

# 數位邏輯實驗

期末專題 題目一

簡易『算術邏輯運算單元』(ALU)

組員：109206532 王昱達/108601205 王佑恩

組別：32

## 一、 ALU 功能

$A = A_3 A_2 A_1 A_0 = 0010 =$  王昱達的學號末一碼 2

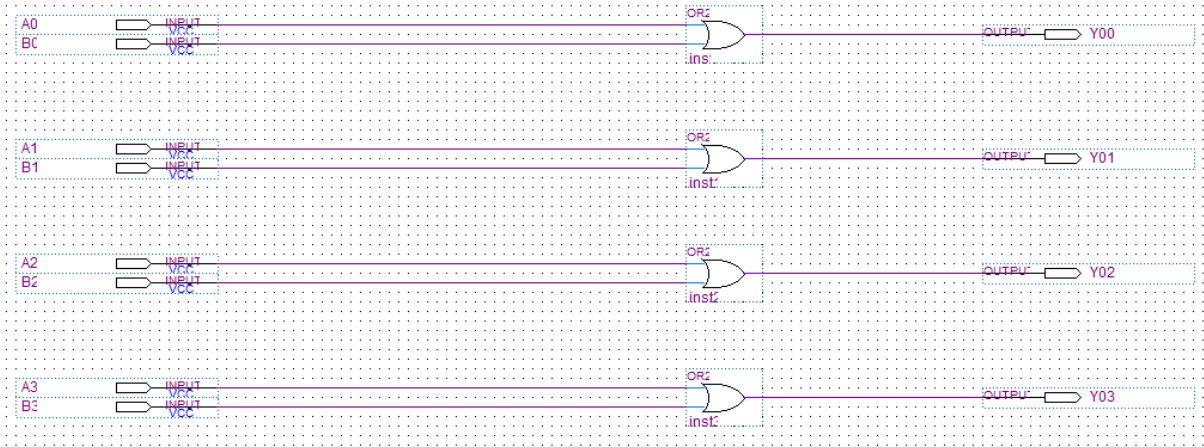
$B = B_3 B_2 B_1 B_0 = 0101 =$  王佑恩的學號末一碼 5

OPERATOR	OPERATIONS
000	$Y = A + B(\text{OR})$
001	$Y = A \bullet B(\text{AND})$
010	$Y = A + B(\text{加法})$
011	$Y = A - B(\text{減法})$
100	$Y = A \gg 1(\text{右移一位元})$
101	$Y = A \ll 1(\text{左移一位元})$
110	$Y = A \text{ CMP } B(\text{A 與 B 比較數值,數值較大即為輸出值})$
111	$Y = \text{ROL } A(\text{將 A 向左移一位元,最高位元則到最低位元})$

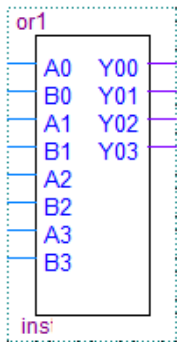
ALU 為一種可對二進位整數執行算術運算的組合邏輯數位電路，當輸入變化時，其輸出也將隨之變化。一個 ALU 具有各種輸入和輸出網路，它們用於在 ALU 和外部電路之間傳送數位訊號。當 ALU 工作時，外部電路在 ALU 的輸入端輸入信號，而 ALU 將產生運算結果，並將信號通過其輸出端輸出至外部電路。

