

實驗單元(六)－循序計數器電路

◎實驗單元摘要

此實驗單元為循序計數電路，屬於同步電路的應用。因實驗設計程序有一定的規範存在，所以設計此電路是非常容易的事情。為了讓各位有個不同的計數情形，實驗內容設計出 20 題不同的計數狀態，讓大家展現一下個人的設計能力。

◎學習目標

- 1、了解計數器的原理。
- 2、了解非同步計數器與同步計數器的差異。
- 3、學習使用 JK-FF 組成序列計數電路。

◎實驗單元目錄

- 一、實驗儀器設備與實驗材料表(P.02)
- 二、實驗預習(P.02)
- 三、零組件介紹(P.03)
- 四、電路說明(P.07)
- 五、實驗要求(P.08)
- 六、實驗設計程序(P.09)
- 七、實驗電路模擬(P.10)
- 八、實驗電路測試(P.12)
- 九、實驗電路檢測(P.13)
- 十、實驗問題與討論(P.13)
- 十一、撰寫實驗結論與心得(P.13)
- 十二、實驗實驗綜合評論(P.13)
- 十三、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.14)
- 十四、實驗參考資料來源(P.14)

◎實驗內容

一、實驗儀器設備與實驗材料表

表(一)：實驗儀器設備

項次	儀器名稱	數量
1	萬用電錶或三用電錶	1 部
2	電源供應器	1 台
3	邏輯筆	1 支
4	數位 IC 測試器	1 台

表(二)：實驗材料表

項次	位 置 碼	元 件 說 明	用 量
1	IC 電源端使用	0.1uF PE 電容	3 個
2	JK-FF	TTL IC 74LS76 DIP16	2 個
3	IC	其它邏輯閘	若干個

二、實驗預習

1. 電路設計時，可以依電路需求選用不同型式的正反器，在下列各項目中，請就電路應用情形選用適當正反器。
 - a. 資料儲存與傳送
 - b. 反彈跳開關
 - c. 移位暫存器
 - d. 計數器、除頻器
2. 何謂正反器的直接輸入？其功能何在？
3. 何謂邊緣觸發？實驗單元所使用的正反器是屬於那一類型的邊緣觸發？

三、零組件介紹

1. 正反器

正反器是一種雙穩態多諧振盪電路(Bistable Multivibrator)。何謂雙穩態電路？簡單的說，它的電路特色有兩個穩定狀態。當電路處於某一個穩定狀態時，它會繼續的保持下去，直到有效的輸入時，才可以改變這種情況，而它才會變化為另一個穩定狀態。即是電路只會出現這兩種狀態之一，而且必須有效的觸發才改變狀態。

電路圖如下圖(一)所示，就是一個由 BJT 所組成的雙穩態多諧振盪電路，這個電路有兩個輸出端(V1、V2)，這兩個輸出端的電位永遠保持著一為高電位(H)，一為低電位(L)，此種型式稱為互補，其中高電位接近 VCC，低電位接近 0V，兩輸出的狀態可經 Set 及 Reset 的觸發以改變兩者的狀態，但 V1 及 V2 永遠維持著互補。

