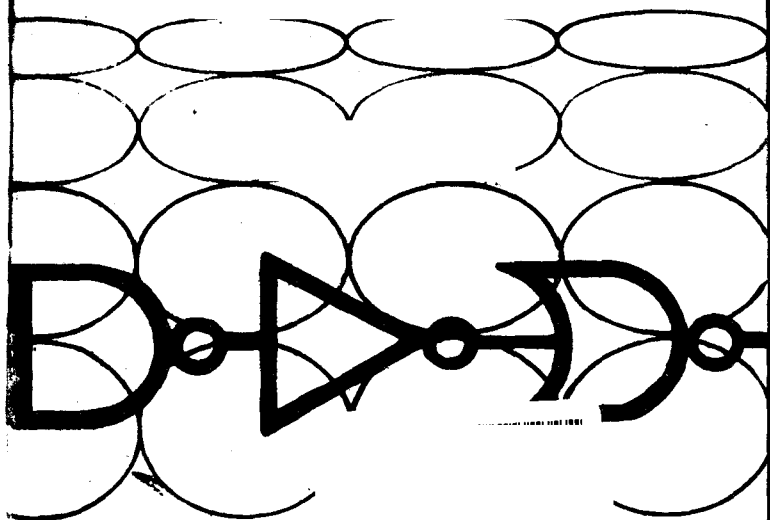
曾萬里 陳駿聲 陳泰成 譯



全華科技圖書公司印行

電算機邏輯設計

曾萬里 陳駿聲 陳泰成 譯



全華科技圖書公司印行



全華圖書 版權所有 翻印必究

局版台業字第0223號

電算機邏輯設計

曾萬里、陳駿聲、陳泰成

編著

出版者 全華科技圖書公司

北市建國北路85巷9號

電話:581-1300-564-1819

發行者 蕭 而 鄭

印刷者 慶福彩色印刷廠

東南亞 港 明 書 店

總經理 香港九龍彌敦道500號2樓

電話:3-302846-3-309095

定 價 新臺幣 160 元

海外定價 港 幣 32 元

初 版 中華民國65年2月

原 著 序

數位系統是一處理分離性資料元 (Discrete elements of information) 的系統。例如數位計算機就是一個很好的例子，邏輯設計，則為數位系統中設計其數位元件與模組 (Module) 如何連接一名詞。

本書的宗旨，即在介紹數位系統分析與設計的基本概念，以及數位系統的結構，使讀者能夠獲得數位系統設計及應用的許多技巧與方法。

目前，許多數位系統均用積體電路 (I.C.) 構成，但是積體電路本身，即由許多元件相互連接，形成某一完整的數位函數。因此，設計邏輯電路時，必須要瞭解這些包裝在一個積體電路中的數位函數。本書亦將對這些函數及其線路作一詳細的分析。

邏輯設計與交換線路理論是兩個相關的研究體系，其實，對數位系統而言，是一體的兩面，均在討論即應線路與循序線路的分析與合成。然而，對於一個複雜的數位系統而言，含有兩種解釋，站在交換線路的立場來說，數位系統可以描述為“狀態” (States) 系統，這種觀點認為在任何時間，數位系統必在系統中許多狀態中的某一時態。系統的行為，就由一態轉至另一態的轉換函數以及它的輸入來決定。例如，數位計算機也可以解釋成一狀態系統，只是數位計算機擁有的狀態太多，很不容易表示出來。若是站

在邏輯設計的立場來說，數位系統可以用記錄器間訊息傳送的情形來定義和表示，這種方法便用來討論計算機中的記錄器，以及各組記錄器間的轉換函數。因此，計算機就被各種記錄器的工作分成許多小單位。本書的第一章至第七章是討論交換电路中的一些實際問題。至於本書與其他交換電路書不同的則在第八章至第十二章，這些章運用記錄器間訊息傳送的方法來描述數位系統。

第一章介紹許多二元性系統，如二進制數，二進制數碼，二元性儲存器以及二元性邏輯等。第二章則介紹布林代數的結構。如何用圖式法與表列法化簡布林代數，則於第三章討論，此三章是本書以後各章的基礎。

第四章介紹即應線路的分析與設計，其中用到許多體積電路具有的功能，如加法器，比較器，解碼器，與多工器作為例子來說明。第五章先討論積體電路，然後再說明 NOR 與 NAND 等邏輯閘的運用技巧。

