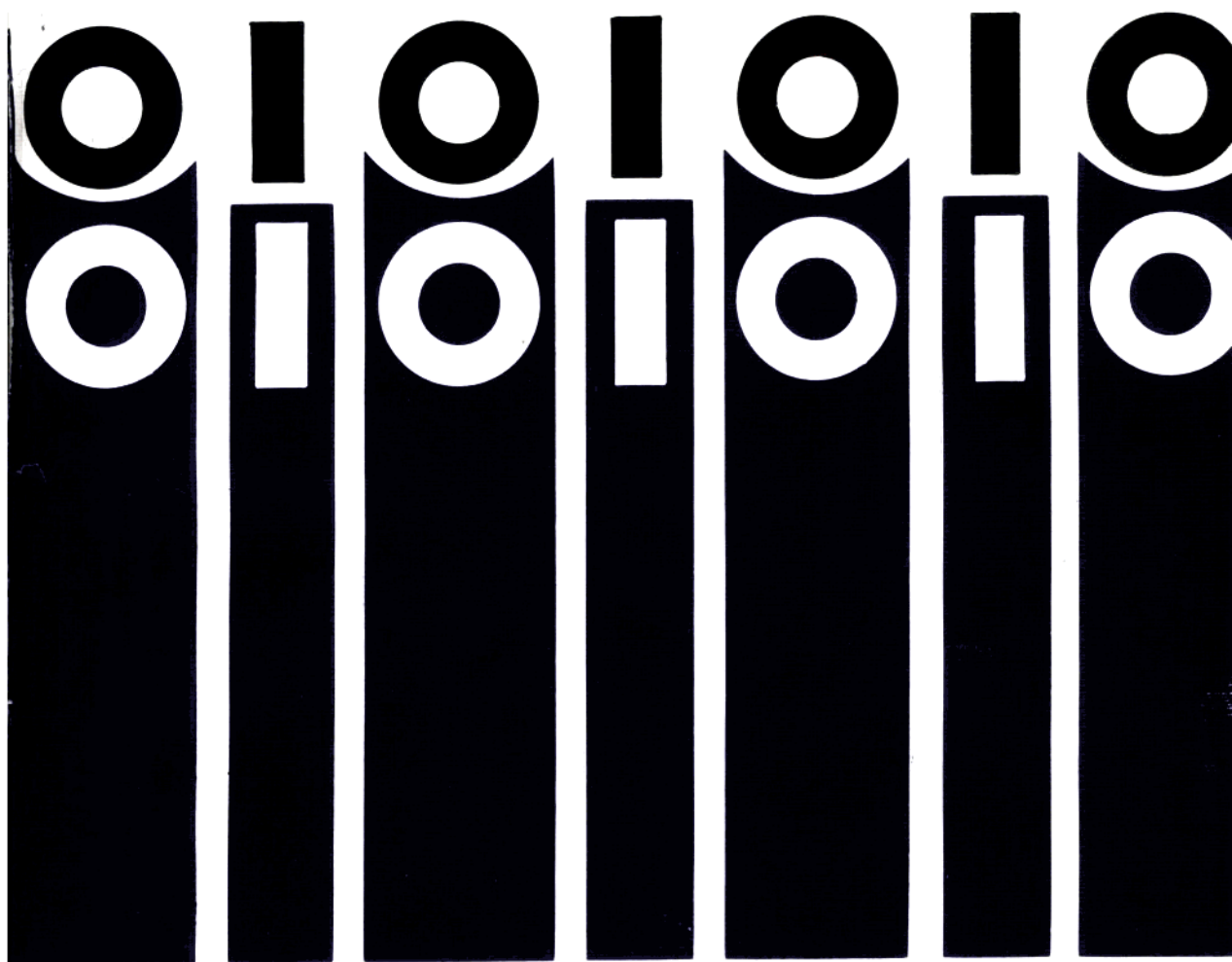


數位系統電路實作叢書之二

數位電路設計與研究

張博堯 譯



全華科技圖書公司印行



數位系統電路實作叢書

總 序

從數位 IC 製作成功，以至今日廣為應用，前後不過幾年光景，在這一數位技術的進展過程中，融入了無數專家的智慧，也為電子界帶來更多更豐碩的果實，飲水思源，我們對這些專家的努力，有着無限的欽佩。

