

数位系统设计

麦松梅 著

5

本書遵照教育部頒佈最新專科學校課程標準編輯之

數位系統設計

編著者

麥松梅

興業圖書股份有限公司 印行

編輯說明

一、本書是數位系統的第三部份，數位系統包括：

- (1)組合邏輯
- (2)序向邏輯
- (3)系統設計
- (4)週邊機件

二 本書的內容是根據教育部65年所頒定的專科課程標準“數位系統設計”內容編輯而成，但由於電子工業進展的神速。原教育部所頒定的標準，已有很多不合時宜處，在此種情形下，著者另加新資料補充之。

三、本書的取材，力求新穎，所參考的資料，大都來自國科會資料中心及世界各大電子公司如TI，MOTOROLA，SONY，NATIONAL，RCA，SIGNETIC等所提供的資料手冊，故本書所參考的資料大都是1978及1979的第一手資料。本書所參考各出名雜誌的論文，超過130篇；所參考的資料手冊，超過50種，至於坊間出版有關數位電路的書籍，只要有特色的資料，有者概不漏失，搜羅俱全。

四、本書大多數的設計例題，尤其是第七章的次系統設計例題，都是著者親自設計製作完成，並經使用後，證明效果良好，有關此等電路的論文，亦都在雜誌，如中國工程師協會的“工程”月刊等發表過。故本書的設計例題，決不是著者憑空幻想，亦不是信手亂抄而得。

五、本書的完成，承蒙廖毅，洪麟及劉良俊諸老師的協助，才能順利完成，在此一併誌謝。

本書摘要

- 一、本書共分七章，第一章是基本認識；第二章是感測器與換能器；第三章是數位變類比，類比變數位電路；第四章是積體電路的應用，第五章是時序電路與脈衝，第六章是常用大型及中型積體電路的設計，最後一章，第七章是次系統的設計。
- 二、第一章主要是介紹各種數碼的特性及用途，如用在數字運算的超3數碼及2, 4, 2, 1數碼等的運用特性。用在自動控制偵察位置的格雷(Gray)數碼及循環(cyclic)數碼的運用特性。用在偵誤及改誤電路的5—出—2(2—out—of—5)數碼及海明(Hamming)數碼的運用特性，最後再談到數位系統設計的特性及基本要求。
- 三、第二章主要是介紹各種感察器(sensing)及換能器(Transducer)的功用及特性。所介紹的感察器及換能器偵察範圍包括：

煙霧

氣體

距離

厚度

速度

溫度

流速

液面

壓力

加速度

光線

化學特性(如PH值, 熱傳導等)

射線(如 x , α , β , γ 及中子射線等)

電流

電壓

濕度

並且，所介紹的偵察各種物理現象的方法，都是最新者，例如，我們利用雷射光照射在導電物體鄰近的鉛玻璃，利用其反射線的偏轉角度，即可遙測電流的大小。

四、第三章介紹數位變類比及類比變數位的方法，此章除了討論一般書本所提及的數位變類比及類比變數位的一般方法外，還提及如何利用現成的 V/F （電壓變頻率）及 V/T （電壓變週期）積體電路來完成類比變數位的最新方法，如何將非線性的類比信號變成線性數位信號的方法，最後再談及如何用大型的積體電路來完成類比變數位的最簡單的方法。

五、第四章介紹積體電路的特性及其運用方法，主要的介紹各種積體電路，如CMOS，NMOS，PMOS，TTL，ECL及IIL等的運用特性，如輸入輸出的邏輯準位，電流的大小，開路集極及汲極的運用，三狀態電路的運用，各種不同積體電路間的連結方式，EIA介面的連結標準等等。

六、第五章介紹時序脈衝的產生方法，包括單穩態及雙穩態時序（Clock）脈波的產生方式。同時介紹如何使用計數器，比例乘法器（Rate multiplexer），計時器（Timer）做脈波除頻之用。亦介紹如何用單穩態裝置，史密特電路，運算放大器及鎖相器（phase Lock Loop，簡稱PLL）作為脈衝倍頻之用。最後再討論將一般不適合數位系統要求的脈衝，經過放大，整形及濾波後，再送到數位系統的基本方法。

