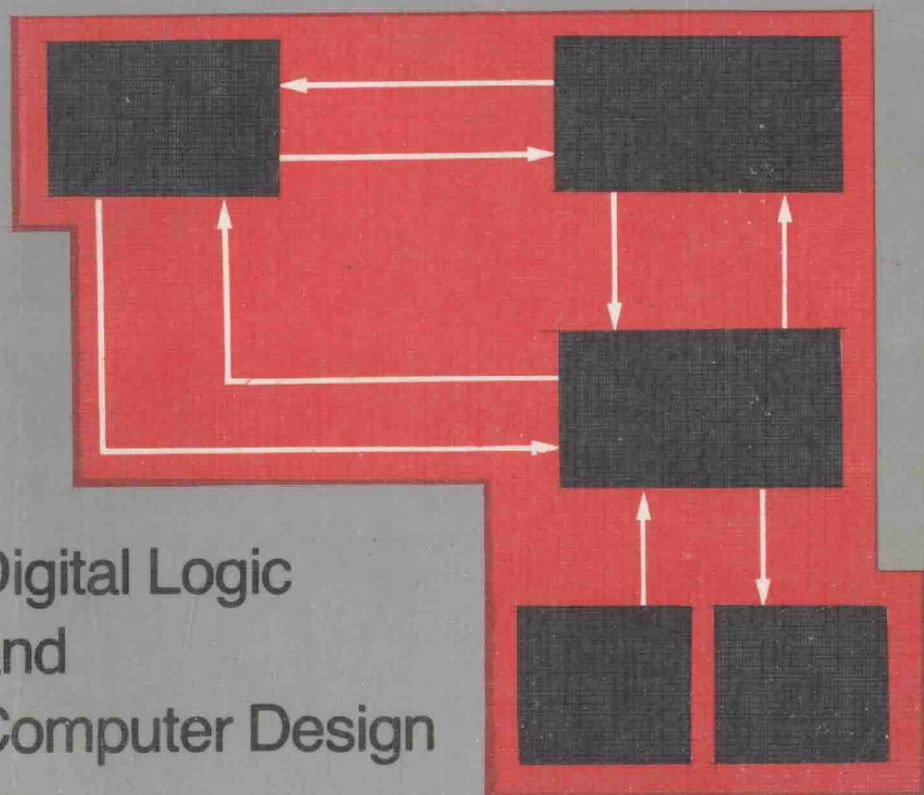


M. MORRIS MANO

數位邏輯及計算機設計

林金榮 ■ 陳春松 ■ 鄧嚴勇
合譯



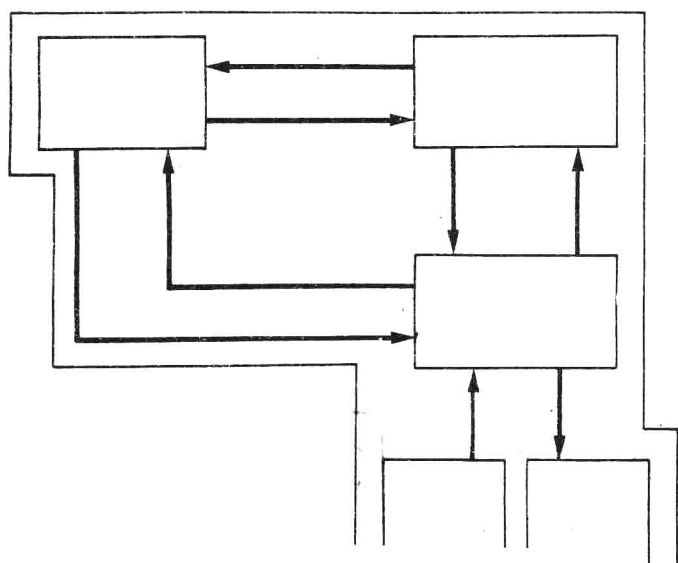
雲陽出版社印行

M. MORRIS MANO

數位邏輯及計算機設計

林金榮 ■ 陳春松 ■ 鄧嚴勇

合譯



雲陽出版社印行

版權所有 翻印必究

數位邏輯及計算機設計

C005A S008A

127

作者 林金榮 陳春松 鄧嚴勇
出版者 雲陽出版社
台北市光復南路17巷46號
台北郵政信箱36-60
7629705 7610482
登記證局版台業字第0908號
發行人 陳文夏
台北市光復南路17巷46號
7629705 7610482
印刷者 達利印刷廠
台北市東園街260巷25號
3071088
基 價 平裝 伍圓 精裝 陸圓
版 次 中華民國72年10月初版