由於數位技術不斷更新，坊間有關的中文參考書籍並不多，因此譯者二人特地從日本電子專門書刊中，將有關這一技術發展的情形翻譯過來，與讀者見面。本書最大的特色在於提供從事此行業的技術人才進修之用，同時也提供給正在學習的朋友們一個很好的機會。在工業進步快速的社會裡，時間就是金錢，也惟有良好的參考書才能提供讀者正確的方向與節約時間。

本書分成三冊，第一冊為「數位儀器之製作」，列舉實驗室、家庭中、汽車上與業餘方面各種實用的電路，供讀者參考與實作。第二冊為「數位電路之設計與研究」，分基礎篇與實務篇，由淺入深引發讀者思考、分析與設計能力。第三冊為「計算機之製作」，分別介紹軟體與硬體技術，並以實例說明如何利用便宜的單晶片微處理器 IC 來製作計算機，本書在使讀者經由實作過程，對於硬體與軟體，都有進一步的了解，在最後部份還提到記憶體 IC 的知識。說起來，單晶片微處理器係於 1971 年由美國英特爾 (Intel) 公司出品的 4004 開始的，當初這一 IC 用作高級電子計算機之運算元件，但除此之外，漸漸發展為：系統控制裝置、電子界技術成為機械化學等週邊技術者所注目之對象。

在近代工業國家的形成與進步過程中，「技術水準」扮演一個極重要的角色，以日本成功的例子來說，它不斷引進新技術與研究發展，促成它有今日的成就，我們若想加速發展工業也必須如此做。因此，更不斷吸收新知，不斷地將新出品的 IC 加以活用、設計，才能促使我們的電子界趕上先進國家，這一技術發展的重擔有賴我們大家齊心協力，互為切磋了。

數位電路設計與研究計

序 文

電子儀器隨着數位 IC 的出現，使得製作技術突飛猛進，同時各種成品的用途在一般家庭上也漸漸普遍。今後各種機器的數位化革命，必將不斷進行，對於從事電子電路之設計者，如不深入了解數位電路將無法工作。

但是，儘管技術精進如此迅速，對於從事電路設計者而言，要全部了解其內容及技術運用，仍非易事；何況學習數位電路者愈來愈多。

對這個進步的時代來說，“Time is money”是千真萬確的，也由此可體會到“若技術人才再逐步學習，不僅不可能，而且大多不願意如此做”。因此，本書的目的在於使讀者加速了解數位 IC 與電路，並且切身製作；同時，省却一些原理的敘述，務使讀者很快進入設計與製作內容，由實作中體驗與領會 IC 性能。

本書為數位系統叢書之二，當讀者由第一冊之“數位儀器製作”中引發更濃厚興趣後，可由本書提供您進一步的滿足感。一般而言，本書具有較深入之性質。

本書分成二篇，一為基礎篇，一為實務篇。前者提到一些普通的數位電路設計，先從實際的主題加以說明、提供暗示，讓讀者在參見解答前，先引發思路，自行設計看看，然後再來對照所用方法。後者提供更多、更難的問題，來增加讀者更多實地製作的機會。本書所列舉之 IC 會在書末整理於資料表中，如欲了解更詳細資料，需翻閱製造商之資料手冊。

希望讀者能在本書中獲得更多、更好的體驗。

中華民國 1978 年 8 月

數位電路設計與研究

目 錄

第一篇 基礎篇

前 言	1
第一章 水温警報器電路	3
1-1-1 主題	3
1-1-2 要點提示	3
1-1-3 實 例	4
1-1-4 問 題	8
第二章 電子節拍器電路	9
1-2-1 製作主題	9
1-2-2 要點提示	9
1-2-3 實 例	9
1-2-4 問 題	11
第三章 順次亮滅閃示電路	13
1-3-1 製作主題	13
1-3-2 要點提示	13
1-3-3 實 例	19
1-3-4 練 習	23
第四章 馬錶電路	25
1-4-1 製作主題	25
1-4-2 要點提示 1	25
1-4-3 要點提示 2	27
1-4-4 實 例	28
1-4-5 練 習	31
第五章 電動骰子電路	33
1-5-1 製作主題	33

