

數位邏輯電路實驗



☞ 正弦電子工業有限公司 編寫
☞ 全華科技圖書公司 印行

數位邏輯電路實驗

福州大學圖書館藏書印



正弦電子工業有限公司

編寫



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 法律顧問：陳培豪律師

數位邏輯電路實驗

正弦電子工業有限公司 編寫

出版者 全華科技圖書股份有限公司

北市龍江路76巷20-2號

電話：581-1300・564-1819

581-1362・581-1347

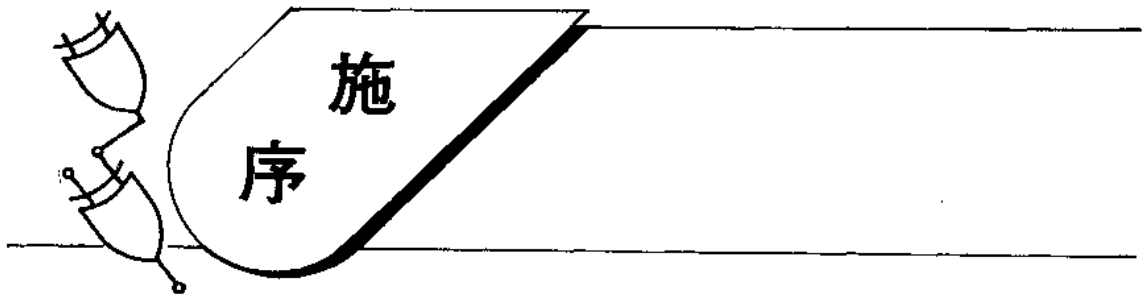
郵撥帳號：100836

發行人 陳 本 源

印刷者 佳怡彩色印刷廠

基 價 7.5 元

再 版 中華民國73年6月



容益賢棟聰明努力，在電子技術上造詣很深，設計製作之電子教學板很多，今再增加數位及邏輯實驗器乙種，相信問世後，對電子科學生之貢獻必大，而本實驗手冊編寫很好，更能發揮此實驗器之優點。

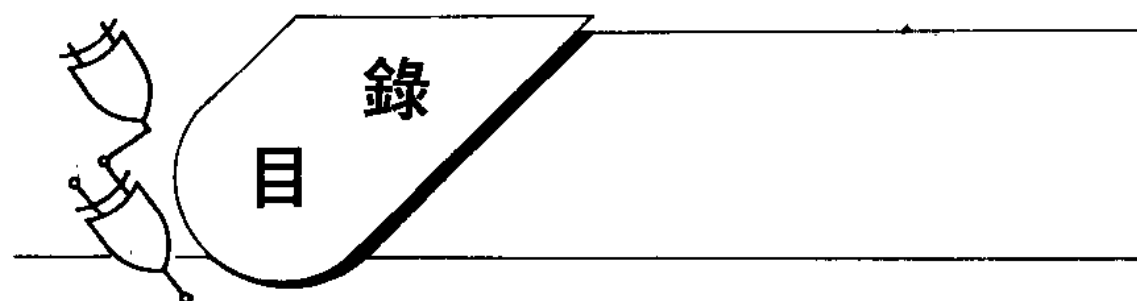
細讀本手冊後，個人覺得本書至少有下列 8 個優點：

- (1) 線路經過特別的設計，徹底改善以往數位電子實驗器紊亂之情況，學者易於入門。
- (2) 基本邏輯電路部份，由淺入深，對於基本閘之特性都有詳細的交代，而資料手冊之查閱方法也有詳細的說明，對於入門者及已有基礎者都有幫助。
- (3) 在組合邏輯方面，按序說明，配合布林代數之化簡，使學生很容易入門。
- (4) 利用基本閘說明正反器之原理，再導入 7476 等正反器之應用，在學習心理上，應是很合理的。
- (5) 由正反器說明記數器、暫存器之原理，再導入 RAM、ROM、74194、74164 等之應用，學習者興趣必高。
- (6) ALU 之應用很重要，利用 74181 配合其他元件，組成許多有用的電路，讀完這部份，學生對於 ALU 應有很深入的了解。
- (7) 振盪電路在數位電子中之重要性逐漸提高，本手冊另闢一單元說明，應屬合理。
- (8) 最後本書最大的特點應為：
 - ① 應用電路特別多，計有 50 個以上，正是做中學的最好工具。
 - ② 另有兩個專題製作單元，可供學生製作，經由這一階段後，學生的功力必然深厚。