學校及團體用書請向本社直接洽購

原 序

數位邏輯是與數位元件跟模式聯繫之間有關者，亦用來設計及分析數位系統。數位系統之最佳例子為普通目的數位計算機。本書所述為數位系統之設計與分析的基本概念，並介紹數位計算之結構與設計的原理，以供應各種不同的方法與技巧於各類數位系統設計來應用。它包括從電子閘門線路到微算機系統之複雜結構的所有觀念。

第一章到第六章用古典的觀點來展示數位邏輯設計的技巧。布氏代數與真值表被用來分析與設計組合線路及狀態過渡，和分析並設計順序線路。第七章到第十二章由記錄器傳送的觀點來展示數位系統的設計方法。數位系統被分解為記錄器副單元，且系統用描述信號存於記錄器中的操作傳送之一列記錄器傳送敘述來指定。記錄器傳送用來分析並設計處理單元、控制單元、計算機中央處理器及描述微處理器與微算機之操作。第十三章是有關於數位線路的電子電路，及展示共同 *IC* 數位邏輯家族。

用來構成數位系統的元件是以 *IC* 的型式來製造。*IC* 為在一單獨小包裝內包含許多數量之元件的連接。中量 *IC* (*MSI*) 裝置能供應數位函數，而大量 *IC* (*LSI*) 裝置則可供應完整的計算機模式。邏輯設計者對在 *IC* 中所遭遇的各種不同之元件的熟悉是很重要的。由此理由，許多 *MSI* 與 *LSI* 線路在本書中完整地介紹，且詳細地解釋其邏輯函數。在數位系統之設計中，*IC* 的使用是以書中及習題中的例子來說明。

第一章展示適於代表數位元件內信號之各種的二進系統。二進數目系統將被解釋，且二進碼將被舉例，以顯示十進制及字母數信號的代表法。二進邏輯在往後之正式定義布氏代數前，將用直覺的

2 序

觀點來介紹。

布氏代數之基本觀念與定律將在第二章中可發現。布氏代數與其被連接的等效閘門間的相互關係，將會被特別強調。對兩變數的所有可能的邏輯運算將被調查及形成，最有用的邏輯閘亦被導出。在 *IC* 中有效的數位閘之特性，在此章稍為敘述，但在最後一章會有更詳細的分析。

第三章供應圖示與列表法簡化布氏代數。圖示法是用來簡化由 *AND*, *OR*, *NAND*, *NOR* 及線的邏輯閘所組成的數位線路。各種不同的簡化手續將被結論為圖數型式，而參考亦較便利。

對組合線的設計與分析程序在第四章中供應。有些用在數位系統之設計中的元件，如加法器與碼變換器，在設計與分析的例子中被介紹。本章調查使用多層 *NAND* 與 *NOR* 組合線路之可能的執行。

第五章處理組合邏輯 *MSI* 與 *LSI* 元件。常使用的函數，如並聯加法器、解碼器及 *MUX* 都將被解釋，且其在設計組合線路的使用中將用例子來說明。只讀記憶 (*ROM*) 及可設程式邏輯排列 (*PLA*) 都將被介紹，且其於複雜組合線路之設計中的用處亦將被證明。

第六章大略為設計與分析定時順時線路的各種方法。本章由展示不同型式的正反器及其觸發型式而開始。狀態圖、狀態表及狀態方程式將被顯示，為分析組合線路之較方便的工具。設計方法展示傳送順序線路到指定輸入邏輯至線路正反器的布氏函數上。輸入布氏函數可由激勵表導出，並用圖示法來化解。