以下是雙穩態多諧振盪電路的電路特性：

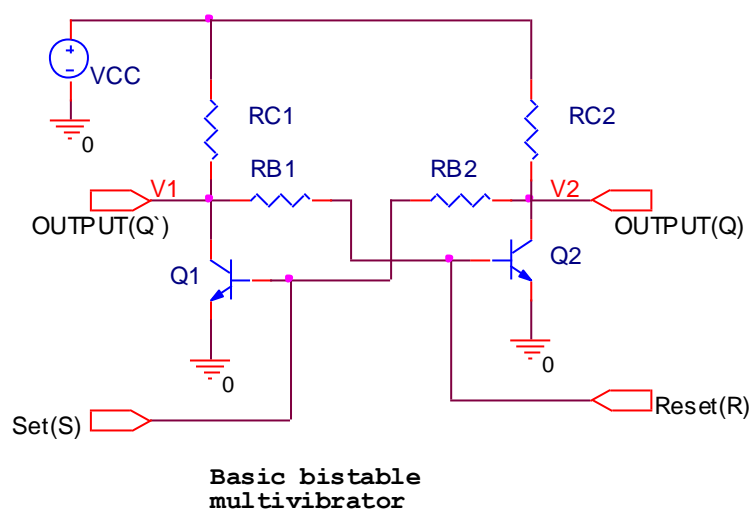
a. 有兩個互補的輸出：V1、V2。

b. 電路處於兩個穩態狀態之一。

①. $V1 = L, V2 = H$ 。

②. $V1 = H, V2 = L$ 。

需有觸發才可以有轉變狀態，否則將繼續儲存著其中一個狀，有記憶能力。控制輸入端有二個以上(Set、Reset)。



圖(一)：雙穩態多諧振盪電路

正反器(flip-flop) 及門鎖器(latch)均是雙穩態多諧振盪器，均具備雙穩態的特性。在許多數位電路應用中，舉凡有關信號的門鎖、擷取、記憶、儲存、計數、順序控

制，都必須是這種雙穩態的操作。

正反器及門鎖器具有記憶的功能，但要操作它使其輸出符合需要，則必須由輸入端及控制信號設定。

正反器因廣泛的使用於各種電路，會有不同的設計目標，例如有時候正反器在電路中僅發揮記憶資料的功能，有時候只用於轉環(Toggle)，因此大致可分為下列四種：

a.SR 型門鎖器

b.D 型門鎖器或正反器

c.T 型正反器

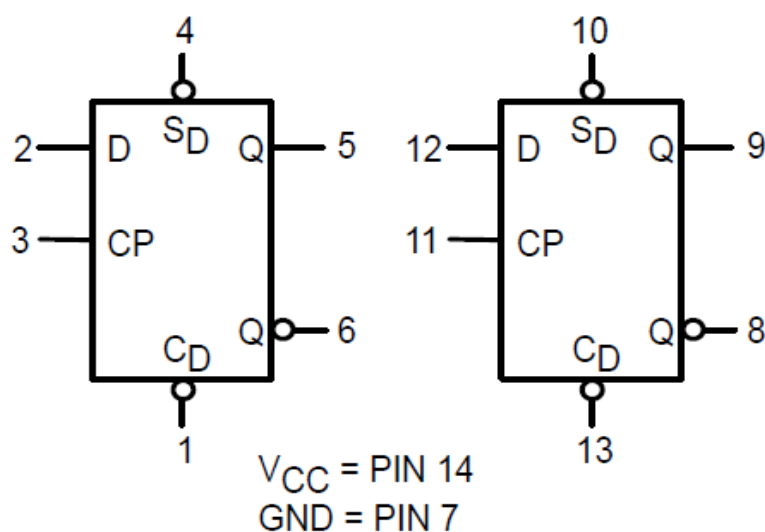
d.JK 型正反器

正反器應用的範圍極廣，因此有許多的 IC 可以選用，這些 IC 中有各種類型，也有門鎖器及正反器之分，在應用上則必須視電路的特性，慎選合適的 IC。門鎖器與正反器主要的差異在於控制輸入方式的不同，正反器是由邊緣觸發或是主從式觸發的雙穩態電路。門鎖器則僅依輸入信號而變化，不以 Clock 控制的雙穩態電路。

正反器有 Clock 控制，以做為輸出同步之用，正反器應輸入之 Clock 的方式也有多種，並列出一些相對 IC 的型號及電路圖。

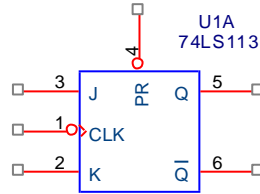
a.正緣觸發方式，在 CK 信號由 L 往 H 瞬間動作，如下圖所示。

74LS74—Dual D-type Positive Edge-triggered Flip-Flops(with Preset and Clear)

