

數位電路實習

沈達三 編著



全華科技圖書股份有限公司 印行

序 言

自從 Claude Shannon 於 1938 年把布林代數整理成系統化之後，至今仍無更進一步的數位觀念，在其他領域中，1930 年代，甚至 1940 年代的尖峯產品，皆已被目前的新產品所取代了，惟獨數位觀念卻指數式地成長著，數年前數位觀念被用來解決類比問題，先是用 A-D 及 D-A 轉換器，目前則用微電腦及其它程式化的數位系統來處理，總之，此類特別問題已逐漸被人所重視。

或許有人懷疑微電腦會推翻以前已建立的邏輯設計工作或程式邏輯的觀念，其實不然，只可說微電腦的應用改變了邏輯設計的方向，大體上，微電腦及 LSI 元件注意“界面設計”，所以今天及未來的數位設計家，必須準備作某一事件到另一事件的界面工作，故我們必須發展出一個共通性的方向，引導學生由基本工作開始經由“界面設計”，再進入程式化時序機及微處理的領域，如此則可顯然地縮短了步入微處理的路徑，當然，這一基本工作先要由理論及元件的認識著手，然後再發展出一套界面原則，以適用於系統控制，小型程式化時序機，以及一些微處理的應用；本書旨在建立起基本理論及元件之認識與使用的工作。

爲了提供數位電路基本概念的堅強基礎，並協助學生將來進入工業界，本書採用能力本位的原理來編輯，書中有 482 個插圖、100 個範例、70 個實驗和 237 個問題，那是爲了讓學者能做到“邊做邊學”（Learning by doing）。

每章的開頭都清楚地標明該章的目的，並提出學前測驗，其目的在使讀先明白整章的輪廓，如果讀者已學過該單元，則可不必再將時間耗費於此，他可以立即跳到下一單元去學習，當你完成整個章節後，又有學後測驗，可用來評量你的能力，其中各問題的安排都能比照該章節的順序，以便於學者對不甚明白的章節，可立即做補救學習。

本書先闡明布林代數的化簡，此乃數位電路之骨幹，幾乎所有設計理論皆與它息息相關，邏輯族及基本閘為最基本的數位元件及觀念，正反器、計數器、單擊器、暫存器則是序向電路的基本元件，BCD碼，互斥或及算術電路，在計算及比較器中佔著極重要的地位，最後提到多工器與解多工器的使用及設計方法。

雖然經由一再校對、校訂，才得以出書，但難免有所缺失，歡迎各界隨時予以批評指教，任何建言都將由衷感激。

沈達三寫於雨港 1983.8.1.

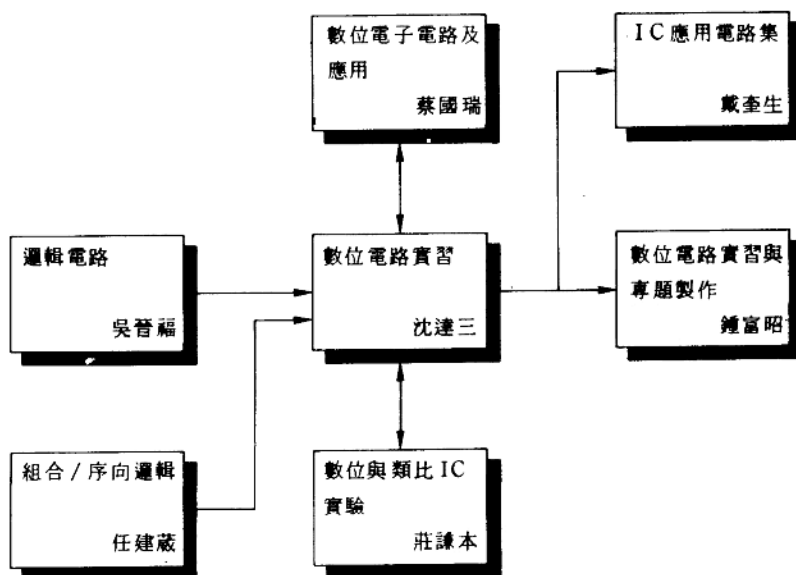
編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

