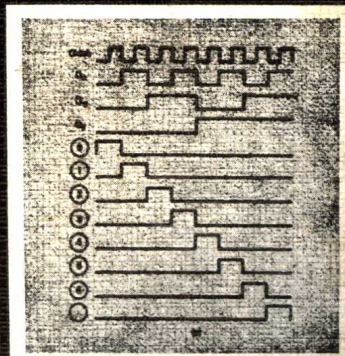
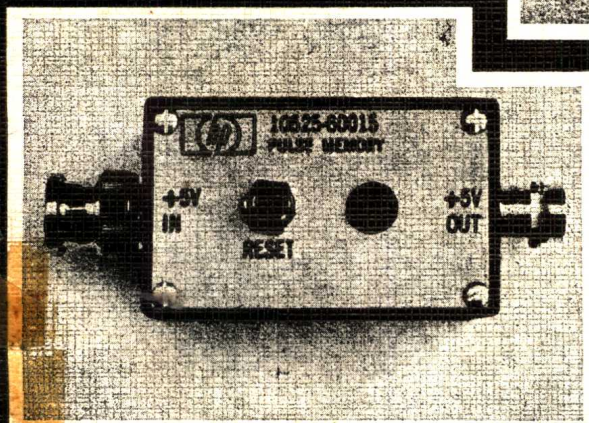
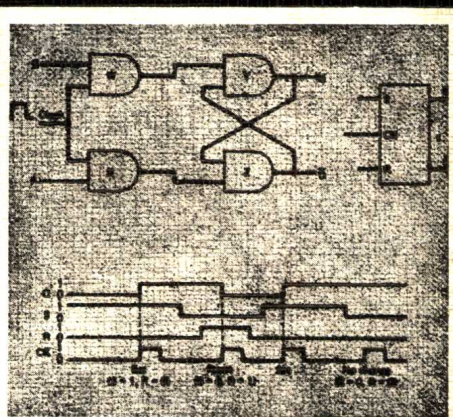
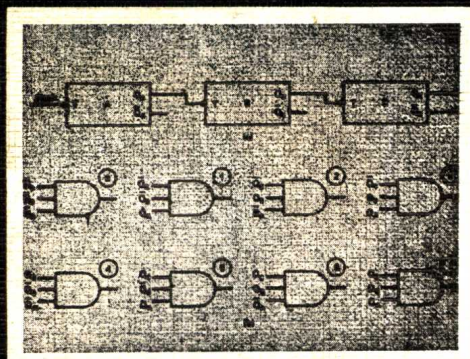


MORRIS E. LEVINE
Digital Theory and Practice Using Integrated Circuits

積體數位電路 原理與實用

陳 盛 有 譯



東華書局印行

路電位數體積

用實與原理

著 者

MORRIS E. LEVINE

譯 者

陳 盛 有

東華書局印行



版權所有・翻印必究

中華民國六十七年十月初版

大學
用書

積體數位電路 (全一冊)

定價 新臺幣壹百肆拾元整

(外埠酌加運費郵費)

譯著者	陳	盛	有
發行人	卓	鑫	森
出版者	臺灣東華書局股份有限公司 臺北市博愛路一〇五號 電話：3819470 郵撥：6481		
印刷者	合興印刷廠 臺北市大理街130巷2弄1號		

行政院新聞局登記證 局版臺業字第零柒貳伍號
(67056)

序

引用數位技術的電子裝備與電子系統正在發展，且方興未艾；而其主要動力為數位積體電路（IC）。初期的數位 IC 甚為簡單，以個別元件組合成功的電路為依據。為了改進速度、雜訊免除力、損耗、負載與複雜性，經已改進之電路與邏輯族已發展並推出，而製造技術亦隨之改良。這導致了更高度的積體化以及更複雜的 IC。同時，數位電子學所使用之語言也漸漸多起來，諸如邏輯符號、邏輯術語、IC 用法規則及資料代表法，均被發展與改進。化簡的技巧，如映像圖亦被發現。令人吃驚的是，這些發展一方面使數位系統設計簡單化，但另一方面却使之更為複雜。系統之被簡化，是因為不再需要個別電路之設計；而且依照 IC 的規則，這些無故障的 IC 可組合在一起。同時，這些發展變得更為深入，乃因上述組合使系統的設計與操作更形複雜之故。

