LOGIC CIRUIT DESIGN

邏輯電路

王政友譯

五洲出版社印行

邏輯電路

目　錄

第一章　邏輯電路的基本概念

1-1　緒言……………………………………………… 1
1-2　邏輯電路……………………………………………… 3
1-3　交換電路……………………………………………… 3
1-4　邏輯結合之種類……………………………………… 4
1-5　結合形邏輯電路與順序形邏輯電路……………… 7

第二章　數字系統

2-1　2進制與10進制 ………………………………… 8
2-2　不同數系之變換……………………………………… 10
2-3　2進碼10進系統 ………………………………… 16
2-4　補數與其運算……………………………………… 17

第三章　邏輯數學

3-1　一般集合理論……………………………………… 25
3-2　集合之運算……………………………………… 27
3-3　波爾代數……………………………………… 32
3-4　波爾代數之各種定理……………………………… 33
3-5　眞理表……………………………………… 36
3-6　波爾代數在邏輯電路中的應用…………………… 38
3-7　波爾代數的簡化……………………………………… 40

第四章 基本邏輯電路元件

4-1 一般電路元件 …… 52
4-2 脈衝電路 …… 59
4-3 邏輯電路的基本型式 …… 63
4-4 基本邏輯電路 …… 67
4-5 正邏輯與負邏輯 …… 81
4-6 高電壓準位，低電壓準位與Threshold …… 82
4-7 其他各種邏輯閘路 …… 83

第五章 Digital正反器

5-1 Digital 裝置與記憶電路元件 …… 88
5-2 *FF*之基本電路 …… 89
5-3 *FF*動作之表示法 …… 91
5-4 *R-S-T FF* …… 94
5-5 *J-K FF* …… 96
5-6 *T FF* …… 99
5-7 *D FF* …… 100

第六章 計數器

6-1 前言 …… 102
6-2 2進化非同步式計數器 …… 103
6-3 同步式順序電路之設計 …… 106
6-4 同步式16進計數器之設計 …… 109
6-5 同步式10進計數器之設計 …… 113

第七章 暫存器

7-1 前言 …… 116
7-2 暫存器之電路構造 …… 116

7-3 位移暫存器形計數器之設計……120
7-4 環形計數器……124
7-5 扭轉形計數器……125
7-6 線形計數器……128

第八章　演算電路

8-1 前言……132
8-2 半加器……133
8-3 全加器……134
8-4 串加器與並加器……137
8-5 前瞻進位電路……140
8-6 減算器……142
8-7 2進並減器……145
8-8 使用加算器之2進並減器……147
8-9 加減算器……149

第九章　碼，組碼與解碼

9-1 碼……152
9-2 反射2進數……155
9-3 錯誤的偵測……158
9-4 組碼器……161
9-5 解碼器……164

第十章　各種基本邏輯電路

10-1 選擇電路……168
10-2 分配電路……171
10-3 數位比較電路……173
10-4 一致電路……179
10-5 各種脈衝信號產生器……181

第十一章 MOS 邏輯

11-1 *MOS FET* ……………………………………189
11-2 *MOS* 反轉器 *NAND* 及 *NOR* 閘 ……………………191
11-3 靜態與動態電路……………………………………193
11-4 動態式位移暫存器…………………………………194
11-5 靜態式位移暫存器…………………………………197
11-6 互補形 *MOS* 邏輯閘路 ……………………………199

第一章　邏輯電路的基本概念

1-1　緒言

對於一從事於有關電子計算機，數位式計器或者次序控制系統（Sequential Control System）等工作的人而言，“邏輯電路”在該些裝置或系統中係扮演何種角色自然十分清楚。但是，對於一剛欲登上述諸裝置或系統之門者而言，什麼叫做邏輯電路？邏輯電路到底做些什麼事等，則將十分陌生。本書即以這些人爲對象，試圖以簡易的說明方式，對上述諸問題做一總體的介紹。

在日常生活中，經常可以聽見“你說的理由似乎不合邏輯”之類的話。“不合邏輯”在這裏係指“不合理”之意。對於一個“理”來說，其中必有一個法則存在，既有一法則存在，自然有其首尾之一貫性質。換句話說，在邏輯中所着重的是一個法則（或是一個思想）首尾的一貫性。

實際上，對於“邏輯”一詞，若欲給予一個正確的定義時，則應該是“對於一個錯綜複雜的問題，在一定的前提下，予以逐步推論，建立一思考法或法則，期能獲得一正確結論的一種推論的科學（Science of inference）。”例如一般熟知的演繹法卽爲邏輯的一種。