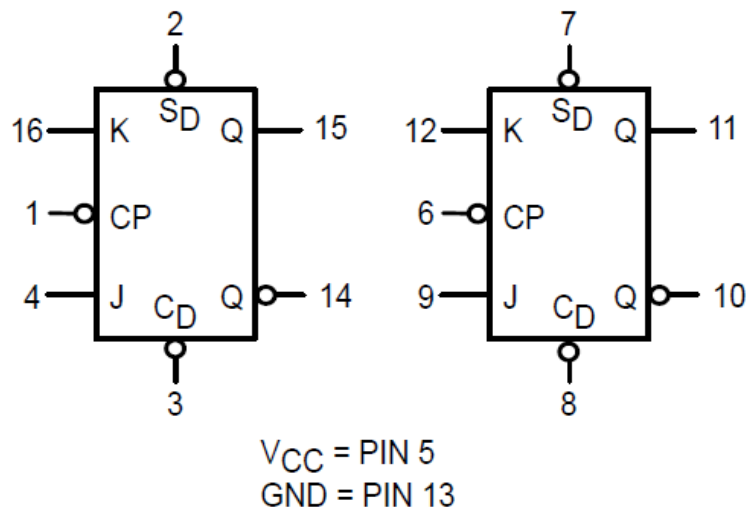


圖(二)：TTL 74LS74 D-FF[3]

b.負緣觸發方式，在 CK 信號由 H 往 L 瞬間動作，如下圖所示。

74LS113—Dual JK Negative Edge-triggered Flip-Flops(with Preset)**圖(三)：TTL 74LS113 JK-FF**

c.主從式負緣觸發，在 CK 信號為 H 時，輸入信號進入主正反器，在 CK 從 H 至 L 瞬間才反應至輸出端(slave FF)中的正反器，如下圖所示。

①.74LS76—Dual JK-FF(with Clear and Preset)**圖(四)：TTL 74LS76 JK-FF[4]**

②.IC 74LS76 功能表

表(四)：IC 74LS76 功能表

Input					Output	
Preset	Clear	Clock	J	K	Q	Q'
L	H	×	×	×	H	L
H	L	×	×	×	L	H
L	L	×	×	×	Nonstable	
H	H	↓	L	L	No Change	
H	H	↓	H	L	H	L
H	H	↓	L	H	L	H
H	H	↓	H	H	Toggle	
H	H	H	×	×	No Change	

※正反器的特性表[1]

表(五)：正反器的特性表

a.JK-FF 正反器

J	K	Q(t + 1)	
0	0	Q(t)	不變
0	1	0	重定
1	0	1	置定
1	1	$\overline{Q(t)}$	轉態

b.RS-FF 正反器

S	R	Q(t + 1)	
0	0	Q(t)	不變
0	1	0	重定
1	0	1	置定
1	1	?	不確定

c.D 型正反器

D	Q(t + 1)	
0	0	重定
1	1	置定

d.T 型正反器

T	Q(t + 1)	
0	Q(t)	不變
1	Q'(t)	置定

※正反器激勵表

表(六)：正反器激勵表

a.RS-FF

Q(t)	(t + 1)	S	R
0	0	0	x
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	x	0

b.JK-FF

Q(t)	(t + 1)	J	K
0	0	0	x
0	1	1	x
1	0	x	1
1	1	x	0

c.D-FF

Q(t)	Q(t + 1)	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

d.T-FF

Q(t)	Q(t + 1)	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

四、電路說明

■循序電路[1]

設計循序電路的步驟：

- 1.以文字描述指定電路的行為，這可能附有狀態圖、時序圖或其他有關資訊。
- 2.根據電路已知資訊，列出狀態表。
- 3.若循序電路的特性以輸入、輸出關係表示而與狀態數目無關時，則可用狀態簡化方法減少其狀態數目。
- 4.若在步驟 2.或 3.中，所有狀態表含有文字符號時，則以二進位值指定各狀態。
- 5.決定所需正反器之數目，並以字母符號為每一個正反器命名。
- 6.選擇使用的正反器類型。
- 7.從狀態表，推導出電路激勵表和輸出表。
- 8.利用圖法或其他化簡方法，推導電路輸出函數與正反器輸入函數。
- 9.畫出邏輯圖。

