

第5章

狀態流程圖設計

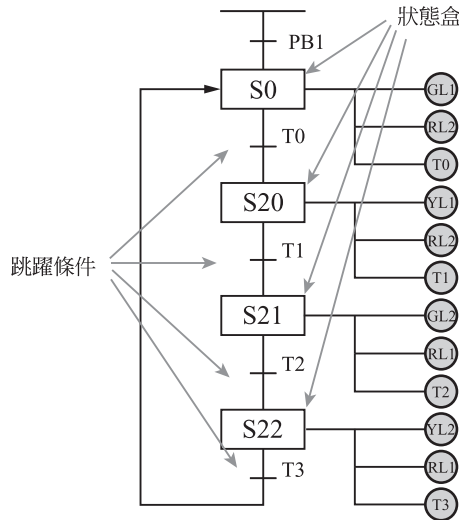
- 單元十五 單一順序流程設計
- 單元十六 選擇分歧、合流流程設計
- 單元十七 狀態跳躍流程設計
- 單元十八 並進分歧、合流流程設計

到現在為止，你幾乎已經懂得了所有的 PLC 指令，也有了程式的設計概念，但是程式設計是沒有一定的標準答案的，個人有個人的設計法。要成為一個優良的設計師，還是需要有實戰的經驗，因此多做一些實務性的題目是必須的。在上一章，你已學到如何應用你已具備的應用指令基礎，來設計電路。緊接著在本章更進一步的來教你如何以狀態流程圖設計法（SFC）來設計程式，這一部份將帶領你脫離傳統工業配線設計理念的束縛，以流程化的設計方式來設計程式，你只要耐心的學習，必然有很好的收穫。

本章將狀態流程圖設計法分成四項來說明，分別是單一順序流程、選擇分歧及合流流程、狀態跳躍流程、並進分歧及合流流程等四種，分成四個單元來說明。但實際運用時通常是將各流程混用。

2. 為了改善這個缺失，另外提出一種較新的技巧--狀態流程圖設計法。它是狀態設計法的延伸，是將狀態設計法所分析出來的各種狀態，放入一狀態盒中，每一個狀態盒都以一狀態電驛來代表，例如 S0、S20....等，而狀態之間的關係則使用流程圖來說明。因為流程圖很容易閱讀，偵錯也很容易，所以有愈來愈多的程式設計師，都採用這種方法來設計程式。

若以流程圖來說明各狀態間的關係，則如圖 5-2 所示：圖中將各狀態所須產生的動作以階梯圖的方式畫在旁邊，這樣子是不是比較容易看得懂呢？



● 圖 5-2

上述狀態流程圖重點說明：

- (1) 從一個狀態要跳到另一個狀態是由原狀態的跳躍條件來決定，它一般是畫在狀態盒的下方。像上面的例子中，狀態 S0 要跳到狀態 S20，則由 T0 的 A 接點來決定，也就是當狀態 S0 執行時，GL1 及 RL2 動作，且 T0 開始計時，計時到時，T0 的 A 接點 ON，所以狀態 S0 執行結束，並順勢往下跳到狀態 S20 執行。
- (2) 當由一狀態跳到另一個狀態後，原有的狀態中的計時器、內部電驛、及使用 OUT 命令驅動的輸出元件都將被復歸，而計數器及使用字元指令驅動的輸出元件將維持原狀。以上題為例，當狀態由 S0 跳到 S20 時，GL1、RL2 及 T0 都將復歸，而緊接著執行狀態 S20 的動作，即 YL1、RL2 動作，而 T1 開始計時。

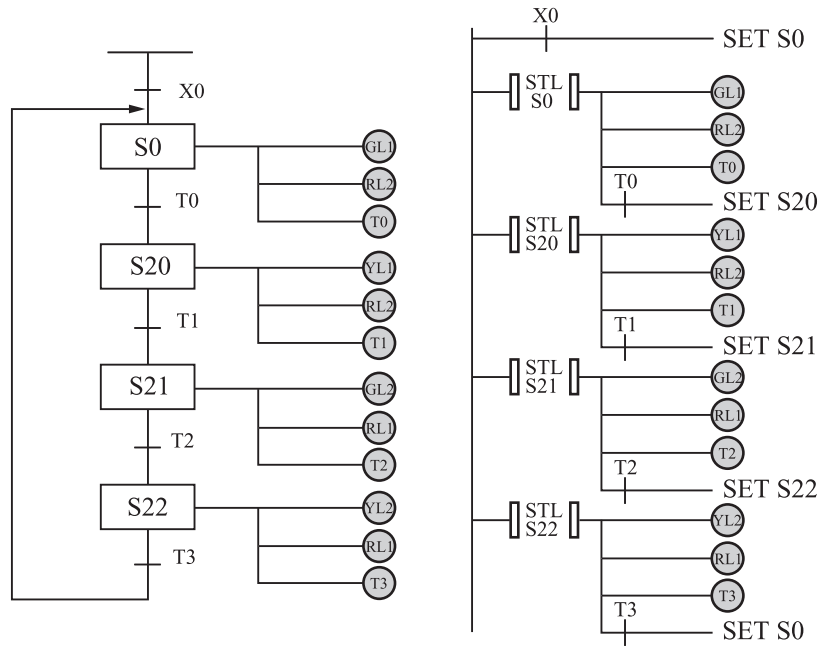
(3)將狀態流程圖與一般階梯圖做比較，可以發現狀態流程圖具有下列優點：

- ①可直接看出各狀態的變化流程，不像階梯圖要仔細的分析電路。
- ②狀態間可依某些條件來決定它的流向。
- ③在執行完某一狀態後，其原有的動作可以選擇自動復歸或繼續保持（依使用的指令而定）。
- ④同一內部元件可在不同的狀態中重覆出現（但在同一狀態中不能出現兩次以上），不像階梯圖只能出現一次。

(4) FX2 總共提供了 S0~S999 個狀態電驛供使用者使用，如下表。

編 號	用 途
S0~S9	啟始狀態用
S10~S19	原點復歸用
S20~S499	一般用
S500~S899	停電保持用
S900~S999	警報用

3. 使用步進階梯圖來輸入程式：使用一般階梯圖來設計程式時，在階梯圖畫好之後必須將階梯圖轉化為程式，鍵入到 PLC 中去執行。同樣的使用狀態流程圖的方式，也必須轉換成程式後才鍵入到 PLC 中。但對於初學者來說，要將狀態流程圖直接轉換成程式，可能有點困難，我們可以先將狀態流程圖轉換成一種叫步進階梯圖的圖形，再轉換成程式以鍵入 PLC 中。步進階梯圖是以階梯圖的型式來表示狀態流程的，以上題為例，它們的對照圖如圖 5-3 所示。



● 圖 5-3

步進階梯圖重點說明：

- (1)步進階梯圖中的 STL 指令，是代表一狀態動作的啟始指標，它的後面跟著一個以狀態電驛為主的編號，做為不同狀態的識別。例如 STL S0。
- (2) SET 指令用於狀態流程圖時，有一點類似 GO TO 的意思。它是用來做為狀態之間跳躍的指令，其後也跟著一個狀態電驛編號，這個編號就是它要 GOTO 的目標。所以 SET S20 就是跳到狀態 S20 的意思。至於它前面的接點是為跳躍條件，當條件動作時，SET 即執行跳躍動作。
- (3)在 STL 與 SET 間的所有動作即是這一狀態所需做的動作。
- (4)在步進階梯圖中，將每一種狀態另稱為步，這就是步進階梯圖名稱的由來。

