

## 實驗單元(五)－組合邏輯閘與數位碼轉換電路

### ◎實驗單元摘要

在此單元實驗項目中，將學習組合邏輯閘與數位碼轉換電路，項目(一)～項目(四)需要電路模擬，由於時間上的限制，只要求完成項目(四)及項目(五)實作。

實驗項目中包含3個組合電路轉換器，分別為四位元的二進位碼對葛雷碼轉換、9的補數器及七段顯示器。七段顯示器為後續單元(6)電路使用，請接線務必整齊，並注意麵包板空間配置規劃。

### ◎學習目標

- 1.了解真值表之使用方法及布林代數的運算。
- 2.了解如何使用卡諾圖來設計數位電路。
- 3.了解卡諾圖的應用。
- 4.了解數位碼轉換電路設計方法。

### ◎實驗單元目錄

- 一、實驗儀器設備與實驗材料(P.02)
- 二、實驗預習(P.03)
- 三、零組件介紹(P.03)
- 四、電路說明(P.09)
- 五、實驗注意事項(P.11)
- 六、實驗項目及實驗步驟(P.12)
  - 實驗項目(一)：設計實例(P.12)
  - 實驗項目(二)：二進碼至葛雷碼的轉換(P.13)
  - 實驗項目(三)：解碼器之製作(P.14)
  - 實驗項目(四)：9的補數器(P.15)
  - 實驗項目(五)：七段顯示器 (P.16)
- 七、撰寫實驗結論(P.17)
- 八、實驗綜合評論(P.17)
- 九、附上實驗進度紀錄單(照片檔)及麵包板電路組裝圖檔(照片檔) (P.17)
- 十、參考資料來源(P.17)

## ◎實驗內容

## 一、實驗儀器設備與實驗材料

表(一)：實驗儀器設備

項次	儀器名稱	數量
1	示波器	1 台
2	萬用電表	1 台
3	電源供應器	1 部
4	邏輯筆	1 支
5	麵包板	1 塊

表(二)：實驗材料表

項次	位 置 碼	元 件 說 明	用 量
1	LED 限流電阻	300Ω1/4W 5% 碳膜電阻	5 個
2	LED	發光二極體	3 個
3	IC 電源端電容	0.1uF PE 電容	5 個
4	TTL IC	74LS155 DIP14	1 個
5	TTL IC	74LS10 DIP14	1 個
6	解碼器 IC	TTL IC 74LS47	1 個
7	七段顯示器	共陽極	1 個
8	限流電阻	100Ω 0.5W 5% 碳膜電阻	3 個

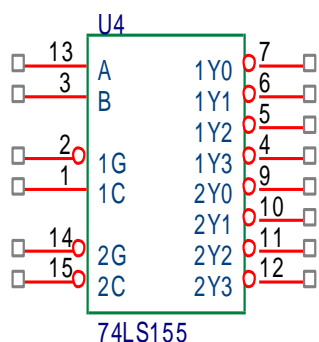
## 二、實驗預習

- 1.請問您學習卡諾圖(K-MAP method)目的何在?他運用了那個數位定理與基本性質?
- 2.何謂 TTL IC 的驅動能力?參閱 IC 74LS08 Data Sheet[4]，試問以此 IC 為例，說明此特性。
- 3.請上網查詢 ASCII 碼，請回答下列為有關計算機輸入碼的一系列問題。[8].  
說明:為了使計算機能更有效地處理非數字性資料必須讓能辨別何種是數字、字母或特殊字，這些碼統稱為文數字碼。
  - a.請問這些文數字碼共有幾個，需要幾個位元(bits)才能將所有的文數字編碼?
  - b.請問何謂 ASCII 碼?
  - c.請問 ASCII 碼它的使用用途在那裡?
  - d.若將下列 ASCII 碼輸入至計算機內，試判斷其所代表的意義。  
1010011,1010100,1001111,1010000
  - e.將下列資訊轉換成 ASCII 碼並以十六進位數表示：COST=\$72。

## 三、零組件介紹

### 1.74LS155 解碼 IC[3]

- a.74LS155 可接成兩組  $2 \times 4$  解碼器或一個  $3 \times 8$  解碼器。
- b.當需要一個  $3 \times 8$  解碼器時，輸入 1C 及 2C 必須接在一起，同樣的輸入 1G 及 2G 也必須接在一起，G 為起動輸入，必須等於接地「GND」以作正常的操作。
- c.接腳圖