五、實驗要求

下列共列出 6 題，不同的計數順序，依組別順序來設計電路。每題目依下列程序來完成實驗設計、模擬與實作。設計完成後，印出電路圖，寫上班別、組別、姓名及所需 IC 元件名稱與數量，然後繳交電路圖，領取 IC。IC 需要使用 IC 測試器，測量 IC 是否 OK，組裝實驗電路，完成此項目實驗測試。

計數器須有自行起動(self-starting)的功能；當計數器的初態為非計數範圍內的數值時，此計數器經有限個時序脈波之後，便能回復到所設定的計數範圍內。

請以狀態圖，激勵表，卡諾圖，輸入方程式等方法，自行推導之，依前推導之結果，使用 ORCAD 軟體模擬所設計的電路。其推導之過程，需附在實驗預報中，也可以使用 Maxplus2 軟體模擬電路。

設計元件：以 JK-FF 74LS76A 及若干邏輯閘設計之，設計原則為最省方式。

表(6-1)：實驗題目—計數範圍

項次	計數範圍	項次	計數範圍
1-1	0,1,3,5,7,9,11,13,15	1-2	0,2,4,6,8,10,12,14
2-1	0,1,4,5,6,7,8,9,13,14,15	2-2	0,1,2,5,6,7,8,9,10,14,15
3-1	0,1,3,7,8,9,10,13,14,15	3-2	0,1,2,5,6,8,9,10,12,15

說明：依上述表(6-1)項次，每 3 組來循環設計。

■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(遲交至少扣 20 分)。★非(藍色字體)扣分。

六、實驗設計程序

1. 畫出計數器的狀態圖

2. 完成計數器的激勵表

表(6-2)：計數器的激勵表

十進位	狀態				變遷				JK-FF4		JK-FF3		JK-FF2		JK-FF1	
	Q4	Q3	Q2	Q1	Q4'	Q3'	Q2'	Q1'								
									J4	K4	J3	K3	J2	K2	J1	K1
0	0	0	0	0												
1	0	0	0	1												
2	0	0	1	0												
3	0	0	1	1												
4	0	1	0	0												
5	0	1	0	1												
6	0	1	1	0												
7	0	1	1	1												
8	1	0	0	0												
9	1	0	0	1												
10	1	0	1	0												
11	1	0	1	1												
12	1	1	0	0												
13	1	1	0	1												
14	1	1	1	0												
15	1	1	1	1												

3.完成卡諾圖及輸入方程式

表(6-3)：卡諾圖

a.J4 輸入 J4=_____

$\begin{smallmatrix} Q2Q1 \\ Q4Q3 \end{smallmatrix}$	00	01	11	10
00				
01				
11				
10				

b.K4 輸入 K4=_____

$\begin{smallmatrix} Q2Q1 \\ Q4Q3 \end{smallmatrix}$	00	01	11	10
00				
01				
11				
10				

c.J3 輸入 J3=_____

$\begin{smallmatrix} Q2Q1 \\ Q4Q3 \end{smallmatrix}$	00	01	11	10
00				
01				
11				
10				

d.K3 輸入 K3=_____

$\begin{smallmatrix} Q2Q1 \\ Q4Q3 \end{smallmatrix}$	00	01	11	10
00				
01				
11				
10				

e.J2 輸入 J2=_____

$\begin{smallmatrix} Q2Q1 \\ Q4Q3 \end{smallmatrix}$	00	01	11	10
00				
01				
11				
10				

f.K2 輸入 K2=_____

$\begin{smallmatrix} Q2Q1 \\ Q4Q3 \end{smallmatrix}$	00	01	11	10
00				
01				
11				
10				

g.J1 輸入 J1=_____

$\begin{smallmatrix} Q2Q1 \\ Q4Q3 \end{smallmatrix}$	00	01	11	10
00				
01				
11				
10				

h.K1 輸入 K1=_____

$\begin{smallmatrix} Q2Q1 \\ Q4Q3 \end{smallmatrix}$	00	01	11	10
00				
01				
11				
10				