二、 各運算單元

1. OPERATOR 000 OPERATIONS  $Y = A + B(OR)$



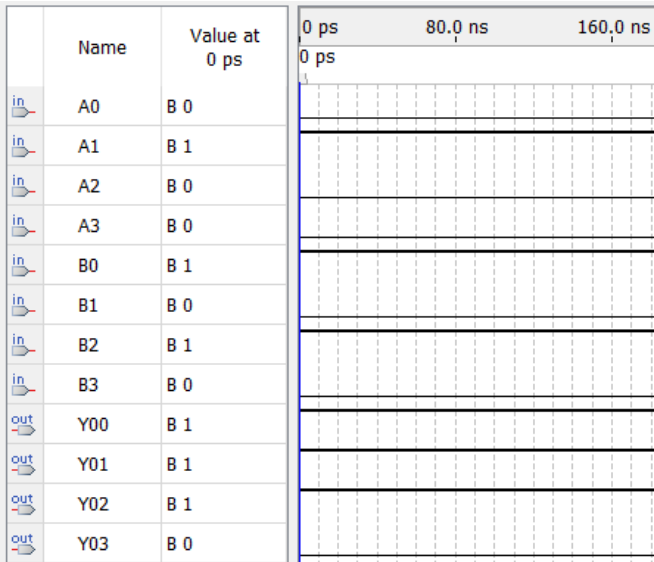
圖一  $Y = A + B(OR)$  Quartus 模擬電路圖



圖二  $Y = A + B(OR)$  Quartus 子元件

表一  $Y = A + B(OR)$  真值表

Operator000		Y = A + B(OR)	
	A	B	Y
0	0	1	1
1	1	0	1
2	0	1	1
3	0	0	0

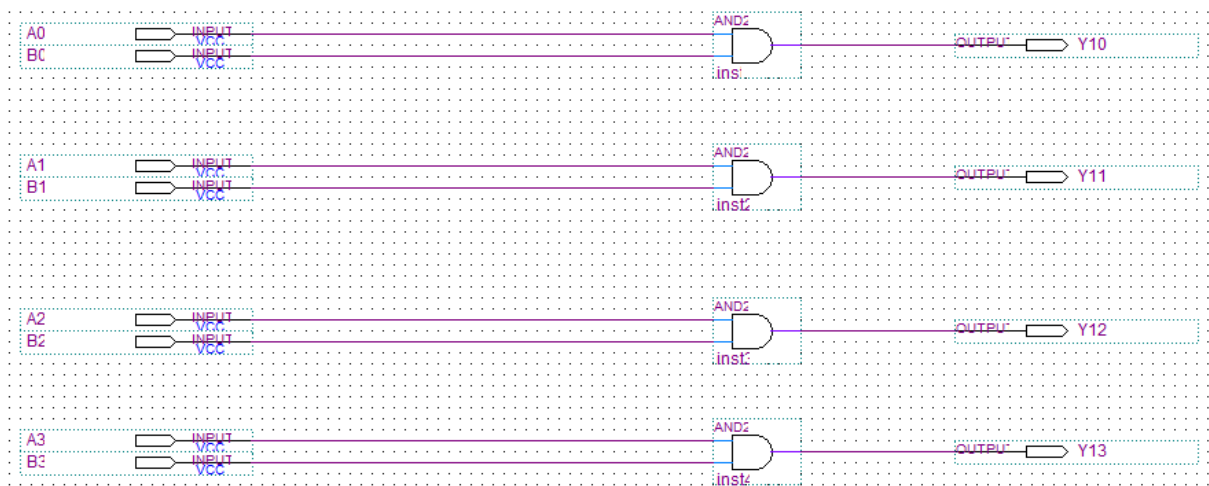


圖三  $Y = A + B(OR)$  Quartus 模擬波形圖

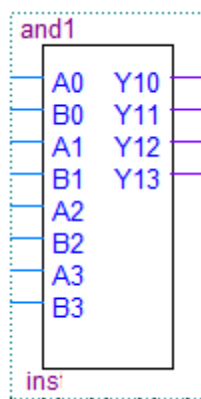
說明：

A、B 每兩輸入相對應的位元做 OR 的邏輯運算，如圖三所示， $Y = A+B(OR)$   
= 0111。

2. OPERATOR      001 OPERATIONS       $Y = A \cdot B(\text{AND})$



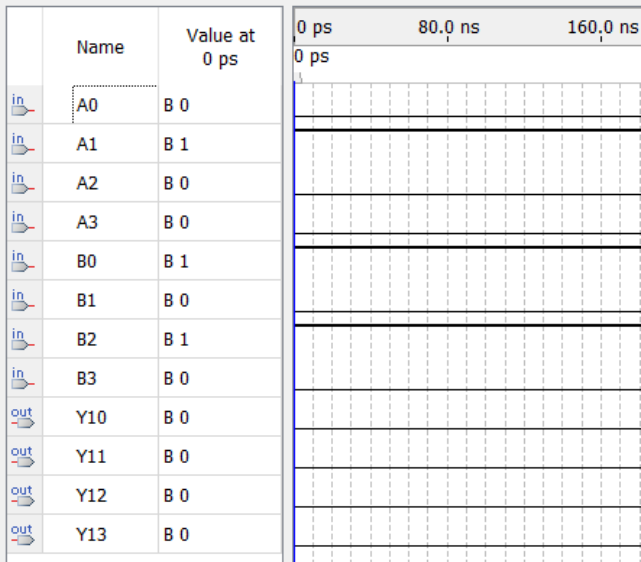
圖四  $Y = A \cdot B(\text{AND})$  Quartus 模擬電路圖



圖五  $Y = A \cdot B(\text{AND})$  Quartus 子元件

表二  $Y = A \cdot B(\text{AND})$  真值表

Operator001		$Y = A \cdot B(\text{AND})$	
	A	B	Y
0	0	1	0
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	0