1-5-2 要點提示	34
1-5-3 實 例	36
第六章 定時器	39
1-6-1 製作主題	39
1-6-2 要點提示	39
1-6-3 實 例	39
1-6-4 練 習	44
第七章 數位顯示測速計電路	45
1-7-1 製作主題	45
1-7-2 要點提示	45
1-7-3 實 例	51
1-7-4 練 習	55
第八章 附加定時器之24時顯示用時鐘電路	57
1-8-1 製作主題	57
1-8-2 要點提示	57
1-8-3 實 例	58
1-8-4 練 習	65
第九章 電子報音控制電路	67
1-9-1 製作主題	67
1-9-2 要點提示	67
1-9-3 實 例	68
1-9-4 練 習	69
 第二篇 實務篇	
前 言	71
第一章 電子鎖之設計	73

2-1-1 製作主題.....	73
2-1-2 要點提示.....	73
2-1-3 實 例.....	73
第二章 自動販賣機控制電路之設計	87
2-2-1 製作主題.....	87
2-2-2 要點提示.....	88
2-2-3 實 例.....	88
第三章 最小與最大值判別電路之設計	97
2-3-1 製作主題.....	97
2-3-2 要點提示.....	97
2-3-3 實 例.....	99
第四章 電算器用LSI所構成資訊處理電路之設計	107
2-4-1 製作主題.....	107
2-4-2 要點提示.....	107
2-4-3 實 例.....	107
第五章 由計數器作成計算電路之設計	115
2-5-1 製作主題.....	115
2-5-2 要點提示.....	115
2-5-3 實 例.....	116
第六章 數字顯示電容測量之設計	123
2-6-1 製作主題.....	123
2-6-2 要點提示.....	123
2-6-3 實 例.....	125
2-6-4 關於要求的測量精密度.....	129
第七章 電子脈拍計之設計	133
2-7-1 製作主題.....	133

2-7-2 要點提示	133
2-7-3 實 例	133
第八章 數字顯示溫度計之設計	147
2-8-1 製作主題	147
2-8-2 要點提示	147
2-8-3 實 例	148
第九章 由PPL作成的脈波產生器之設計	157
2-9-1 製作主題	157
2-9-2 要點提示	157
第十章 亂數發生器與投幣器之設計	165
2-10-1 製作主題	165
2-10-2 要點提示	165
2-10-3 電路實例	165
第十一章 彈珠計數器與贈品兌換器之設計	175
2-11-1 製作主題	175
2-11-2 要點提示	175
2-11-3 電路實例	175
2-11-4 贈品兌換電路之計算	177
第十二章 麻將點數計算器之設計	181
2-12-1 製作主題	181
2-12-2 要點提示	181
2-12-3 電路實例	183
附錄一 TTL IC互換表	189
附錄二 TTL IC資料表	195
附錄三 C-MOS IC資料表	213

數位儀器製作

目 錄

第一篇 數位IC在儀表上的應用(Lab-Electronics)

第一章 50MHz頻率計數器之製作.....	1
1-1-1 50MHz 頻率計數器.....	1
1-1-2 50MHz 頻率計數器之製作與調整.....	18
第二章 200MHz前置比例器之製作.....	23
1-2-1 前置比例器各部的工作情形.....	24
1-2-2 150 MHz 前置比例器之製作與調整.....	28
1-2-3 計數器之修改.....	29
第三章 多用電表的製作.....	33
1-3-1 多用電表的使用元件.....	34
1-3-2 多用電表各部的工作.....	39
1-3-3 多用電表之製作與調整.....	49