由於個人覺得本手冊之特點很多，此手冊出版後，對於電子科學生之貢獻必大，故樂為之作序。

施 純 協 謹識

中華民國 72 年 2 月 10 日



緒 論	1
第一章 邏輯實驗器簡介	7
第二章 數位晶體邏輯	31
2-1 DL 電路實習	31
2-2 RTL 電路實習	34
2-3 DTL 電路實習	37
2-4 ECL 電路實習	41
第三章 數位IC邏輯	49
3-1 TTL 電路實習	49
3-2 CMOS 電路實習	60
3-3 TTL 集極開路閘實習	66
3-4 TTL - CMOS 轉換電路實習	69
3-5 CMOS - TTL 轉換電路實習	75
3-6 扇入、扇出實習	78
3-7 傳輸閘實習	79
3-8 緩衝器及介面電路實習	81
3-9 三態閘實習	83
第四章 組合邏輯	87
4-1 狄摩根定理實習	87
4-2 組合邏輯分析 (NAND 閘網路分析) 實習	91
4-3 組合邏輯分析 (NOR 閘網路分析) 實習	94
4-4 組合邏輯設計及 XOR 閘實習	96

4-5	A-O-I 電路實習	101
4-6	可擴展 A-O-I 電路實習	103
4-7	多工器及解多工器實習	104
4-8	三態閘多工器實習	107
4-9	三態閘解多工器實習	108
4-10	同位產生器及檢校電路實習	109
第五章 正反器		113
5-1	NAND 閘 R-S 正反器實習	113
5-2	NOR 閘 R-S 正反器實習	117
5-3	附啟動控制 (ENABLE) 的 NAND 閘 R-S 正反器實習	122
5-4	附啟動控制 (ENABLE) 的 NOR 閘 R-S 正反器實習	124
5-5	附清除 (CL) 和預置 (PR) 的 R-S 正反器實習	126
5-6	主副式 R-S 正反器實習	127
5-7	R-S 型 $\rightarrow$ D 型正反器實習	129
5-8	D 型邊緣觸發正反器實習	130
5-9	R-S 型 $\rightarrow$ J-K 型正反器實習	136
5-10	延遲式 J-K 正反器電路實習	138
5-11	主副式 J-K 正反器實習	141
5-12	J-K 正反器實習	143
5-13	J-K 型邊緣觸發正反器實習	147
5-14	J-K 型 $\rightarrow$ D 型正反器實習	149
5-15	J-K 型 $\rightarrow$ T 型正反器實習	152
5-16	三態正反器實習	153
第六章 振盪電路		155
6-1	非穩態多諧振盪器實習	155
6-2	CMOS RC 振盪器實習	161
6-3	環狀振盪器實習	165
6-4	晶體振盪器實習	166
第七章 單穩及波形整形電路		173
7-1	單穩態振盪器實習	173

7-2	史密特觸發器實習	180
7-3	ON 延時電路實習	183
7-4	OFF 延時電路實習	185
7-5	ON-OFF 延時電路實習	186
7-6	ON 計時電路實習	187
7-7	OFF 計時電路實習	188
第八章 移位記錄器		191
8-1	串入串出移位記錄器實習	191
8-2	串入並出移位記錄器實習	193
8-3	並入串出移位記錄器實習	195
8-4	並入並出移位記錄器實習	197
8-5	雙向移位記錄器實習	199
8-6	74194 雙向移位記錄器實習	202
8-7	環形移位記錄器實習	204
8-8	74194 環形移位記錄器實習	206
第九章 計數器		209
9-1	同步計數器的設計	209
9-2	同步計數器實習	212
9-3	74169 向上數向下數計數器實習	214
9-4	異步計數器實習	217
9-5	BCD 計數器實習	220
第十章 N 模計數器		225
10-1	同步 N 模計數器實習	225
10-2	異步 N 模計數器實習	230
10-3	7490 N 模計數器實習	232
第十一章 數碼轉換器		237
11-1	數碼轉換器實習	237
11-2	二進制碼—格雷碼轉換實習	242
11-3	七段數碼轉換實習	249