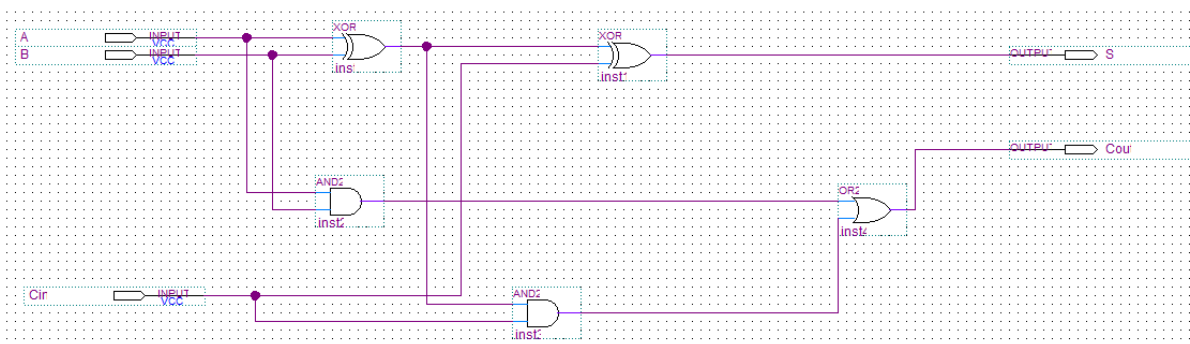


圖六  $Y = A \cdot B(\text{AND})$  Quartus 模擬波形圖

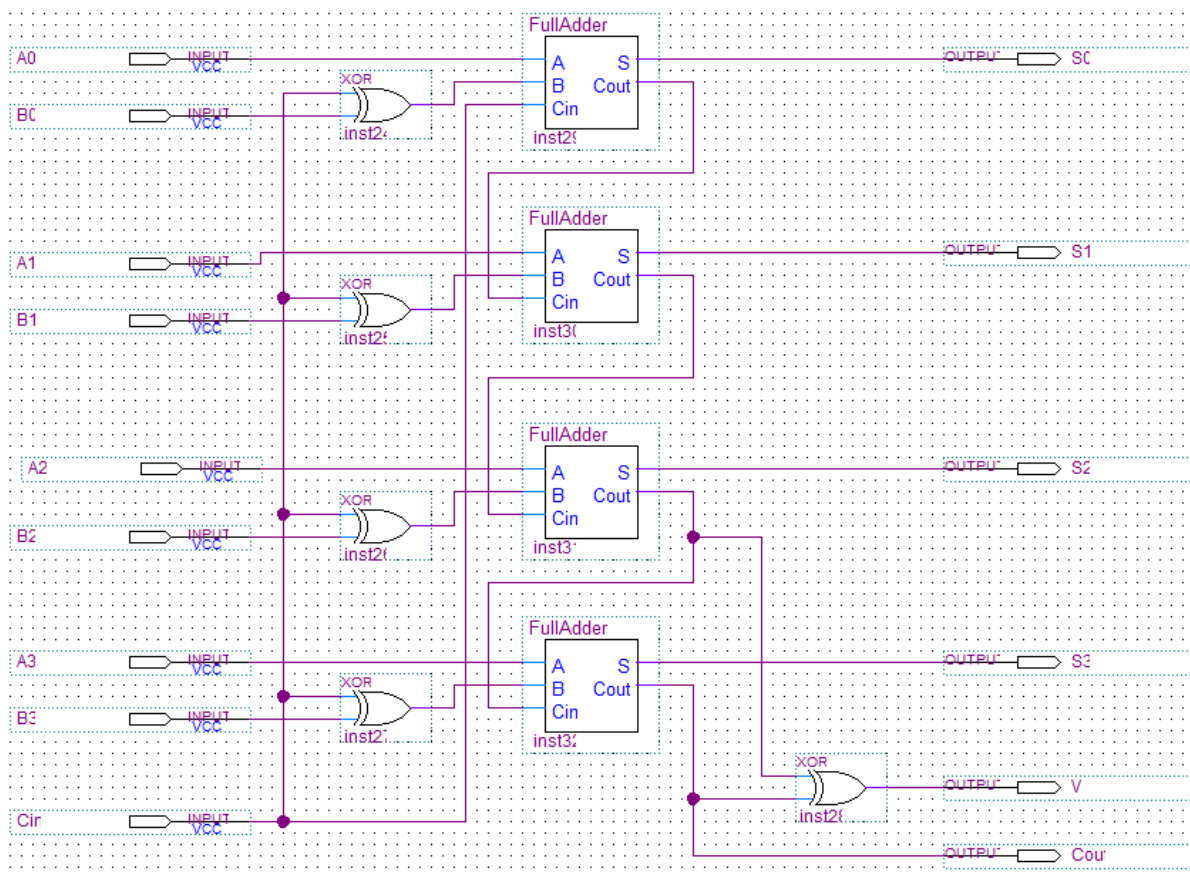
說明：

A、B 每兩輸入相對應的位元做 OR 的邏輯運算，如圖六所示， $Y = A \cdot B(\text{AND}) = 0000$ 。

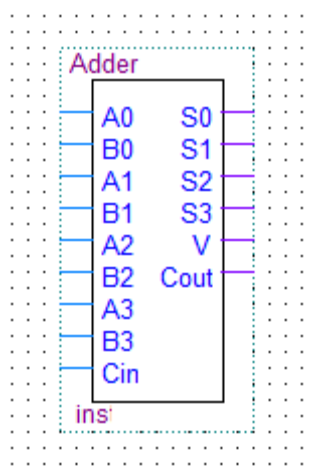
### 3. 四位元二進位加/減法器



圖七 全加法器 Quartus 模擬電路圖



圖八 四位元二進位加/減法器 Quartus 模擬電路圖



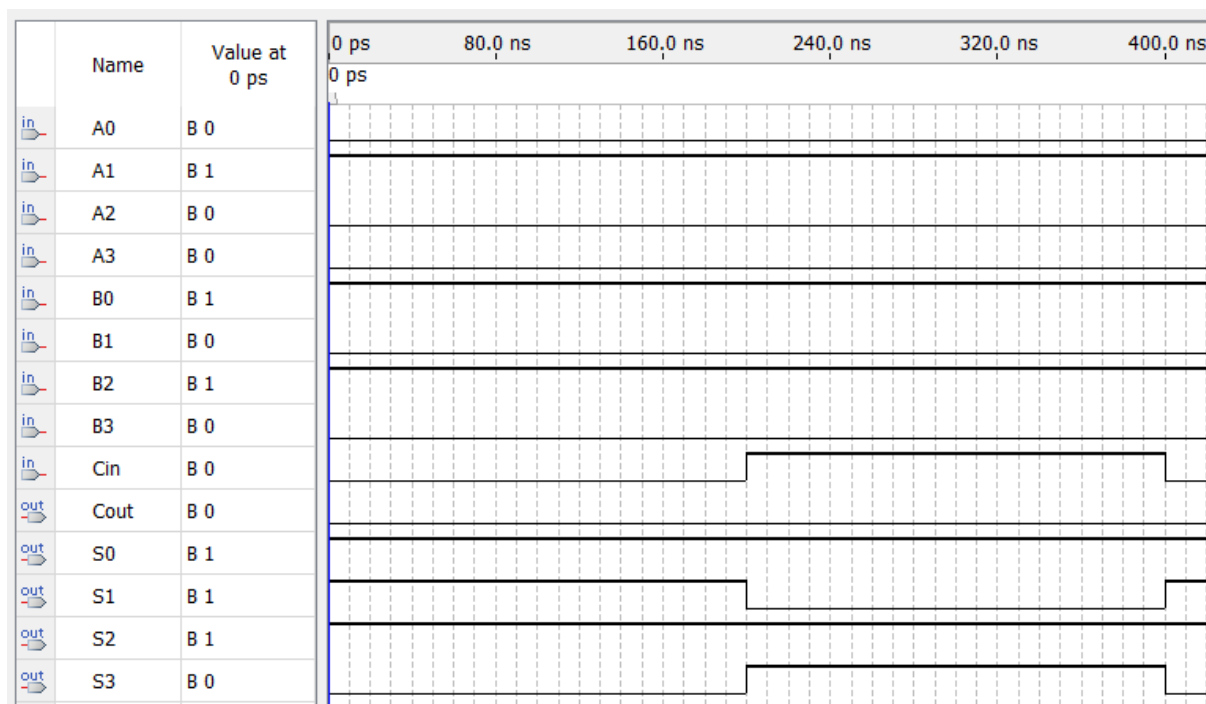
圖九 四位元二進位加/減法器 Quartus 子元件

表三  $Y = A + B$ (加法)真值表

Operator010		$Y = A + B$ (加法)	
	A	B	Y
0	0	1	1
1	1	0	1
2	0	1	1
3	0	0	0

表四  $Y = A - B$ (減法)真值表

Operator011		$Y = A - B$ (減法)	
	A	B	Y
0	0	1	1
1	1	0	0
2	0	1	1
3	0	0	1



圖十 四位元二進位加/減法器 Quartus 模擬波形圖

(1) OPERATOR 010 OPERATIONS  $Y = A + B$ (加法)

當  $Cin = 0$  時，此邏輯電路為四位元二進位加法器。

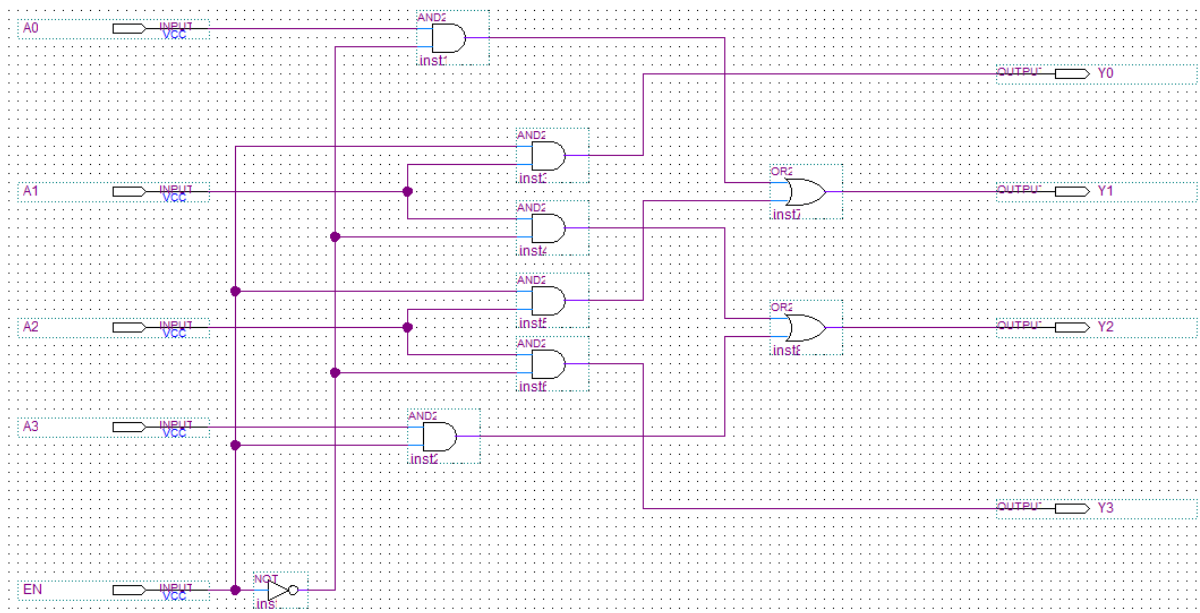
如圖十所示，設  $A=0010$ 、 $B=0101$ ，當  $Cin=0$  時， $Y=0111$ ，其真值表如表三所示。