至於本書中所討論的邏輯電路，亦爲邏輯中的一環，但是，邏輯電路所討論的較一般的邏輯爲單純，只是依照一定的法則以推論一個陳述（或稱命題，Statement）的眞（true）或僞（false）而已。

以我們日常的用語爲例，“今天下雨”或者“這本書是我的”這兩句話（也就是兩個陳述）中，下雨或不下雨，書是我的或不是我的甚爲清楚，一見卽可知曉陳述的狀況。例如在第二個陳述中，書與我的之間，只有“是”或“不是”兩種情況。這“兩種”情況在此卽稱爲邏輯值。

另外，例如“今天可能會下雨”或“大概是這樣吧”等具有可能性或推斷性的陳述，其中是“眞”或是“僞”不能有一明確的判斷。雖然有些邏輯中允許這種可能性的陳述，但本書中則不討論這種“眞”，“僞”不明的陳述。

通常，在一個問題中並非僅存在一個單獨的陳述，而係由多個不同的陳述所組成。今設有兩個以上的陳述 A，B，……。而這些陳述互相結合後將形成具有另外一個內容的陳述 Y，而這個 Y 的結果(即眞或僞)則係我們所需要或需要知道的。例如，有兩個陳述，A 爲今天天氣好(或不好)，B 爲今天的工作不忙(或忙)，這兩個陳述互相結合後，所形成的另一陳述 Y 爲去(或不去)登山，如圖 1-1所示。究竟去不去登山，則視 A，B 兩陳述是否合乎去登山的原則而定。在此場合，我們可以定一個原則，即假定天氣好以及工作不忙的情況下去登山；另外也可以定一原則爲今天若天氣好，或者工作不忙便去登山。前者係天氣好與工作不忙兩個條件需同時滿足之情況下方去登山(圖 1-1 中以 A 與 B 表示)，而後者則只需天氣好與工作不忙中，只要滿足其中一個條件便去登山，如圖 1-1中之 A 或 B 所示。

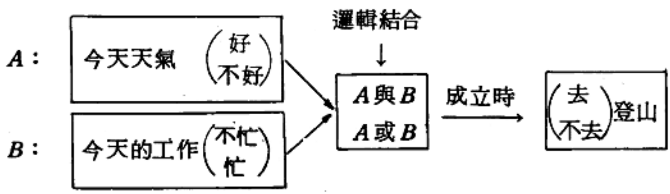

圖 1-1　A，B 兩陳述結合後形成另一結合陳述 Y

上例的場合，A、B 兩陳述依照一特定關係之結合後，形成一結合的陳述。此時，該結合稱爲邏輯結合。

一般，爲了便於表示起見，一個陳述的“眞”可用“T”(true)或“1”來代表，而以“F”(False)或“0”代表“僞”。例如，“今天天氣好”之陳述可以用

$$A=1$$

之式代表，若“今天天氣不好”，即天氣好之陳述不眞實時，則可用

$$A = 0$$

之式表示。也就是一個陳述可用數式之形式來代表。在此，讀者應注意，上兩式中之數字符號“1”與“0”並非代表數值的大小，而是代表陳述的狀態，兩者不可混淆。

1-2　邏輯電路

設有一電路具有兩個輸入端，每個端子之輸入信號各爲A與B。至於其輸出信號則以Y表之。輸出端是否有信號輸出係視A與B兩信號之有無而定。具有這種動作機能之電路稱爲閘門電路（gate）。讀者自可比較圖1-1與圖1-2得知其間的對應關係。圖1-2的場合，閘門電路的動作與前節所述陳述的邏輯結合相同，故該閘門電路又稱爲邏輯閘路（Logic gate）。

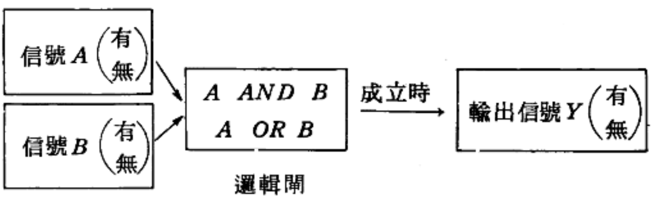

圖1-2　邏輯閘的輸入－輸出關係

1-3　交換電路

這一節介紹由多只開關所組成之交換電路（Switching circuit）。今設有多組接點，每個接點均由激磁線圈的激磁電流來動作。也就是由激磁電流的有、無而使接點在ON或OFF中，兩者擇一動作。當多數接點予以串聯或並聯而形成一組合電路（或系統）時，則激磁電流A，B，…… 等之有無將控制負荷端是否有信號（或電力）輸出。其間之關係如圖1-3所示