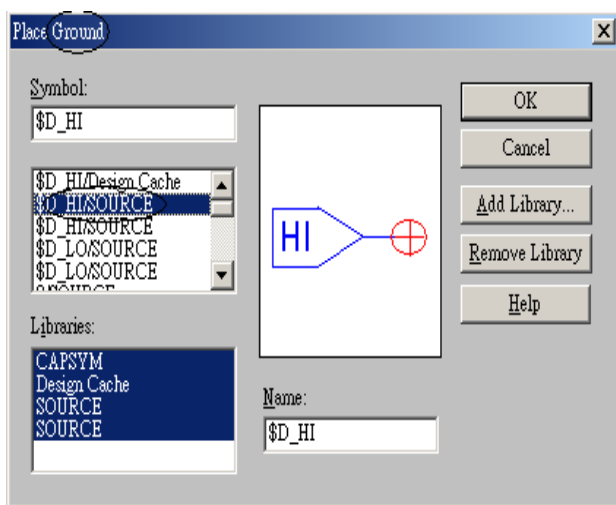
七、實驗電路模擬

完成上述的推導過程，依所得方程式及電路圖，模擬電路，是否合乎實驗要求。
需附上實驗模擬電路圖及模擬結果。

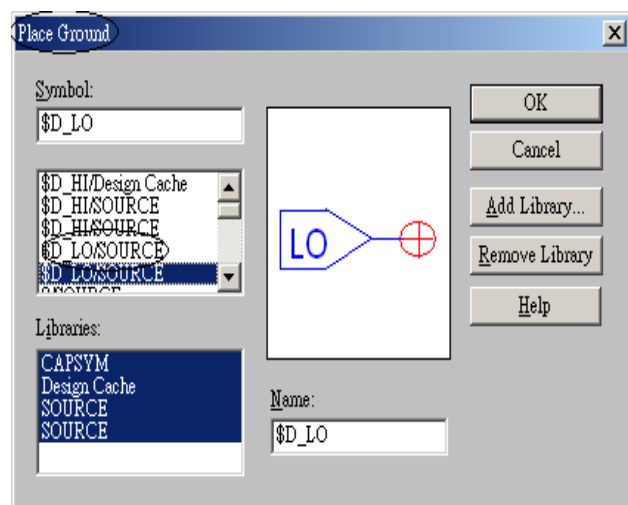
※模擬設定與模擬注意事項：

1. 需要有清除(Reset)功能，非同步輸入 PR 接腳設定為 HI。
2. 時脈波由數位輸入訊號設定，時脈頻率設定為 100Hz。
3. 使用 ORCAD 軟體，完成實驗預報內容。
4. IC 元件編號要正確，例如：使用到一顆 IC 74LS76A 元件內部有 2 個閘數，元件編號為 U1A 74LS76A 及 U1B 74LS76A，且 IC 接腳皆知顯示在電路圖上，有助於電路組裝接線工作。
5. 數位訊號 HI 及 LO，可使用下列電路元件。