(2) OPERATOR 011 OPERATIONS  $Y = A - B$ (減法)

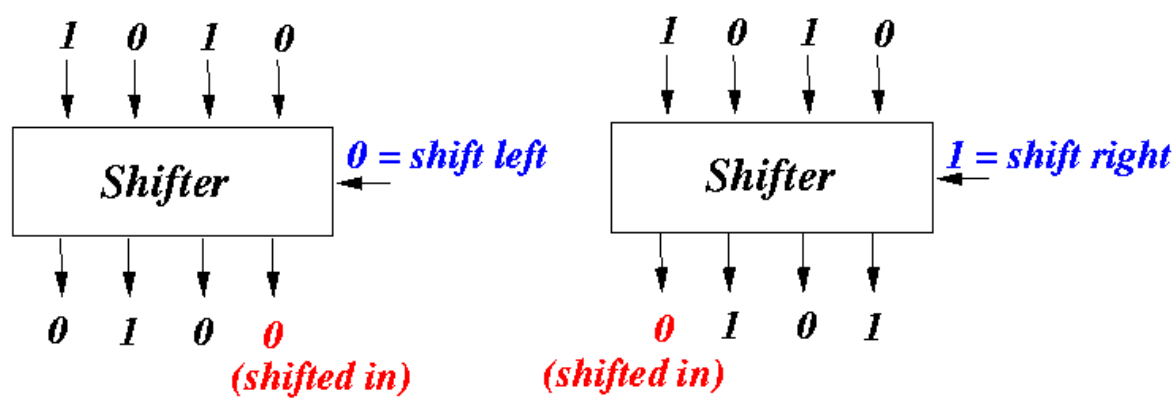
當  $Cin=1$  時，則為四位元二進位減法器。

如圖十所示，設  $A=0010$ 、 $B=0101$ ，當  $Cin=1$  時， $Y=1101$ ，其真值表如表四所示。

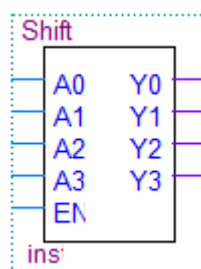
#### 4. 移位電路



圖十一 移位電路 Quartus 模擬電路圖

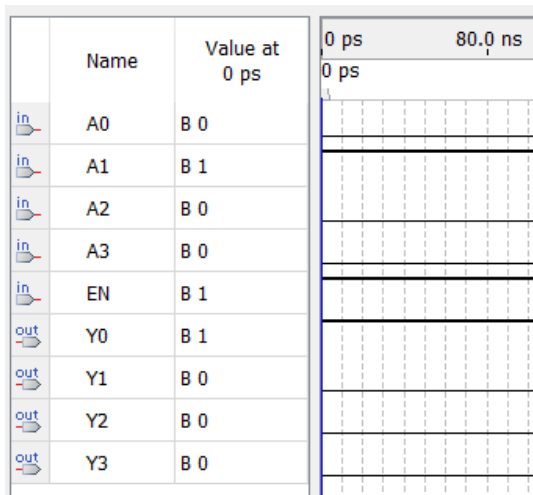


圖十二 移位電路示意圖



圖十三 移位電路 Quartus 子元件

(1) OPERATOR      100 OPERATIONS       $Y = A \gg 1$ (右移一位元)



圖十四 右移位電路 Quartus 模擬波形圖

表五 右移位電路真值表

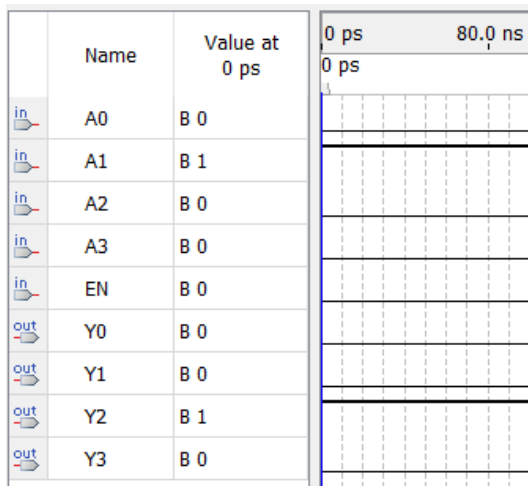
Operator100		Y = A >> 1(右移一位元)
	A	Y
0	0	1
1	1	0
2	0	0
3	0	0

說明：

如圖十二所示，當 EN=1 時，圖十一電路為右移電路，且最高位元補 0。

如圖十四所示，當 EN=1 時，Y=0001，其真值表如表五所示。

(2) OPERATOR      101 OPERATIONS       $Y = A \ll 1$ (左移一位元)