第十二章 加法器及減法器

- 12-1 半加器及全加器實習.....253
- 12-2 半減器及全減器實習.....256

第十三章 算術電路.....261

- 13-1 ALU 電路實習.....261
- 13-2 串加器電路實習.....269
- 13-3 串減器電路實習.....272
- 13-4 並加器電路實習.....276
- 13-5 BCD 加法器實習.....280
- 13-6 CARRY SAVE ADDER 電路實習.....285
- 13-7 前向進位加法器 (LOOK-AHEAD CARRY ADDER) 實習.....286
- 13-8 乘法器實習.....290

第十四章 記憶體.....301

- 14-1 二極體矩陣式 ROM 實習.....301
- 14-2 讀寫記憶體 RAM.....306
- 14-3 RAM 電路實習.....309

第十五章 數位邏輯電路應用.....313

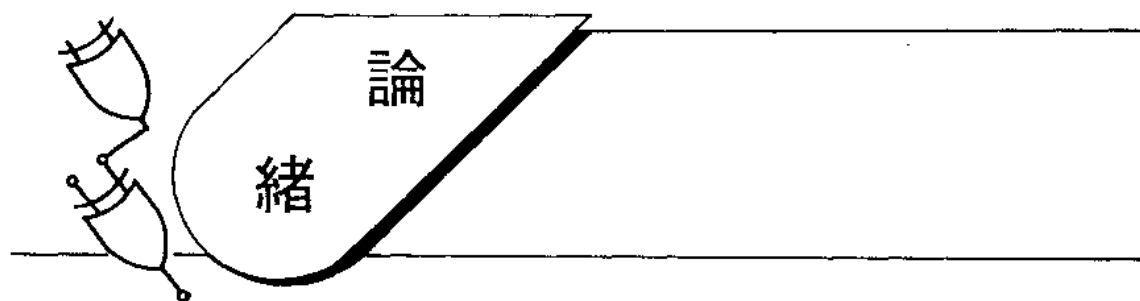
- 15-1 CMOS 線性放大器及振盪器.....313
- 15-2 無接點觸摸式波段開關.....316
- 15-3 車燈警告裝置.....317
- 15-4, db 顯示器.....319
- 15-5 數位波形產生器.....321
- 15-6 計頻器.....325
- 15-7 數字式電容表.....331
- 15-8 默契測驗電路.....336
- 15-9 液位控制電路.....337
- 15-10 步進馬達控制電路.....339
- 15-11 脈波寬度伺服同步電路.....342
- 15-12 單頻道兩動作控制伺服電路.....352

15-13	並進串出多工器	359
15-14	電子骰子	363
15-15	廣告燈	365
15-16	廣告燈循環控制電路	366
15-17	可程式化廣告燈控制電路	369
15-18	交通指示燈控制電路	372
15-19	鎖相迴路 (PLL) 實習	378
15-20	自動計數控制電路	386
15-21	可預置自動計數器	397
15-22	電子馬錶	400
15-23	數位電子時鐘	401
15-24	電子錶電路	403
15-25	按鍵式電話	406
15-26	數位電表 (DDM) 介紹	408
15-27	數字式電表實習(一)	423
15-28	數字式電表實習(二)	425
15-29	電子節拍器	432
15-30	電子琴	432
15-31	音樂 IC 電路	433
15-32	實用電子琴電路	436
15-33	計算機電路	441

第十六章 數位電路補充習題及製作 445

16-1	基本閘特性轉換曲線測試	445
16-2	計數器	446
16-3	交通號誌模型電路	447
16-4	上數下數計數器 (UP-DOWN COUNTER)	448
16-5	循環計數器	448
16-6	隨機計數器	449
16-7	三種不同頻率之電子蜂鳴器	450
16-8	自動往復式順序閃爍器	450
16-9	可正反轉之電子轉盤	451
16-10	數字顯示型電子骰子	451