二、狀態流程圖、步進階梯圖及程式指令的關係

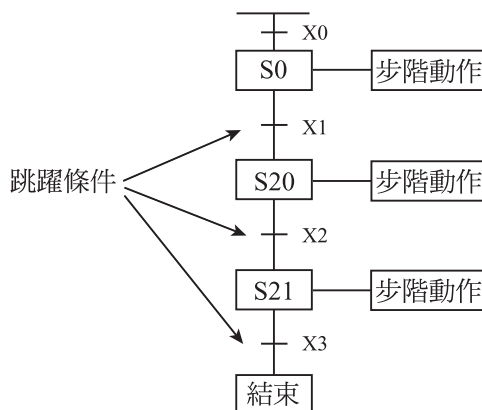
學習 PLC 到現在為止，都是以書寫器將程式指令一一鍵入的，所以不管是使用一般階梯圖或改良後的步進階梯圖或狀態流程圖，最終都需將它轉換成程式指令，才能為 PLC 所接受。這在較大的電路設計來說，錯誤的機率將會增高，為了改善這個缺失，某些機種的製造廠商，研發了一些應用軟體，只要將這些應用軟體安裝到電腦中，即可在應用軟體內直接繪狀態流程圖、步

進階梯圖或直接鍵入指令。除了輸入的方便性之外，一般軟體也都提供監督功能，以便 PLC 執行時，能將各種狀態執行的結果傳回電腦螢幕，便於設計者偵錯用。不管你是使用前述的那一種方法，最後都需要使用傳輸線將程式傳入 PLC 中才能執行。應用軟體在接受了一種輸入法後，可以自動轉換成其它兩種輸入法。這三種輸入方式的交叉運用是非常重要的。依筆者的經驗，狀態流程圖適合程式設計階段及整體流程的偵錯使用。而步進階梯圖適合做各狀態動作的偵錯。至於指令鍵入法，筆者都是用來做程式輸入及修改使用。為了設計容易起見，我們採用如下方法來設計程式：

- (1) 在設計初，以 SFC 來紙上作業，做設計規劃。
- (2) 將 SFC 轉換為步進階梯圖，並寫出程式指令。
- (3) 以書寫器或軟體將指令鍵入。
- (4) RUN 之後使用步進階梯圖來偵錯（如果機種沒提供 SFC 軟體偵錯功能）。

三、單一順序流程

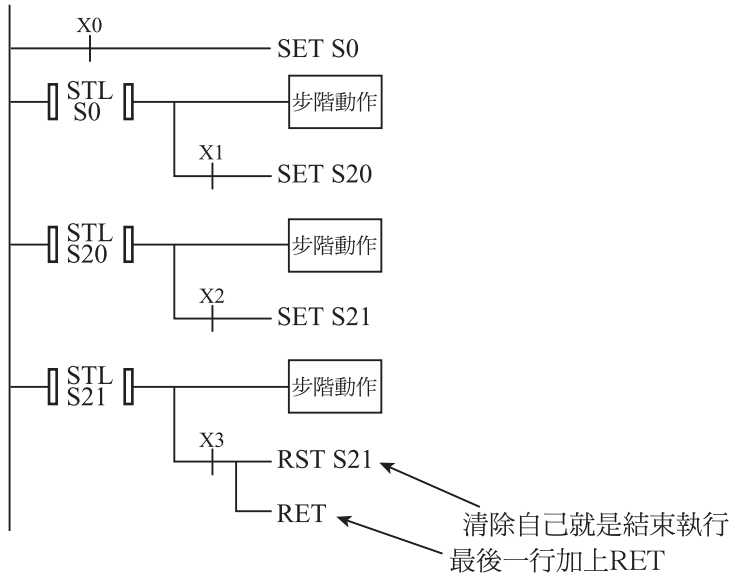
1. 流程說明



● 圖 5-4

像圖 5-4 之流程圖，從頭到尾只有一條路可走，這稱為單一順序流程圖。像上述的紅綠燈控制程式，雖然是一循環電路，但都依一定順序逐步執行且沒有分歧，所以也是屬於單一順序流程。圖 5-4 中在 S21 執行完後即結束。在步進階梯圖中是以清除（RST）正在執行的步階來結束步進動作。如圖 5-5 所示。

2. 步進階梯圖



● 圖 5-5

3. 程式

指 令	
LD	X0
SET	S0
STL	S0
步 階 動 作	
LD	X1
SET	S20
STL	S20
步 階 動 作	
LD	X2
SET	S21
STL	S21
步 階 動 作	
LD	X3
RST	S21
RET	
END	

參 實習

一、題目說明：簡易紅綠燈控制

二、實習步驟

1. 分析：依紅綠燈變化的情形將電路分析成四種依設定時間而順序執行的狀態。

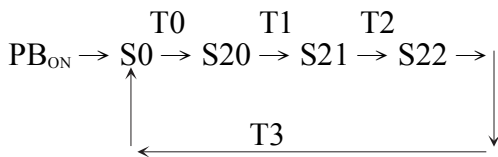
狀態 S0 → GL1 及 RL2 亮

狀態 S20 → YL1 及 RL2 亮

狀態 S21 → RL1 及 GL2 亮

狀態 S22 → RL1 及 YL2 亮

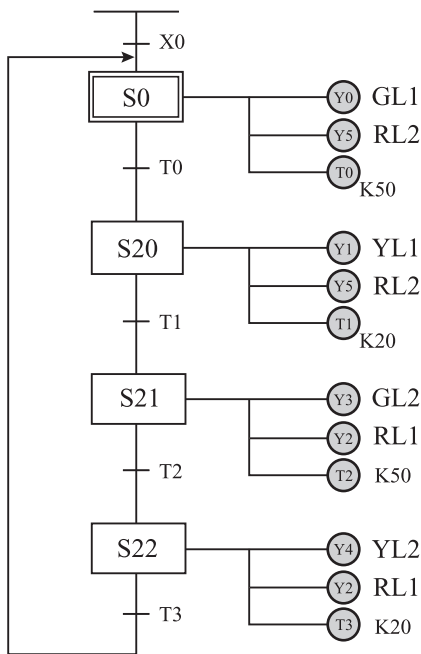
而四種狀態的關係如下：



2. 依下面的元件號碼填入，完整的狀態流程圖如圖 5-6，對照的步進階梯圖如圖 5-7。

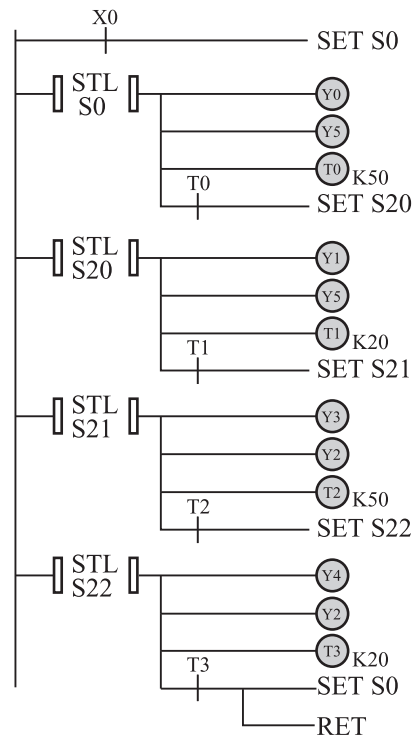
輸入元件	輸出元件	內部元件
PB _{ON} →X0	GL1→Y0 YL1→Y1 RL1→Y2 GL2→Y3 YL2→Y4 RL2→Y5	S0, S20, S21, S22 T0→T0 T1→T1 T2→T2 T3→T3