第二篇 數位IC在汽車電子裝置上的應用

第一章 60分鐘用馬錶的製作(Stop Watch).....	59
2-1-1 馬錶之工作與電路構造.....	59
2-1-2 馬錶之裝配與調整.....	65
第二章 24小時顯示用時鐘之製作.....	69
2-2-1 車輛用 24 小時顯示時鐘之概要.....	69
2-2-2 時鐘之製作與調整.....	77
第三章 長程賽車用計時器之製作.....	83
2-3-1 長程賽車用計時器之組合與調整.....	84

2-3-2 長程賽車用計時器之概要·····	89
第四章 旅程表之製作 ·····	97
2-4-1 旅程表概要·····	97
2-4-2 旅程表之工作·····	98
第五章 自動駕駛操縱器(Autopilot)之製作 ·····	111
2-5-1 自動駕駛操縱器簡介·····	111
2-5-2 自動駕駛操縱器之規格·····	111
2-5-3 操縱員的作業與計算之自動化·····	112
2-5-4 數位化自動駕駛操縱電路·····	114
2-5-5 自動駕駛操縱器之裝配與動作檢查·····	126
2-5-6 自動駕駛操縱器的使用方法·····	131

第三篇 數位IC在家庭電器上的應用

第一章 單晶片時鐘之製作 ·····	135
3-1-1 單晶片時鐘用 IC 之介紹·····	136
3-1-2 單晶片時鐘之製作調整與使用方法·····	141
第二章 數位定時器之製作 ·····	145
3-2-1 數位式定時器之概要·····	146
3-2-2 數位式定時器之構造與調整·····	151
第三章 電話計費器之製作 ·····	159
3-3-1 電話計費器之概要·····	159
3-3-2 電話計費器之構造與調整·····	166
第四章 單晶片計數器之製作 ·····	173

3-4-1 計算器用 L S I 與顯示器	173
3-4-2 利用 TMS-0105 BNC 的計算器	177
3-4-3 計數器之製作與調整	181

第四篇 數位IC在業餘電子界的運用

第一章 電子鍵之製作	187
4-1-1 電子鍵的電路實例	188
4-1-2 電子鍵之工作概要	191
4-1-3 電子鍵與操作器	197
第二章 呼喚電鍵之製作	203
4-2-1 本機規格	203
4-2-2 自動呼喚電鍵	203
4-2-3 自動呼喚電鍵之製作與調整	213
第三章 觸摸式電碼產生器之製作	217
4-3-1 何謂觸摸式電碼產生器	217
4-3-2 觸摸式電碼產生器之電路構造與動作	218
4-3-3 觸摸式電碼產生器之製作與調整	226
第四章 世界性時鐘	233
4-4-1 設計之目標	233
4-4-2 時差之產生	234
4-4-3 世界性時鐘之動作	234
4-4-4 世界性時鐘製作上要點	245

計 算 機 實 作

目 錄

第一篇 自製計算機

第一章 自製計算機的進行過程.....	1
1-1-1 前 言.....	1
1-1-2 硬體方面的基本組成.....	2
1-1-3 程式的基本組成.....	7
第二章 ATOM-8 的製作.....	17
1-2-1 前 言.....	17
1-2-2 ATOM-8 的基本動作.....	18
1-2-3 ATOM-8 的製作.....	20
1-2-4 程式製作.....	33
1-2-5 ATOM-8 的擴張和運用.....	43
第三章 TC-1 的製作.....	49
1-3-1 前 言.....	49
1-3-2 有關TC-1.....	51
1-3-3 TC-1 的製作.....	63
1-3-4 成品功能及應用.....	78

第二篇 微算機篇——單晶片

第一章 MYCOM-4 的製作.....	83
2-1-1 前 言.....	83
2-1-2 MYCOM-4 製作上必先具備的知識.....	84
2-1-3 軟體及硬體的預備知識.....	91