圖十五 左移位電路 Quartus 模擬波形圖

表六 左移位電路真值表

Operator101		Y = A << 1(左移一位元)
	A	Y
0	0	0
1	1	0
2	0	1
3	0	0

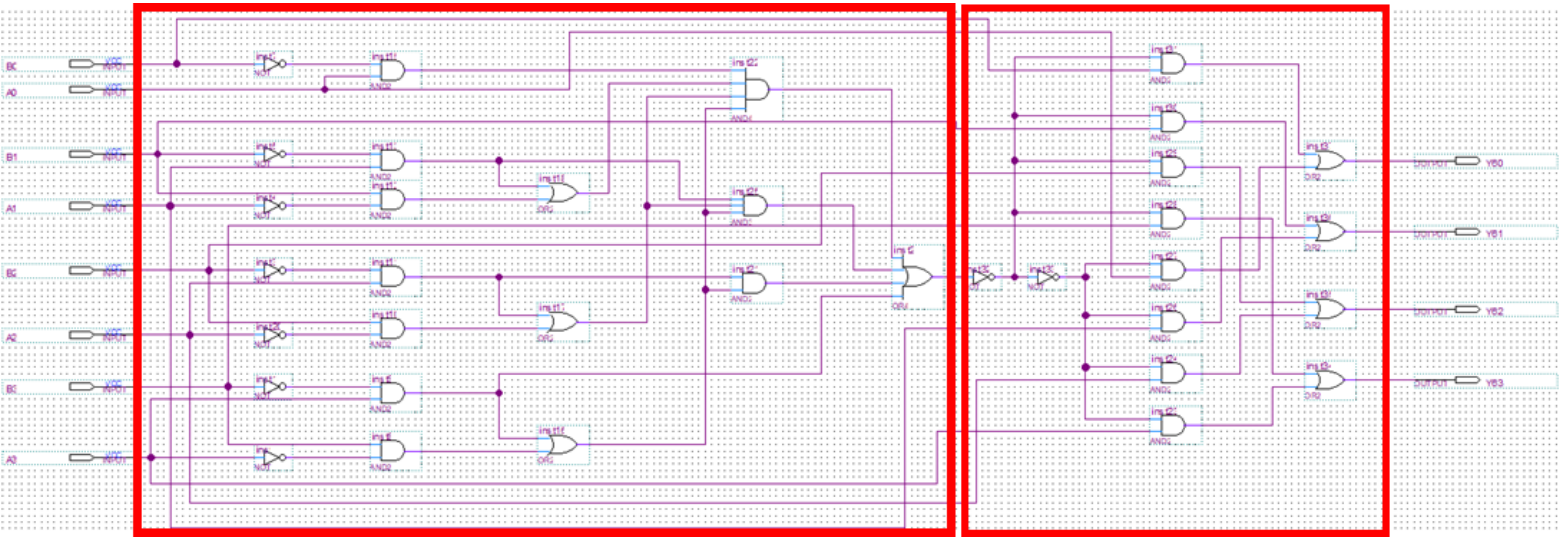
說明：

如圖十二所示，當 EN=0 時，圖十一電路為左移電路，且最低位元補 0。

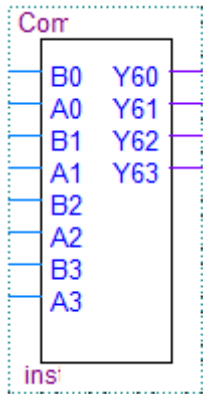
如圖十五所示，當 EN=0 時，Y=0100，其真值表如表六所示。



5. OPERATOR     110 OPERATIONS     $Y = A \text{ CMP } B$  (A 與 B 比較數值，數值較大  
即為輸出值)



圖十六     $Y = A \text{ CMP } B$     Quartus 模擬電路圖



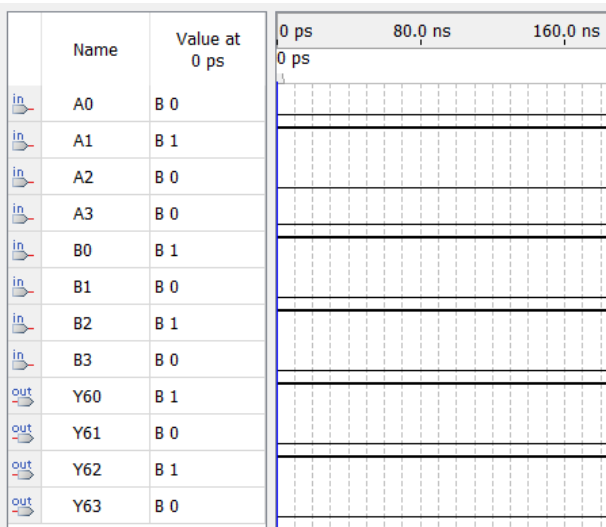
圖十七     $Y = A \text{ CMP } B$  Quartus 子元件

表七    比較器真值表

Operator110		$Y = A \text{ CMP } B$	
	A	B	Y
0	0	1	1
1	1	0	0
2	0	1	1
3	0	0	0

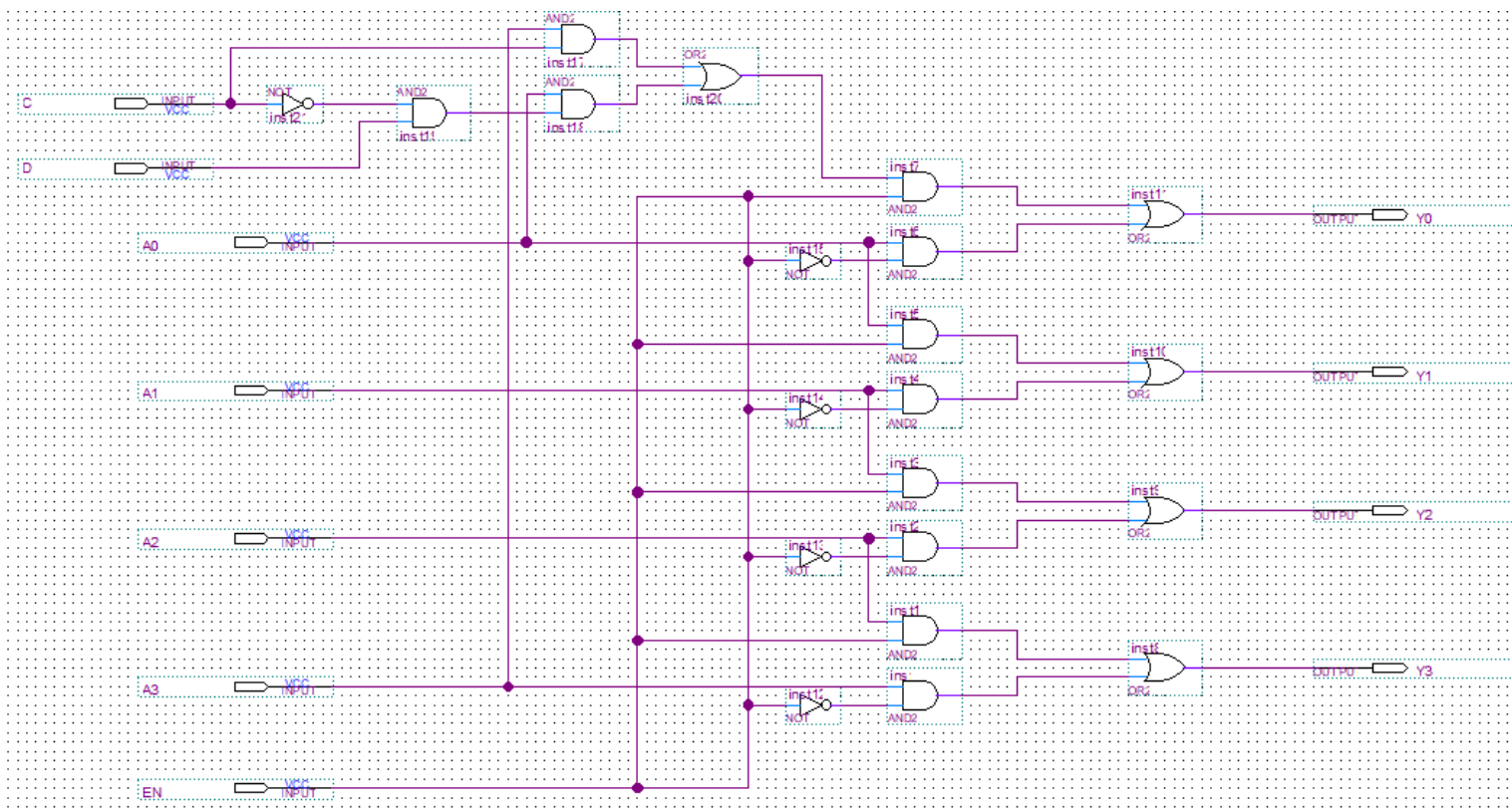
說明：

如圖十六所示，此電路為一個比較器  
(左邊紅框)和四個 2to1 多工器(右邊紅  
框)組成。當  $A > B$  時，比較器輸出 1，  
經過多工器選擇後，輸出為 A；當  $A < B$   
時，比較器輸出為 0，經過多工器選擇  
後，輸出為  $Y=B=0101$ ，波形如圖十八  
所示。