VCC=PIN16

GND=PIN8

## d.Function Table

表(三)：3-line-to-8-line Decoder

輸 入				輸 出							
G	C	B	A	2Y0	2Y1	2Y2	2Y3	1Y0	1Y1	1Y2	1Y3
1	×	×	×	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1
0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

表(四)：2-line-4-line Decoder

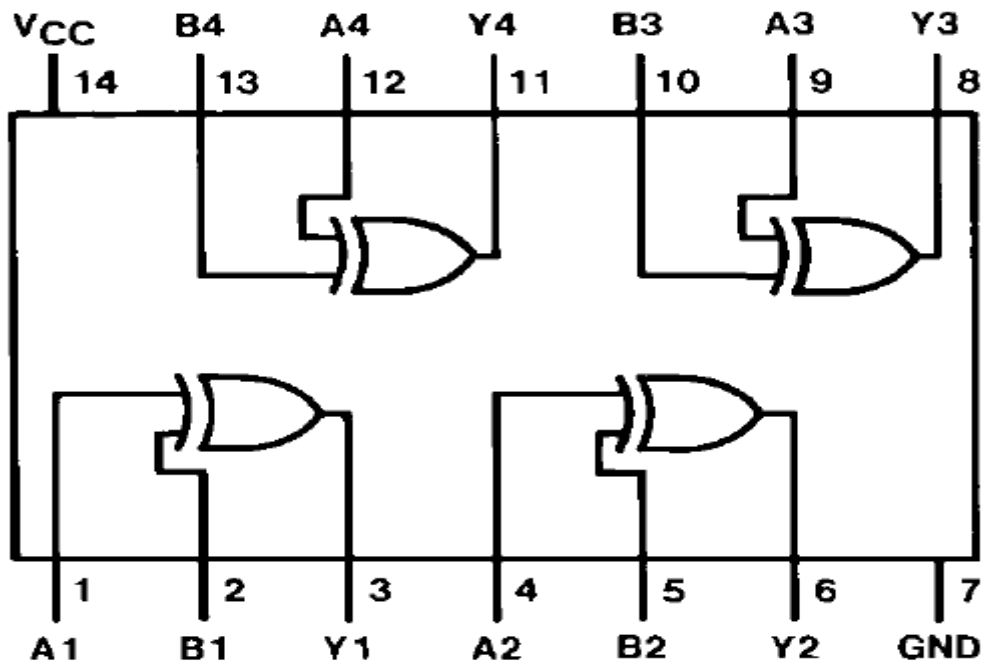
輸 入				輸 出			
Select		Strobe	Data	1Y0	1Y1	1Y2	1Y3
B	A	1G	1C				
×	×	H	×	1	1	1	1
L	L	L	H	0	1	1	1
L	H	L	H	1	0	1	1
H	L	L	H	1	1	0	1
H	H	L	H	1	1	1	0
×	×	×	L	1	1	1	1

表(五)：2-line-4-line Decoder

輸 入				輸 出			
Select		Strobe	Data	2Y0	2Y1	2Y2	2Y3
B	A	2G	2C				
×	×	H	×	1	1	1	1
L	L	L	L	0	1	1	1
L	H	L	L	1	0	1	1
H	L	L	L	1	1	0	1
H	H	L	L	1	1	1	0
×	×	×	H	1	1	1	1

## 2.74LS86(Quad 2-Input Exclusive-OR Gate)[5]

a.接腳配置圖



圖(一)：74LS86 接腳配置

## b.功能表

表(六)：互斥或閘

$$Y = A \oplus B$$

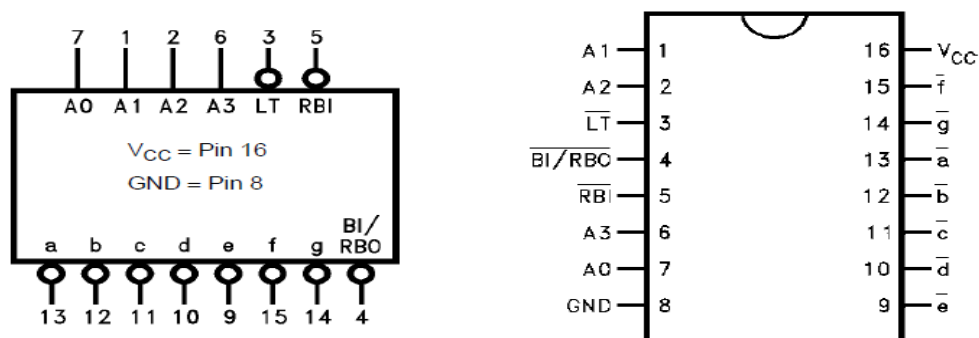
Inputs		Output
A	B	Y
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	L