本書的目的，為提供邏輯設計、數位電子學與數位 IC 之原理與實用。本書為作者另著：“利用 IC 之數位原理與實驗”這本實驗手冊之並行教本；兩者章節次序相同。本書所強調的是 IC 及其應用，使讀者能完全瞭解並使用 IC 資料表。本書可作為二年制工專之數位電子學教本。研讀本書只需最少之代數基礎，其它所需數學將在課文中列出來。

本書為作者在數位系統與半導體工業界服務多年之經驗而撰寫的。所用之語言及其形式，均為工程人員與廠商人員共同使用者。許多例子與習題，多由實際裝備中取出來的。本書及其實驗手冊之最主要目的，為使讀者將來能在數位電子工業界中服務而勝任愉快。

本書之一主要目的，為指出 IC 如何發展及其如何在數位系統中使用；我們以數個例子來說明。當我們閱讀 IC 資料表及數位裝備手冊時，我們將發現波形之定時非常重要。由於這些理由，以及設計與修護此型裝備時所具之重要性，我們提出大量的例題與習題，用以指出構成方塊和系統之定時波形。

在電子學中，實驗室的經驗有助於學理之精通。這一點，我們在章節組織中已考慮到。為此，本書以實驗推導理論的方式開始。第一章為邏輯與布林代數；討論邏輯函數功能，開，利用布林代數和坎諾圖的化簡，並介紹 IC 電閘及其操作。

第二章為半導體而第三章為積體電路及 IC 邏輯族，討論第一章所述之 IC 電閘內部之電路元件，並列出這些 IC 電閘的性質與限制。如果時間上不允許研討這兩章，例如為了配合實驗進度，這兩章可延後討論。

第四章討論二進制系統與二進制算術，並以八進制與十六進制的數值系統之討論而作一結論。第五章，為互斥或與算術操作，討論第四章之算術如何以 IC 電閘來完成。

第六章討論雙穩態；以簡單的二反相器雙穩態開始，而發展出 NAND 閘 RS 正反器。然後，利用此 NAND 閘正反器（FF）作為一方塊並利用其性質，而發展出 IC 之正反器。在每一情況中，都使用兩種原理；其一為真值表，另一為定時波形；而其目的為使讀者瞭解 IC 資料表，並提供以後各章之基本組合方塊。

第七章為串聯計數器，第八章為移位暫存器，這些大多為第六章的正反器之應用。在這幾章中，計數狀態的觀念被發展出來，而它與定時波形的關係亦加以討論。

第九章更深入的討論二電晶體無穩態複振器；使讀者瞭解電晶體如何將電容器充電與放電。此外，還討論 UJT，它在數位系統中常被用作簡單的時脈。IC 樞密特觸發器也在本章討論，指出其位準與磁滯如何發生。

第十章包括碼、解碼、編碼與多工。本書在此處討論碼，而不在較前之章節，是因為前面所發展出來的碼為計數器的計數狀態。

第十一章討論記憶器，包括半導體的與磁的。

第十二章討論運算放大器，它在今日數位電子學中佔有極為重要之地位。本章研習其性質及其基本操作。運算放大器之一重要應用為用於 D/A 與 A/D 之變換，此為第十三章之標題。

第十四章所述，為數位系統在工業上及娛樂方面之應用。

第十五章是微處理機的簡單-複雜數位系統之導論；討論微處理機之基本操作方塊，並列出一些簡單的程式例子。

第十六章討論如何閱讀與使用 IC 資料表。

我要對幫助完成此書者致謝意。謝謝 Irving kosow 博士對本書資料的組織之協助，及其極有幫助的建議，評註與部份原稿的審查。謝謝史坦敦島學院的 Joseph Richard 先生之圖片說明。謝謝半導體製造廠商之技術資料。同時，要特別感謝 Jean Johnson 女士在準備，組織原稿及將原稿打字等無法估計其價值的協助。