3. 繪出狀態流程圖：



● 圖 5-6

4. 步進階梯圖

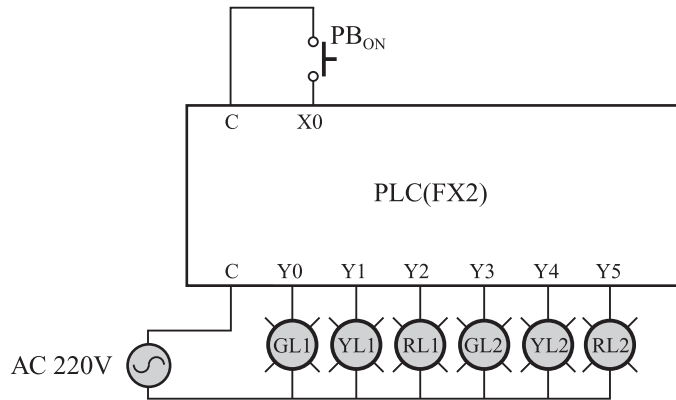


● 圖 5-7

5. 撰寫程式並鍵入 PLC 中

位址	指 令	位址	指 令
0	LD X0	21	STL S21
1	SET S0	22	OUT Y3
3	STL S0	23	OUT Y2
4	OUT Y0	24	OUT T2,K50
5	OUT Y5	27	LD T2
6	OUT T0,K50	28	SET S22
9	LD T0	30	STL S22
10	SET S20	31	OUT Y4
12	STL S20	32	OUT Y2
13	OUT Y1	33	OUT T3,K20
14	OUT Y5	36	LD T3
15	OUT T1,K20	37	SET S0
18	LD T1	39	RET
19	SET S21	40	END

6. 接線



● 圖 5-8

7. 執行

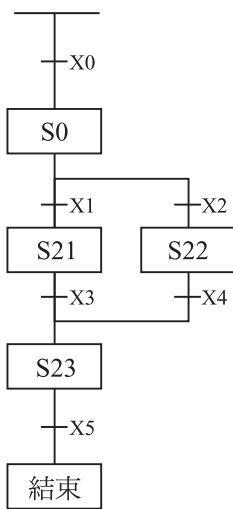
單元十六 選擇分歧、合流 流程設計

壹 學習目標

- 你能了解選擇分歧、合流流程狀態流程圖的功能。
- 你能使用選擇分歧、合流流程狀態流程圖設計法來設計電路。

貳 相關知識

一、選擇分歧、合流流程說明

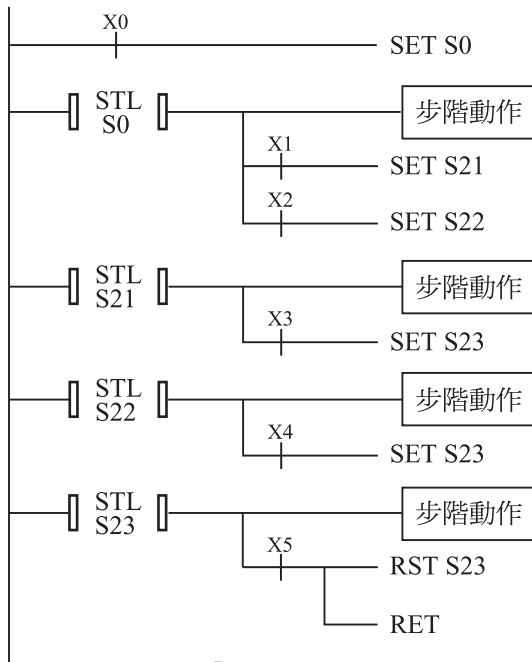


● 圖 5-9

左邊的流程圖，當 S0 執行完後，分歧成兩條路徑，而且只能選擇其中一條路徑來走，這種有分歧的方式稱為選擇分歧。流程說明如下：

- 當 S0 執行後，若 X1 先按下，則跳到 S21 執行，此時就算按下 X2 開關，S22 也無法動作，因為程序已到了 S21。之後若 X3 按下，則脫離 S21 而跳到 S23 執行，再按下 X5 開關後，則程式結束。
- 若 S0 執行後，X2 先按下，則跳到 S22 執行，此時就算按下 X1 開關，S21 也無法動作，因為程序已到了 S22。之後若 X4 按下，則脫離 S22 而跳到 S23 執行，再按下 X5 開關後，則程式結束。

二、步進階梯圖



● 圖 5-10

三、程式

指 令
LD X0
SET S0
STL S0
步階動作
LD X1
SET S21
LD X2
SET S22
STL S21
步階動作
LD X3
SET S23
STL S22
步階動作
LD X4
SET S23
STL S23
步階動作
LD X5
RST S23
RET
END

參 實習

一、題目說明：洗車電路，程序簡述如下

- 當按 START 啟動後，若切換開關 (COS) 切於手動狀態，依下列程序動作：
 - 執行泡沫清洗 (以 MC1 驅動)。
 - 按 PB1 則執行清水洗淨 (以 MC2 驅動)。
 - 按 PB2 則執行風乾 (以 MC3 驅動)。
 - 按 PB3 則結束洗車。
- 當按 START 啟動後，若切換開關 (COS) 切於自動狀態，將自動依程序設定時間逐步執行。其中泡沫清洗 5 分鐘、清水洗淨 3 分鐘、風乾 2 分鐘，結束後回到待洗狀態。