現在，我們將這本「數位電路實習」呈獻給您。本書採取能力本位，自學輔導方式編輯而成，著重理論與實際之配合，適合做為高工電子、電工及相關科之數位實習教本。每章的開頭都清楚地標明該章的目的，並提出學前測驗，其目的在使讀者先明白整個輪廓，如果讀者已完成該單元的學習，則可跳到下一單元去學習，當你完成整個章節後，又有學後測驗，可用來評量你的能力，其中各問題的安排都能比照該章節的順序，以便於學者對不甚明白的章節，可立即回頭做補救學習。書中有482個插圖，100個範例，70個實驗以及273個問題，其目的在使學者能做到“邊做邊學”(Learning by doing)，以獲得堅強的數位基礎，又經由編序式的學習，讀者將能確實的掌握住數位設計的技巧。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習數位電路方面叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。

流程圖：



目 錄

第 1 章 布林代數的化簡	1
1. 目 的	1
2. 學前測驗	1
3. 標準型式	2
4. 化爲標準 SOP 型式	2
5. 化爲標準 POS 型式	3
6. 以數目代表 SOP 型式	4
7. 以數目代表 POS 型式	5
8. 真值表	6
9. 戴莫根定理	7
10. 卡諾圖	8
11. 卡諾圖化簡法	9
12. 卡諾圖的 POS 型式表示法	13
13. 不理 (Don't care)	15
14. 5 個變數	16
15. 實際應用	17
16. 實 驗	20

17. 學後測驗	22
第2章 邏輯族	25
1. 目的	25
2. 學前測驗	25
3. 開的邏輯符號	26
4. 邏輯開的等值轉換	27
5. 用邏輯開來完成邏輯式	28
6. 閘圈的位置	32
7. 用AND-OR及NAND表示SOP式	33
8. 用NOR表示POS式	34
9. 選用開的方法	35
10. 二極體開	36
11. 分立元件組成的開	37
12. 積體電路	38
13. 電阻電晶體邏輯	39
14. 二極體—電晶體邏輯	41
15. 電晶體—電晶體邏輯	42
16. 射極耦合邏輯	44
17. CMOS 開	46
實驗一	47
實驗二	51
實驗三	52
實驗四	57
18. 學後測驗	61
第3章 基本開	67
1. 目的	67
2. 學前測驗	67
3. 基本開的種類	68
4. 7400	68
5. 史密特觸發器	70

6. 其它基本 TTL 閘.....	74
7. 開路及不用的接腳.....	75
8. 拉引電阻.....	75
9. 箝位.....	76
10. 將已用和不用的輸入端相連接.....	76
11. 連接 ANDING.....	77
12. 開集閘.....	78
13. 開集閘緩衝/驅動器.....	79
實驗一.....	80
實驗二.....	84
實驗三.....	88
實驗四.....	91
實驗五.....	94
實驗六.....	97
實驗七.....	101
實驗八.....	104
實驗九.....	109
14. 其它緩衝/推動閘.....	112
15. 三態輸出.....	112
16. Strobed, Expander	113
17. A-O-I 閘.....	115
18. 互斥或閘.....	117
實驗十.....	119
實驗十一.....	122
實驗十二.....	126
實驗十三.....	127
實驗十四.....	130
實驗十五.....	132
實驗十六.....	134
實驗十七.....	138
實驗十八.....	142
實驗十九.....	145

實驗二十	147
19. 學後測驗	150
第4章 正反器	153
1. 目的	153
2. 學前測驗	153
3. 概論	154
4. 基本正反器	154
5. NOR 正反器	155
6. NAND 正反器	156
實驗一	157
7. D型正反器	159
8. 雙穩態門型正反器	160
實驗二	161
實驗三	162
實驗四	163
實驗五	166
9. J-K FF(主奴式)	167
實驗六	170
實驗七	172
實驗八	174
10. 邊緣觸發式正反器	176
11. 競賽狀況	178
12. 正反器的極限	180
13. 負載電流	180
14. 正反器之應用	180
15. 突波	183
16. 結論	184
17. 學後測驗	184
第5章 計數器	193
1. 目的	193