16-11	數位波形產生器.....	452
16-12	以一個 IC 來製造函數產生器.....	453
16-13	寬度可調整的脈波延遲電路.....	453
16-14	機智反應遊戲電路.....	454
16-15	九宮棋趣味遊戲電路.....	454
16-16	魚雷遊戲電路.....	455
16-17	鍵盤介面電路.....	456
16-18	電話自動撥號器製作.....	459
16-19	自動換檔數字式電容表製作.....	465
附錄 A	LLT-105A 數位邏輯實驗器面板圖.....	474



一般電路可分成線性電路與數位電路。

凡是一個電路它所傳輸或處理的電信號 (signal) 不是連續值，而只限於某些分離數值 (discrete Value)，這種信號稱為數位信號，這電路就可認為是一數位電路。而線性電路中所處理之電信號，為連續值，這是數位電路與線性電路的根本差別。

數位電路主要包含兩類最基本的功能單元 (function elements)，其一為邏輯閘 (logic gate)，其二為儲存元件—正反器 (flip-flop)，即使是在大規模的數位系統中，例如計算機、數位通訊系統，也是以這兩種功能元件為骨幹。

基本上來說，邏輯閘電路是一種“開關電路”，它是由許多具有“開關”特性的裝置所構成，這些裝置可以是機械式的，如普通的開關，也可以是電磁式，如繼電器 (relay) 之類；或者電子式的，如各種半導體裝置等，其中以電子式的最為重要（此類開關裝置，“開”“關”動作交換速度極快）。

這些開關裝置有一共同的特性，它們的動作狀態只有兩種，不是開就是關，不是導通就是斷路。這兩種狀態正好可以用來表示二進符號 0 與 1，邏輯閘電路就是利用電路中各種 0 與 1 狀態的組合，來執行邏輯運算（或代數運算）。

本章將從基本邏輯觀念的引入，說明邏輯函數、邏輯符號、真值表的意義，並討論幾種基本邏輯函數及其邏輯閘等效電路，進一步介紹與比較各種現在實用上的邏輯閘電路。

基本邏輯符號 (Basic Logic Symbols) 及其真理表 (Truth table) 與等效電路

邏輯 (logic)：推理的正式原理的科學；是一種研究思維法則的科學。它論及前提 (premise) 與結論 (conclusion) 間的關係，並提供我們一些方法，以區別正確的推論和不正確的推論。

現在舉一簡單的例子來說明：

【例 1】

某班同學決議，“若下星期六天氣晴朗，並且可以租到車子，則出發前往烏來旅遊

”。試列表以表示該班此次旅遊成行與不能成行的各種情況。

【解】在這個例子裏；“若……，則……”是一個命題，其前半段“若……”是前提，後半段“則……”是結論。

這個問題決定的因素有二，每一因素各有正反兩面，故其可能發生的情況共有兩種。茲以A表天氣，好天為1，壞天為0；B表租車子，租得到為1，租不到為0。以F表目的，達到（成行）為1，達不到為0。例示如下表。

表一

A (天 氣)	B (租 車)	F (目 的)
0 (壞)	0 (租不到)	0 (不成行)
0 (壞)	1 (租 到)	0 (不成行)
1 (好)	0 (租不到)	0 (不成行)
1 (好)	1 (租 到)	1 (成 行)
假 設		結 果

從表一可以看出在這個命題之下的各種假設與其結果間的關係，我們把這種表明假設與結果之間關係的表，稱為真值表(truth table)。

英國數學家波爾，於1854年曾著手於邏輯的數學分析，他以二進制數學為基礎發展出一套有系統的方法，在第四章中我們將詳加討論。利用這種數學工具，我們可將例一中的邏輯關係表示成數學的函數形式，即

$$F = A \cdot B \quad (\cdot \text{表邏輯“及”運算})$$

這種邏輯關係的函數表示稱為邏輯函數(logic function)。

在數位電路中我們可以利用邏輯閘電路輸入與輸出間電路狀態的關係來表示實際的邏輯關係。為了方便起見，我們把實際電路以圖形符號表示，這種執行邏輯函數所用元件的圖形表示法，稱為邏輯符號(logic symbol)。