## 3.七段顯示器與解碼器[6][7]

74LS47 是配合共陽七段顯示器的 BCD 至七段顯示器的解碼及驅動電路，74LS47 的輸出為 Open Collector， $I_o$  (ON) 有 12mA， $V_o$  (ON) 為 0.25V，用以驅動七段 LED 顯示器。

74LS47 之接腳與 74LS48 相同，但 74LS47 為 O.C.，解碼低電位動作，接共陽之七段顯示器，電流由電源至 LED 至電阻再到 74LS47 之輸出電晶體，當輸出電晶體 ON 時，該段 LED 發亮。

圖(二)及表格(七)為 74LS47 接腳圖，一些特殊接腳如下說明：



圖(二)：74LS47 接腳圖

◎LT：Lamp test，測試 LED。

◎RBI 為 L，BI/RBO 為 L 輸出被遮沒，即不顯示任何狀態。

◎若 RBI 為 H，當輸入為 0 時，顯示器將顯示 0 狀態。

◎BI/RBO 可做遮沒輸入或預先遮沒輸出。

表(七)：74LS47 接腳說明

Pin Names	Description
A0–A3	BCD Inputs
$\overline{\text{RBI}}$	Ripple Blanking Input (Active LOW)
$\overline{\text{LT}}$	Lamp Test Input (Active LOW)
$\overline{\text{BI/RBO}}$	Blanking Input (Active LOW) or Ripple Blanking Output (Active LOW)
$\overline{\text{a}} - \overline{\text{g}}$	Segment Outputs (Active LOW) (Note 1)

Note 1: OC—Open Collector

許多數值顯示器使用七段（segment）結構來產生十進位數自 0 至 9 以及 A 至 F 的 16 進位字元。此顯示器的每一段均使用當電流流經時會發亮的材料，最常使用的材料為 LED（light-emitting diode）和白熾燈絲（incandescent filaments）。

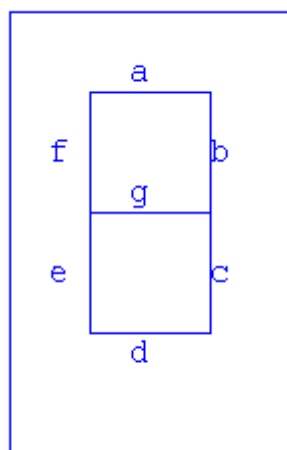
BCD 至七段解碼/驅動器，是用來接受 4 位元 BCD 輸入碼且提供輸出，令電流流經適當的燈段，而顯示出對應的十進位數字。此種解碼器之邏輯較一般所討論的為複雜，因為每個輸出均為一個以上的輸入組合而動作。例如，”e”段在數字 0, 2, 6 和 8 時，亦即輸入碼為 0000，0010，0110 或 1000 時均會動作。

七段顯示器的每一節均含有一個或兩個 LED，LED 的陽極是接在 Vcc 上，而其陰極可經由限流電阻（current-limiting）接至適當的解碼器輸出上，限流電阻也可以接在七段顯示器陽極端，限流電阻直接接+5V 電源。此解碼器的輸出為低電為動作，即可吸入大電流之集極開路電晶體。這是由於 LED 顯示器在每一節中的可能需要 10mA 到 40mA 之電流，電流之大小依其形式和大小而定。七段顯示器使用共陽型，為節省空間，且得到良好的顯示效果，也可以採用二極體串接偏壓方式。

74LS46 和 74LS47 解碼器被設定成當輸入碼大於 1001 時，仍有特定的燈節會動作。下圖(四)為輸入碼由 0000 至 1111 時顯示器動作之詳細情形。注意，輸入碼為 1111 時，所有燈節是不發亮的。