在此場合，支配全體電路的動作機能係由全體開關的連接方式而定。對於這種電路，讀者自可由圖1-3得知，與前兩節所示之例相

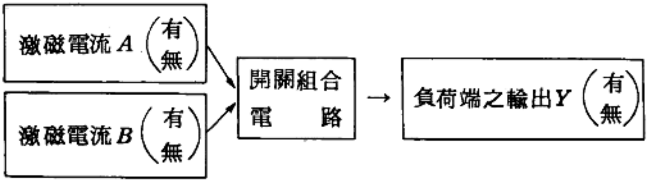

圖1-3

同，當然亦可適用前述之邏輯結合之法則。

以上三節所述之邏輯陳述，邏輯閘路與交換電路三者之間，具有一共通的性質，也就是上述三種場合中之變數均具 binary 之性質。陳述之眞、僞，邏輯閘路中信號之有、無，交換電路中接點之閉合或開啓等等。無論在任何時刻，各均處在上述二種狀態中之一，而別無其他可能存在的狀態。這種性質卽謂之 binary 之性質或 2 値性。

1-4 邏輯結合之種類——AND，OR，NOT

圖1-1 中，各陳述依邏輯的結合後將可形成另一陳述，其中之邏輯結合依使用的目的可規納爲三種基本規則，卽

(1) *ANO* 結合

(2) *OR* 結合

(3) *NOT* 結合

在此，令結合的變數（如陳述，閘門信號，線圈的激磁電流…等）分別以 A，B，C……代表，而其等可能存在的二個狀態（卽陳述的眞、僞；信號之有、無；接點之動作，不動作……等）各以 1 與 0 代表。

〔1〕 *AND* 結合

A，B 兩變數均爲 1 時，若經結合後所得之結果 Y 爲 1，則稱 Y 爲 A 與 B 之 *AND* 結合。以數式表示時，爲

$$Y = A \ \ AND \ \ B = A \cdot B \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1\text{-}1)$$

〔例1〕　圖1-1所示之例中，$Y=A \cdot B=1$ 係表示“今天天氣好而且（AND）事情不忙時，便去登山”之陳述。（事情不忙在此係以 $B=1$ 代表）。$Y=1$ 時，A與B必須均爲1，只要天氣不好，或事情忙碌時，便不去登山。

〔例2〕　電源與負荷之間有兩接點接成串聯，此時，兩接點開關之激磁電流必須同時接通方能使兩接點閉合，也就是兩激磁電流同時接通後，方能自電源供電至負荷端。此時兩串聯之接點即構成 AND 邏輯動作之電路（參照圖1-4）。

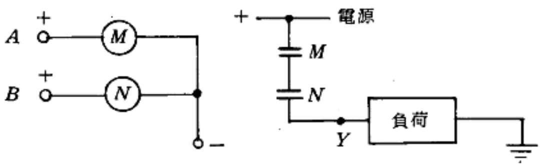

圖1-4　AND電路

〔2〕　OR 結合

A，B 兩變數中，若A與B或兩者之一爲1時，假定結合後之結果Y亦爲1，則稱Y爲A與B之OR結合。以數式表示時爲

$$Y=A \ \text{OR} \ B=A+B \quad \cdots\cdots\cdots (1\text{-}2)$$

A與B任一方爲1時，$A+B$便將爲1。

〔例3〕　在例1中，$Y=A+B=1$係代表“今天若天氣好（$A=1$），或者工作不忙（$B=1$）時，便將去登山（$Y=1$）“與”今天天氣好，工作亦不忙碌（$A=B=1$）時便去登山”之陳述。若上述條件均不能滿足時方取消登山之行。

〔例4〕　一警報器能感受溫度與濃煙之信號，如圖1-5 所示。只要溫度與濃煙之探測器中之一動作時便將發出警報。在此場合即屬於 OR 之電路。也就是 OR 電路相當於接點並聯連接。

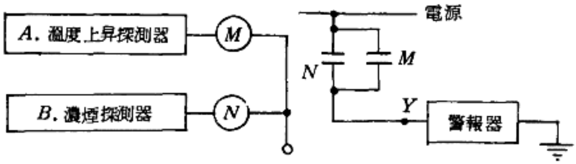

圖 1-5　OR 電路

〔3〕　NOT 結合

NOT 結合係代表一陳述的否定。以數式表示時，爲

$$NOT\ A = \overline{A} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1\text{-}3)$$