現在我們來研究幾種基本邏輯函數，及其對應的邏輯閘電路。

及函數(AND Function)；及閘(AND Gate)

圖一(a)是及函數的真值表，圖一(b)是它的邏輯符號，從電路觀點來看這符號代表一個雙輸入的及閘。

輸 入		輸 出
A	B	F
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

(a)



(b)

圖一 及閘與其真值表

及閘的特性是：僅當所有輸入都是 1 時，輸出才是 1。

或函數(OR Function)；或閘(OR Gate)

圖二(a)是或函數的真值表，圖二(b)是它的邏輯符號，代表一個雙輸入的或閘。

輸 入		輸 出
A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(a)



(b)

圖二 或閘與其真值表

或閘的特性：僅當所有輸入都是 0 時，輸出才是 0。

反函數(NOT Function)；非閘(NOT Gate)

NOT 函數的真值表如圖三(a)，圖三(b)為其邏輯符號，代表一個反相閘。

輸 入	輸 出
A	F
0	1
1	0

(a)



(b)

圖三 反相器與其值理表

它的特性是：它的輸出永遠是輸入的“補數”(complement)，即當輸入為 0 時，輸出為 1；輸入為 1 時，輸出為 0。

反及函數(NAND Function)；反及閘(NAND Gate)

圖四(a)是反及函數的真值表，圖四(b)為其邏輯符號，代表一雙輸入的反及閘。

輸 入		輸 出
A	B	F
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

(a)

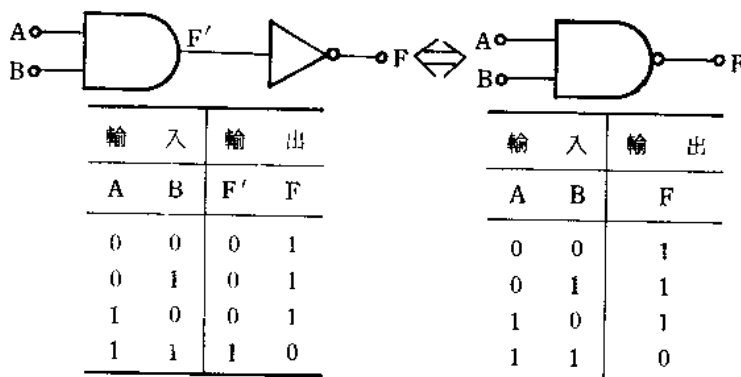


(b)

圖四 反及閘與其真值表

反及閘的特性如下：當所有輸入皆為 1 時，輸出為 0，否則輸出為 1。

從真值表上，可發現在同樣的輸入時，反及閘輸出實際上就是及閘輸出的補數。因此，一個反及閘可用一個及閘在輸出端串接一個反相器做成。以圖五圖解說明這種關係。



圖五 及閘串接反相器成反及閘

反或函數(NOR Function)；反或閘(NOR Gate)

圖六(a)是反或函數的真值表，圖六(b)為其邏輯符號，代表一個雙輸入的反或閘。

反或閘的特性是：當所有輸入皆為 0 時，輸出才為 1，否則輸出為 0（如圖六）。

反或閘也可由一個或閘在輸出端串接一個反相器做成。我們用圖七圖解說明這種關係（如圖七）。

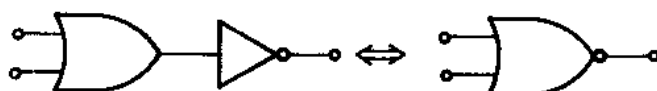
輸 入		輸 出
A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

(a)



(b)

