

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高職組 機械科

090904

機械氣壓迴路設計-霍夫曼與串級法之比較

學校名稱：國立新營高級工業職業學校

作者：	指導老師：
職二 柯勛耀	沈慶陽
職二 黃政獻	曾揚博
職二 吳國彰	

關鍵詞：機械氣壓迴路設計、霍夫曼、串級法

機械氣壓迴路設計—霍夫曼與串級法之比較

摘 要

本研究內容著重於剖析機械氣壓控制迴路設計方法，分別規劃不同單元之機械氣壓控制程序，同時以霍夫曼和串級法方式來設計完成和比較。研究過程就劃分各單元控制迴路進行實驗測試、偵錯，以確定方法的正確性，並製作標示牌與拍攝實際操作過程，以為存證。

研究發現，相較於串級法方式，採行霍夫曼模式設計之機械氣壓控制迴路，在記憶閥件使用數量和氣壓管路長度上，能達到最精簡的成效，符合經濟性原則，且操作穩定度良好。

結論認為應用霍夫曼方式來設計機械氣壓控制迴路，是一種嶄新且佳的方法，希望此項研究結果可提供此一領域學習者作為參考或新的思維方向，也寄予未來的發展前景是寬廣且令人期待的。

壹、研究動機

在產業界氣壓的控制與應用是普遍的，舉凡各種工具機、產業機械、機器人自動控制等，已成為不可或缺的重要裝置。用途上，機械氣壓適用於工作具有高危險性的場所，例如：礦坑、油井和一些遇有電氣會引發爆炸性的場所(如兵工廠)等；由於氣壓沒有污染性、安全、能源便宜...具有諸多的優點，且經濟與方便的特性，未來的發展將無遠弗屆。

一般氣壓控制迴路的設計方法，屬於機械氣壓(純氣)部分，常採用者有直覺法(經驗法)、單向輓輪控制迴路設計法、接疊控制迴路設計法(串級法, Cascade)、循環步進控制迴路設計法...等，表列如下。

設計方法	說明	優缺點
直覺法	一般稱為傳統法或試誤法或經驗法，包括以經驗為主要基礎而設計的各种迴路，此種控制迴路設計涉及個人能力，以及工作經驗時間長短有很大的影響。	對於複雜的控制而言，利用此法較不適當，一方面容易設計錯誤，再者不容易偵錯、維修。
單向輓輪控制迴路設計法	使用單向作動輓輪作訊號切斷	控制迴路即為最簡單的設計，但對較複雜迴路者並不容易。
接疊控制迴路設計法(串級法)	主要特徵為利用回動閥(亦稱記憶閥)的訊號作為訊號接轉作用，亦即用數個四口二位(4/2 閥瓣)採階梯的方式順序連接，即以串接方式排列保證在任一時間只有一個輸出管路接通氣壓，其他的輸出皆排向大氣。	缺點是控制操作開始前，壓縮空氣通過串級中的所有閥瓣，當串級回動時，由訊號元件自身排放空氣，因此只要有一個元件不良，將出現不良的開關訊號接轉作用。
循環步進控制迴路設計法	可分為最小結構和最大結構控制迴路設計法，係利用單一階段含有一個記憶機能元件及雙壓力閥組合而成。	閥件使用數量多，不符經濟

比較上述機械氣壓控制迴路設計方法，各有其優缺點或不完善之處，也因此激發我們想要去探求有否其他不同而較為理想的解決方法？

基於對科學研究及創意發展方面事物深感興趣，希望經由科展研究過程裡能多些嘗試，以有更多收穫。機械氣壓是氣壓控制入門的基本學習，剛開始接觸到氣壓這門學問時便感到相當的興趣，從學校中與氣壓相關的學習課程包括有氣油壓概論、氣壓控制實習及機電整合

實習等，對於氣壓控制迴路的設計有了基本認識和瞭解，另從數位邏輯與數位邏輯實習課程中，學到電路組成應有的邏輯概念，因而對氣壓控制迴路的設計方法有了更深入分析和探討的能力，很幸運的機會接觸到霍夫曼（Huffman）的設計概念，心想如能將應用在機械氣壓控制迴路設計上，並予歸納和整理，或能成爲一個嶄新且完善的方式，即爲研究動機所在。

與作品內容具相關性之教材（教學單元），以表列方式如下：

類別	科目名稱	相關教材單元
理論科目	一.數位邏輯	1.基本邏輯閘 2.組合邏輯 3.組合邏輯設計與應用
	二.氣油壓概論	1.基本概念及元件介紹 2.氣壓基本迴路 3.氣壓應用迴路
	三.機電整合概論	1.機電整合簡介 2.機電整合組成與整合 3.專題範例
實習科目	四.數位邏輯實習	1.基本邏輯閘實驗 2.組合邏輯實驗 3.數位邏輯應用實驗
	五.氣壓控制實習	1.基本迴路實驗 2.機械氣壓控制迴路設計 3.機械氣壓控制應用實驗
	六.機電整合實習	1.認識輸出入組件 2.可程式控制器操作 3.機電整合控制應用

貳、研究目的

就機械氣壓控制迴路設計方法而言，仍以直覺法(經驗法)、接疊控制迴路設計法(串級法)和循環步進控制迴路設計法等較常使用，鮮見採用霍夫曼的設計方式。霍夫曼編碼法 (Huffman's Encode) 之技術普遍應用在一般商業壓縮軟體、傳真機及無失真之靜態影像上，是霍夫曼在 1952 年所提出的一種無失真壓縮技術，為一種統計編碼。