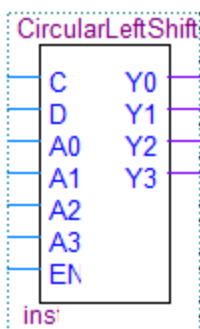


圖十八     $Y = A \text{ CMP } B$  Quartus 模擬波形圖

6. OPERATOR 111 OPERATIONS  $Y = \text{ROL } A$  (將 A 向左移一位元，最高位元則到最低位元)



圖十九  $Y = \text{ROL } A$  Quartus 模擬電路圖



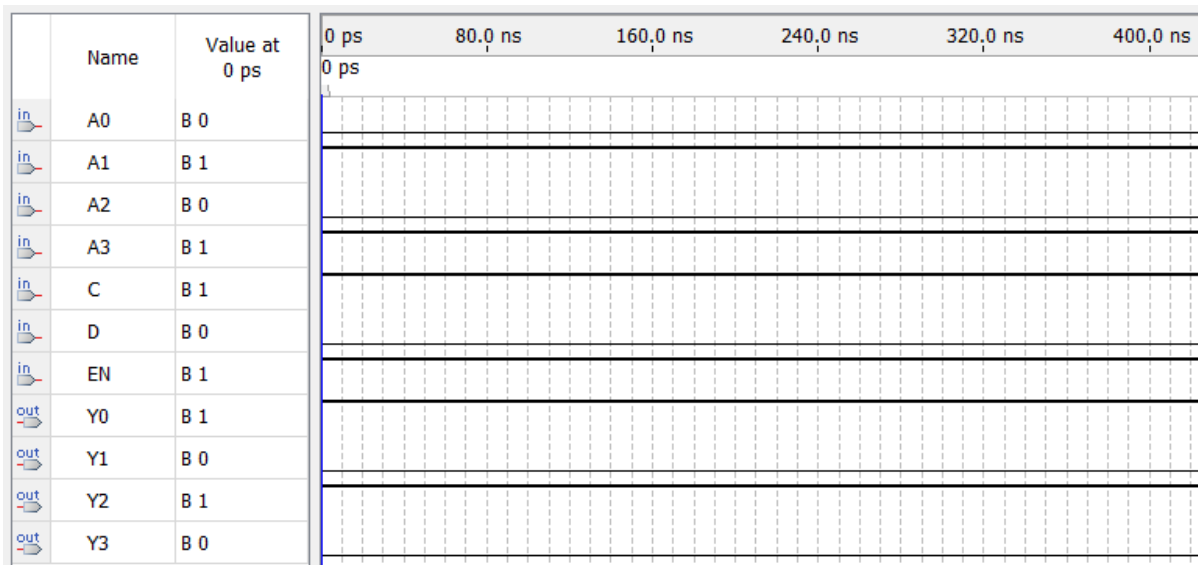
圖二十  $Y = \text{ROL } A$  Quartus 子元件

表八 循環左移位電路真值表

Operator111		$Y = \text{ROL } A$
	A	Y
0	0	0
1	1	0
2	0	1
3	0	0

說明：

當操作於  $EN=1$ 、 $D = \text{any}$  及  $C = 1$  時，可以實現最高位元補至最低位元的循環左移。圖二十一之波形先設  $A = A3 A2 A1 A0 = 1010$ ，比較好觀察 Y 是否為循環左移還是單純左移候補 0（如 OPERATOR 101）。

