

科學圖書大庫

數位電子學

—理論及實習—

譯者 安守中

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國六十八年七月三日再版 版

數位電子學

基本定價 2.60

譯者 安守中 東南工專講師

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 財團法人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號

發行者 財團法人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第15795號

承印者 大原彩色印製企業有限公司 台北市西園路2段396巷19號
電話：361986

我們的工作目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成爲事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，尤爲社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啓發，始能爲蔚爲大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尙有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏爲監修人，編譯委員王洪鎧氏爲編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分爲叢書，合則大庫。爲欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

444611

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於爲國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尙在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲，

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尙祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

原 序

本書從六年前出版以來，已給予業餘愛好者除數位邏輯及數位電子學的知識之外，有更多的實習機會。或許有些人能只藉閱讀即得到深入的專門知識。但我認為，我所讀到的，要能實習並看到它的預期結果，才是真正得到學問。而且，與某些類比電路不同，數位電路的製作正確，必可得到與設計者預期相符的結果。

本書第一部分，對不同類型的數位電路，從最簡單到最複雜的，作一番原理的探討。此部分是本書後半部實習的關鍵。實習主要利用 TTL 積體電路邏輯的 7400 系列，使你在設備上花最少的費用：幾塊積體電路，幾個指示燈，滑桿開關及電晶體，加上一個 4.5 伏的電池，你就能作完大部分簡單的實習。再加一點費用，可進一步完成簡單的裝配系統。

本書最後是一個附錄，提供你製作一個多功邏輯訓練器的完整計畫，以市價計算，全部費用約 50 美元。幾年前同樣一套組件要花到 2000 美元。

譯者序

本書為美國TAB電子叢書中一種，原名是DIGITAL ELECTRONICS，在美國已發行第三版，廣受讀者重視。

數位電子是近年來電界發展最迅速的一門學科，其應用範圍也愈來愈廣。國內在此領域之應用尚在起步階段，專門知識書籍市面並不多見。預料對此方面專技人才之需求將日甚一日，電子專業人員熟悉有關數位及邏輯電路理論，將可順應實際工作需要。此書僅引用簡單數學及電學原理，適合具有基本電學知識讀者研讀。

全書分為理論及實習兩大部分。理論部分共十章，由數字系統開始，逐項介紹到各種不同類型的邏輯電路。原理艱深之處均配合實例，深入浅出地加以說明。本書強調理論與實際配合，故第二部分實習亦分十章，分量很重，依次序與理論各章配合。使讀者能由實作中掌握各種邏輯電路的特性及運用。

本書最後提供一套完整的邏輯訓練器製作法，讀者可依指示方法自行製作。所需材料及元件，目前市面種類繁多，以簡單實用，價格低廉為選用原則。希望讀者親自動手製作及測試，以增加研讀本書情趣。

學術界對部分數位邏輯電路英文名詞之中譯尚未完全統一，故本書譯名除盡量依照教育部公布之電子工程名詞外，間或亦沿用習慣譯名。譯者才疏學淺，謬誤疏漏之處在所難免，尚請國內外專家學者不吝指教。

安守中 謹誌

67.2.17.

目錄

原 序

譯者序

第一章 數字系統及邏輯

.....	1
數字系統.....	2
命位符號.....	2
And 閘, OR 閘, 和反相器 (AND Gates, OR Gates, And Inverters).....	4
邏輯符號.....	10
電阻 - 電晶體邏輯.....	11

第二章 反及閘(NAND gate)

及一或一反相閘(AND-OR-INVERT gate)..... 14

NAND 閘轉換成 AND 閘.....	14
NAND 閘轉換成 OR 閘.....	15
AND-OR - INVERT (反相) 閘.....	17
利用 AND - OR - INVERT (反相) 閘當作 NOR 閘.....	18

第三章 反正器..... 23

簡單鎖定電路.....	23
時鐘式 R-S 正反器.....	27
D 類正反器.....	27
R-S 正反器作“T”(捺跳).....	27
主副 J-K 正反器.....	28