七、第六章介紹中型及大型積體電路的運用特性，如何利用中型及大型的積體電路來完成一個邏輯式，如何選擇最適當的積體電路來完成數位電路的設計，所介紹的中型及大型積體電路，主要包括：

複合器

分解器

RAM

ROM

EPROM

P L A

電視遊樂器

八、第七章介紹次系統的設計，亦即是一般簡單數位系統的設計，包括：

N 個脈衝產生器的設計

鍵盤電路的設計

顯示電路的設計

數字尺的設計

開關數目指示器的設計

低頻頻率計的設計

對時電子鐘的設計

自動拍賣機的設計

最後五種電路，是著者由以前所設計的電路，節錄部份內容而成，每種電路皆經試用一段時間，證明效果良好。

目 錄

第一章 基本認識	1
1-1 導言	1
1-2 數位系統設計步驟與趨向	2
1-3 數的表示方法	3
1-4 數碼	9
1-5 數量化	23
1-6 數位系統設計的基本方法	29
1-7 數位系統設計的極終目標	31
第二章 感應器與換能器	33
2-1 導言	33
2-2 運動或移動感測器	33
2-3 力之感測器	47
2-4 流體感測器	53
2-5 溫度感測器	62
2-6 煙霧感測器	69
2-7 濕度感測器	71
2-8 光線感測器	74
2-9 X—射線感測器	79
2-10 核子輻射感測器	80
2-11 厚度感測器	81
2-12 密度感測器	86
2-13 化學感測器	86
2-14 電壓及電流的測量	88
第三章 D/A 和A/D 轉換	92
3-0 緒論	92
3-1 衡量電阻D/A轉換器	92
3-2 R—2R 梯型D/A轉換器	96

3-3	D/A轉換器之電子開關	100
3-4	電流推動之D/A轉換器	101
3-5	反向梯型D/A轉換器	104
3-6	多工制D/A轉換器	107
3-7	D/A轉換器之輸入、輸出規格	108
3-8	D/A轉換器之規格	111
3-9	A/D轉換器—並聯比較法	113
3-10	連續近似法A/D轉換器	117
3-11	計數式A/D轉換器	121
3-12	雙斜率轉換器	125
3-13	各型A/D轉換器之比較	127
3-14	利用V/F作為A/D	127
3-15	利用V/t電路之A/D轉換器	131
3-16	大型積體電路之A/D轉換器	132
3-17	A/D轉換器規格	135
3-18	非線性類比—數位信號的轉換	136
第四章	積體電路的應用	152
4-1	序論	152
4-2	TTL族的電路特性	153
4-3	TTL族在使用時應注意的事項	160
4-4	MOS族的電路特性	164
4-5	MOS族在使用時應注意的事項	175
4-6	其他積體電路族的特性	178
4-7	各類積體電路的特色	186
4-8	同類間積體電路的連結	188
4-9	不同類積體電路間的連結方式	198
4-10	二極體，電容與電阻的聯合運用	205
4-11	積體電路與外界的連結	209
4-12	FIA RS232-C; RS422及GPIB	215
4-13	三狀態積體電路的應用	220

第五章	時序電路與脈衝	224
5-0	緒論	224
5-1	單穩態電路	224
5-2	雙穩態電路	231
5-3	除頻電路	239
5-4	倍頻電路	257
5-5	輸入信號的放大，濾波與整形	269
第六章	常用中型與大型積體電路的設計	279
6-0	大型積體電路及中型積體電路之設計	279
6-1	複合器的應用	279
6-2	解碼器／分解器	289
6-3	類比開關複合器／分解器	295
6-4	其他種MS I	299
6-5	RAM的使用方法	300
6-6	只讀記憶器 (Read-Only Memory, 簡稱ROM), 可做程式只讀記憶器 (Programmable ROM, 簡稱PROM) 可抹除, 可做程式記憶器 (Erase PROM, 簡稱EPROM) 之設計	311
6-7	ROM與EROM之應用	319
6-9	PLA (Programmable Logic Array)	322
6-10	消耗品LSI的運用	325
第七章	次系統的設計	340
7-0	緒論	341
7-1	N個脈衝產生器的設計	341
7-2	鍵盤的設計	343
7-3	開關狀態指示器	348
7-4	低頻頻率計	353
7-5	七段顯示器連結方式電路的設計	357
7-6	數字尺的設計	361
7-7	對時電子鐘的設計	366
7-8	自動拍賣機	374