3. 任何時候按下 STOP，則所有輸出復歸，停止洗車。

二、實習步驟

1. 分析

- (1) 手、自動只能選擇其一執行，因此使用選擇分歧來做。
- (2) 將電路分析成二組三種依 PB 按鈕或依設定時間而順序執行的狀態如下。

① 手動狀態：

狀態 S21 → MC1 動作
 狀態 S22 → MC2 動作
 狀態 S23 → MC3 動作
 狀態 S24 → 停止

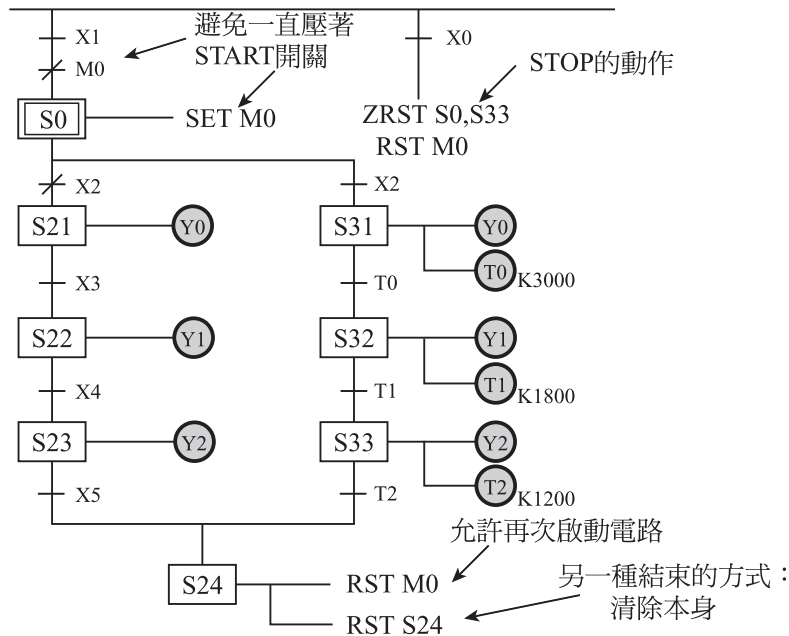
② 自動狀態：

狀態 S31 → MC1 動作
 狀態 S32 → MC2 動作
 狀態 S33 → MC3 動作
 狀態 S24 → 停止

2. 元件編號

輸入元件	輸出元件	內部元件
STOP → X0 PB1 → X3	MC1 → Y0	S0, S21, S22, S23,
START → X1 PB2 → X4	MC2 → Y1	S24, S31, S32, S33,
COS → X2 PB3 → X5	MC3 → Y2	T0, T1, T2
		M0

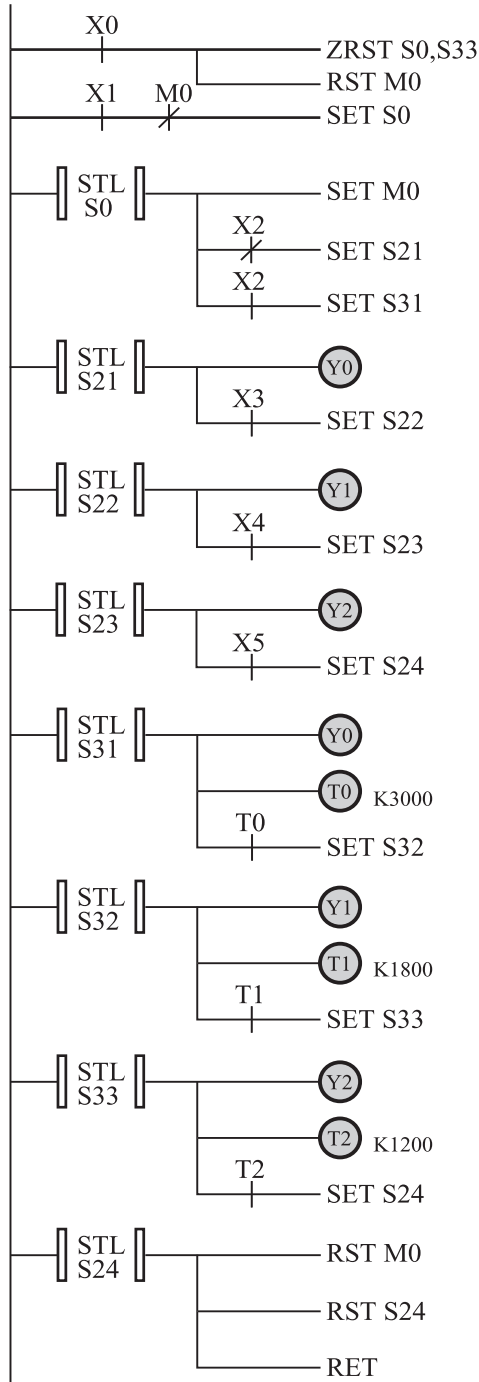
3. 狀態流程圖



● 圖 5-11

4. 步進階梯圖

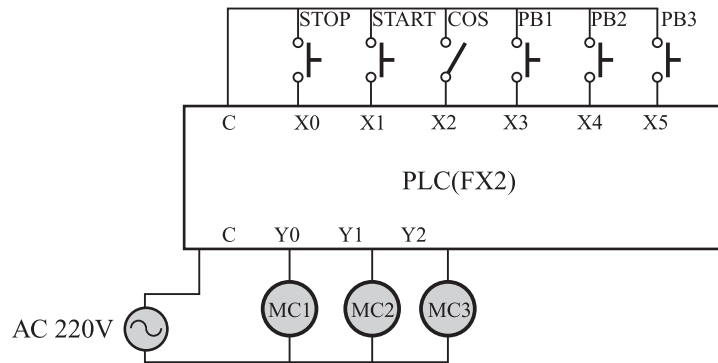
5. 撰寫程式



位址	指令
0	LD X0
1	ZRST S0,S33
6	RST M0
7	LD X1
8	ANI M0
9	SET S0
11	STL S0
12	SET M0
13	LDI X2
14	SET S21
16	LD X2
17	SET S31
19	STL S21
20	OUT Y0
21	LD X3
22	SET S22
24	STL S22
25	OUT Y1
26	LD X4
27	SET S23
29	STL S23
30	OUT Y2
31	LD X5
32	SET S24
34	STL S31
35	OUT Y0
36	OUT T0,K3000
39	LD T0
40	SET S32
42	STL S32
43	OUT Y1
44	OUT T1,K1800
47	LD T1
48	SET S33
50	STL S33
51	OUT Y2
52	OUT T2,K1200
55	LD T2
56	SET S24
58	STL S24
59	RST M0
60	RST S24
62	RET
63	END

圖 5-12

6. 接線



● 圖 5-13

7. 執行

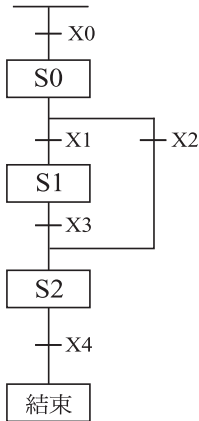
單元十七 狀態跳躍流程設計

壹 學習目標

- 藉由例題的解說，你能了解狀態跳躍流程狀態流程圖的功能。
- 你能使用狀態跳躍流程狀態流程圖設計法來設計電路。

貳 相關知識

一、狀態跳躍流程說明

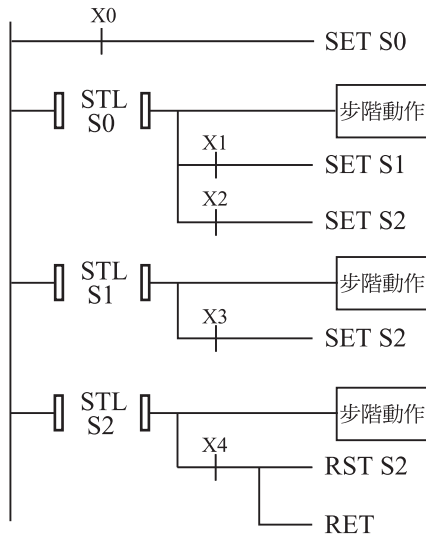


● 圖 5-14

左邊的流程圖，當 S0 執行完後，分歧成兩條路徑：

- 當 S0 執行後，若 X1 先按下，則跳到 S1 執行，此時就算按下 X2 開關，S2 也無法動作，因為程序已到了 S1。之後若 X3 按下，則脫離 S1 而跳到 S2 執行，再按下 X4 開關後，則程式結束。
- 若 S0 執行後，X2 先按下，則直接脫離 S0 而跳到 S2 執行，再按下 X4 開關後，則程式結束。像這種跨躍某些步階而直接跳到另一步階的動作稱之為狀態跳躍。
- 狀態跳躍的目的地，一般均無限制，只要條件符合，就可以跳離原步階而進入另一步階。