使用工具列—Place ground



圖(6-1)：數位訊號 HI



圖(6-2)：數位訊號 LO

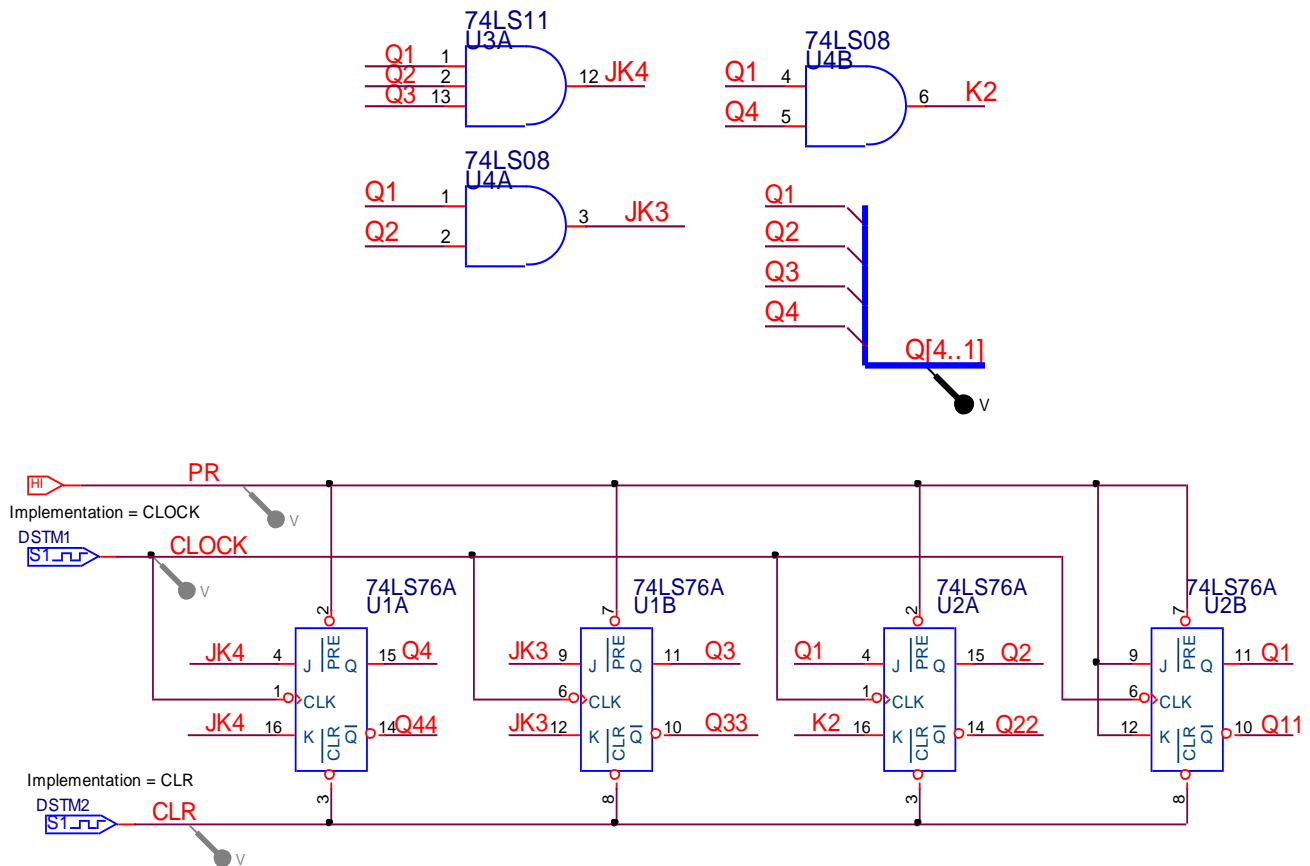
6. 模擬範例說明：

a. 若您推導出下列的輸入方程式

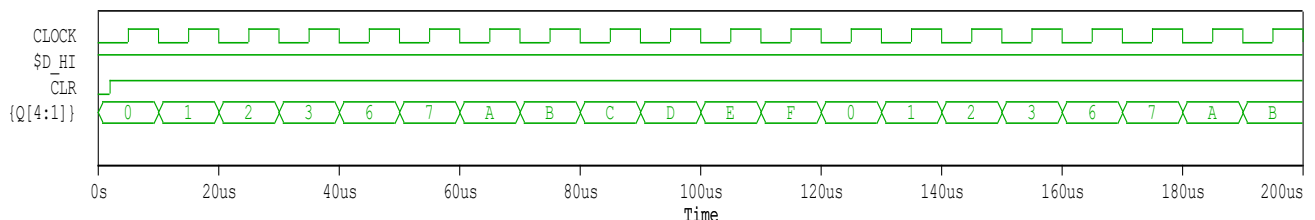
$$\begin{aligned} J4 &= K4 = JK4 = Q3Q2Q1 \\ J3 &= K3 = JK3 = Q2Q1 \\ J2 &= Q1 \\ K2 &= Q4Q1 \\ J1 &= K1 = Hi \end{aligned}$$