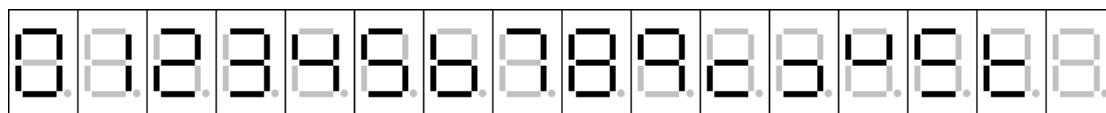
圖(五)中使用的七段顯示器為共陽極（common-anode）式，燈節上之陽極

接上  $100\Omega$ 、 $0.5W$  限流電阻，後接至  $+5V$  電壓源。另一種七段顯示器為共陰型，亦即各燈節之陰極皆接至地，後面這種型式之顯示器必須被具有高電位動作輸出之 BCD 解碼驅動器所驅動，因此種裝置可對各燈節之陽極提供高電位電壓而另其動作。74LS48 即為可達成上述目的之解碼驅動器。

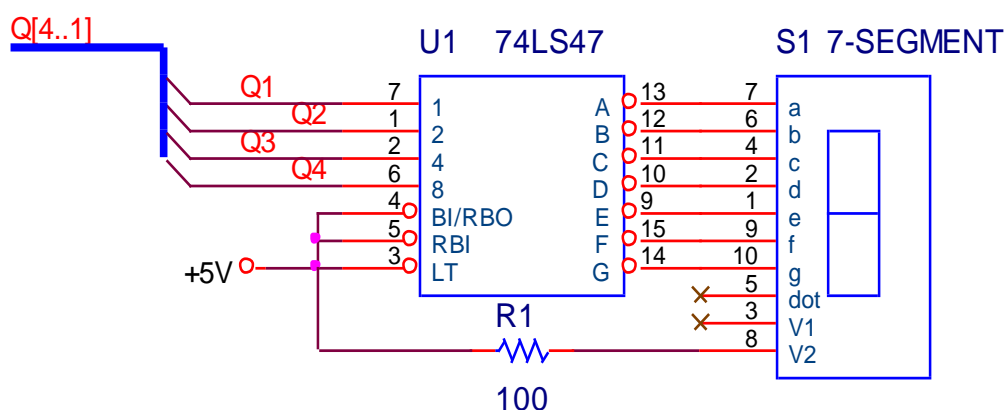


7-SEGMENT

圖(三)：七段顯示器



圖(四)：七段顯示器之顯示



圖(五)：七段顯示器與解碼器



## 四、電路說明

### 1. 組合電路設計步驟[1]

一般設計組合電路，是由問題的文字說明開始，至畫出邏輯電路圖，或者推導出一布林函數，其步驟為下列各項：

- a.說明問題。
- b.確定可用的輸入變數數目與輸入所需要的輸出變數項目。
- c.指定輸入輸入與輸出的文字符號。
- d.導出定義輸入與輸出之間所需關係的真值表。
- e.使用卡諾圖求得各輸出的簡化布林代數。
- f.畫出邏輯圖。

基本邏輯閘電路有四項實驗內容，依據組合電路設計步驟，畫出電路圖，並驗證實驗結果。

### 2. 葛雷碼(Gray code)[2]

表(八)：四位元的二進位碼對葛雷碼轉換表

Input Binary Code				Output Gray Code				數值
C4	C3	C2	C1	G4	G3	G2	G1	顯示
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	1	1
0	0	1	0	0	0	1	1	3
0	0	1	1	0	0	1	0	2
0	1	0	0	0	1	1	0	6
0	1	0	1	0	1	1	1	7
0	1	1	0	0	1	0	1	5
0	1	1	1	0	1	0	0	4
1	0	0	0	1	1	0	0	12
1	0	0	1	1	1	0	1	13
1	0	1	0	1	1	1	1	15

Input Binary Code					Output Gray Code				數值
C4	C3	C2	C1		G4	G3	G2	G1	顯示
1	0	1	1		1	1	1	0	14
1	1	0	0		1	0	1	0	10
1	1	0	1		1	0	1	1	11
1	1	1	0		1	0	0	1	9
1	1	1	1		1	0	0	0	8