第四章 閘網路和儲存記錄器..... 35

布倫定律.....	38
等值及相對大小檢查器.....	39
儲存記錄器.....	40

第五章 二進位計數器... 45

異步二進位正計數器.....	46
異步二進位正 - 倒計數器.....	47
同步二進位正計數器.....	49

第六章 MODULO 計數器

.....	53
Modulo 6 計數器.....	55
Modulo 13 自停計數器.....	56
可變 Modulus 異步二進位正	

計數器.....	56	實習 11-2: 4 數元 16 進位計數器.....	94
可變 Modulus 計數器.....	56	實習 11-3: 8 數元二進位計數器.....	95
大型 Modulus 計數器.....	59	實習 11-4 到 11-9: 各種基本功能的互補.....	95
第七章 位移記錄器和串行操作	61	實習 11-10: TTL 邏輯 2 輸入 NAND 閘.....	95
4-數元位移記錄器.....	61	實習 11-11: 反相器.....	100
第八章 編碼, 解碼, 和 BCD 計數器	65	第十二章 NAND 及 A-O-I 閘的使用	101
十進位碼.....	65	實習 12-1: 3 及 4 輸入 NAND 閘.....	101
Gray (反射) 碼.....	68	實習 12-2: 利用 NAND 閘瞭解 “AND” 功能.....	103
碼的轉換.....	69	實習 12-3: 利用 NAND 閘瞭解 “OR” 功能.....	103
機械至機械共用碼.....	72	實習 12-4: AND-OR-IN-VERT 閘.....	104
十進位 (八進位) 至二進位編碼.....	77	實習 12-5: A-O-I 閘作為 NOR 閘.....	105
二進位至八進位解碼.....	84	實習 12-6: A-O-I 比較器.....	106
第九章 串行和並行, 加法 和減法	86	實習 12-7: A-O-I 互斥 OR 閘.....	106
串行加法.....	86	實習 12-8: 利用 A-O-I 閘顯示 AND 及 OR 功能.....	107
二進位減法.....	87	實習 12-9: 等值檢查器 (比較器).....	109
兩步並加器.....	88	實習 12-10: 對等數元產生器.....	113
第十章 實習前言	91		
實習的安排.....	91		
材料需求.....	92		
實習的種類.....	92		
第十一章 基本邏輯電路的應用	93		
實習 11-1: 3 數元八進位計數器.....	93		

第十三章 正反器的應用

..... 116

實習 13-1：利用 NOR 閘的

R-S 正反器（鎖定）..... 116

實習 13-2：利用 NAND 閘的

R-S 正反器（鎖定）..... 117

實習 13-3：R-S 正反器及時

鐘輸入..... 118

實習 13-4：D 類正反器..... 118

實習 13-5：RST 正反器（捺跳或“T”類）..... 119

實習 13-6：主副 J-K 正反器..... 121

實習 13-7：頭或尾..... 121

實習 13-8：0.1 秒時間產生器..... 123

實習 13-9：1 及僅 1 同步器..... 125

實習 13-10：回復表..... 126

第十四章 資訊轉移方法

..... 130

實習 14-1：等值及相對大小

檢查指示器..... 130

實習 14-2：簡單的儲存記錄器..... 131

實習 14-3：記錄器至記錄器閘制..... 136

實習 14-4：“AND”的記錄器至記錄器轉移..... 138

實習 14-5：“OR”的記錄器至記錄器轉移..... 138

實習 14-6：互補轉移..... 140

實習 14-7 至實習 14-10：64

數元記憶電路..... 140

第十五章 計數器的製作

..... 142

實習 15-1：異步二進位正計

數器..... 142

實習 15-2：異步二進位倒計

數器..... 143

實習 15-3：異步二進位正 -

倒計數器..... 144

實習 15-4：同步二進位正計

數器..... 145

實習 15-5：同步二進倒計數

器..... 147

實習 15-6：同步二進位正 -

倒計數器..... 147

第十六章 幾種MODULO

計數器..... 152

實習 16-1：Modulo 3 計數

器..... 152

實習 16-2 到 16-5：Modulo

5 計數器..... 153

實習 16-6 及 16-7：MSI 計

數器..... 155

第十七章 位移記錄器的使

用..... 156

實習 17-1：4 數元位移記錄

器..... 156

實習 17-2：串入串出位移記

錄器	158
實習 17-3 : 串入補出位移記	
錄器	158
實習 17-4 : 串入並出	159
實習 17-5 : 開關 - 尾計數器	
.....	160