莫利斯．李文

目 次

第一章 邏輯與布林代數 1~52

- | | | | |
|---------------------------------|----|-----------------|----|
| 1-1 緒 論..... | 1 | 1-7 布林代數公式..... | 18 |
| 1-2 基本運算子：及，或
與反..... | 1 | 1-8 狄摩根定理..... | 23 |
| 1-3 二及體AND與OR閘 | 9 | 1-9 利用布林公式簡化... | 28 |
| 1-4 多輸入之AND與OR
閘..... | 10 | 1-10 負邏輯..... | 30 |
| 1-5 反及（NAND）與反
或（NOR）閘 | 12 | 1-11 圖表技巧：坎諾圖法 | 33 |
| 1-6 布林數式與邏輯圖 ... | 14 | 1-12 競賽問題..... | 42 |
| | | 1-13 積體電路閘..... | 43 |
| | | 習 題..... | 48 |

第二章 半導體原理 53~82

- | | | | |
|----------------|----|----------------------------------|----|
| 2-1 緒 論..... | 53 | 2-5 接面場效電晶體
(JFET) | 74 |
| 2-2 半導體物理..... | 53 | 2-6 金氧半場效電晶體
(MOSFET) | 75 |
| 2-3 二極體..... | 55 | 習 題..... | 77 |
| 2-4 雙極電晶體..... | 58 | | |

第三章 積體電路邏輯族 83~102

- | | | | |
|---------------------------------|----|----------------------------------|----|
| 3-1 緒 論..... | 83 | 3-5 二極體 - 電晶體邏輯
(DTL) | 91 |
| 3-2 接線集極邏輯..... | 84 | 3-6 電晶體 - 電晶體邏輯
(TTL) | 94 |
| 3-3 雜訊的免除力..... | 88 | 3-7 射極耦合邏輯(ECL) | 97 |
| 3-4 電阻 - 電晶體邏輯
(RTL) | 90 | | |

3-8 互補對稱邏輯 (CMOS).....	98	3-9 PMOS, NMOS	101
		習 題.....	101
第四章 二進位數與二進制算術.....	103 ~ 131		
4-1 緒 論.....	103	4-7 二進位的加法.....	111
4-2 以10 為底的數目系 統.....	103	4-8 二進位的減法.....	113
4-3 二進位數目系統.....	105	4-9 複數的減法：以補數 之加法作減法.....	116
4-4 二至十進制變換.....	106	4-10 二進位的乘法.....	122
4-5 十至二進制變換：連 續除或乘以2之方法.....	107	4-11 二進位的除法.....	123
4-6 十至二進制變換：減 法.....	110	4-12 八進位數目系統.....	124
		4-13 十六進位數目系統.....	128
		習 題.....	129
第五章 互斥或閘與算術運算.....	132 ~ 156		
5-1 緒 論.....	132	5-7 全加器：速度與經濟 的考慮.....	145
5-2 互斥或閘.....	133	5-8 互斥或閘的應用.....	148
5-3 半加器.....	136	5-9 積體電路邏輯函數.....	151
5-4 半減器.....	137	習 題.....	152
5-5 全加器.....	138		
5-6 全減器.....	143		
第六章 雙穩態.....	157 ~ 195		
6-1 緒 論.....	157	6-5 利用NAND 閘作成 的各型正反器摘要.....	188
6-2 積體電路雙穩態.....	161	習 題.....	191
6-3 一般設計情況.....	183		
6-4 積體電路正反器：其 它的考慮與限制.....	187		
第七章 串聯計數器.....	196 ~ 233		

7-1 緒 論.....196	7-9 8421 計數器的不用 狀態..... 219
7-2 二進位紋波計數器...196	7-10 積體電路 2'421計數 器..... 221
7-3 同步計數器.....202	7-11 解碼與十進計數器...223
7-4 除以N的原理, N模 計數器.....204	7-12 54/7490 型 IC8421 計數器..... 224
7-5 N模計數器: 回授技 術.....206	7-13 MSI IC計數器.....225
7-6 積體電路 3 模串聯計 數器.....210	7-14 計數器塊圖的串聯連 接.....226
7-7 積體電路 6 模計數器 214	7-15 計數器的應用.....227
7-8 N BCD - 8421 十進 計數器.....216	習 題.....229
第八章 移位暫存器與移位計數器..... 234 ~ 255	
8-1 緒 論.....234	8-6 移位暫存器的技術...248
8-2 移位暫存器的基本原 理.....235	8-7 P 通道 MOS 與 TTL 及 N 通道 MOS 之相 容.....252
8-3 移位暫存器的功用及 其應用.....236	8-8 移位計數器.....253
8-4 環式計數器.....240	習 題.....254
8-5 扭曲環式或詹森計數 器.....245	
第九章 脈波產生, 脈波整形與 <u>樞密特</u> 觸發器..... 256 ~ 288	
9-1 緒 論.....256	9-5 電晶體無穩態的頻率 穩定度..... 266
9-2 RC 充電網路.....256	9-6 積體電路無穩態.....266
9-3 無穩態複振器.....260	9-7 單接合電晶體 (UJT).....269
9-4 電晶體無穩態的頻率 改變.....265	