在數位系統中，常需要將某一種二進位碼轉換成另一種碼。葛雷碼是屬於最小變化碼的一種，表格(八)為 0 到 15 的二進位及葛雷碼的對照表，依序檢視每一個葛雷碼將可發現每次只變化一個位元而已。葛雷碼非加權碼，也就是說，格雷碼中的每一位元均不具備其本身的位置乘冪形式，因此，它不適用於算術運算，但可應用於某些輸出入裝置和類比、數位轉換器，因為她每次只有一個位元發生變化，故不會有位元間的競爭(race)現象發生。

### 3. 補數

在計算機執行算術運算時，對於減法運算，為求簡化電路的設計起見，均使用補數(Complement) 的原理，使減法運算利用補數及加法運算來取代。

對一個 X 進制的系統而言，其補數的型態有二種：“X” 補數與 “X-1” 補數。以十進制系統可而言，可區分為 10 補數與 9 補數兩種；同樣，二進制系統可區分為 2 補數與 1 補數兩類。

#### ■10 的補數

一個非 0 的未帶號數“A”，其整數部分有  $m$  位， $A$  的 10 補數可以表示成  $10^m - A$ 。若  $A = 0$ ，則  $A$  的 10 補數也為 0。

例(5-1).若數值 3517 的 10 補數可表示成：

$$10^4 - 3517 = 10000 - 3517 = 6483 \text{ (其中 3517 整數部分有 4 位)}$$

例(5-2).若數值 75 的 10 補數可表示成：

$$10^2 - 75 = 100 - 75 = 25 \text{ (其中 75 整數部分有 2 位)}$$

## ■ 9 的補數

一個未帶號數“A”，其整數部分有  $m$  位，小數部分有  $n$  位， $A$  的 9 補數可以表示成  $10^m - A - 10^{-n}$ 。

例(5-3).譬如說，3517 的 9 補數可表示成：

$10^4 - 3517 - 10^{-0} = 10000 - 3517 - 1 = 6482$ (其中 3517 整數部分有 4 位，小數部分有 0 位)

例(5-4).數值 75 的 9 補數可表示成：

$10^2 - 75 - 10^{-0} = 100 - 75 - 1 = 24$ (其中 75 整數部分有 2 位，小數部分有 0 位)。

由上可知，我們可以將 9 補數以另一種快速計算方式來求出，將每一個位數都用 9 去減，可得其 9 補數。

例(5-5).數值 3517 與的 9 補數計算如下： $9999 - 3517 = 6482$

## 五、實驗注意事項

1.實驗電路模擬、組裝與測試。

a.依據實驗模擬結果，並參閱實驗模擬電路圖完成電路接線。

b.使用實驗單元(四)數位碼產生器電路 4 位元輸出[Q4Q3Q2Q1]為測試位元，測試接線時應注意那條線是最高位元[MSB]及最低位元[LSB]。

c.依據 LED 顯示結果，對照實驗設計真值表內容，是否合乎實驗設計要求。

d.本單元實驗項目有項目(一)至項目(五)等 5 項，模擬電路其中項目(一)至項目(四)必選，實作項目必選項目(三)及項目(五)。

## 2.實驗報告內文設定

★各項實驗紀錄(藍色字體)、撰寫實驗波形分析與實驗數據分析(藍色字體)、撰寫實驗問題與討論(藍色字體)、撰寫實驗結論(藍色字體)、按時繳交實驗報告(遲交扣分)，非(藍色字體)扣分。

## 六、實驗項目及實驗步驟

### ■實習項目(一)：設計實例電路模擬[ [2]

1.題目：設計一個具有四個輸入 A4A3A2A1 和一個輸出 F1 的組合電路。

a.假設 A3=0 且 A4=1 時，則輸出 F1 必須等於 1。

b.假設 A2 或 A1 任一等於 1 且 A3=1 時，則輸出 F1 亦須等於 1。

c.其他情形輸出 F1=0。

2.求出上述設計要求的真值表。

表(5-1)：設計實例真值表

輸 入				輸 出
A4	A3	A2	A1	F1
0	0	0	0	
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