2. 學前測驗	193
3. 概 論	194
4. 除 N 電路	194
5. 鏈波計數器	194
6. 解出特別數量的計數器	195
7. 同步計數器	196
8. K-位元同位計數器	196
9. 同步計數器的時序狀況	197
10. 除 3 計數器	199
實驗一	200
實驗二	202
11. 不規則變化的計數器	207
12. J-K FF 之變遷圖	208
13. 同步計數器之設計步驟	209
14. 用不同的正反器來設計	209
15. D-FF 和 J-KFF 之比較	212
16. IC 專用計數器	212
17. 7492 除 12 計數器	212
18. 7490 除 10 計數器	213
19. 7493 除 16 計數器	215
實驗三	217
20. 74193 同步 4 位元上一下計數器	224
21. 74193 之接腳	224
22. 74193 之用法	225
23. 74193 之時序圖	226
24. 74194	226
實驗四	226
25. 學後測驗	231

第 6 章 單擊器 237

1. 目 的	237
2. 學前測驗	237

3. 概 論	238
4. 用 NOR 組成單擊器	238
5. 工作週	240
6. NAND 單擊器	240
實驗一	242
7. 74121	243
實驗二	245
8. 74122 可再觸發式單擊器	254
9. 74122 內部電阻	256
實驗三	256
10. 74123 雙組單擊器	258
11. IC 振盪器	259
實驗四	261
12. 74121 組成多諧振盪器	265
實驗五	265
13. 史密特觸發器作多諧振盪器	269
14. 555 定時器	269
15. 555 多諧振盪器	272
實驗六	273
16. 用單擊器 IC 作出時序電路	275
實驗七	280
17. 開關跳彈	280
18. 反跳彈電路	281
19. 單極反跳彈電路	282
20. 學後測驗	283

第 7 章 暫存器 287

1. 目 的	287
2. 學前測驗	287
3. 基本移位記錄器	288
4. 用 D-FF 作移位記錄器	288
5. 左 - 右移位記錄器	289

6. 乘法和除法	291
7. 串入式和並載式移位記錄器	291
實驗一	292
8. 並列載入及並列輸出移位記錄器	297
9. 74164 8-bit 移位記錄器	298
10. 74165 及 74166 8-bit 並列載入移位記錄器	300
實驗二	305
11. 串列—並列及並列—串列轉換	307
實驗三	307
12. MOS 移位記錄器	308
13. 動態暫存器	309
14. 靜態暫存器	311
15. 序列產生器	312
實驗四	314
16. 學後測驗	316

第 8 章 二進制十進碼 319

1. 目的	319
2. 學前測驗	319
3. BCD 碼	320
4. BCD 碼之優劣	320
5. BCD - 二進碼轉換	321
6. 用移位法將 BCD 轉換為二進位	322
7. 二進制—BCD 轉換 (用減法)	323
8. 二進制—BCD 轉換 (用移位及加法)	324
9. 用 IC 來轉換數碼	324
10. 74184	325
11. 74185	330
12. 指示燈	332
13. 7 段顯示器	333
實驗一	335
實驗二	337

14. 7447	341
15. 學後測驗	343

第9章 互斥或電路 347

1. 目的	347
2. 學前測驗	347
3. 比較器	348
4. XNOR 閘	348
5. 7485 4-bit 比較器	349
6. 同位檢知及產生器	352
7. 同位卡諾圖	353
實驗一	354
8. 74180 作同位檢知及產生電路	356
實驗二	358
9. 葛雷碼	360
10. 葛雷碼之應用	361
11. 葛雷碼—二進碼轉換	362
實驗三	364
12. 學後測驗	367

第10章 算術電路 371

1. 目的	371
2. 學前測驗	371
3. 基本加法器	372
4. 半加器	372
5. 全加器	372
6. 減法器	373
實驗一	375
7. 補數在減法的運用	379
8. 補數在算數電路的應用	380
9. 2 的補數加法運算	381
10. 2 的補數減法運算	382