若 $\overline{A}=1$，即代表 A 之否定爲眞實，也就是表示 A 爲不眞實（$A=0$）之意。一個陳述除了眞實與不眞實之外，別無其他狀態，也就是眞實與不眞實兩個之和代表所有的狀態。所有的狀態（整體）在此以 1 表示。

$$A+\overline{A}=1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1\text{-}4)$$

〔例 5〕　若電驛具有常時閉合之接點（稱爲"b"接點或 Normally Closed Contact，NC 接點），則當電驛之激磁線圈未通以電流時，該 NC 接點在閉合狀態，此時，自電源經 NC 接點即可供給一電流至負荷中（參照圖 1-6）。

至於常開之接點（Normally open contact，NO 接點）則與 NC 接點相反，激磁線圈通以激磁電流時，NO 接點將閉合，而 NC 接點則將開啓。此時，若令 NO 接點之動作爲 $Y=A$ 時，則 NC 接點的動作則爲 $Y=\overline{A}$。

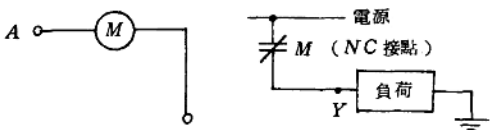

圖 1-6　NOT 電路

1-5　結合形邏輯電路與順序形邏輯電路

上面所介紹的各種邏輯電路。其輸出Y之狀態均視當時輸入狀態之1或0而定，由這種邏輯電路所構成的電路通稱之爲結合形邏輯電路（Combinational Logic Circuit）。

另外一種邏輯電路其輸出的狀態除了與當時之輸入狀態有關外，亦與未輸入新信號前的本身狀態有關。也就是這種邏輯電路具有記憶的機能。本書第五章與第六章中所介紹的計數器（Counter）與位移暫存器（Shift Registor）等電路中便需使用具有記憶機能的邏輯電路，這種電路即屬於順序形邏輯電路（Seq Sequencial Logic Circuit）。

第二章 數字系統

2-1 2進制與10進制

自古以來，人類日常所使用的數字系統爲10進制（Decimal System）。也就是使用0～9之10個數字符號。人類之所以使用10進制，大概與每人均有10個手指有關。若由0開始計數，當計數至9時，則數次一個數時，便需將9恢復至0，而在0之左側加上1之數字，也就是進一位數（Carry）。該數（10）即代表9之次一數。

設有123之10進數，最右端係代表“1位”，中間之位數代表“10位”，而最左端則代表“100位”。在123的場合，10位數爲2，即代表20，至於“1位”則爲3，整個123即代表100＋20＋3之意。由於

$$10^0 = 1$$

$$10^1 = 10$$

$$10^2 = 100$$

故123又可寫爲

$$123 = 1\times10^2+2\times10^1+3\times10^0$$

也就是在10進數中，由右至左，每個位數依次各具10^0，10^1，10^2，……… 10^n之權數（Weight）。

在10進數中，每一位數所使用的數字爲0，1，2，……9等10個數字中之一個。每一位數中所能使用的數字符號數，稱爲底（Base）或基數（radix），在10進制的場合，基數爲10。

除了10進制外，日常使用的鐘錶之中，分與秒的基數均爲60，而小時之基數爲24。也就是人類日常使用的數系除了10進制外，尙有60進或24進等數系。

今假定我們在習慣上當計數至7時，便開始進位，也就是7之次

表 2 - 1

10　進 基數：10	16　進 基數：16	8　進 基數：8	2　進 基　數　：　2
0	0	0	0
1	1	1	1
2	2	2	10
3	3	3	11
4	4	4	100
5	5	5	111
6	6	6	110
7	7	7	000
8	8	10	1000
9	9	11	1001
10	A	12	1010
11	B	13	1011
12	C	14	1100
13	D	15	1101
14	E	16	1110
15	F	17	1111
16	10	20	10000
17	11	21	10001
18	12	22	10010
19	13	23	10011
20	14	24	10100
40	28	50	101000
100	64	144	1100100

一數爲 10 時，便形成 8 進數系（Octal）。只要人類均能習慣，則任何進制之數系均可作計數之用。今以 8 進制爲例，因其基數爲 8，故最右端之位數代表 8^0，次一位數代表 8^1，…… 依次類推。若有一 8 進制之數 123，則

$$(123)_8 = 1\times8^2+2\times8^1+3\times8^0$$
$$= 1\times64+2\times8+3\times1=(83)_{10}$$