在第七章中，記錄器的種類、移位記錄器及計數器都將被提到。隨意出入記憶 (*RAM*) 亦會被解釋到。在本章所介紹的數位功能為構成更複雜之數位系統的基本方塊。

第八章為描述數位系統而介紹記錄器傳送法。它展示如何以符號型式來表達數位系統之記錄器間的操作順序。符號為相互記錄器傳送、算術邏輯與移位微運算而定義。存在計算機記錄器之不同資料的型式亦詳細地包含在內。有些典型例子被用來顯示，計算機指令如何以二進碼來代表。此章亦包括設計極簡單的計算機，以證明

數位系統統計的記錄器傳送法。

第九章是有關於數位計算機之處理單元者。它討論以共線或括聲增墊記憶來構成一處理單元的另一種方法。一典型的算術邏輯單元 (ALU) 將被展示，且設計任一別的 ALU 結構之方法亦將發展。在處理器內別的元件，如移位器與狀態記錄器亦被展示。設計一普通目的之累積記錄器亦包括在內，此由一組記錄器傳送操作的指定開始，而在邏輯圖中終止。

控制邏輯之設計的四種方法在第十章中介紹。其中有兩方法為硬線控制構成。另外兩別的方法，將介紹微程式及如何用一 PLA 來設計控制器。四個方法都將用例子來證明，其可展示程式圖設計之發展，及為系統得到控制線路的手續。最後一節介紹 LSI 微程式順序器，並展示其能用來設計一微程式控制單元。

第十一章為小型數位計算機的設計。在計算機內的記錄器被定義，且一套計算機指令被指定。計算機描述是用記錄器傳送陳述來正比化，其可指定記錄器間的微運算，及起動微運算的控制函數。然後它再展示可用來設計計算機之處理器部份的一套微運算。

第十二章注目於形成一微算機系統的各種 LSI 元件。典型處理器之結構將被描述，且其內部運算亦被解釋。一套典型的指令將被展示，且各種的位址型式亦被解釋。堆疊之操作及副程式之處理與中止，將由硬體的觀點被包括在內。此章亦舉例說明由記憶片到一微處理器共線系統之連接。

第十三章以七種 IC 邏輯家族來詳細說明基本閘的電子電路。此最後一章可視為附錄亦可視需要而被略去。第十三章假設各位已得知前述各章之基本電路，但並不指定那是必須具備的

每一章包括一套習題及一系列參考書目。有選擇地解答可在附錄中發現，以幫助讀者去了解。

本書適合電子工程或計算機工程科系數位邏輯及計算機設計之課程使用。而亦可供計算機科系使用在計算機結構課程上。本書的各部份可用各種方式來使用。(1)在數位邏輯或交換線路之課程上，為由第一到第七章，可能的話亦可包括第十三章；(2)在數位計算機

4 序

邏輯之基本交換線路的必須先修課程上，可包含第五章與第七至第十二章；(3)作為微處理機之硬體介紹上，可包括第八章至第十二章。

最後，我要表達對 *Dr. John L.* 再校對本書原稿與 *Victor Payse* 教授對本書的若干修正之謝意。大部份的打字是由 *Lucy Albert* 以其熟練的技術完成。最後更要感激內人的鼓勵與各項建議。

M. MORRIS MANO

目 錄

第一章 二進位系統

1—1	數位計算機與系統.....	1
1—2	二進位數目.....	4
1—3	數根的轉換.....	7
1—4	八進制和十六進制數目.....	9
1—5	補數.....	10
1—6	二進制碼.....	16
1—7	二進制儲存與暫存器.....	23
1—8	二進制邏輯.....	26
1—9	積體電路.....	30
	習題.....	32

第二章 布林代數

2—1	基本定義.....	37
2—2	布林代數的定義.....	39
2—3	布林代數的基本理論和性質.....	42
2—4	布林函數.....	46
2—5	標準形式.....	51
2—6	其他的運算符號.....	57
2—7	數位邏輯閘.....	59
2—8	IC 數位邏輯家族.....	63
	習題.....	70