3.使用卡諾圖(需畫出)化簡輸出函數，推導、並寫出此函數。

4.使用 NAND(74LS00、74LS10)以最少的 IC 數，來繪製邏輯電路圖。

5.使用 PSPICE 模擬軟體，模擬依所設計的邏輯電路圖，應合乎實驗要求。

6.附上模擬結論與說明。

## ■實習項目(二)：二進碼至葛雷碼的轉換電路模擬 [2]

### 1.實驗題目：

a.參閱表格(5-2)內容，設計一個具有四個輸入和四個輸出的組合電路，將四位元二進位數碼轉換成等效的葛雷碼。

b.利用互斥或閘來製作此電路。（這個可用一個 74LS86 來完成）。

### 2.完成真值表。

### 3.利用全及項與卡諾圖，以化簡布林代數。

### 4.須完成實驗模擬項目，使用匯流排顯示結果。

### 5.附上模擬結論與說明。

表(5-2)：四位元的二進位碼對葛雷碼轉換表

Input Binary Code				Output Gray Code				數值
C4	C3	C2	C1	G4	G3	G2	G1	顯示
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	1	1
0	0	1	0	0	0	1	1	3
0	0	1	1	0	0	1	0	2
0	1	0	0	0	1	1	0	6
0	1	0	1	0	1	1	1	7
0	1	1	0	0	1	0	1	5
0	1	1	1	0	1	0	0	4
1	0	0	0	1	1	0	0	12
1	0	0	1	1	1	0	1	13
1	0	1	0	1	1	1	1	15
1	0	1	1	1	1	1	0	14
1	1	0	0	1	0	1	0	10
1	1	0	1	1	0	1	1	11
1	1	1	0	1	0	0	1	9
1	1	1	1	1	0	0	0	8

**■實驗項目(三)：解碼器之製作電路模擬與實作[2]**

1.題目：製作具有三個輸入 B3，B2，B1 和三個輸出 F2、F3、F4 的組合電路。

利用一個 74LS155 解碼器 IC 特性及 NAND 閘(74LS10)來製作及測試此組合電路。若電路已經化簡為布林函數如下：

$$F2 = B3B1 + \overline{B3}\overline{B2}\overline{B1}$$

$$F3 = \overline{B3}B2 + B3\overline{B2}\overline{B1}$$

$$F4 = B3B2 + \overline{B3}\overline{B2}B1$$

2.寫出上述完整的布林函數及其真值表。

表(5-3)：解碼器之製作真值表

輸 入			輸 出		
B3	B2	B1	F2	F3	F4
0	0	0			
0	0	1			
0	1	0			
0	1	1			
1	0	0			
1	0	1			
1	1	0			
1	1	1			

3.依據所提供的 IC 特性，自行推導出上述的電路圖。

4.須完成電路模擬項目，附上模擬結論與說明。

5.組裝電路。實驗電路檢查時，[B3B2B1]接數位碼產生器電路，只接 3 條線，電路輸出 3 位元[F3F2F1]使用 LED 顯示，IC 輸出端 LED 顯示需接上 330 限流電阻，觀測 LED 檢查真值表，檢視電路是否正確操作。

## ■實驗項目(四)：9 的補數器電路模擬[2]

### 1.實驗題目：

- 試設計一組合電路，有四條以 BCD 碼代表十進位數的輸入線，四條可以產生輸入位元 9 的補數的 4 條輸出線。
- 提供第五條輸出以檢測出在輸入 BCD 數中的錯誤。即四個輸入具有 BCD 碼未使用組合中任一個時，這個輸出必須等於邏輯 1。
- 可使用任何邏輯閘來製作，但所用總 IC 數量減少。