第六章介紹各種正反器（如 RS，JK，T 和 D 等正反器）的特性，並介紹分析定時性循序電路所需之工具 - 狀態圖、狀態表以及狀態方程式。然後用一些常用的二進制與十進制計數器和記錄器為例子來說明。

第七章介紹定時循序電路的設計，主要是討論線路狀態的設計與簡化。簡化時不用任何運算的方法；直接從狀態表導出正反器輸入端的布林函數，再用圖式簡化。

第八章介紹記錄器訊息傳送作用的表示符號，記憶部份則用記錄器來解釋，並討論其中所存的資料，第九章的前半部討論二進制相加的方法，繼而討論累積器的設計。其他各種累積器的作用，也均一一介紹，以加強讀者對於大型積體電路內的各種累積器所應具備的概念。

第十章講計算機的結構，描述許多一般型的數位系統（亦即可儲存程式的電子計算機）。一般計算機的應用，也用記錄器中訊息的傳送來說明，其他各節則探討一般計算機的重要概念。

第十一章根據一些特定的指令、記錄器以及數位元件相連接的布林函數，來設計簡單的數位計算機，第十二章說明控制邏輯線路的設計以及設計方法的導出。

簡而言之，本書包含下列各主題，第一章介紹二元性系統，第二章至第五章介紹即應線路，第六、七章處理同步循序線路，第八、九章介紹記錄器的概念及其函數，並討論線路之設計。

第十、十一章介紹一般數位系統之結構與設計，第十二章則綜合歸納本書討論過的方法與技巧。書後並附有習題解答，以幫助讀者學習。

本書適用於兩學期的計算機邏輯設計課程，能達到分析數位系統與介紹設計技巧與方法的目的。本書可用於電子工程系或計算機科學系的教本，亦可供工程師及電腦界人士自修邏輯設計之用。

本書各章，亦可挑選作為一學期的課程如：

- ① 以前八章為主，介紹邏輯設計及交換電路為第一學期教材。
- ② 以第八章至第十二章為主，第六、七章為輔，介紹計算機的結構及設計。
- ③ 在計算機科學系中，以第一章至第十章（跳過4，5，7，9，）為教材，介紹計算機之結構。

由於 Eugene Kopp 院長的鼓勵以及 Mrs. Ernestive Wellentein 和 Mrs. Pat Anderson 的打字，作者在此一併致謝，更感謝內人的編輯、鼓勵與支持，使得此書順利完成。

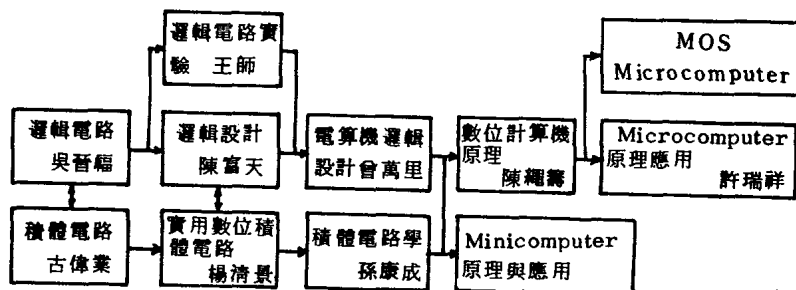
M. MORRIS MANO

編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所將提供給您的，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，且循序漸進。

現在，我們將這本「電算機邏輯設計」呈獻給您，使您能正確了解到電算機邏輯設計的原理和方法。本書的目的，即在介紹數位系統分析與設計的基本概念，以及數位系統的結構，使讀者能夠獲得數位系統設計及應用的許多技巧與方法。本書可用於電子、電機系或計算機科學系計算機邏輯設計課程的教本，亦可供工程師及電腦界人士自修邏輯設計之用。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習有關數位電子計算機系統叢書，我們將全華公司一整套數位電子計算機系列叢書以流程圖方式列之於後，只要您按照順序詳加研讀，除可減少您摸索時間外，更可使您具備有電子計算機方面完整的知識，希望您能善加利用。有關以下各書內容，如您需要更進一步資料時，歡迎來函連繫，我們將可給您滿意的答覆。



11-10-104

電算機邏輯設計

目 錄

第一章 二進位系統

1-1 數位計算機與數位系統.....	1
1-2 二進位數目.....	4
1-3 不同基底數的轉換.....	6
1-4 八進位及十六進位.....	9
1-5 補數.....	10
1-6 二進制碼.....	15
1-7 二進位儲存與記錄器.....	22
1-8 二元性邏輯.....	25
習題.....	29