9-8 環式振盪器.....	272	9-12 脈波展延器.....	281
9-9 晶體穩定式振盪器...	273	9-13 樞密特觸發器.....	282
9-10 單穩態複振器.....	273	習 題.....	286
9-11 555定時器.....	278		

第十章 二進碼、編碼、解碼，多工法..... 289~320

10-1 緒 論.....	289	10-7 格雷碼.....	297
10-2 四數元十進碼.....	289	10-8 字數碼.....	300
10-3 二五碼及第五碼.....	294	10-9 其它的碼.....	300
10-4 9876543210 或 環 式計數器碼.....	295	10-10 解碼.....	301
10-5 同位碼.....	296	10-11 編碼.....	309
10-6 扭曲環式碼.....	297	10-12 多工法 - 解多工法...	312
		習 題.....	317

第十一章 記 憶 器..... 321~347

11-1 緒 論.....	321	11-6 半導體記憶器的技術	331
11-2 基本半導體記憶元件	321	11-7 隨機出入磁性記憶器	335
11-3 半導體隨機出入記憶 器 (RAM) 的組織...	322	11-8 記憶器蕊的排列.....	338
11-4 RAM 的終端組織...	327	11-9 大量的磁性資料儲存	341
11-5 只讀記憶器 (ROM)	331	習 題.....	346

第十二章 運算放大器..... 348~365

12-1 緒 論.....	348	12-5 運算放大器比較器...	357
12-2 運算放大器的參數...	348	12-6 商用運算放大器的資 料表.....	358
12-3 運算放大器的基本運 算：乘法與加法.....	350	習 題	363
12-4 積分與微分.....	352		

第十三章 數位至類比 (D/A) 與類比至數位 (A/D)

的變換 366 ~ 383

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| 13-1 緒 論.....366 | 13-5 類比至數位的變換：
比較型技術.....375 |
| 13-2 數位至類比的變換：
二進位有權階梯.....367 | 13-6 類比至數位變換之電
容充電型.....377 |
| 13-3 數位至類比的變換：
$R - 2R$ 階梯.....371 | 習 題.....381 |
| 13-4 類比至數位的變換：
一般的.....375 | |

第十四章 數位技術與系統的解說 384 ~ 412

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| 14-1 緒 論.....384 | 14-6 鎖相迴路.....400 |
| 14-2 字數顯示器.....384 | 14-7 電子計算器.....402 |
| 14-3 頻率計數器.....389 | 14-8 邏輯探針與裝備.....405 |
| 14-4 數位調諧指示器.....391 | 14-9 數位電子學與音樂.....408 |
| 14-5 數位資料傳輸：
MODEMS.....396 | 14-10 數位積體電路在汽
車上之應用.....410 |

第十五章 微處理機..... 413 ~ 439

- | | |
|---------------------------|---------------------------------|
| 15-1 緒 論.....413 | 15-6 程式計劃的原理.....424 |
| 15-2 微處理機的功用.....414 | 15-7 程式計劃的例子.....429 |
| 15-3 中央處理單元 (CPU).....420 | 15-8 以微處理機做程式的
可調單穩態.....435 |
| 15-4 微處理機的算術.....420 | 習 題.....438 |
| 15-5 邏輯操作.....423 | |

第十六章 積體電路的資料表及其使用 440 ~ 449

- | | |
|-------------------------------------|------------------------|
| 16-1 緒 論.....440 | 16-3 積體電路的使用指南.....448 |
| 16-2 MC5422 - MC7472
資料表.....442 | |

附錄 標準邏輯符號 ANSI Y 32.14-1973	450 ~ 454
部份習題的答案	455 ~ 462
索 引.....	463 ~ 470

第一章

邏輯與布林代數

1-1 緒 論

本書是關於數位資訊 (digital information) 的傳送與處理的。在本章中，我們將要提出一些數位運算 (operation) 的規則。我們將發現這些運算遵循一套基本規則，即邏輯 (logic) 規則。它們有自己的語言，被表示於一種稱為布林 (Boolean) 代數的雙位準 (dual level) 數學裡，並且擁有一組圖形符號而使用於邏輯圖，藉以提供邏輯流程 (logic flow) 的圖形解說。