二、步進階梯圖



指	令
LD	X0
SET	S0
STL	S0
步階動作	
LD	X1
SET	S1
LD	X2
SET	S2
STL	S1
步階動作	
LD	X3
SET	S2
STL	S2
步階動作	
LD	X4
RST	S2
RET	
END	

圖 5-15

參 實習

一、題目說明：三個指示燈的順序控制，程序簡述如下

1. 當按 START 啟動後，定時依 L0→L1→L2 的程序，順序加入動作。
2. 當隨時按下 STOP 時，定時依 L2→L1→L0 的程序，順序復歸，但未動作之燈不必執行復歸動作；例如，若只有 L0、L1 動作時，按下 STOP 則只執行 L1→L0 復歸動作，

二、實習步驟

1. 分析：使用 SET 指令設定輸出及使用 RST 指令做復歸動作
將電路分析成六種狀態，如下：

START 時：

狀態 S0→L0 動作

狀態 S20→L0,L1 動作

狀態 S21→L0,L1,L2 動作

STOP 時：

狀態 S22→L0,L1 動作

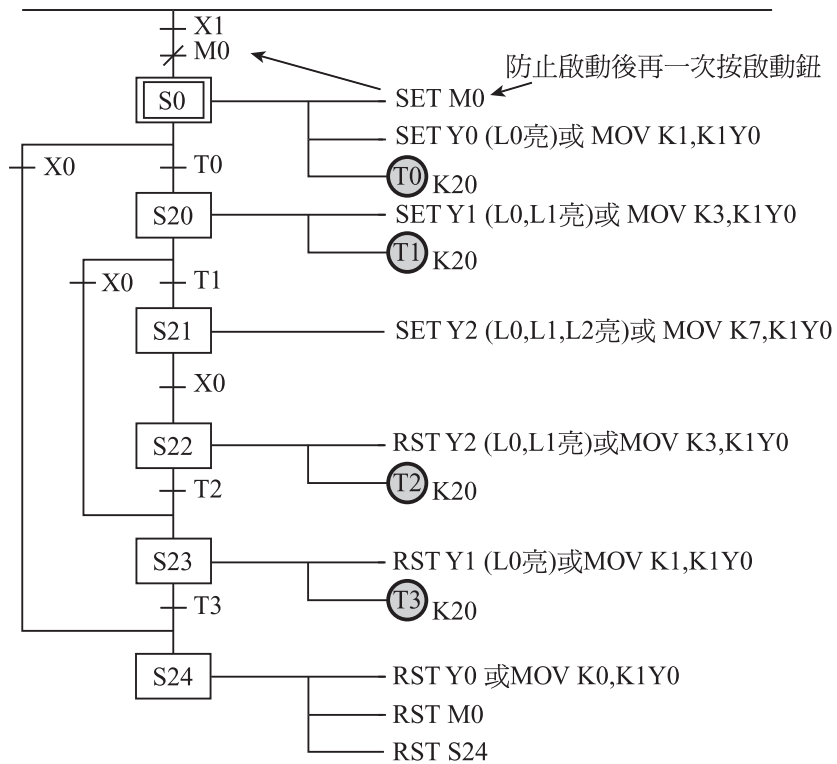
狀態 S23→L0 動作

狀態 S24→L0,L1,L2 皆復歸

2. 元件編號

輸入元件	輸出元件	內部元件
STOP → X0	L0 → Y0	S0, S20, S21, S22
START → X1	L1 → Y1	S23, S24
	L2 → Y2	T0, T1, T2, T3
		M0

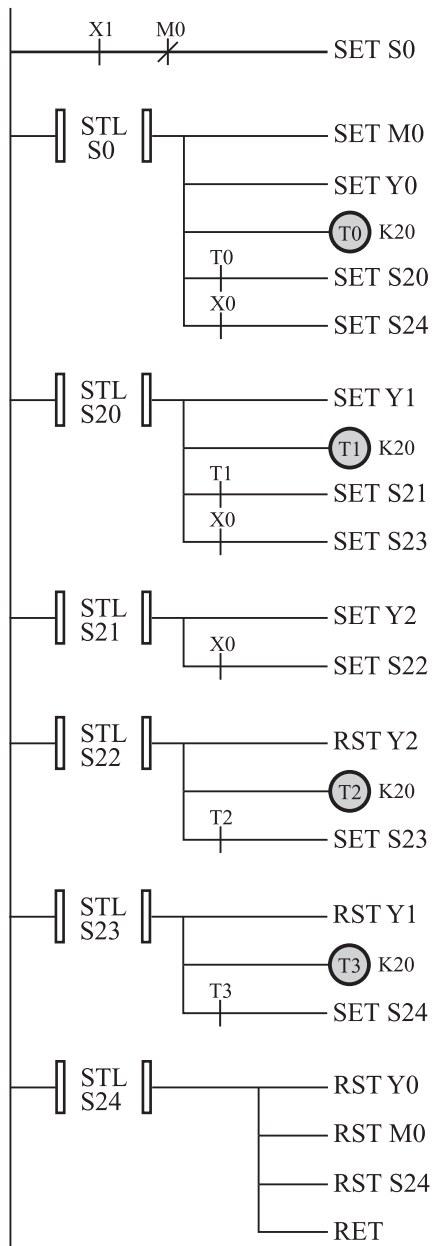
3. 狀態流程圖



● 圖 5-16

4. 步進階梯圖

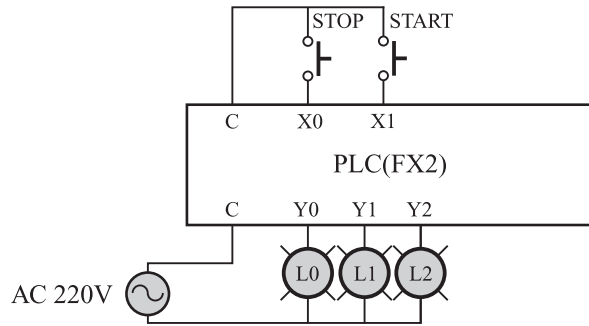
5. 撰寫程式



位址	指 令
0	LD X1
1	ANI M0
2	SET S0
4	STL S0
5	SET M0
6	SET Y0
7	OUT T0,K20
10	LD T0
11	SET S20
13	LD X0
14	SET S24
16	STL S20
17	SET Y1
18	OUT T1,K20
21	LD T1
22	SET S21
24	LD X0
25	SET S23
27	STL S21
28	SET Y2
29	LD X0
30	SET S22
32	STL S22
33	RST Y2
34	OUT T2,K20
37	LD T2
38	SET S23
40	STL S23
41	RST Y1
42	OUT T3,K20
45	LD T3
46	SET S24
48	STL S24
49	RST Y0
50	RST M0
51	RST S24
53	RET
54	END