第十八章 碼組件及BCD計

數器的使用	162
實習 18-1 : 八進位至二進位	
編碼	162
實習 18-2 : 二進位至八進位	
解碼	163
實習 18-3 : 計數器 - 鎖定 -	
解碼器 - 驅動器	164
實習 18-4 到 18-7 : BCD 計	
數器	170
實習 18-8 : 二進位至 Gray	
碼轉換器	170

第十九章 加減法運算

實習 19-1 : 串行加法	171
實習 19-2 : 串行減法	176
實習 19-3 : 並行加法	176

附 錄

一、LIMROSE 實習套件	178
二、SDC 的 DeC 實習套件	180
S、D、C 供實習用 DeC "A"	
組件	180
構造提示	184
三、邏輯訓練器 (自己製作)	
.....	193
邏輯面板構造詳述	193
顯示面板構造詳述	198
整流器 - 調整器電路板詳述	199
時鐘, 燈驅動器電路板構造詳	
述	201
硬木箱構造詳述	203
最後組合構造詳述	207
邏輯訓練器規格說明	209
基本觀念複習	212
邏輯訓練器操作指令	213
邏輯訓練器測試程序	214

中英名詞對照表

索 引

第一章 數字系統及邏輯

數位邏輯在電子業各界中，扮演著日益重要的角色。然而這類系統的設計和修護人員，却很難找到。

有完全背景的人員，包含對新式數位積體電路邏輯與儀器配合使用有實際經驗的人員，必可在這個獲利豐厚的電子工業界，佔得一席之地。雖然目前多數訓練都著重在資料處理設備，但是數位邏輯的使用方面，範圍的廣濶實在難以度測。舉幾個例子。

最明顯的是範圍廣泛的數位儀器維護工作，包括計數器，數字式萬用表，數字顯示示波器，數字面板電表等。上述還不包含桌上型計算機類。

達拉斯的一家辦公室用品經銷商，給桌上型計算機邏輯電路修復工作的待遇最高，如果利益不是那麼優厚，他大可以把200個計算機的售後服務，簽兩張合同包給別人。爲了推行他的計畫，他僱用一位年青人設立一個服務部門，給他豐厚底薪加上修理利潤的35%爲佣金。

德州的一家鋼鐵廠用數位邏輯控制其部分設備，據作者所知，該處未裝電腦。

電子工業界有更多以數位設備取代電腦的其他例子。這個領域是無限開放的，每天都有新用途發展出來。

你不必想到電腦工業或許會用到本書的資料而給你一份工作。事實上，在你鄰近地區推展新的應用，或許能得到更大利益——例如，數位控制的精密醫療燈，它如同其他工業用品一樣需要維護。

數位電子或電腦領域裏的任何工作，有四種必須學習的基本知識。

二進位數學

布倫代數

數位邏輯

二階記憶組件

其中三種在後幾頁中會講到，布倫代數在需要時也會提到。布倫代數太複雜，需要專書才能說明清楚。

數字系統 (NUMBER SYSTEM)

數字系統沒有什麼玄妙。它是根據，只有一組數字符號的存在，才能表示所給予數字，同時它要能再分類成命位標誌，以便無限擴充數字系統。

二進位系統經常被用到，由於它的兩種不同狀態可用電子組件表示。燈不是亮就是暗，開關不是開就是關，電晶體的導通或關閉等。電壓可分為某固定位準或接地，磁錄音頭在單向或另一方向導通電流。