圖六 反或閘與其真值表



輸 入		輸 出	
A	B	F'	F
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

(a) OR-NOT

輸 入		輸 出
A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

(b) NOR

圖七

TTL 就是電晶體—電晶體—邏輯，1964 年德州儀器公司推出 TTL 邏輯族，標準產品命名為 SN54 系列，SN54 系列係供軍方使用，故而產品體積小，功率消耗低，可靠度的要求較高，工作溫度範圍為 -55°C 到 $+125^{\circ}\text{C}$ 有相當廣之範圍，SN74 系列產品供給工業用，特性只保證在 0°C 到 70°C 間之工作溫度範圍，頻率特性良好，動作速度快可達數 10 ~ 數百 MHz。

C-MOS (互補、金屬、氧化物、半導體-IC)，1960 年代之後半 RCA 公司生產 CD4000 系列 C-MOS IC 並開始發售為今日 C-MOS IC 之生產主流，而 Motorola 公司生產之 MSI，NSC 公司產製 TTL 系列亦佔極大之市場。故而就目前泛用 C-MOS IC 概可分為 RCA 型、Motorola 型、NSC 型等三大系統。一般而言，C-MOS IC 之電源使用範圍極廣， V_{DD} 為 3 ~ 15 V 範圍，輸入電壓 V_{IH} 為 0 ~ V_{DD} 範圍，輸入為高電位 V_{IH} 等於 $V_{DD} \times 0.7$ ，輸入電壓為低電位 V_{IL} 等於 $V_{DD} \times 0.3$ 。工作溫度範圍為 -30°C 到 $+85^{\circ}\text{C}$ 。

本書包含以下各章，邏輯實驗器簡介、數位晶體邏輯、數位 IC 邏輯、組合邏輯、正反器、振盪電路、單穩及波形整型電路、移位記錄器、計數器、N 模計數器、數碼轉換器、加法器及減法器、算術電路、乘法器、記憶器 (ROM、RAM) 及 IC 應用電路，使學者能深入了解基本邏輯閘的使用及設計，進而了解組合邏輯之設計及振盪電路之設

6 數位邏輯電路實驗

計，計算機之算術電路在本書中也做了基本的介紹，本書列有許多實用之 IC 應用及電路控制，適合高工電子、電機科學生授課，及有關人員進修之用。



第1章

邏輯實驗器簡介

實驗器規格：

內含：

(一) 電源供給部份：

(1) 固定電源直流供給： $+5V + 12V - 5V (1A)$ 。

① 負載變動率： $3\% + 2mV$ 。

② 電源變動率： $3\% + 2mV (Acllov \pm 10\% 50Hz/60Hz)$ 。

③ 漣波及雜訊： $< 20mV_{rms}$ 。

④ 輸出附過載保護裝置。

⑤ 使用穩壓 IC 電路。

全為金內含彈片之萬用 0.6 單心線插接端子，操作簡捷方便。

(2) 雙電源直流供給部份：

① 負載變動率： $0.1\% + 2mV$ 。

② 電源變動率： $0.1\% + 2mV (Acllov \pm 10\% 50Hz/60Hz)$ 。

③ 漣波及雜訊： $< 2mV$ 。

④ 電壓輸出採追蹤式控制裝置。

⑤ $5V \pm 15V$ 設校準裝置。

⑥ 每組電源輸出具過載保護裝置。

⑦ 當電壓逆時針轉至最底為 $0V$ ，在約 $\frac{1}{3}$ 位置為 $5V$ 輸出校準位置，當順時針轉至最底則為 $\pm 15V$ 輸出校準位置。

(3) 交流 AC 訊號： $5-0-5$ ， $15-0-15$ 及對應全波整流輸出電流 $100mA$ 。

(二) 信號產生部份：Signal Generator

信號輸出振幅有 TTL 及 C/MOS 二種準位輸出控制開關，當置於 TTL 準位時，INPUT 不必外加電壓，輸出為標準 TTL 邏輯準位 ($5V$)，當開關置於 C/MOS 時 INPUT 需外加 C/MOS 之 V_{cc} 電壓，以設定輸出之 C/MOS 邏輯準位。設定輸出準位為 V_{cc} 電壓 $3V \sim 15V$ 。LLT-105 則同時具 TTL、C/MOS 邏輯準位訊號輸出。

(1) 標準頻率：採用石英晶體振盪。