第二章 布氏代數

2-1 基本定義.....	33
2-2 布氏代數的定義.....	35
2-3 布氏代數的基本理論與性質.....	39
2-4 布氏函數.....	43
2-5 標準形式.....	47
2-6 其他的二元運算符號.....	52
習題.....	54

2 電子計算機邏輯設計

第三章 布氏函數之化簡

3-1 圖示法.....	59
3-2 二個及三個變數圖.....	60
3-3 四變數圖.....	64
3-4 5 或 6 個變數的卡氏圖.....	66
3-5 和項之積的簡化.....	69
3-6 不昧條件.....	72
3-7 列表法.....	74
3-8 必要項的決定.....	74
3-9 必要項的選擇.....	80
3-10 結 論.....	81
習題.....	82

第四章 即應邏輯

4-1 簡 介.....	87
4-2 設計步驟.....	89
4-3 力法器.....	90
4-4 減法器.....	95
4-5 數碼轉換.....	97
4-6 比較器.....	100
4-7 分析步驟.....	103
4-8 解碼器與編碼器.....	108
4-9 多工器與解多工器.....	112
習題.....	115

第五章 閘的應用

5-1 積體線路.....	119
---------------	-----

5-2 數位邏輯閘.....	121
5-3 正邏輯與負邏輯.....	123
5-4 簡化的標準.....	125
5-5 NAND邏輯	128
5-6 NOR LOGIC	139
5-7 其他二層線路的應用.....	144
5-8 互斥或與相當函數.....	150
習題.....	154

第六章 循序邏輯

6-1 概 論.....	161
6-2 正反器.....	163
6-3 正反器的激發.....	170
6-4 定時循序線路分析.....	175
6-5 計數器.....	182
6-6 移位記錄器.....	189
習題.....	193

第七章 定時循序線路的設計

7-1 概 論.....	197
7-2 狀態縮減及指定問題.....	199
7-3 正反器激發表.....	204
7-4 設計程序.....	207
7-5 設計範例.....	213
7-6 計數器的設計.....	225
習題.....	231

第八章 作業及儲存記錄器

4 電子計算機邏輯設計

8-1 記錄器傳輸·····	237
8-2 記錄器的作業·····	241
8-3 記憶單位·····	246
8-4 隨意出入記憶器之範例·····	252
8-5 記錄器裏的資料形式·····	258
習題·····	267

第九章 二進位加法及累積記錄器

9-1 概 論·····	271
9-2 並行加法·····	273
9-3 進位傳輸·····	279
9-4 串續加法運算·····	282
9-5 並行與串續運算·····	285
9-6 基本運算·····	287
9-7 累積器的設計·····	290
9-8 完整的累積器·····	297
9-9 累積器的各種運算·····	300
9-10 結論摘要·····	308
習題·····	310

第十章 計算機結構

10-1 預貯程式的觀念·····	315
10-2 簡單計算機的結構·····	319
10-3 大型電子計算機·····	327
10-4 機器指令的種類·····	337
10-5 字母式·····	347
10-6 使用位址的技巧·····	349
習題·····	356

第十一章 計算機之設計

11-1 概 論	361
11-2 系統結構	362
11-3 機器指令	368
11-4 時序和控制	374
11-5 執行指令	376
11-6 記錄器作業	382
11-7 布氏函數的推算	384
11-8 計算機控制台	388
11-9 結 論	389
習題	391

第十二章 邏輯設計

12-1 引 言	397
12-2 十進位加法器	398
12-3 設計控制邏輯	402
12-4 非同步傳輸	406
12-5 設計演算法	414
12-6 二進位乘法	423
習題	428

1

二進位系統 (BINARY SYSTEMS)

1-1 數位計算機與數位系統 (DIGITAL COMPUTER AND DIGITAL SYSTEM)

數位計算機的發明，使得科學、工業以及商業上有了其他方法所不能尋到的進展，只利用計算機的自動化資料處理，便使得商業企劃更有效率；其他科學上的計算，商業及事務的資料處理，航空管制，教育界等各方面，都是計算運用的範圍。計算機所以能有這樣大能力是因為它具有通用性 (Generality)，它能根據許多指令 (Instructions) 組成的程式 (Program) 來處理給予的數據 (Data)。用戶能夠藉著改寫程式或改變數據，便可符合本身的要求。就因為有這種特性，通用性數位計算機 (General purpose digital computer) 便能夠執行許多不同的資料處理工作。