第一章 基本認識

1-1 導言

數位系統的構成：最基本的數位系統可分為三部份，如圖 1-1 所示。第一部份為覺察器，用以感察被控制系統或控制系統外圍之各種物理變化，如聲、光、熱、電、壓力、氣體、輻射線及距離等變化，此等物理變化，將它送入控制電路以前，應先用換能器 (Transducer) 應先將其變

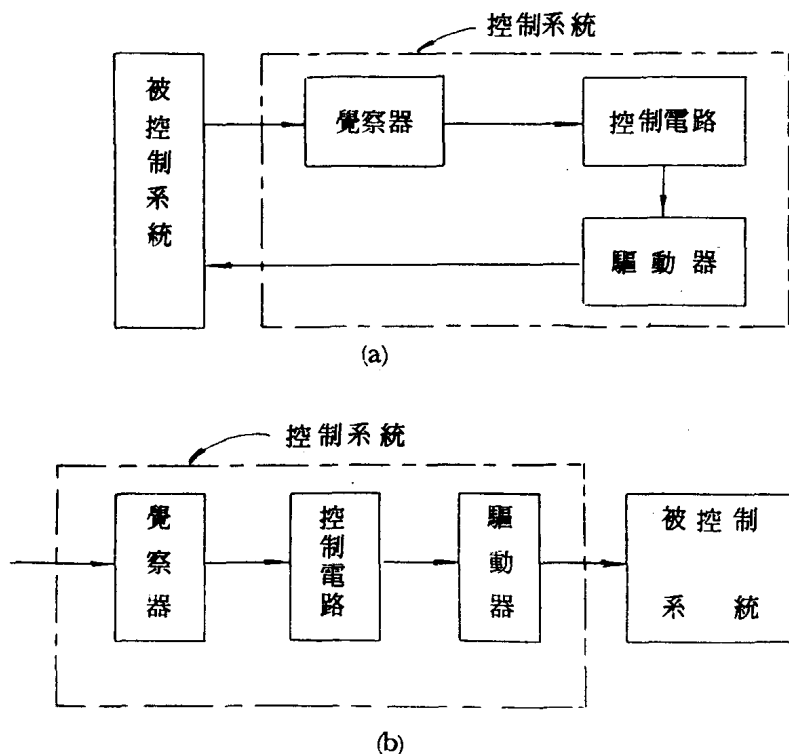


圖 1-1 一般之控制系統 (a)閉路控制系統 (b)開路控制系統

爲電壓或電流。第二部份，即爲此控制系統之中樞—控制電路部份，此部份電路接受由換能器傳來的信號，與預先設定之條件相配合，經過一連串之邏輯判斷後而送出必要之控制信號到驅動器，現在邏輯電路，可說是絕大部是用積體電路組成。第三部份即爲驅動器部份，因爲被控制之系統，可能需要大電壓、大電流或某些機械動作，而由邏輯電路所來之積體電路之電壓或電流，有時未免失之太小而不能直接運用。需經過驅動器將此電壓電流放大，或再經過機械方式之偶合後再驅動被控制系統。此種驅動電路一般都是由繼電器，SCR，Triac，及其他機電機構所構成。