11. 7483	383
12. 多級 7483	384
13. 7483 作 2 的補數的加／減運算	384
實驗二	385
14. 溢位及不足	387
15. BCD 算術	388
16. BCD 減法器	390
17. 9 的補數減法器	392
實驗三	394
18. 74181 (ALU)	396
19. 前瞻進位產生器	399
20. 74182	401
21. 二進碼乘法器	403
實驗四	404
22. 學後測驗	409
第11章 多工器與解多工器	419
1. 目的	419
2. 學前測驗	419
3. 多工器	420
4. 74153, 4 線對 1 線多工器	421
5. 74157	423
6. 大型多工器	423
7. 解多工器	426
8. 74155	427
9. 74154	428
實驗一	429
實驗二	434
實驗三	436
實驗四	438
10. 多工器／解多工器之用途	441
11. 鍵盤掃描	445
12. 學後測驗	445



布 林 代 數 的 化 簡

1. 目的：

- (1) 將布林代數表為標準 SOP 及 POS 型式。
- (2) 求出 SOP 及 POS 的等值式。
- (3) 對一函數，列出其卡諾圖。
- (4) 用卡諾圖來化簡函數式。

2. 學前測驗

- (1) SOP 的定義為何？SOP 和標準 SOP 間之差別為何？
- (2) POS 的定義為何？POS 和標準 POS 間之差別為何？
- (3) 如果有一值 (term)，它少了 k 個字母，則要將它表示成標準 SOP 或 POS 型式，則可能展開出幾個值 (term)？
- (4) 若是有 k 個字母未出現於 SOP 或 POS 表示式中，則此式有何特別意義。
- (5) 何謂部分集合 (subcube)，它如何用來化簡？
- (6) 為何在化簡時，常選用最大的部分集合 (subcube)？
- (7) 當部分集合為 2 單元 (cell) 或 4 或 8 單元時，它表示可以消去幾個字母？
- (8) 你如何來檢驗，一式是否已化為最簡？
- (9) 你如何畫出 POS 的卡諾圖？

2 數位電路實習

(10) “不管”(don't care)如何產生？它對設計者而言有何益處？

3. 標準型式：

布林代數的化簡方式，可用公式法，可是它無一定規則可循，端賴熟練與經驗來進行，而且化簡後是否即是最簡式，也無從知悉，例如：

$$f(W, X, Y, Z) = \overline{W}X + \overline{X}YZ + WZ + YZ$$

我們可以試試某些公式，但是幾乎無法化簡，是否已表示該式已經最簡化了呢？若是應用邏輯的方式，則必能獲得完滿的答覆。

要進行邏輯方法時，要先了解以下各名詞的意義：

- (1) 字母：例如 $\overline{ABC}$ 包含三個字母 A, B, C 。
- (2) 積項：前項 $\overline{ABC}$ 即一積項。而 $A(\overline{B}+C)$ 則非積項，因為它包含有“+”記號。
- (3) 和項： $A + \overline{B} + C$ 為和項，同樣地 $A(\overline{B}+C)$ 則非和項。
- (4) 範圍：即表示該函數的變數數目，例如 $f(x, y, z)$ 的函數中，含有 x, y 及 z 三個變數。
- (5) 標準積項：即表示此項包含所有的變數在內。例如，以 A, B, C, D 範圍而言， $\overline{ABCD}$ 即為標準積項，而 $\overline{ABC}$ 則非標準積項。
- (6) 標準和項：即表示此項包含所有的變數在內的和項，例如以 A, B, C, D 範圍而言， $\overline{A} + \overline{B} + \overline{C} + \overline{D}$ 即為標準和項，而 $\overline{A} + \overline{B} + C$ 則非標準和項。
- (7) 積之和：即數個積項的和 (SOP)，例如 $\overline{AB} + \overline{ABC}$ 為 SOP 型式。如果 SOP 中的每一項皆為標準積項，則此 SOP 又稱為標準積之和。
- (8) 和之積：即數個和項之積 (POS)，例如 $(A+B)(A+B+\overline{C})$ 即為 POS 之型式，如果 POS 中的每一項皆為標準和項，則此 POS 又稱為標準和之積。