b. 為簡化連線及電路精簡，使用下列方式完成電路圖。

設定 IC 接腳名稱，反向端不要使用『 ' 』（引號）或是『 ` 』（撇號），可參閱下圖所列。



圖(6-3)：模擬電路圖



圖(6-4)：系統清除設定(CLR)與模擬結果

八、實驗電路測試

1. 使用實驗單元(四)時脈產生器電路，採用可連續脈波輸入。
2. 選用 IC 元件，完成接線作業，**IC 的+5V 及 GND，不要忘記接線了。**
3. 參考實驗電路圖，應注意 JK-FF 中「PR」接腳是否連接到正確的電壓(+5V)。
4. 電源供應器電壓應輸出穩定電壓值。
5. 需有 Reset 清除動作，為負向脈衝訊號，此訊號由前實驗單元(四)實驗電路圖一單擊脈波產生器及防止彈跳電路，取節點[A3]，為負向脈衝訊號。
6. 將實驗結果 4 位元(需注意最高位元，最低位元)輸出接至 74LS47 解碼與顯示電路，以顯示其計數的順序，需要是正確的跳躍值。

九、實驗電路檢測：實驗錯誤檢測方法，依據圖(6-3)來說明。

- 1.改用實驗單元(三)單擊脈波產生器作為輸入脈波使用。
- 2.在紙上標示 JK-FF 輸出狀態(現在狀態) $Q_4(t)$ 、 $Q_3(t)$ 、 $Q_2(t)$ 及 $Q_1(t)$ ，決定 JK-FF 輸入狀態 $J_4(t)$ 、 $K_4(t)$ 、 $J_3(t)$ 、 $K_3(t)$ 、 $J_2(t)$ 、 $K_2(t)$ 、 $J_1(t)$ 及 $K_1(t)$ 。
- 3.依據正反器的特性表，標示出 JK-FF 的下一狀態 $Q_4(t+1)$ 、 $Q_3(t+1)$ 、 $Q_2(t+1)$ 及 $Q_1(t+1)$ ，然後依序完成記錄數個狀態。
- 4.測試電路：系統先行清除(Reset)，輸入單擊脈波，觀測數位計數狀態，記錄 JK-FF 輸出狀態，對照出錯誤的計數狀態。
- 5.邏輯筆檢查電路：使用單擊脈波，此時輸出狀態為錯誤狀態的前一狀態，使用邏輯比檢查 JK-FF 輸入狀態 $J_4(t)$ 、 $K_4(t)$ 、 $J_3(t)$ 、 $K_3(t)$ 、 $J_2(t)$ 、 $K_2(t)$ 、 $J_1(t)$ 及 $K_1(t)$ ，對照出錯誤的 JK-FF 輸入接腳，檢查 IC 是否不良或接線是否錯誤，接續找出錯誤原因，完成電路檢測。

十、實驗問題與討論

- 1.試說明同步和非同步計數器的優缺點。
- 2.試說明計數器可應用在那些方面。
- 3.MOD-60 計數器需要用到幾個 flip-flop。

十一、撰寫實驗結論與心得

十二、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。

十三、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)

十四、實驗參考資料來源

**[1] .M.MORRIS MANO,“Digital design”,second edition,東華書局出版,第三版,P.6-38
～P.6-43,1995.**

[2].TTL IC 74LS74 Data Sheet

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/SN74LS74N.pdf>

[3].TTL IC 74LS76A Data Sheet

<http://kurser.iha.dk/eit/eit-lab/komponenter/datasheets/74LS76.pdf>