通用性計算機是數位系統中最明顯的例子，其他尚有電子交換器，數位電壓表，計頻器，計算機器，以及電傳打字機等。數位系統的特性是它能處理分離性的資料元 (discrete element of information)，這種資料

2 電子計算機邏輯設計

元可能是：電脈波（Impulse）、數字、字母、算術運算、穿孔符號，或是任何一組有意義的符號。這些資料元的集合就形成一個消息量（A quantity of information），例如字母 d，o，和 g，就形成 dog 一字，數字 2 3 7 形成一個數目。因此，一序列的資料元就形成具有消息的語言。早期的數位計算機大部分用於數值計算，這時的資料元是數字，由於這種運用，“數位計算機”或是“分離性資料處理系統”這些名詞方被引用。

分離性的資料元在數位系統中，實際上是用電壓或是電流的訊號來代表，目前數位統中所採用的訊號為兩個不同數值的電壓或電流，可稱之為二元性（Binary）訊號，系統設計者所以採用二元訊號的理由是因多值電子電路的可靠性低。換句話說，設計一個具有十態（States），每一態具有一個伏特值的線路是可能的，但是這種線路動作時，可靠性低。相反的，電晶體線路本身就具有“開”與“關”（On and off）兩種特性，因而可以建立一可靠性極高的線路；再者，由於元件（Component）的限制，以及人類邏輯思想趨向於二元性，因此數位系統被限制於處理分離性資料，並且更進一步地被限制於處理二元性的數值。

分離性的消息量可能來自其本身就是分離性的程序（Discrete process），或是來自連續程序（Contineous process）的適當分離化（Quantization），例如；薪資表就是一分離性的程序，包括員工名字、勞保號碼、週薪、所得稅等，而每張支票也根據分離性數據處理，如字母（名字）、數字（薪資）以及特殊符號（\$）等。另一方面，一個做研究的科學家可能在觀察一連續性的程序中，只記下了一些特殊的數據，於是這個科學家便將這連續性的程序分離化，每一個他所表列的數據都成了分離性的資料元。

許多實際系統能藉數學方法用微分方程式來描述，這個以時間為函數的方程式便能完全代表這系統程序的數學行為。類比計算機能夠直接模擬（Simulation）實際的系統，計算機的每一部分類比於研究程序的特定部分。計算機中的變數，通常是隨著時間連續變化的電壓，這些變化的電壓便與新模擬的程序具有相同的行為，因此只須測量類比訊號便可代替實際

的程序，類比訊號又稱為連續訊號，類比計算機便由處理連續變數而得名。

如果用數位計算機來模擬實際的程序，程序中的數量就必須加以分離化。當程序的變化是即時（Real time）的連續訊號，必須藉助類比至數位轉換器來分離訊號，因此，一個能以數學方程式描述其行為的實際系統，在數位計算機中是以數值的方法來模擬的。若處理的問題本來就是分離性的，數值計算機就以變數本來的形式加以處理。

一般用途的類比計算機與數位計算機都有它們的優點，類比計算機適合限定精確度，很快地求得解答，或是變數改變時須重複計算的問題。數位計算機則用於高精確性、分離性資料的處理，邏輯判斷以及控制等需求。將這兩種計算機組合起來，就是所謂的混生式計算機（Hybrid computer），它具有二者的優點，非常適合於系統模擬的研究。

圖 1-1 是小型數位計算機的方塊圖，全機分為五大部分，記憶單元用以儲存程式、輸出入及中間數據，算術單元處理由記憶單元取來的數據，控制單元控制資料在各單元中的傳遞，輸入機從外界接受程式或數據，然後送至記憶單元。輸出機將記憶單元內的數據送出機外。由於輸出入機是一種特殊用途的電動機械，雖由數位線路控制，但在本書中將不予以討論。