1-2 基本運算子：及 (AND)，或 (OR) 與反 (NOT)*

基本的邏輯運算為及，或與反。雖然這不是很明顯的，但是我們卻經常使用這些運算子。例如，考慮一穿孔壓力機（即冲床）；爲了安全起見，往往需要兩個按鈕開關，左右手各一個。右邊的開關“及”左邊的開關必須同時閉合才能使機器工作，我們可以寫成

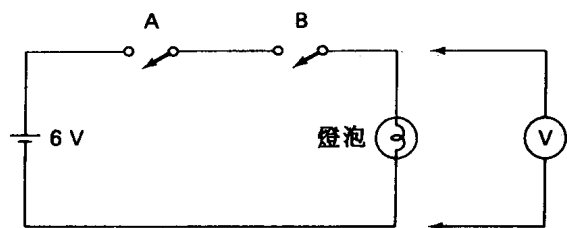
$$L \text{ AND } R = P$$

以表示穿孔壓力機的操作情形。此方程式說明需要左邊 (L) “及” 右邊 (R) 的開關都閉合才能使壓力機 (P) 工作。

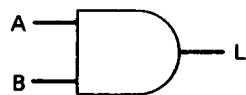
另外一種典型的簡單系統，如圖 1-1 (a) 所示，要點亮燈泡，則開關 A “及” 開關 B 必須同時閉合。表 1-1 (a) 爲將兩個開關及燈泡所有可能發生

* 參閱 M. E. Levine 所著，“Digital Theory and Experimentation Using Integrated circuits” 的第一個實驗，即基本邏輯函數。

2 積體數位電路



(a)二開關 AND



(b)二輸入 AND 的邏輯符號

圖 1-1 (a)二開關 AND 電路, (b)邏輯符號。

表 1-1

(a)二開關 AND

開關 A	開關 B	燈泡
打開	打開	不亮
打開	閉合	不亮
閉合	打開	不亮
閉合	閉合	亮

(b)二開關 AND 電壓位準

開關 A	開關 B	燈泡電壓
打開	打開	0 V
打開	閉合	0 V
閉合	打開	0 V
閉合	閉合	6 V

(c)二開關 AND 邏輯位準

A	B	L
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

的情況集合起來而成的一張表。表 1-1 (b) 為類似的表，除了將燈泡之亮與不亮的情況列於表中之外，亦將燈泡兩端的電壓降列入表中。直到現在，我們所考慮者僅為 AND 之操作，無論是將燈泡之亮與否的情況，或將所測得之電燈泡兩端的壓降列入表中，其所得之結果都一樣。最一般性的表示方式，為布林的雙位準邏輯符號值 1 與 0，這已為全世界所採用，其表示法如表 1-1 (c) 所示。打開以符號 0 表之，閉合則以 1 表之；燈泡不亮或 0 伏特以 0 表示，而燈泡亮或 6 伏特則以 1 表之。

表 1-1 (a)，1-1 (b) 與 1-1 (c)，將開關所有可能的組合均列於表中，稱為真值表 (truth tables)。

列於表 1-1 (c) 中的 0 與 1 為布林代數之邏輯位準。布林代數為一種兩值之代數，使用兩個位準：0 與 1，用以表示可能發生的兩種狀態。

由於圖 1-1 (a) 的等效電路，常發生於許多不同的情形，如開關、繼電器、以及電晶體等，故其基本 AND 函數之邏輯圖形符號常以圖 1-1 (b) 表示。這與軍用標準 MIL STD 806 - C 的符號相同。雖然有許多不同的符號被使用，但是毫無疑問的，軍用標準之符號是最普遍的。它們被使用於所有的積體電路 (integrated circuit, IC) 製造廠商之資料刊物上，藉以描述其所生產的 IC 之邏輯功用，而本書亦將使用這種符號。