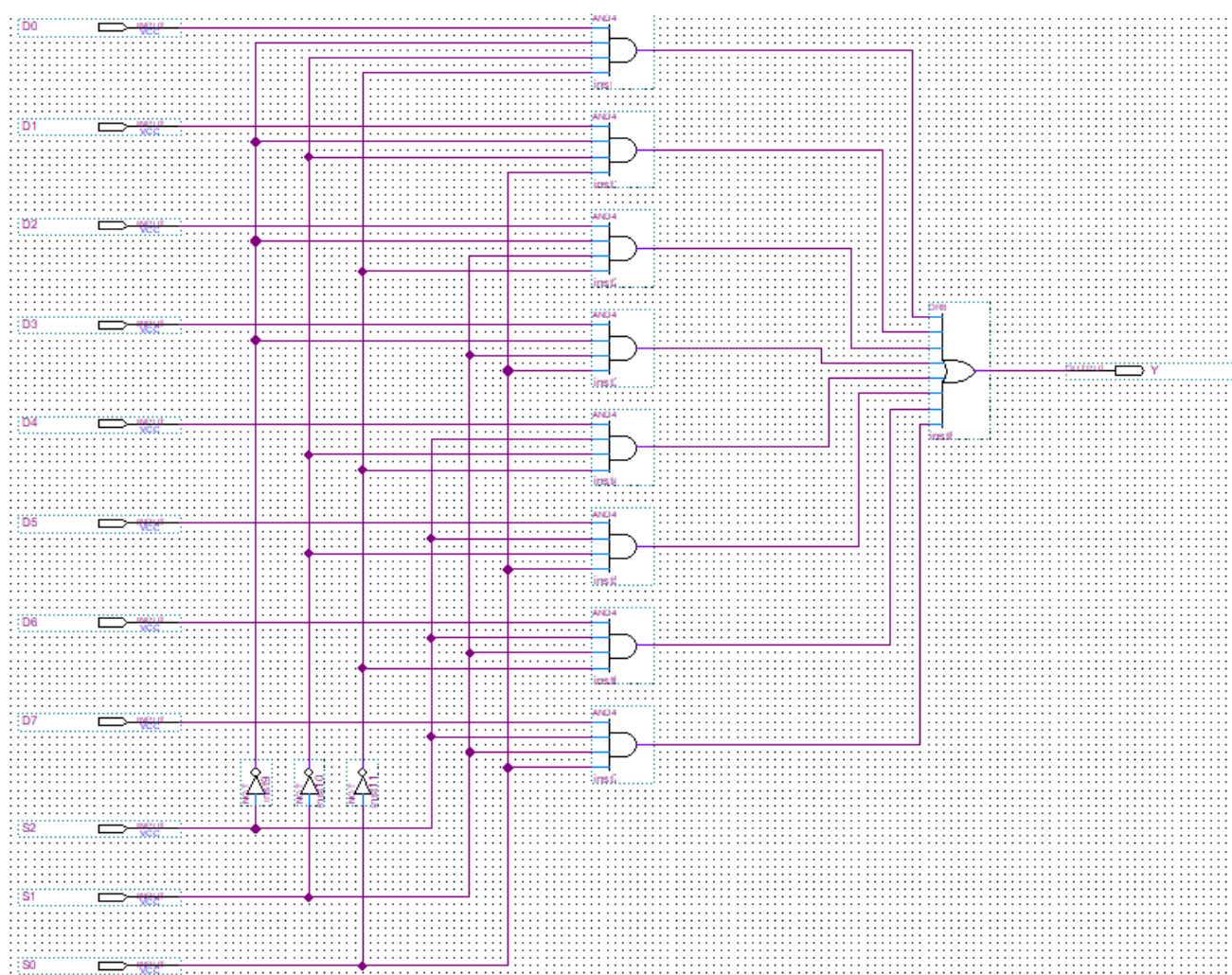


圖二十一 Y = ROL A Quartus 模擬波形圖

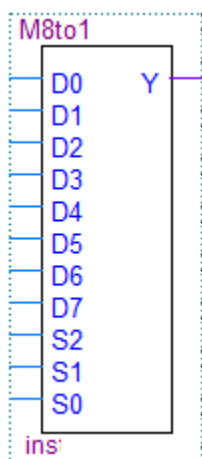
可以看出  $Y = Y3 Y2 Y1 Y0 = 0101$ ，為 A 循環左移後的結果，與 OPERATOR 101 運作方式不同。