第三章 布林函數的化簡

3—1	圖示法.....	75
3—2	二個及三個變數圖.....	76
3—3	四變數圖.....	81
3—4	5 與 6 變數的卡式圖.....	83
3—5	和之積的化簡.....	86
3—6	<i>NAND</i> 與 <i>NOR</i> 的應用.....	89
3—7	其他兩層電路的應用.....	96
3—8	不睬條件.....	101
3—9	列表法.....	103
3—10	必要項的決定.....	104
3—11	必要項的選擇.....	109
3—12	結論.....	111
	習題.....	113

第四章 組合邏輯

4—1	簡介.....	119
4—2	設計步驟.....	120
4—3	加法器.....	121
4—4	減法器.....	126
4—5	數碼轉換.....	129
4—6	分析程序.....	132
4—7	多層反及 (<i>NAND</i>) 閘線路.....	135
4—8	多層 <i>NOR</i> 閘線路.....	143
4—9	互斥或與相等函數.....	147
	習題.....	152

第五章 *MSI* 與 *LSI* 的組合邏輯

5—1	概論.....	157
-----	---------	-----

5—2	二進位並聯加法器	158
5—3	二進位加法器	164
5—4	大小比較器	167
5—5	解碼器	170
5—6	多工器	178
5—7	僅讀記憶器	184
5—8	可用程式規劃的邏輯排列	192
5—9	結論	198
	習題	199

第六章 順序邏輯

6—1	簡介	205
6—2	正反器	207
6—3	正反器的激發	214
6—4	定時順序電路的分析	222
6—5	狀態的縮減和指定	229
6—6	正反器激發表	235
6—7	設計程序	239
6—8	計數器的設計	249
6—9	以狀態方程式設計	252
	習題	258

第七章 記錄器，計數器和記憶單元

7—1	簡介	265
7—2	記錄器	266
7—3	移位記錄器	273
7—4	漣波計數器	281
7—5	同步計數器	286
7—6	時序順序	294
7—7	記憶單元	300

4 目 錄

7—8 隨意出入記憶器之範例.....	306
習題.....	313

第八章 記錄器轉移邏輯

8—1 概論.....	317
8—2 內部記錄器轉移.....	320
8—3 算術、邏輯與移位的微運算.....	329
8—4 有條件控制的指述.....	334
8—5 定點 (<i>FIXED-POINT</i>) 二進位數據	335
8—6 溢位.....	340
8—7 算術的移位.....	342
8—8 十進位數據.....	344
8—9 浮點 (<i>FLOATING-POINT</i>) 數據	346
8—10 非數字的數據.....	349
8—11 指令碼.....	354
8—12 簡單計算機的設計.....	359
習題.....	367

第九章 處理機之邏輯設計

9—1 簡介.....	375
9—2 處理器之結構.....	377
9—3 算術邏輯單元.....	385
9—4 算術線路的設計.....	386
9—5 邏輯線路的設計.....	394
9—6 算術邏輯單元的設計.....	397
9—7 狀態記錄器.....	400
9—8 移位器的設計.....	404
9—9 處理單元.....	405
9—10 累積器的設計.....	411
習題.....	422

第十章 控制邏輯設計

10—1	緒論.....	429
10—2	控制結構.....	432
10—3	硬體線結控制——例子 1	438
10—4	微程式控制.....	448
10—5	處理單元之控制.....	454
10—6	例子 2 —— 硬體線結控制.....	459
10—7	PLA 控制.....	468
10—8	微程式順序器.....	471
	習題.....	479

第十一章 計算機的設計

11—1	概論.....	485
11—2	系統結構.....	486
11—3	計算機指令.....	491
11—4	時序和控制.....	498
11—5	指令的執行.....	500
11—6	記錄器的設計.....	506
11—7	控制的設計.....	511
11—8	計算機控制台.....	521
	習題.....	522

第十二章 微算機系統的設計

12—1	概論.....	527
12—2	微算機的結構.....	530
12—3	微處理機的結構.....	534
12—4	指令和尋址模式.....	543
12—5	堆疊 (STACK), 副程式 (SUBROUTINES) 和中斷 (INTERRUPT)	552