2-1-4 MYCOM-4 的製作	115
2-1-5 MYCOM-4 之調整	132
第二章 TC-2 的製作	141
2-2-1 前 言	141
2-2-2 關於 8008	142
2-2-3 TC-2 之構成及製作指引	147
2-2-4 TC-2 之操作指引	159
第三章 電視遊樂器顯示裝置的製作	171
2-3-1 前 言	171
2-3-2 遊戲顯示的規列及動作結構	172
2-3-3 有關各部份的動作	176
2-3-4 遊戲的程式	192
2-3-5 卡式介面的製作	204
第四章 行印機控制器	211
2-4-1 MCS-40	211
2-4-2 行印機控制裝置	226
2-4-3 控制裝置的構成	233
2-4-4 軟 體	242

第三篇 記憶積體電路

記憶體IC的基礎知識	265
附錄微處理器選粹一覽表	283

第一篇 基礎篇

前 言

爲了使更多學習數位 IC 的人了解其用法，除了熟知數位 IC 的動作原理外，本書所採用的方式，是以實例來製作，針對一項主題（用途），提出解決的方法，此種方式對初學者收效甚大，在本基礎篇中，提到一些普通的數位電路設計，由淺入深。下一篇（實務篇）將提及一些較複雜的電路。不過，當您唸到該處時，吸收與了解並不難。

作者要說的是：針對某一用途所設計的數位電路，在方法上並非只有一種，研究設計運用之巧妙，存乎一心，或可發展出不同方法，這一點就看讀者的用心。

雖然數位 IC 電路設計很有彈性，但必須要考慮下列四個條件：①性能優良②價格便宜③動作安全④可靠性高。

以下，針對實際的主題加以說明，在讀者參見解答之前，首先自己設計試看看，然後再來對照實作方法。

1

水溫警報器(Buzzer)電路

1-1-1 主題

對於沐浴時的水溫調整問題，想辦法設計一套警報器電路，當熱水達到適量或適溫時，發出警報聲，以便及時關閉熱水器。這裡警報器聲音係利用喇叭，發出間歇性警報音。

1-1-2 要點提示

對於上述的用途，利用數位電路實作的話，可依下列順序來考慮：

- (1) 由喇叭發出的聲音，如何來產生
- (2) 如何製作振盪音
- (3) 間歇性聲音如何產生
- (4) 如何測量水溫
- (5) 如何測量溫度

首先，由喇叭發出的聲音為單一音，因

此喇叭中可以方形波電流輸入。接著，振盪音可用數位 IC 構成的多諧振盪器來產生。再者，間歇性聲音只要將多諧振盪器之振盪音經由 ON-OFF 操作即可作成。

此外，對於水量與溫度的測量，水量可配置二個電極在希望到達的水面，當水量達到這一水面時，利用兩個電極間電阻急劇下降來測知。同樣地，溫度偵測利用熱阻器（thermistor），當溫度超過預定值時，電阻下降。

這裡所用數位 IC 電源為電池，因此適合採用 C-MOS IC。而所用 C-MOS IC 為最簡單的閘 IC（如：AND、OR、NOT 等）。這些元件的機能與品種如圖 1-1 所示。

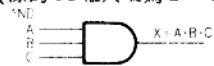
又，驅動喇叭（ $R_L = 8\Omega$ ）需要較大功率，以 IC 無法直接驅動，因此改用電晶體。

以下探討實作電路例子。

(a) 基本閘之功能

以下說明 3 閘 (3 輸入端之閘) 電路之功能

實際的 IC 輸入端為 2~8, 每一端的功能相同。



AND 閘, 當輸入端 A, B, C 皆為 1 時輸出為 "1", A, B, C 中有一為 0, 輸出為 "0"。



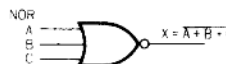
OR 閘, 輸入端 A, B, C 只要有一個為 1 輸出就為 "1", 當 A, B, C 皆為 0 時, 輸出為 "0"。