● 圖 5-17

6. 接線



● 圖 5-18

7. 執行

單元十八 並進分歧、合流 流程設計

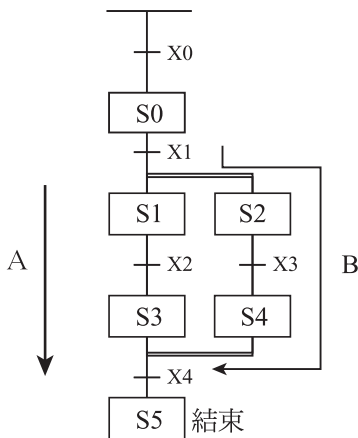
壹 學習目標

- 你能了解並進分歧、合流流程狀態流程圖的功能。
- 你能使用並進分歧、合流流程狀態流程圖設計法來設計電路。

貳 相關知識

一、並進分歧、合流流程說明

左邊的流程圖，當 S0 執行完後，若按下 X1 開關，則 S1 及 S2 同時執行，也就是箭頭所指的兩條路徑可以同時執行。這種分歧的方式稱為並進分歧流程。流程說明如下：



● 圖 5-19

- 當 S0 執行後，若 X1 按下，分成兩條路徑同時執行：
 - 跳到 S1 執行，之後若 X2 按下，則脫離 S1 而跳到 S3 執行。
 - 跳到 S2 執行，之後若 X3 按下，則脫離 S2 而跳到 S4 執行。
- 當 S3 及 S4 都已執行後，若 X4 按下，則脫離 S3 及 S4 而跳到 S5 執行，程式結束。
- 假若左邊路徑已執行到 S3，而右邊路徑尚停留在 S2 時，就算你按了 X4，也不會跳到 S5 執行，必須等到 S4 執行後，才會繼續往下執行，像這種有等待功能的方式，稱之為並進合流。

1. 輸送帶由馬達 M0 驅動，碰到 LS4 時，輸送帶即停止。輸送帶上有兩個工作位置，各有一個位置檢測開關（LS0、LS1），用來檢測有沒有瓶子。LS0 ON 時表可補充飲料、LS1 ON 時表示要密封蓋子。
2. 飲料出口由一電磁閥控制，當電磁閥動作 3 秒後會自動關閉。
3. 封蓋由兩個氣壓缸控制，A 缸推出瓶蓋到底後，LS2 動作，B 缸執行壓接，1 秒後 B 缸打開，再經 1 秒後，A 缸退回，LS3 動作，結束封蓋動作。
4. 飲料的灌裝與封蓋可同時進行。
5. 瓶子的補充及包裝，先假設使用人工來做，因此暫時不去考慮它的動作。
6. 系統應加裝 START 及 STOP。