每種這類狀態都可用一些符號表示，符號組可以是你需要的任何東西，但現有的兩種符號 0 和 1 最理想。上節提到的不同狀況都可用這些符號表示，相反狀態以相反符號表示。例如，一個開關閉路可用 1 表示，則開路可用 0 表示。或採用一種方法，相反系統亦可應用。

計算表 (圖 1-1) 是二進位數字系統級數與現有計數系統對照表。此表亦可用來將二進位系統數字換算成八進位和十進位數字。尚有其他更正式的換算方法，但此種最為方便。

命位符號 (POSITIONAL NOTATION)

十進位系統裏有 10 個計數符號：0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9。此系統是以 10 為根 (radix) 或底 (base) 的計數系統，這些符號中任一個都可用在個位位置，也就是數字裏從根點右邊算來第一個位置 (根點即小數點)。右邊算來第二個位置稱作 10 位，第三個稱 100 位，依此類推。

記住這些後，數目 153 可以寫為：

$$1 \times 100 = 100$$

$$5 \times 10 = 50$$

$$3 \times 1 = 3$$

各位數相加得 153。此數亦可寫為：

$$1 \times 10^2 = 100$$

$$5 \times 10^1 = 50$$

$$3 \times 10^0 = 3$$

總數仍然是 153。

這種計算應用在十進位系統。但是在二進位系統裏，除了它只用兩個計數符號，如前所述：0 和 1 之外，與其大略相同。圖 1-1 的計數表，例舉了在三種不同系統裏的計數方法。

注意在十進位系統裏，每次計數符號用完後，在其上一位數位位置加 1

數字系統 (計數)

十進位	八進位	二進位	十進位	八進位	二進位
0	0	0	51	63	110011
1	1	1	52	64	110100
2	2	10	53	65	110101
3	3	11	54	66	110110
4	4	100	55	67	110111
5	5	101	56	70	111000
6	6	110	57	71	111001
7	7	111	58	72	111010
8	10	1000	59	73	111011
9	11	1001	60	74	111100
10	12	1010	61	75	111101
11	13	1011	62	76	111110
12	14	1100	63	77	111111
13	15	1101	64	100	1000000
14	16	1110	65	101	1000001
15	17	1111	66	102	1000010
16	20	10000	67	103	1000011
17	21	10001	68	104	1000100
18	22	10010	69	105	1000101
19	23	10011	70	106	1000110
20	24	10100	71	107	1000111
21	25	10101	72	110	1001000
22	26	10110	73	111	1001001
23	27	10111	74	112	1001010
24	30	11000	75	113	1001011
25	31	11001	76	114	1001100
26	32	11010	77	115	1001101
27	33	11011	78	116	1001110
28	34	11100	79	117	1001111
29	35	11101	80	120	1010000
30	36	11110	81	121	1010001
31	37	11111	82	122	1010010
32	40	100000	83	123	1010011
33	41	100001	84	124	1010100
34	42	100010	85	125	1010101
35	43	100011	86	126	1010110
36	44	100100	87	127	1010111
37	45	100101	88	130	1011000
38	46	100110	89	131	1011001
39	47	100111	90	132	1011010
40	50	101000	91	133	1011011
41	51	101001	92	134	1011100
42	52	101010	93	135	1011101
43	53	101011	94	136	1011110
44	54	101100	95	137	1011111
45	55	101101	96	140	1100000
46	56	101110	97	141	1100001
47	57	101111	98	142	1100010
48	60	110000	99	143	1100011
49	61	110001	100	144	1100100
50	62	110010			

圖 1-1 計數表。利用此表熟悉計數系統，使一個數字系統轉換到另一個比較容易。

，然後在下一位計數位置從頭開始計數。二進位系統也是一樣，每次計數符號用完後，在前一位加 1。但是它有一個問題，就是計算得到的數字比在十進位和八進位系統計算得到的要長。它仍然能表達同樣的意義，只是數目字組比較特別。如果人類天生只有兩個手指和腳指，發展出來的計數系統就很可能是二進位者。並且我們要知道二進位數字比十進位數字有更多優點。