本書所討論之內容，比較着重於數位系統之第二部份，控制部份。第一部份之覺察器只做一般性之簡介，而第三部份驅動器只在相關部份才偶而提到。因爲現在之數位系統設計，可供使用的覺察器之種類非常多，且日新月異，配合每種不同之外界情況，使用目的及效果，有不同之覺察器可任設計的人選擇，故勢無法對其中某種覺察器做深入之介紹，本書對覺察器之介紹，也只是限於介紹感覺器之種類，功用、特性，有時稍涉及一些簡單之原理，爲了亦只是使讀者對感覺器有一些基本的觀念，當他以後從事設計工作有必要用到覺察器時，知道如何去選擇某類較適合的覺察器而已。

至於第三部份之驅動器裝置，是屬於工業電子範圍，已有專門課程另加討論故本書只在必要部分才提及。

1-2 數位系統設計步驟與趨向

本書所討論的重點是着重於數位電路之控制電路部分。而控制電路之組成，完全以電子電路所組成之控制電路爲主。而電子電路之構成，則以數位式積體電路所構成之電子電路爲主。因最近積體電路製造技術發展之神速，其價錢之便宜，使用之簡單，可靠性、穩定性，不是其他機構及電路可比擬的。

更由於積體電路之神速發展，可說現在我們所需完成的控制電路，皆可由積體電路之各種不同之連結方式組合而成，由此產生了另一種數位系統設計的新趨向。

幾年前設計一數位控制電路，都是根據命題而列出流程圖及流程表，

然後求出邏輯式，利用各種方法化簡後再求出邏輯圖，由此邏輯圖再加上一些必要之電路特性考慮，如雜音、扇入、扇出、延遲、速度等因素，用電子閘、正反器、編碼器等，做出所需之控制電路。而現在由於有各種不同積體電路任我們選擇，所以我們設計一電路時，最先該考慮到是否有一個積體電路可完成我們所需要的工作，如一個不行，二個是否可以，二個不行，三個是否可以，依此類推。故我們設計電路時，最主要的是應具有豐富的積體電路知識，應知道所有積體電路之種類、功用及特性，故當我們涉及某種電路之要求時，馬上可連想到那一種積體電路合於我們所要設計電路之要求，將此積體電路用到我們所要設計之電路就可以了。本書所討論的設計方法亦是以此種方法為主，如何選擇最適當之積體電路，用最簡單之連結方式來完成設計，而傳統性由流程圖始，至邏輯圖終之設計方法，只是做為設計電路之輔助手段而已，只有當我們找不到任何一種積體電路來完成我們所需要的電路時才用到，而此種機會隨着積體電路之發展，而愈來愈少。

最近幾年來，由於第四代計算機—微處理機之應用，如摩托運拉的 68000，Z 8000 等系統。數位電路更起了革命性的改進，微處理機將設計電路之方式由工程上電路之連結而改變成寫程式之紙上作業，只要具備有電子基本常識的人，就能設計過去必需具有電子方面高深知識的電子工程師所設計的電路，在不久的將來，微處理機可取代大部分數位系統控制電路，但由於其介面的連結問題，在目前的情況，較簡單的電路，亦即是具有 20 個以下中型積體電路所組成的電路，其價錢還是較微處理機便宜，且使用亦較簡單。故用一般積體電路之設計在目前來說，還有其重要性。至於利用微處理機來設計電路，另有專門課程討論，本書略而不談。

在下面將先談談有關數位系統設計的一些數的表示法，組織型態，設計步驟等等。

1-3 數的表示方法

在設計數位系統時，我們常常用一連串之 0，1 組合來表示一數之大小，有時用來代表每個不同之動作命令。在代表一數之大小時，有時用單純的二進位數值來表一數之大小，有時用二進位制—十進位數來表示一數

之大小。下面將分別說明用此兩種方式來表示一正負數的方法：

1-3-1 二進位數表一數大小之方式

1-3-1-1 正整數之一般表示法

我們曾經在組合邏輯提過，一二進位數的表示法為：

$$B = \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n 2^n \quad \dots\dots\dots 1-1$$