稱為反相器, 輸入 A 為 "1" 時, 輸出為 "0", 輸入 A 為 "0" 時, 輸出為 "1"。



NAND 關係在上述的 AND 閘後方接上反相器, 因此 A, B, C 全為 1 時, 輸出 X 為 "0"。



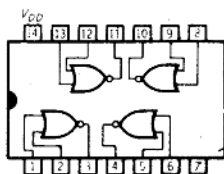
NOR 關係在上述的 OR 閘後方接上反相器, 因此 A, B, C 中有一為 "1" 時, 輸出 X 變為 "0"。

(b) C-MOS 閘 IC 的代表品種

TC4001P

Quad 2 Input NOR Gate

最有代表性的 NOR 閘如右圖所示, 閘係一包裝內封入 4 個。其他品種如下面所列



TC4002P Dual 4 Input NOR Gate
 TC4011P Quad 2 Input NAND Gate
 TC4012P Dual 4 Input NAND Gate
 TC4023P Triple 3 Input NAND Gate
 TC4025P Triple 3 Input NOR Gate
 TC4049P Hex Inverter

圖 1-1 閘 IC 之功能與 C-MOS IC 之代表品種

1-1-3 實例

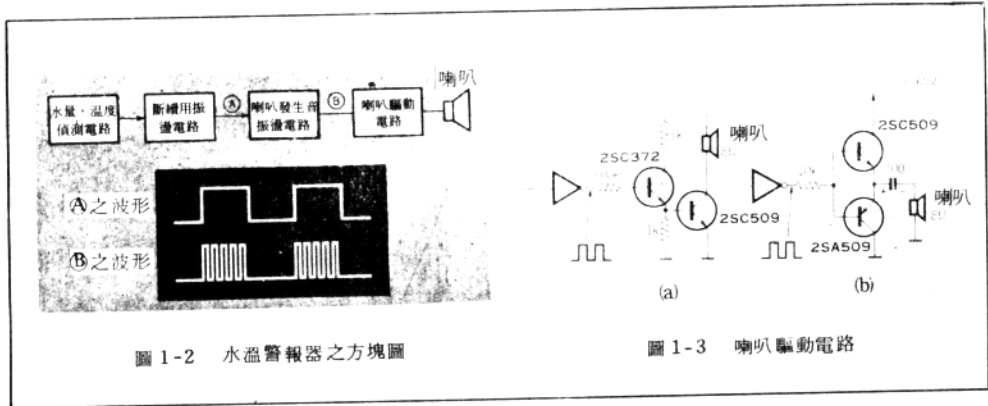
<實例 1>

首先利用 3 個電池作成 4.5V 電源。基本的作法可由圖 1-2 之方塊圖來考慮。最初偵測水量或水溫, 當水量或溫度超過時, 偵測電路的電壓將變為 "H" 電平, 一旦變為 "H" 馬上促使間歇性振盪電路動作, 接著

, ①點的位置僅在 "H" 時振盪使喇叭發出聲音, 若喇叭被驅動, 可得圖下面所示波形之間歇聲音。

對於上述各電路, 先考慮喇叭驅動電路, 圖 1-3 為一例, IC (C-MOS) 之輸出電流不大, 充其量只有 200~500 μA , 因此必須以電晶體來放大電流。

圖(a)利用二個電晶體放大, 使喇叭流入



間歇電流，圖(b)利用互補式 (Complementary) 電晶體轉換阻抗，並驅動喇叭。(a)法使喇叭中有直流電流成份輸入，是其缺點，但因電路簡單，兩種方法都可充分操作。

其次談到產生間歇用與喇叭產生音之振盪電路。這類振盪係用數位 IC 製作。使用 C-MOS IC 之方形波振盪器有多種，圖 1-4 所示為利用數位 IC (C-MOS) 作成的 CR 振盪電路。此類 CR 振盪會產生特定

週期的往復脈波。圖 1-4(a)為利用不穩定多諧振盪器 (astable multivibrator) 之方法。

其動作概要為：當③點電位變為“1”電平時，①點為“1”電平，於是經由 R 對電容 C 緩緩充電。一旦充電至某一電壓 (①點電壓被判定為“1”電平；臨限電壓)，①為“1”電平，③也為“1”，而②點反相為“0”。當②點為“0”電平，此時電