但是縱觀全世界，人類都是採用十進位系統，從生下來就開始使用，所以二進位系統特別難瞭解，爲了人類的瞭解，二進位系統必須先轉換成十進位系統。而爲了數位電路的工作，十進位要再換成二進位形式。

11 章裏有三個實習，我們要把計數表（圖 1-1）重寫出來。圖 1-2 是一個利用 3 數元計數器，作八進位數字換成二進位的計算例子，最後又回到 000 的正常起始位置。

4 數元計數器在回復到 0000 之前，可以計算所有 16 進位數字到二進位換算。圖 1-3 是這個計算數器數字序的例子，並顯示字序中每一步驟對應的十進位，二進位，八進位和 16 進位數字的變化狀況。

如果這些實驗都實際作過並能掌握其意義，這些字序就能夠重新寫出來。一個 8 數元計數器，可以作出圖 1-1 計數表裏全部二進位計數字序。

AND 閘，OR 閘，和反相器（*AND GATES, OR GATES, AND INVERTERS*）

你每天所作的決定都是根據邏輯。當你走到十字路口，你注意交通號誌燈並留意來往車輛。現在假設你要作的決定是走或不走。我們稱這個決定是“走”決定。你可以走或不走。

如果沒有停止信號（是），沒有停止燈號（是），沒有障礙（是），則你可以走（是）。圖 1-4 是不同狀況的真值表（*truth table*）。

注意，雖然有 8 種可能狀況，只有在每種狀況都符合要求時，你才能走。也請注意，情況相反時，答案就是不能走。例如，有停止信號時。此稱爲負邏輯，讀完本書後，你就會對他有更清楚的認識。

除此之外，各狀況之間還有一個 AND 作用。必須是設有停止燈 AND 沒有停止信號 AND 沒有障礙，才能走。圖 1-5 是一個包含此作用的真值表。

現在讓我們把狀況改變一下。決定仍然是走或不走。我們以綠燈和通路安全代替原先狀況。注意現在都是正狀況才行。圖 1-6 是真值表，能走的條件是通路安全及（AND）綠燈。結果是正邏輯及（AND）狀態。圖 1-7 顯示或（OR）決定的條件和狀況，如果紅燈或（OR）停止信號或（OR）障礙出

燈			二進位	八進位
			000	0
			001	1
			010	2
			011	3
			100	4
			101	5
			110	6
			111	7
			000	0

圖 1-2 燈顯示 3 數元計數器的數字序。二進位和八進位數字可以迅速換算。

現，決定即是停止。

在真值表中每種狀況，可能結合的數量決定於條件的數量。注意，在第一種狀況下有 8 種結合或 $2 \times 2 \times 2$ 等於 8。第二種狀況下，只有 4 種或 2×2 種結合方式。

歸納出來的結論是，條件可能結合的數量由 2^n （2 的 n 次方）計算出， n 是條件的數量。由此可以推算出任何真值表的大小。

我們已經選定在所有數位運算中應用二進位系統，故要先能斷定它所會遇到的任何狀況。不論任何狀況下，都要堅持使用二進位系統，故先要作下列的定義：

1. 開關。開關開路定義為二進位的 0（除非相反情況），一個閉路的開關定義為二進位的 1。

十進位		二進位	八進位	16 進位
0		0000	00	0
1		0001	01	1
2		0010	02	2
3		0011	03	3
4		0100	04	4
5		0101	05	5
6		0110	06	6
7		0111	07	7
8		1000	10	8
9		1001	11	9
10		1010	12	A
11		1011	13	B
12		1100	14	C
13		1101	15	D
14		1110	16	E
15		1111	17	F
00		0000	00	0

圖 1-3 4 數元計數器的燈顯示數字序。注意，每個 16 進位數位可直接換成 4 數元二進位數字。這是 16 進位碼的基礎。