4. 化為標準SOP型式：

若以 SOP 來說， $(V, W, X, Y) = \overline{V}\overline{W}\overline{X}$ 並不是標準積項，因為它少了 Y 的變數，若要轉換為標準型式，則可以將 $\overline{V}\overline{W}\overline{X}$ 再乘以“1”（或是乘以 $Y + \overline{Y}$ ）如下：

$$\overline{V}\overline{W}\overline{X}(Y + \overline{Y}) = \overline{V}\overline{W}\overline{X}Y + \overline{V}\overline{W}\overline{X}\overline{Y}$$

經過以上的轉換後，變成了兩個標準 SOP 項。每項皆含有 4 個變數。

【例1】將 $f(a, b, c, d, e) = \bar{a}b\bar{d}$, 請寫出其標準 SOP 型式。

【解答】 $f(a, b, c, d, e) = \bar{a}b\bar{d} = \bar{a}b\bar{c}\bar{d}\bar{e} + \bar{a}b\bar{c}d\bar{e} + \bar{a}b\bar{c}\bar{d}e + \bar{a}b\bar{c}de$ 。
(ce 有4組組態 $\bar{c}\bar{e}, \bar{c}e, c\bar{e}, ce$)

【例2】 $f(a, b, c, d) = a\bar{b} + ac\bar{d}$, 化作 SOP 的標準式。

【解答】 $f(a, b, c, d) = a\bar{b} + ac\bar{d}$
 $= a\bar{b}\bar{c}\bar{d} + a\bar{b}c\bar{d} + a\bar{b}c\bar{d} + a\bar{b}cd + abc\bar{d} + ab\bar{c}\bar{d}$

Expansion of the term $a\bar{b}$ Expansion of
the term $ac\bar{d}$

$$= a\bar{b}\bar{c}\bar{d} + a\bar{b}c\bar{d} + a\bar{b}c\bar{d} + a\bar{b}cd + abc\bar{d} + ab\bar{c}\bar{d}$$

5. 化為標準POS型式：

$$\begin{aligned} f(X, Y, Z) &= X + \bar{Y} \\ &= X + \bar{Y} + \bar{Z}Z \\ &= (X + \bar{Y} + Z)(X + \bar{Y} + \bar{Z}) \end{aligned}$$

以上 $\bar{Z}Z = 0$

$$\begin{aligned} (X + \bar{Y} + Z)(X + \bar{Y} + \bar{Z}) &= (X + \bar{Y})(X + \bar{Y}) + (X + \bar{Y})\bar{Z} \\ &\quad + (X + \bar{Y})Z + Z\bar{Z} \\ &= (X + \bar{Y}) + (X + \bar{Y})(Z + \bar{Z}) + 0 \\ &= (X + \bar{Y}) + (X + \bar{Y}) \\ &= X + \bar{Y} \end{aligned}$$

【例3】 $f(A, B, C, D) = (A + \bar{C} + \bar{D})(A + \bar{B})$, 將左式化為 POS 的標準式。

【解答】①第1項少了 B 變數, 可將它加入 B 變數而變成兩項：

$$(A + B + \bar{C} + \bar{D})(A + \bar{B} + \bar{C} + \bar{D})$$

②第2項少了 C, D 變數, 可化為4項標準POS：

$$\begin{aligned} A + \bar{B} &= (A + \bar{B} + \bar{C} + \bar{D})(A + \bar{B} + \bar{C} + D) \\ &\quad (A + \bar{B} + C + \bar{D})(A + \bar{B} + C + D) \end{aligned}$$

Therefore

$$\begin{aligned} f(A, B, C, D) &= (A + \bar{C} + \bar{D})(A + \bar{B}) \\ &= (A + B + \bar{C} + \bar{D})(A + \bar{B} + \bar{C} + \bar{D}) \end{aligned}$$