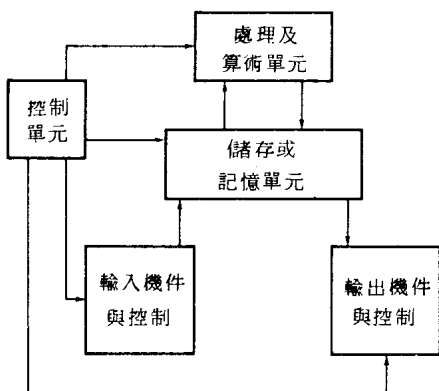


圖 1-1 小型數位計算機之方塊圖。

4 電子計算機邏輯設計

記憶單元的動作特性將在第 8-3 節加以解釋。第 10 章將詳細討論。以控制及處理動作爲觀點的小型數位計算機之結構。大型數位計算機的處理、記憶及控制等單元大致與圖 1-1 相似，只不過大型計算機有許多大幅度的輸出機器，並用特殊的處理機來控制記憶單元與外界元件之間的資料傳遞，這類型的計算機將在第 10-3 節討論。

如前所提數位計算機只處理二元形式的分離性資料元，因此運算的數目必須使用二進位系統表示，其他分離性資料元，包括數字，均用二進位數碼表示。所謂資料處理乃是藉用二元性邏輯元件處理儲存在二元性儲存元件中的資料，本章的目的是介紹一些二元性或二進制的觀念，作爲研究爾後數章的基礎與參考。

1-2 二進位數目 (BINARY NUMBER)

在十進位系統中 7392 代表七個一千，三個一百加上九個十及二個一，所謂的千，百，十等，是指係數所在位置所對應的十之指數幂，換句話說，7392 可以寫成：

$$7 \times 10^3 + 3 \times 10^2 + 9 \times 10^1 + 2 \times 10^0$$

爲了簡化起見，則將十的幂位省去，而以係數的位置序，僅將係數寫出。如果數中含有小數點，一般的表示爲：

$$a_5 a_4 a_3 a_2 a_1 a_0 \cdot a_{-1} a_{-2} a_{-3}$$

係數 a_j 代表 0 到 9 中的任一數字， j 表示係數所在的位置亦即該係數所應相乘的十之指數幂，即：

$$10^5 a_5 + 10^4 a_4 + 10^3 a_3 + 10^2 a_2 + 10^1 a_1 + 10^0 a_0 + 10^{-1} a_{-1} + 10^{-2} a_{-2}$$

由於十進位系統使用 0 到 9 十個數字，而且各係數均須乘以十的指數幂，因此十進位系統又稱爲基底 (Base, radix) 爲 10 的系統。二進位系統是另一種數位系統，採用 0 與 1 兩個數值，每一係數 a_j 應乘 2^j ，例如，二進位數的 11010.11 相當十進位數的 26.75，這可以用係數與其 2

之指數冪表示；

$$1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ = 26.75$$

通常，一數的基底為 r 時，其係數應乘以 r 之指數冪

$$a_n r^n + a_{n-1} r^{n-1} + \cdots + a_2 r^2 + a_1 r^1 + a_0 r^0 + a_{-1} r^{-1} + a_{-2} r^{-2}$$

係數 a_j 為 0 到 $r-1$ 間的任一數字，為區別不同基底的數目，我們將數目用括符括起，而在右下角寫上基底，例如以 5 為基底的數可寫為：

$$(4021.2)_5 = 4 \times 5^3 + 0 \times 5^2 + 2 \times 5^1 + 1 \times 5^0 + 2 \times 5^{-1} \\ = (511.4)_{10}$$

這裏需注意，以 5 為基底的數，只能使用 0 到 4 之間的數字。

當基底小於十時，可以借用 0 到 9 的數字來表示，如果基底大於 10 時，就須使用字母來表示，例如十六進位系統用 A, B, C, D, E, F 來表示十進位的 10, 11, 12, 13, 14, 15，下面是十六進位數化成十進位的例子：

$$(B65F)_{16} = 11 \times 16^3 + 6 \times 16^2 + 5 \times 16 + 15 = (56687)_{10}$$

表 1-1 列出，十進位，二進位，八進位，以及十六進位的前十六個數目。

基底為 r 的數目與十進位數目有相同的運算規則，不同的是；既然基底為 r ，就只有 r 個數字可用，關於這一點，可用二進位的加、減、乘來說明：

被加數：101101 加數 $+ 100111$ 和 1010100	被減數：101101 減數 $- 100111$ 差 000110	被乘數：1011 乘數 $\times 101$ 1011 0000 1011 積 110111
---	--	---

加法與十進位相同，只是在二進位中只能用 0 與 1 兩個數字，因此當加後所得的數大於 1 時，就必須進位，減法雖較為複雜，但規則仍與十進位