2.完成真值表，利用全及項與卡諾圖，以化簡布林代數。

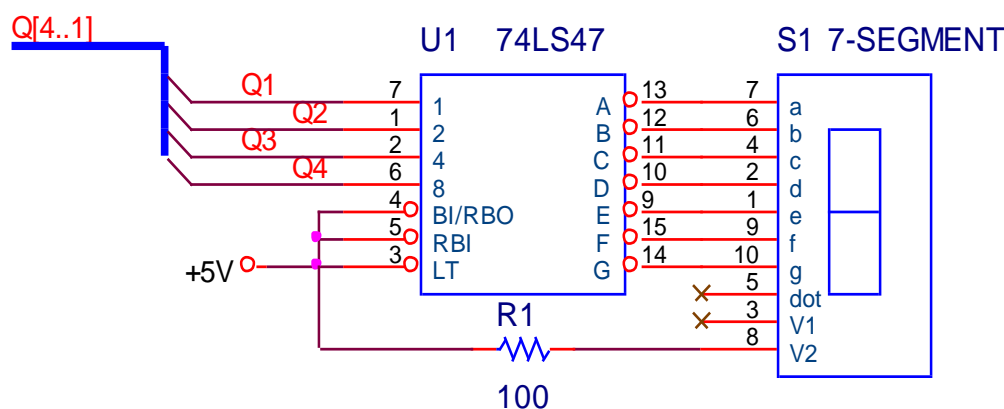
3.須完成實驗模擬項目，附上模擬結論與說明。

表(5-4)：9 的補數器

BCD Code				9 的補數				check	數值
B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	K	顯示
0	0	0	0						
0	0	0	1						
0	0	1	0						
0	0	1	1						
0	1	0	0						
0	1	0	1						
0	1	1	0						
0	1	1	1						
1	0	0	0						
1	0	0	1						
1	0	1	0						
1	0	1	1						
1	1	0	0						
1	1	0	1						
1	1	1	0						
1	1	1	1						

## ■實驗項目(五)：七段顯示器電路實作[2]

■實驗題目：七段顯示器可用來顯示 0 至 15 的數值顯示。通常，十進位數是以 BCD 碼表示。BCD 對七段解碼器接受以 BCD 碼表示的十進位數字，並產生相對的七段碼。



圖(五)：七段顯示器與解碼器(前電路說明)

圖(五)顯示在解碼器與顯示器之間所必須的接線。74LS47即是BCD對七段解碼器/驅動器。它具有四個接受BCD碼輸入。輸入D為最大有效位元，而輸入A則為最小有效位元。這4位元BCD數字用由a至g的輸出轉換成七段碼。這些的74LS47的輸出被加到七段顯示器的輸入。此種IC含有七個LED(發光二極體)位於封裝頂部。接腳14的輸入是所有LED的共陽極。為了提供適當的電流給被選用的LED部分，需用一個100Ω 0.5W電阻接至Vcc。其等效的七段顯示器IC可能具有額外的陽極端，而可能需用不同的電阻值。

製作出示於圖(五)的電路。輸入[Q4Q3Q2Q1]是由前數位碼產生器電路輸出脈波訊號，需使用單擊脈波來觀測七段顯示器數字跳耀結果。1010至1111的輸入並不具有BCD碼的意義。視解碼器而定，這些在顯示可能形成空白或者是一種無意義的圖形。觀察並記錄輸入六個不使用的輸入組合時，輸出所顯示的圖形。



## 七、撰寫實驗結論與心得

## 八、實驗綜合評論

- 1.實驗測試說明、實驗補充資料及老師上課原理說明，是否有需要改善之處。
- 2.實驗模擬項目內容，是否有助於個人對實驗電路測試內容的了解。
- 3.實驗測量結果，是否合乎實驗目標及個人的是否清楚瞭解其電路特性。
- 4.就實驗內容的安排，是否合乎相關課程進度。
- 5.就個人實驗進度安排及最後結果，自己的評等是幾分。
- 6.在實驗項目中，最容易的項目有那些，最艱難的項目包含那些項目，並回憶一下，您在此實驗中學到了那些知識與常識。

## 九、附上實驗進度紀錄單(照片檔)及麵包板電路組裝圖檔(照片檔)

## 十、參考資料來源

[1].M.MORRIS MANO,“Digital design”,second edition,東華書出版,第三版,P.4-2~4-3,1995.

[2].M.MORRIS MANO,“Digital design”,second edition,東華書出版,第三版,P.11-14~11-18,1995.

[3].TTL 74LS155 Data Sheet

<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/51042/FAIRCHILD/74LS155.html>

[4].TTL 74LS08 Data Sheet

[http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/7/4/L/S/74LS08.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/7/4/L/S/74LS08.shtml)

[5]. TTL 74LS86 Data Sheet

<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/50914/FAIRCHILD/7486.html>

[6].TTL 74LS47 Data Sheet

[http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/70/375646\\_DS.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/70/375646_DS.pdf)

[7].Seven Segment Display Data Sheet

<http://www.vishay.com/docs/83126/83126.pdf>

[8].ASCII - 维基百科，自由的百科全书

<https://zh.wikipedia.org/wiki/ASCII>