我們可將圖 1-1 的 AND 操作情形，寫成代數方程式：

$$A \text{ AND } B = L \quad (1-1a)$$

$$\text{或寫成：} \quad A \times B = L \quad (1-1b)$$

$$\text{或寫成：} \quad (A)(B) = L \quad (1-1c)$$

$$\text{或寫成：} \quad A \cdot B = L \quad (1-1d)$$

$$\text{或寫成：} \quad AB = L \quad (1-1e)$$

在布林代數中，一般代數的乘算符號表示 AND 函數。注意：方程式 (1-1 e) 的簡便表示法。

現在讓我們來看一看表 1-1 (c)，此表看起來如同一傳統之 $A \times B$ 的乘法表；布林 AND 正如同乘法。

另一類似圖 1-1 的 AND 電路，是以繼電器組成的，如圖 1-2 所示。真

4 積體數位電路

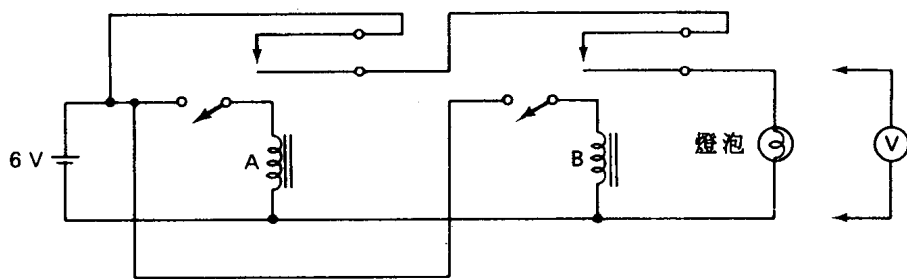


圖 1-2 二繼電器的 AND。

值表可用繼電器兩端的電壓降與端泡的電壓降表示（表 1-2 a），或以邏輯位準表示（表 1-2 b）。在表 1-2(a)和表 1-2(b)中，其邏輯位準 0 等效於 0 伏特，而邏輯位準 1 則等效於 6 伏特。我們將在第三章中發現，邏輯位準將以電晶體的輸入端和輸出端的電壓表示。

考慮圖 1-3(a)所示的簡單系統，欲點亮燈泡須將開關 A 或 (OR) 開關 B 閉合。表 1-3(a)為此二開關電路的真值表，而表 1-3(b)為以布林代數邏輯位準來表示的真值表，圖 1-3(b)是 OR 邏輯函數的 MIL STD 806-C 之邏輯符號。

我們亦可將圖 1-3(a)的 OR 操作寫成代數方程式：

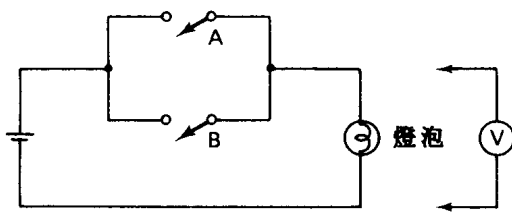
表 1-2

(a)二繼電器 AND 電壓

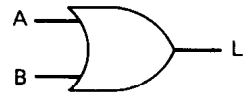
繼電器 A	繼電器 B	燈泡
0 V	0 V	0 V
0 V	6 V	0 V
6 V	0 V	0 V
6 V	6 V	6 V

(b)二繼電器 AND 邏輯位準

A	B	L
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



(a)



(b)

圖 1-3 (a)二開關 OR 電路, (b)邏輯符號。

表 1-3

(a)二開關 OR

A	B	燈泡
打開	打開	不亮
打開	閉合	亮
閉合	打開	亮
閉合	閉合	亮

(b)二開關 OR 符號位準

A	B	L
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$$A \text{ OR } B = L \quad (1-2a)$$

或者寫成：

$$A + B = L \quad (1-2b)$$

一般代數中的+號在布林代數中表示 OR 函數。

表 1-3(b) 看起來就如同 $A + B$ 的加法表, 其第一, 二和三行遵循著一般的加法規則。但第四行就不同了, $1 + 1 = 1$, 此為布林代數與傳統代數或算數不同的一例, 我們將發現還有其它不相同的例子。

真值表 1-1(c), 1-2 (b) 和 1-3 (b) 對於數位資料的傳送具有非常重要的應用。考慮關於 AND 電路的表 1-1 (c) 和 1-2 (b), 在兩表中, 如果 $A = 0$ 則 $L = 0$, 此時 B 的狀態並不影響 L 。然而, 假如 $A = 1$ 則 L 和 B 相同;