二、實習步驟

1. 分析

(1) 飲料的灌裝與封蓋是同時進行，而且動作時間並不相同，因此使用並進分歧及合流的方式來做。

(2) 共有兩個路徑：

路徑一(飲料灌裝)：輸送帶動作(M0)→電磁閥動作→等待→循環

路徑二(封蓋)：輸送帶動作(M0)→A 缸推出→B 缸壓蓋→B 缸鬆開 A 缸退回→等待→循環

(3) 動作狀態如下：

狀態 S0→M0 動作（輸送帶）

狀態 S21→電磁閥動作

狀態 S22，S34→等待

狀態 S31→A 缸推出

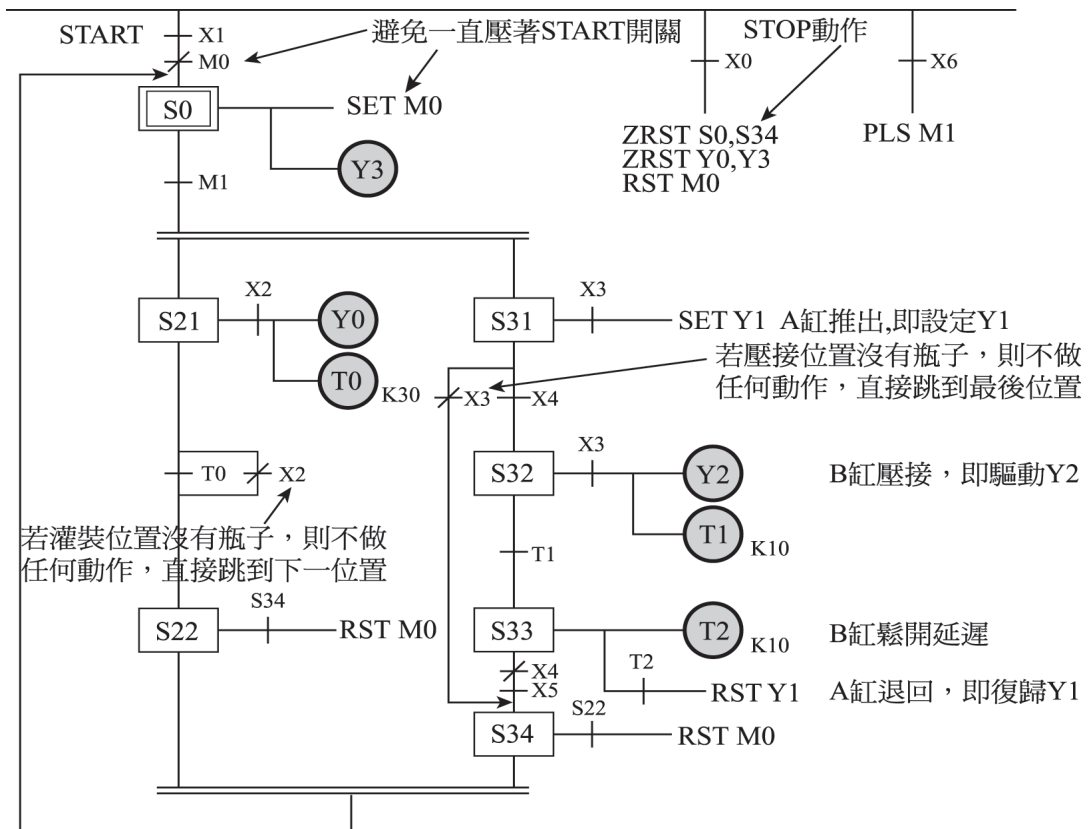
狀態 S32→B 缸壓蓋

狀態 S33→B 缸鬆開 A 缸退回

2. 元件編號

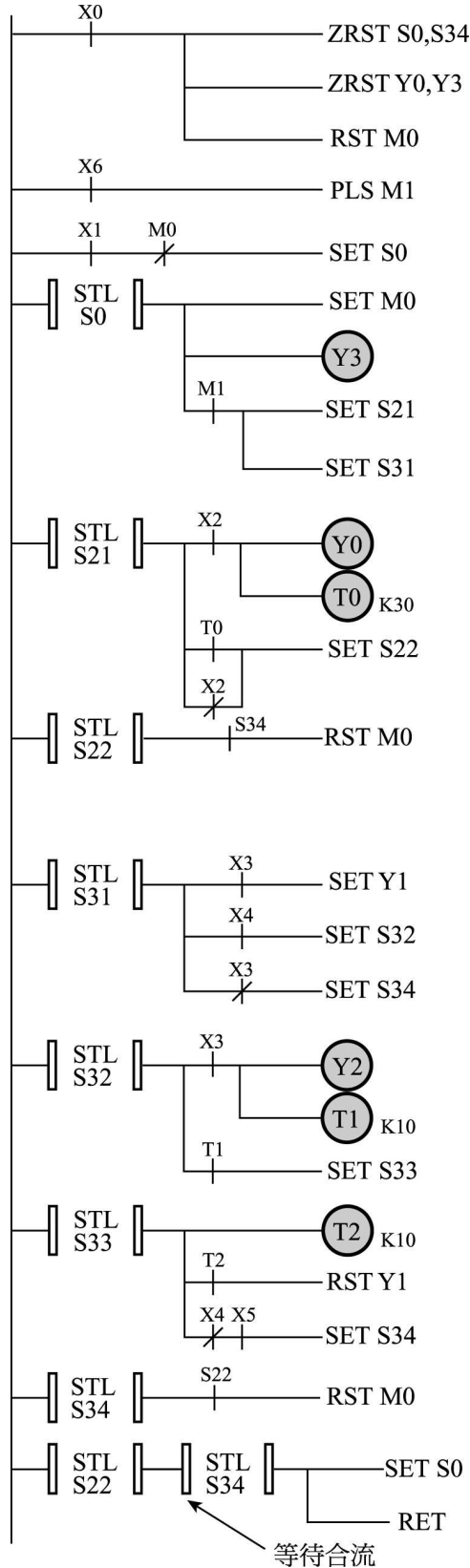
輸入元件	輸出元件	內部元件
STOP→X0	電磁閥→Y0	S0, S21, S22, S31, S32, S33, S34
START→X1	A缸→Y1	T0, T1
LS0→X2	B缸→Y2	M0, M1
LS1→X3	M0 →Y3	
LS2→X4		
LS3→X5		
LS4→X6		

3. 狀態流程圖



● 圖 5-22

4. 步進階梯圖

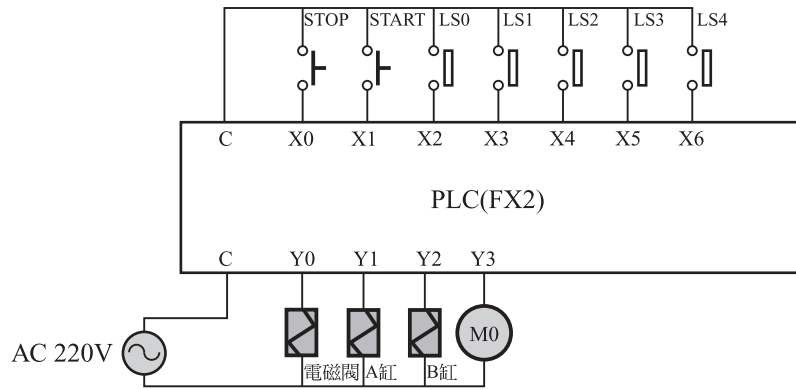


● 圖 5-23

5. 撰寫程式

位址	指 令	位址	指 令
0	LD X0	42	SET Y1
1	ZRST S0,S34	43	LD X4
6	ZRST Y0,Y3	44	SET S32
11	RST M0	46	LDI X3
12	LD X6	47	SET S34
13	PLS M1	49	STL S32
15	LD X1	50	LD X3
16	ANI M0	51	OUT Y2
17	SET S0	52	OUT T1,K10
19	STL S0	55	LD T1
20	SET M0	56	SET S33
21	OUT Y3	58	STL S33
22	LD M1	59	OUT T2,K10
23	SET S21	62	LD T2
25	SET S31	63	RST Y1
27	STL S21	64	LDI X4
28	LD X2	65	AND X5
29	OUT Y0	66	SET S34
30	OUT T0,K30	68	STL S34
33	LD T0	69	LD S22
34	ORI X2	70	RST M0
35	SET S22	71	STL S22
37	STL S22	72	STL S34
38	LD S34	73	SET S0
39	RST M0	75	RET
40	STL S31	76	END
41	LD X3		

6. 接線



● 圖 5-24

7. 執行



學後評量

- 一、本章所介紹的 SFC 流程種類有那些，請列舉之：
- 二、請利用資料暫存器間接定址法或 SFC 來設計一電路，功能如下：

1. 有四只切換開關及四只指示燈。
2. 當四只切換開關都接通時，四只指示燈全亮。
3. 當有任何三只切換開關接通時，L0,L1,L2 亮。
4. 當有任何二只切換開關接通時，L0,L1 亮。
5. 當有任何一只切換開關接通時，L0 亮。

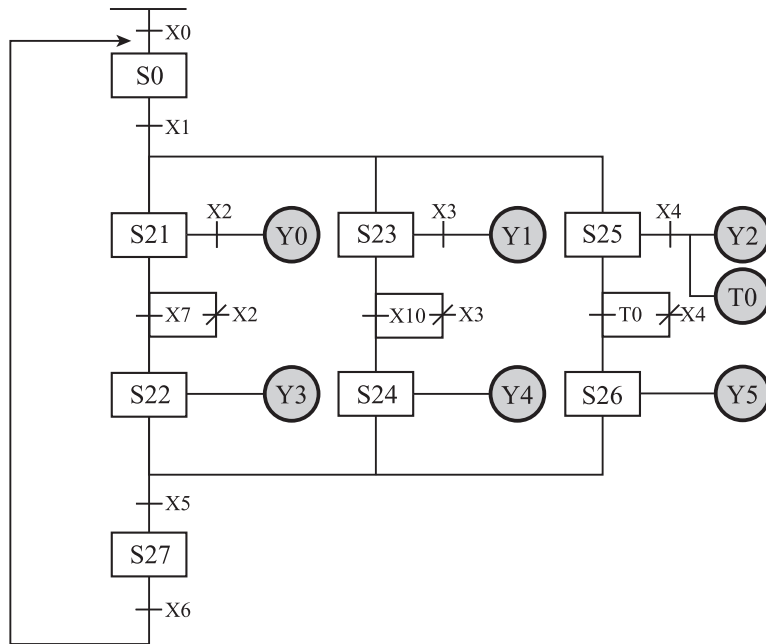
提示：

1. 四個開關的狀態變化共有十六種，最簡便的方式便是將每一種狀態的對應輸出值（狀態值）先鍵入到 D200~D215 即可。

狀態	對應輸出				開關狀態				狀態值	暫存器位置
	CS3	CS2	CS1	CS0	L3	L2	L1	L0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	H0000	→ D200
1	0	0	0	1	0	0	0	1	H0001	→ D201
2	0	0	1	0	0	0	0	1	H0001	→ D202
3	0	0	1	1	0	0	1	1	H0003	→ D203
4	0	1	0	0	0	0	0	1	H0001	→ D204
5	0	1	0	1	0	0	1	1	H0003	→ D205
6	0	1	1	0	0	0	1	1	H0003	→ D206
7	0	1	1	1	0	1	1	1	H0007	→ D207
8	1	0	0	0	0	0	0	1	H0001	→ D208
9	1	0	0	1	0	0	1	1	H0003	→ D209
10	1	0	1	0	0	0	1	1	H0003	→ D210
11	1	0	1	1	0	1	1	1	H0007	→ D211
12	1	1	0	0	0	0	1	1	H0003	→ D212
13	1	1	0	1	0	1	1	1	H0007	→ D213
14	1	1	1	0	0	1	1	1	H0007	→ D214
15	1	1	1	1	1	1	1	1	H000F	→ D215