6 目 錄

12—6	記憶器的結構.....	562
12—7	輸入輸出介面 (<i>I/O INTERFACE</i>).....	566
12—8	直接出入記憶器 (<i>DMA</i>)	578
	習題.....	583

第十三章 數位積體電路

13—1	緒論.....	589
13—2	雙極電晶體特性.....	592
13—3	<i>RTL</i> 及 <i>DTL</i> 線路.....	596
13—4	積體射入邏輯 (I^2L)	600
13—5	電晶體-電晶體邏輯 (<i>TTL</i>)	602
13—6	射極交連邏輯 (<i>ECL</i>)	613
13—7	金屬氧化物半導體 (<i>MOS</i>)	616
13—8	互補 <i>MOS</i> (<i>CMOS</i>)	620
	習題.....	623

附錄

雙部份習題的答案.....	625
---------------	-----

索引

第一章

二進位系統

1—1 數位計算機與系統

數位計算機造成了在科學上、工業上和商業上除了它以外所無法到達的境界。太空計劃若無即時（*realtime*）數位計算機不斷地監督，則將不可能完成，而許多商業企劃僅在自動資料處理的輔助之下，才更有效。計算機可用在科學上的計算、商業資料的處理，飛行控制及空中導航和教育上，等多種的用途。大部份計算機都具有通用性，它能隨著稱為程式的一長串指令（*instruction*）來處理所給予的資料，而使用者可根據特定的用途來設定或更改程式及資料，由於這使用上具有如此的彈性，使得通用性（*general purpose*）計算機能執行各種不同種顯明資料處理工作。

通用性數位計算機是所知的數位系統中最有名的例子，別的例子包括電話交換開關、數位電壓表、計頻器、計算的機器和電傳打字機。數位系統的特性是它能處理分離性的資料成份，分離成份如電脈衝、十進制數、英文字母、算術運算、標點符號或任一套有意義的符號。並排的分離成份可代表一訊號的大小及意義：如 *d*、*o*、*g* 三個字母構成一個字 *dog*，237 的數構成一數目。因此一串分離的成份形成一種語言而可傳達消息，早期的數位計算機多用來

作數的計算，如此所使用分離成份即是數位（*digit*），由於這種應用，故出現數位計算機這一名詞，而它另一個更適當的名稱應該是“分離資料處理系統”。

資訊的分開成份在數位系統中是由一稱為訊號（*signals*）的物理量來表示，最普通的電子訊號例如電壓和電流在現代的電子數位系統只有兩個稱為二進制的分開值。由於可分多值的電子電路可靠性較低，使得數位系統設計者限制二進制信號的使用，換句話說，一個有十種狀態的電路，用一分開電壓值來代表每一狀態，雖然仍可設計，但在工作時其可靠性卻極低，相反地，一電晶體電路不是通（*on*）就是截止（*off*）兩種信號值，卻有極高的可靠性。由於元體上物理性的限制，且因人們對邏輯趨向於二進制，數位系統被迫使用分開值更甚者，只限於用二進值。

資料的分開量是從處理上自然地出現或也可能是從一連續處理中有意地使其量化。例如，薪金表是一固定的分立處理包括員工姓名、勞保號碼、週薪、所得稅等等。一員工薪水的校對是用一分開資料值來處理，如字母中的字母（姓名）、數字（薪金）和\$等特殊符號，也就是說，一位科學研究者，可能要觀察全部處理過程，但只把特定的部份記錄成一表格，於是這位科學家使他的連續性資料量化。在他表格內的每一數目就是一資訊的分立成份。

許多實際系統可用微分方程的數學式來描述，而它的解則是完成此數學行為處理之時間的函數。一類比計算機則直接執行實際系統的模擬（*simulation*），其每一部份都是類比於研究系統內的某特定部份，類比計算機中的變數通常由隨時間連續性變化的電壓信號來表示。信號變數在常處理時常被考慮為類比性的，而它們具有相同的行為因此類比電壓的測量可被處理的變數代替。類比信號有時被連續性信號這一名詞代替，因為類比計算機即表示一計算機是操作著連續性變數的。