### 三、 組合 ALU

#### 1. 8 to 1 多工器



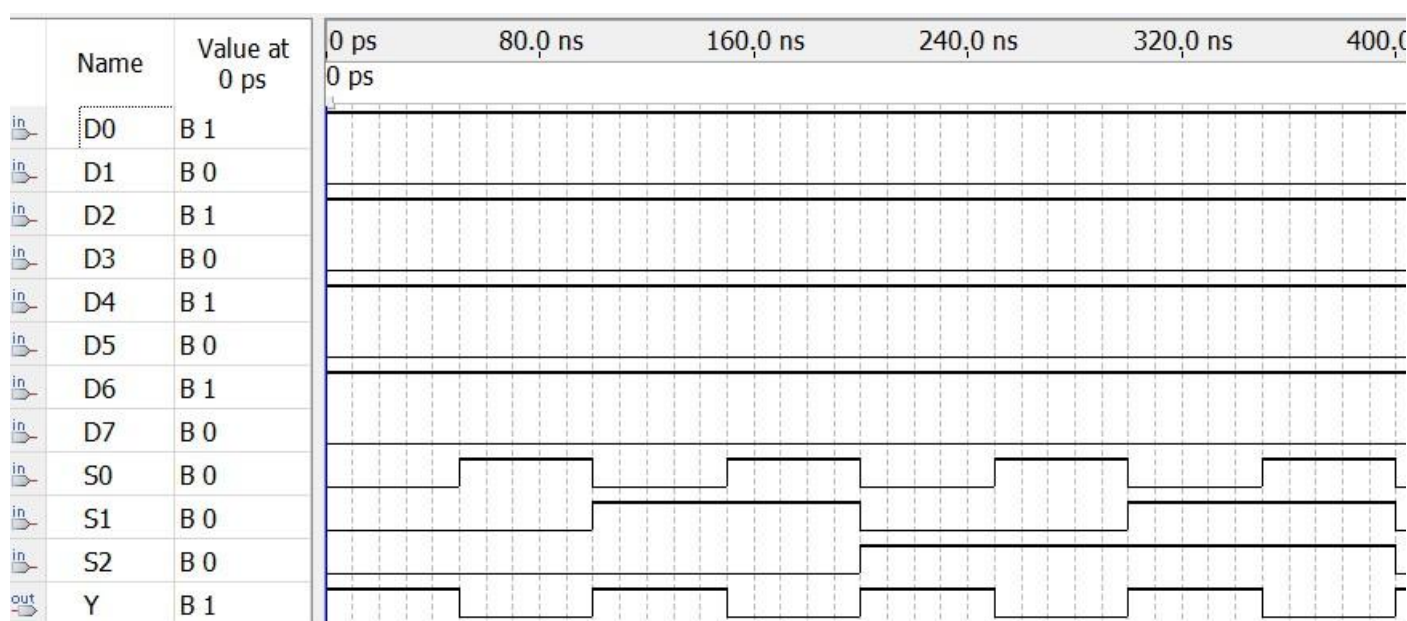
圖二十二 8 to 1 多工器 Quartus 模擬電路圖



圖二十三 8 to 1 多工器 Quartus 子元件

表八 8 to 1 多工器真值表

S0	S1	S2	Y
0	0	0	D0
0	0	1	D1
0	1	0	D2
0	1	1	D3
1	0	0	D4
1	0	1	D5
1	1	0	D6
1	1	1	D7



圖二十四 8 to 1 多工器波形圖

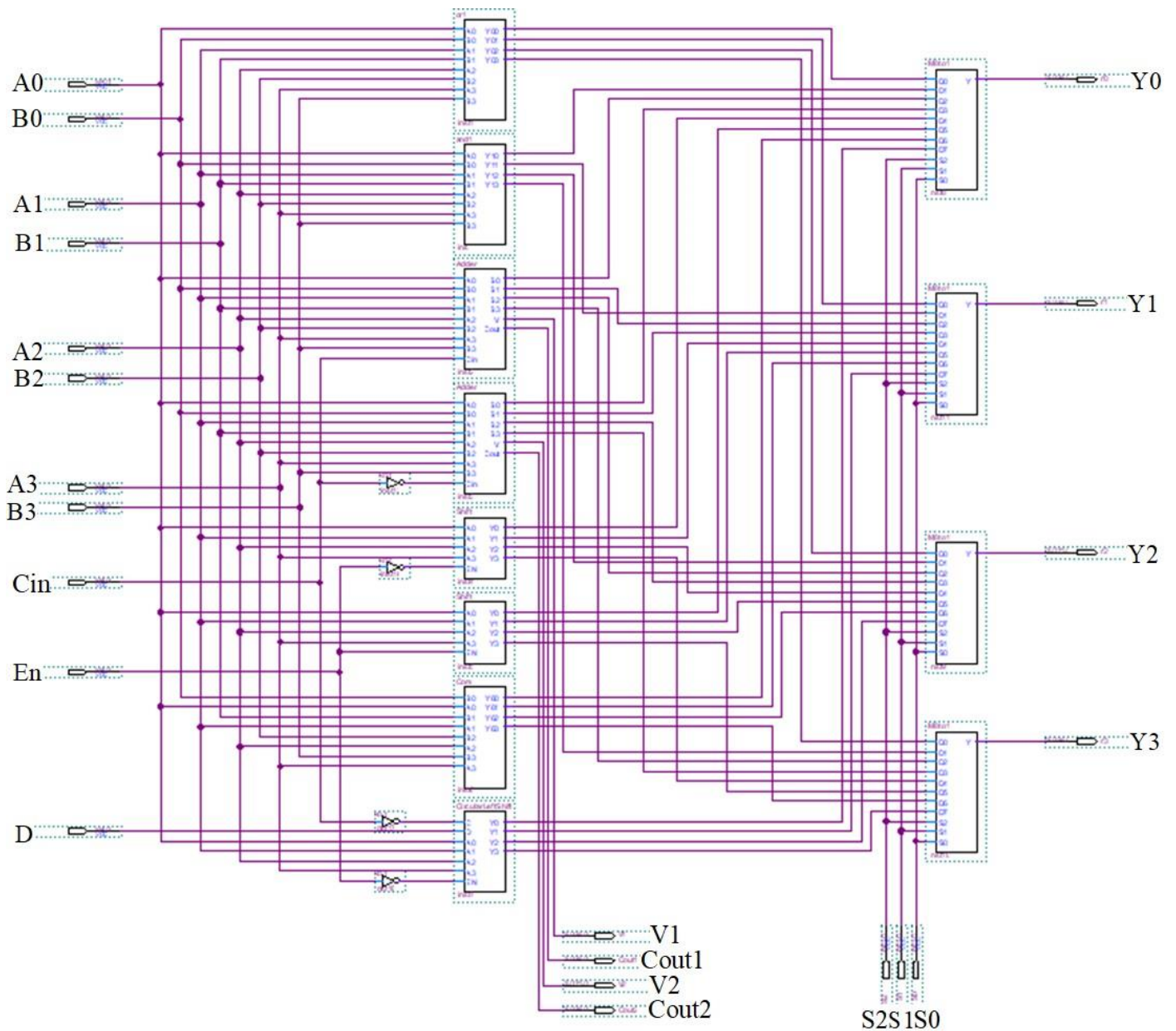
- (1) 說明：由基本邏輯閘組合 8 to 1 多工器，由於  $8=2^n=2^3$ ， $n=3$  所以需要 3 條選擇線分別是 S0、S1 及 S2 如圖二十二所示，其波形如圖二十四所示，而其真值表如表八所示。

- (2) Logic equation：

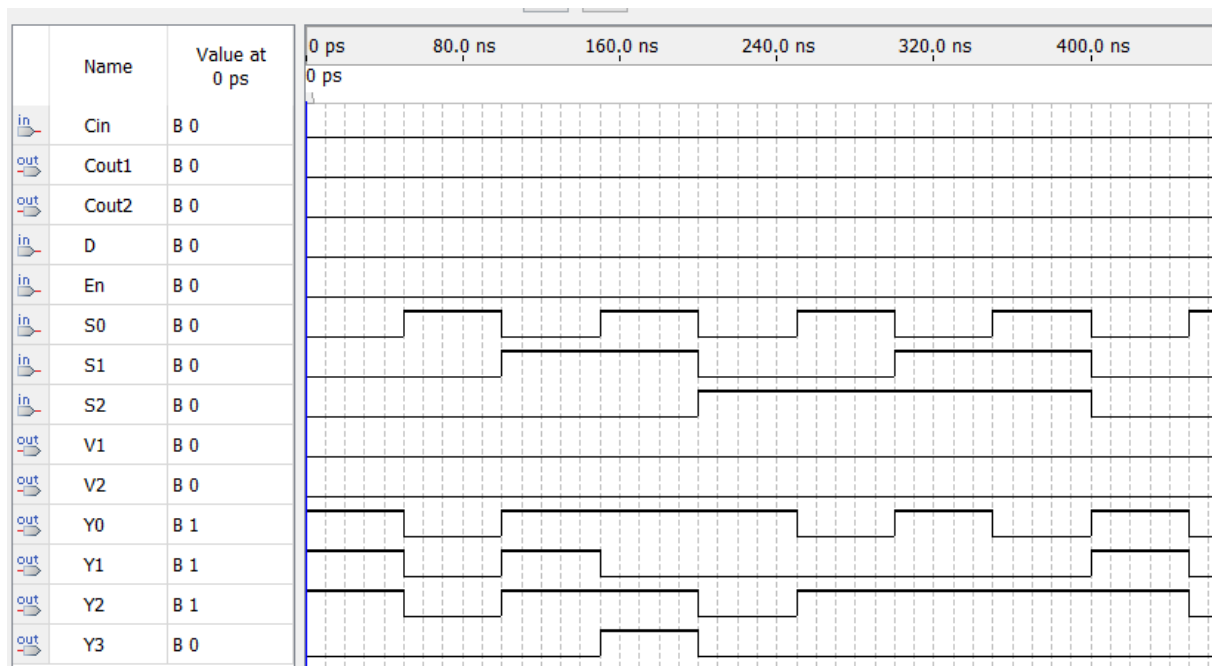
$$Y = D0 * (\sim S0) * (\sim S1) * (\sim S2) + D1 * (\sim S0) * (\sim S1) * S2 + D2 * (\sim S0) * S1 * (\sim S2) + D3 * (\sim S0) * S1 * S2 + D4 * S0 * (\sim S1) * (\sim S2) + D5 * S0 * (\sim S1) * S2 + D6 * S0 * S1 * (\sim S2) + D7 * S0 * S1 * S2$$



## 2. ALU



圖二十五 ALU Quartus 模擬電路圖



圖二十六 Quartus 模擬波形圖

說明：

我們依照題目要求的操作功能來繪製不同功能的電路，再將各個電路圖製作出具有各自的子元件，另外，因為輸出為四位元且有八個不同的操作模式，因此我們在後面接上四個 8 to 1 多工器，以 S0、S1、S2 當作 operator 進行操作模式的選擇，來完成此 ALU。

如圖二十六波形所示：(S=S2 S1 S0)

當 S=000，進行  $Y = A + B(\text{OR}) = 0111$

當 S=001，進行  $Y = A \cdot B(\text{AND}) = 0000$

當 S=010，進行  $Y = A + B(\text{加法}) = 0111$

當 S=011，進行  $Y = A - B(\text{減法}) = 1101$

當 S=100，進行  $Y = A \gg 1(\text{右移一位元}) = 0001$

當 S=101，進行  $Y = A \ll 1(\text{左移一位元}) = 0100$

當 S=110，進行  $Y = A \oplus B = 0101$

當 S=111，進行  $Y = \text{ROL } A = 0100$

#### 四、參考資料

1. 邏輯簡化 – <https://www.cyut.edu.tw/~yfahuang/chap04.pdf>
2. Shifter Circuits – <http://www.mathcs.emory.edu/~jallen/Courses/355/Syllabus/1-circuits/shifter.html>