2. 程式只要一直取入 CS0~CS3 的值，並將它的值存在 V 中，用來做為存取暫存器的指標。再依 V 內的指標值，去取出 D200~D215 中任何位置內的值，輸出即可。

三、依本章的介紹，請將下面的狀態流程圖轉為步進階梯圖並寫出程式指令。

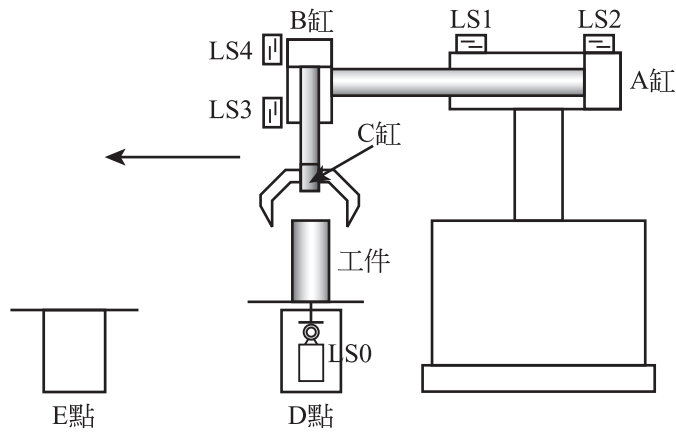


● 圖 5-25

四、試設計一使用機械手臂來搬運工件的控制程式，功能說明如下：

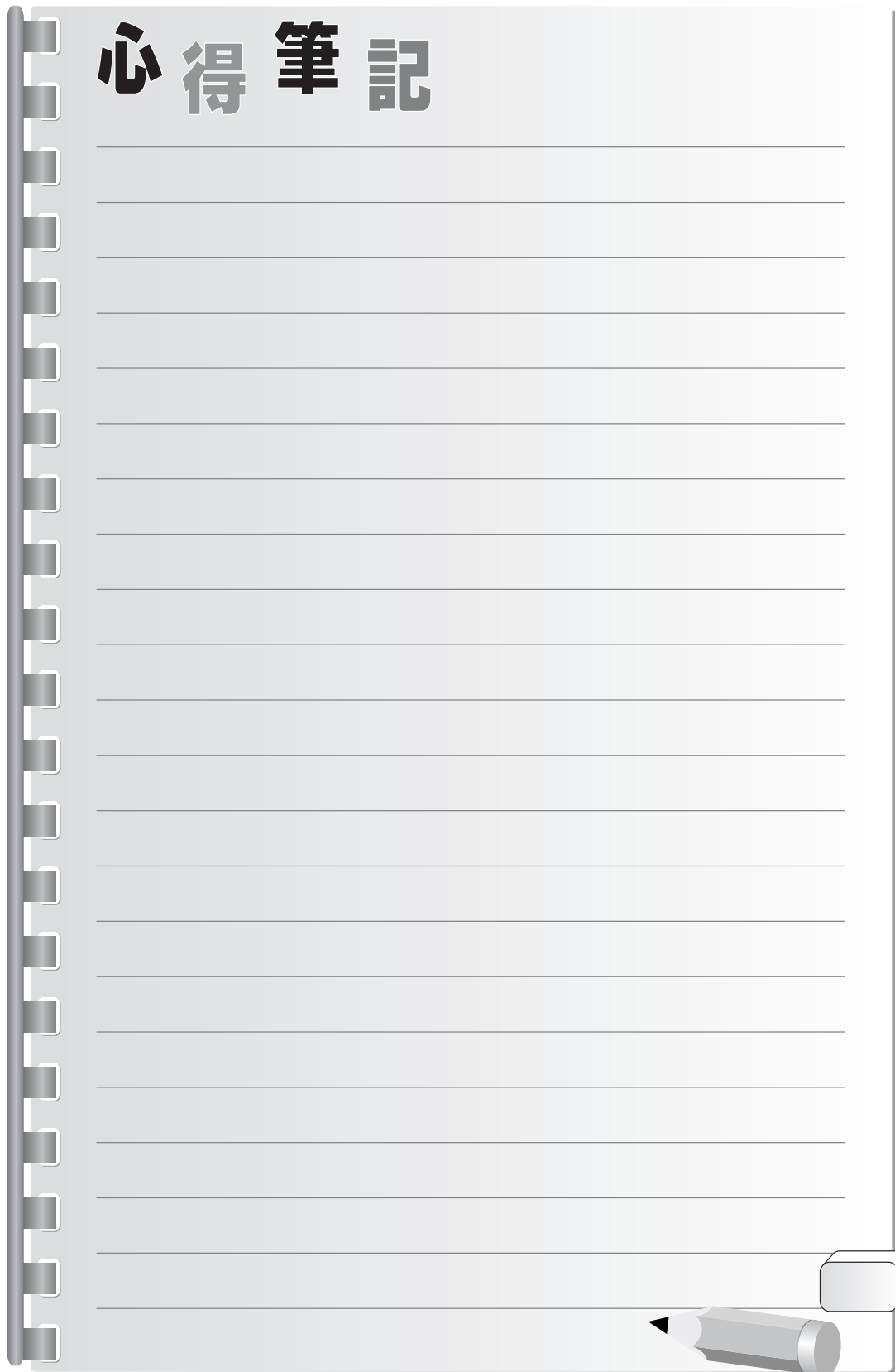
1. 工件的補充使用人工控制，亦即可直接將工件放在 D 點（LS0 動作）。
2. 只要 D 點一有工件，機械手臂即先下降（B 缸動作）將之抓取（C 缸動作）後上升（B 缸復歸），再將它搬運（A 缸動作）到 E 點上方，機械手臂再次下降（B 缸動作）後放開（C 缸復歸）工件，機械手臂上升（B 缸復歸），最後機械手臂再回到原點（A 缸復歸）。
3. A，B，C 缸均為單動缸，使用電磁控制的方式。

4. C 缸在抓取或放開工件後，都須有 1 秒的間隔，機械手臂才能動作。
5. LS0→有無工件偵測用限制開關
 LS1→A 缸前行限制開關（左極限）
 LS2→A 缸退回限制開關（右極限）
 LS3→B 缸下降限制開關（下極限）
 LS4→B 缸上升限制開關（上極限）



● 圖 5-26

心得筆記



A spiral-bound notebook with a grey cover and silver spiral binding on the left side. The pages are white with horizontal ruling lines. The title '心得筆記' is printed in large, bold, black characters at the top left. At the bottom right of the page, there is a small illustration of a pencil and an eraser.