也就是 8 進制中的 123 相當於 10 進制的 83。一般，除了表示 10 進制之數外，通常在數字外圍加一（ ）號，並在其外面注明係代表某一進制用之數字符號，或不加（ ）號僅在數字旁注明何一進制之數字。

在 2 進制的場合，每一位數所使用之數字僅 0 與 1 而已。因其基數爲 2，故 2 進制所代表的數字自右而左，每一位數依次各具 2^0，2^1，……2^n 之權數。例如一 2 進數 11001，則

$$(11001)_2 = 1\times2^4+1\times2^3+0\times2^2+0\times2^1+1\times2^0$$
$$= 1\times16+1\times8+0\times4+0\times2+1\times1$$
$$= (25)_{10}$$

即相當於 10 進制中之 25。

有關 2 進，8 進，10 進，12 進及 16 進制間的關係如表 2-1 所示。

2-2 不同數系之變換

在一個數位系統如電子計算機中，往往使用多種不同的數系。這些數系與數系之間當然需要有變換的裝置。以下茲將各種不同數系間之變換方法作一介紹。

2-2-1 10 進制變換爲 2 進制（Decimal-to-Binary Translation）

欲將一 10 進數變換爲 2 進數時，可使用連續以 2（基數）除之方法。設一 10 進數第一次以 2 除後所得的商爲 Q_0，餘數爲 a_0，第二次將 Q_0 除以 2，得一商 Q_1 與餘數 a_1 然後 Q_1 再以 2 除，一直進行至商數爲 0 時止。此時，原 10 進數之等值 2 進數爲

$$(a_{n-1}\cdots\cdots a_2a_1a_0)_2$$

其中 a_{n-1} 爲除至第 n 次後所得的餘數 。此時，第一次除後所得的餘數爲最下位數（LSD, Least Significant Digit）；而最末一次除後所得的餘數爲最上位數（MSD, Most Significant Digit），

〔例 1〕　$(137)_{10}=(\_\_\_\_\_\_)_2$

	商	餘數	
137/2	68	1	—LSD
68/2	34	0	
34/2	17	0	
17/2	8	1	
8/2	4	0	
4/2	2	0	
2/2	1	0	
1/2	0	1	—MSD→10001001

$\therefore (137)_{10}=(10001001)_2$

以上所述爲整數的互換，若欲將一 10 進之分數變換爲 2 進數時，則與整數的場合相異，需將原十進分數連續乘以 2 。若第一次乘後得一整數部份 a_{-1} ，則將 a_{-1} 記下，剩下的分數部分再以 2 乘，直至分數部分的乘積爲 0 ，或獲得所需的位數時止。此時，所得的 2 進數爲

$\cdot\, a_{-1}\, a_{-2} \cdots\cdots a_n$

〔例 2〕　$(0.413)_{10}=(\_\_\_\_\_\_)_2$

	乘積	進位（整數部份）	
0.413×2	0.826	0	—MSD
0.826×2	1.652	1	
0.652×2	1.304	1	
0.304×2	0.608	0	
0.608×2	1.216	1	
0.216×2	0.432	0	0.011010011
0.432×2	0.864	0	
0.864×2	1.728	1	
0.728×2	1.456	1	—LSD

$\therefore (0.413)_{10}=(0.011010011)_2$

在一2進整數LSD之右側加一個0即相當於整個2進數乘以2，若在2進分數MSD之左側，即小數點之右側加一個0時，即相當於2進數的小數部分除以2。利用此性質亦可用來將－10進數變爲2進數。茲擧一例加以說明。

〔例3〕　$(855.0625)_{10}=(\_\_\_\_\_\_\_\_)_2$

在此場合，宜將整數部分與小數部分分開。整數部分之855相當於800＋40＋15。由表2－1可得

$$(15)_{10}=(1111)_2$$

$$(40)_{10}=(101000)_2$$

至於800，則相當於100×2×2×2，即100連續以2乘3次。此時，其相應之2進數爲

$$100=1100100$$

$$200=11001000$$

$$400=110010000$$

$$800=1100100000$$

將相當於800，40，15之2進數三者相加即得整數部分之2進數。

$$\begin{array}{rr}
800= & 1100100000\\
+\ \ 40= & 101000\\
\hline
840= & 1101001000\\
+\ \ 15\ \ \ & 1111\\
\hline
855= & 1101010111
\end{array}$$

至於小數部分的變換，則爲

$$0.5=1$$

$$0.25=0.01$$

$$0.125=0.001$$

$$0.0625=0.0001$$

故$(855.0625)_{10}$即等於$(1101010111.0001)_2$

10進數－2進數之變換除了上述諸方法外，並可使用下例之方