在 1-1 式， b_n 不是 0，就是 1。

假如 $b_{-1} = 1$ ； $b_0 = 0$ ； $b_1 = 1$ ； $b_2 = 0$ ； $b_3 = 1$ 。

其他 b_n 值皆為 0 時，則 1-1 式變為：

$$\begin{aligned} B &= 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} \\ &= (8 + 2 + 0.5) \\ &= (10.5)_{10} \\ &= (1010.1)_2 \end{aligned}$$

因二進位數之正數之一般表示法在本人所著組合邏輯裡已講的很清楚，故在這裡只略提而已，讀者如需做更進一步之了解，可參考組合邏輯所寫的。下面將談談一般二進位數負數之表示法。

1-3-1-2 負數之一般表示法

(一) 帶正負號之負數表示法：

在數位系統裡，一連串的數，最左邊的一個數元，叫符號數元，我們常常用它來代表一數的正負，而不是用來代表一數之大小。一般的習慣，如最左邊的數元為 0，表此數為正數，如此數元為 1，則表此數為負，如在圖 1-2 中，圖(a)表此數為 -12，圖(b)表此數為 +12。

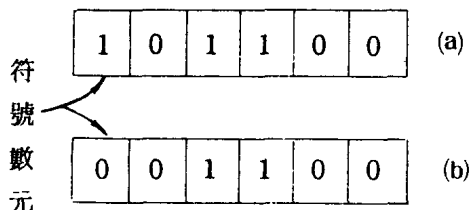


圖 1-2 二進位數，帶正負號之表示法

上面所述之正負數表示法，一般用在當此數不需做算術之運算時，才用之，如一數需做算術運算時，則用下面兩種方法表示之較方便。

(二) 1 的補數之表示法

不管在何種二進位數之表示法裡，在數位系統表一數時，最左邊的數元，由前所述，常用來表一數之正負，在 1 的補數表示法裡，亦是一樣，在圖 1-3 中，(a) 圖表 +12，因最左邊數元為 0，而 (b) 圖表 -12，因最左邊為之數元為 1，且此負數之所有數元，皆與表示 +12 之所有數元互補，即所有之 0 變 1，而 1 變 0。即是說，要表示一負數時，即將其相對的二進位值 0 及 1 取補數即成。

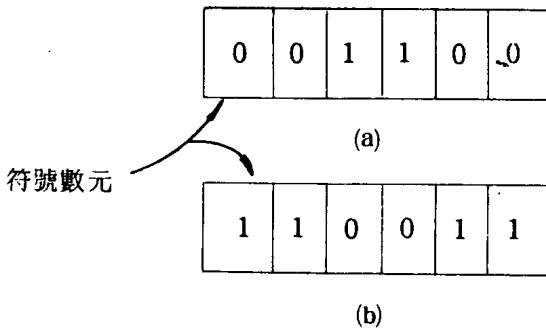


圖 1-3 二進位數 1 的補數的表示方式

一數用 1 的補數的表示方式，其最大的優點為一數很容易取得它的補數。實際上在一般的電路，如正反器，記發器等，某一數與其 1 的補數是同時具備的，即是說，此等電路一方面有正數，另一方面亦有負數。而在數學的運用上，1 的補數的表示法在運用上更是方便，我們將做 $(A - B)$ 之運算，事實上就是做 $[A + (B \text{ 的 } 1 \text{ 的補數}) + 1]$ ，故我們可用一加法器，只要稍加修正，即有時可做加法，有時可做減法。如 A 要加 B，當然直接將 A 加上 B 即可，如 A 要減 B，亦只要將 A 加上 B 的 1 的補數再加 1 即可。如下例所示，是以 13 減 11 為例，以一般正常的減法及以 13 加上 11 的 1 的補數再加 1，其結果皆為 2 的方法。

正常相減

$$\begin{array}{r} 01101 \\ - 01011 \\ \hline 00010 \end{array}$$

1 的補數的加法

$$\begin{array}{r} 01101 \\ 10100 \\ \hline 100001 \\ \quad \swarrow \rightarrow 1 \\ \hline 0010 \end{array} \quad \text{此爲 } 01011 \text{ 的 } 1 \text{ 的補數}$$