要在數位計算機內模擬一實際程序，其數量必須被量化，當處理上的變數被即時連續信號所代表，後者即是由類比到數位變換裝置所量化。一物理系統之行為可藉數字方法在數位計算機內以模擬

的數學方程式來描敘。當一問題被處理時便自然地被分開來，而商業上的應用，計算機則仍照其本來之變數式樣來操作。

圖 1-1 中是數位計算機的方塊圖，記憶單元儲存程式和輸入、輸出及介入之資料。處理單元執行程式所指定的算術運算和其他的資料處理之工作。控制單元則監督資訊在不同的單元間之處理流程，且一個一個地從記憶單元內所儲存的程式中取出指令，然後照著指令所指定的運算去通知處理單元工作。程式及資料都是存在記憶單元內。控制單元監督程式指令而處理單元操作程式所指定的資料。

程式和資料由使用者以打卡讀機或電傳打字機等輸入裝置而傳送到記憶單元。輸出裝置如印字機 (*printer*) 可收到運算的結果並將印出給使用者。輸入和輸出裝置是一由電機部份所起動並由電子數位電路來控制。一掌上計算機 (*calculator*) 之輸入裝置為一鍵盤而輸出裝置則是數字顯示故和數位計算機極相似。指令如加法、減法等藉著功用鍵進入掌上計算機而資料則經數字鍵進入，結果亦直接以數示型式顯示。有些掌上計算機可以具有印出能力及可設程式設備和數位計算機極為相同，當然，數位計算機仍是較掌上計算機更為有用。它可容納許多輸入輸出裝置，其不僅能作算術運算更能作邏輯運作和根據內在，外內情況預設程式去作許多決定。

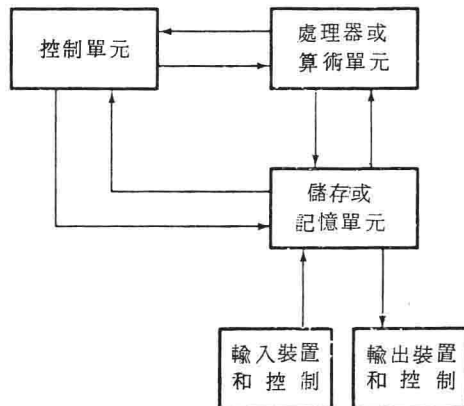


圖 1-1 數位計算機之方塊圖

一數位計算機是連接許多個數位單位而成，而要瞭解每一數位單元之運算必須先具有數位系統及其原理之基本常識。本書前一半之篇幅都在說明一般性數位系統之原理而後一半在說明其運算和設計。記憶單元運算操作之特性將在第七章說明。而處理單元之結構和設計則在第九章詳述。關於控制單元不同的設計法要在第十章介紹。至於第十一章則簡介小型數位計算機的結構與設計。

一個處理器和控制單元連接即可組成一中央處理單元 (*central processor unit* 簡稱 *CUP*)，*CUP* 如果包裝在一個很小的積體電路內稱為微處理器 (*microprocessor*)。記憶單元可控制微處理器和輸入、輸出裝置間的介面接讀，其可包含在微處理裝置內或別的積體電路包裝內亦同樣可以有有效的應用，一個 *CPU* 和記憶器及介面控制可組合成一小型計算機，稱為微算機 (*microcomputer*)，微算機元件的發展促成數位設計的一大進步，可使設計者自由地去創設結構而不會有太大花費。而微算機系統的各種不同元件我們將在第十二章再來介紹。

運算用的運算子 (*operand*) 和數位計算機一樣可用二進制系統來表示。其它任何分開成份包括十進制數亦以二進制碼來表示，其數量存於二進制儲存元件內。本章之目的在於介紹不同的二進制觀念。

1—2 二進位數目

一十進制數如 7392 代表 7 個一千加上 3 個一百加 9 個十加 2 個 1，這千、百等等，都是 10 的次冪，說得更正確些，7392 可以寫成下面這式子：

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

一般說來，一數目用十進制可用一連串的係數來表示如下面式子：

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