再以 24 減 11 為例

正常相減

$$\begin{array}{r} 011000 \\ - 001011 \\ \hline 001101 \end{array}$$

1 的補數的加法

$$\begin{array}{r} 011000 \\ 110100 \\ \hline 1001100 \\ \quad \swarrow \rightarrow 1 \\ \hline 01101 \end{array}$$

(三) 2 的補數的表示法

一負數 2 的補數的表示方式，與其他負數的表示方式一樣，最左邊之數元一般用來表示一數之正負，0 表正數，1 表負數。一數的 2 的補數，相當於其 1 的補數再加 1，以公式表示如下：

(某數) 2 的補數 = 1 的補數 + 1

例如某數 0100101 其 1 的補數為 1011010，而其 2 的補數為 1011010 + 1 = 1011011。2 的補數最大的優點為很容易將兩要相減的數運算。將減數變為 2 的補數後，再相加，即是說，可用加法器完成相加及相減之動作，一般在寫程式作兩數相減，而此電路只具有相加之電路時，就是用此方法。以下例說明之。

正常相減

$$\begin{array}{r} A(15) = 01111 \\ - B(12) = -01100 \\ \hline 00011 \end{array}$$

2 的補數相加

$$\begin{array}{r} 01111 \\ + 10100 \\ \hline 100011 \end{array} \quad \text{—— 進位不用}$$

1-3-2 二進位制—十進位數之表示式

在很多數位電路裡，因輸入及輸出都是十進位數，故如在運算的過程中，仍用十進位數的方式來進行，就可免除將十進位數變為二進位數，然後再將二進位數變為十進位數的麻煩過程。當然，此時十進位數仍是用二進位數之型式表示，一般最常見的是用 8-4-2-1 型式表示，其二進位制與十進位數的關係，如表 1-1 所示。

表 1-1

十進位數	二進位制—十進位數
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001

下面，我們將分別說明一正或負數用二進位制—十進位數表示之方式。

1-3-2.1 正數的表示方式

一正數的表示方式，一般來講，最左邊的數元，在某些表示的方式裡，亦是用來表示某數的正負，與二進位制一樣，用 0 表正數，用 1 表負數。而其他數元之表示法，是單獨由每個十進位數之二進位碼所組成的，例如，+345 就寫成 0011,0100,0101，或 0,0011,0100,0101，注意，後種方式之寫法，最左邊之 0 表示此數為正數。故正數之二進位制—十進位數的寫法非常簡單，下面將談談一般負數之表示法。

1-3-2-2 負數的表示法：

(一)帶正負號的表示法

與一般二進位數的負數帶正負號表示法相同，最左邊的數元是用來表示一數之正負，0表示正數，而1表示負數，將+123表示成0,0001,0010,0011，而-123表示成1,0001,0010,0011此種表示方法多在二進位制一十進位數不需做算術運算時用之。

(二) 9的補數的表示方式

一數9的補數，即是此補數對應於此數兩個數位的和，皆為9。例如數2，9的補數為7，因 $2+7=9$ 。同理為38，其9的補數為61，因 $3+6=9$ ， $8+1=9$ ，其左邊及右邊之對應數元和皆為9。同理，723其9的補數為276。

二進位制一十進位數的負數用9的補數表示方式的優點，與二進位制的負數用1的補數表示方式相同，主要的是便於做數學的運算。即是說，與1的補數情形一樣，兩數相減，只要將減數變為9的補數，然後被減數與減數的9的補數相加再加1，即得正確之結果。如下例所示。

正常相減

$$\begin{array}{r} 89 \\ - 23 \\ \hline 66 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 77 \\ - 14 \\ \hline 63 \end{array}$$

9的補數相減

$$\begin{array}{r} 89 \\ + 76 \\ \hline 165 \\ + \quad \text{└─}1 \\ \hline 66 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 77 \\ + 85 \\ \hline 162 \\ + \quad \text{└─}1 \\ \hline 63 \end{array}$$