其原理是將欲壓縮之字串，先讀一遍，將字串中每一相異單字元 (Single Character) 的出現頻率做成統計，依此建構霍夫曼樹 (Huffman's Tree)。每一相異單字元，用 0 與 1 予以編碼；出現次數愈多者，給予較少的位元編碼，而出現次數少者，給予較長的位元編碼，最後將這些位元串組合起來，並加上 Huffman's tree，就成為壓縮檔案。

以霍夫曼設計方式應用在機械氣壓之順序控制迴路上，我們將重點放在此一關鍵上，希望藉由此次研究實驗和深入探討，除了考驗本身所學的能力外，亦想印證此控制迴路設計方式的可行性，或許這樣的想法有些天真，但對我們而言卻是一項難得的挑戰。

參、研究設備及器材

設計法與控制迴路單元		閥件名稱		數量							
		雙動氣壓缸	5口2位雙邊壓力作動閥	5口2位單邊壓力作動閥	4口2位雙邊壓力作動閥	3口2位按鈕作動閥(常閉)	3口2位輓輪作動閥(常閉)	雙壓閥	梭動閥	單向節流閥	
串級法	自保持_ON 優先	1	1	1	1	2			1	2	
	自保持_OFF 優先	1	1	1	1	2			1	2	
	$A^+ A^- A^+ A^-$	1	1		3	1	2	4	2	2	
	$A^+ A^- B^+ B^-$	2	2		1	1	4			4	
	$A^+ B^+ A^- B^-$	2	2		1	1	4			4	
	$A^+ B^+ B^- A^-$	2	2		1	1	4			4	
	按下次數_單數 ON/雙數 OFF	1	1	1	3			4	2	3	
	$A^+ B^+ B^- A^- B^+ B^-$	2	2		3	1	4	4	2	4	
	$A^+ B^+ A^- B^- A^+ B^+ B^- A^-$	2	2		3	1	4	7	3	4	
霍夫曼設計法	自保持_ON 優先	1	1	1	1	2				2	
	自保持_OFF 優先	1	1	1	1	2				2	
	$A^+ A^- A^+ A^-$	1	1		2	1	2	8	2	2	
	$A^+ A^- B^+ B^-$	2	2		1	1	4			4	
	$A^+ B^+ A^- B^-$	2	2			1	4			4	
	$A^+ B^+ B^- A^-$	2	2		1	1	4			4	
	按下次數_單數 ON/雙數 OFF	1	1	1	2			4		3	
	$A^+ B^+ B^- A^- B^+ B^-$	2	2		1	1	4	8	2	4	
	$A^+ B^+ A^- B^- A^+ B^+ B^- A^-$	2	2	2	2	1	4	6	2	4	

肆、研究過程或方法

一、研究步驟流程：分為三個階段，如圖 1-1 所示。

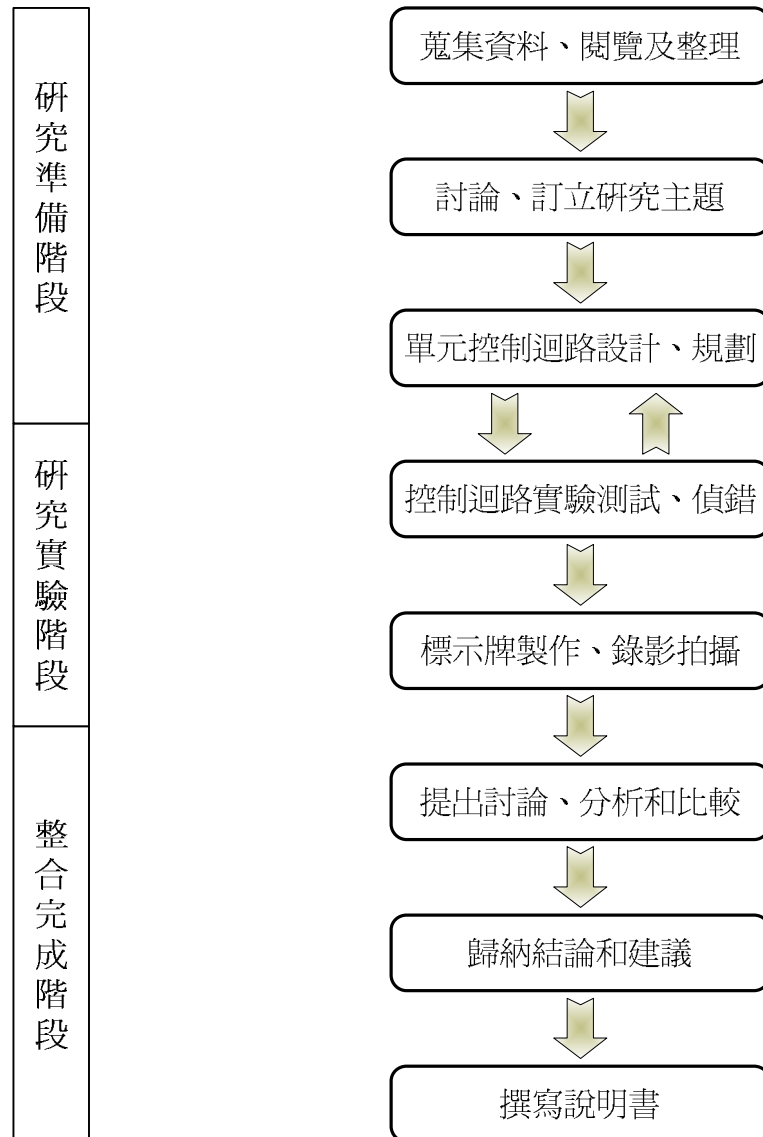


圖 1-1 研究步驟流程

(一)、研究準備階段

1. 蒐集資料、閱覽及整理 — 廣泛蒐集和研讀與氣壓控制之相關參考資料，並予以整理利用。

2. 討論、訂立研究主題 — 進行相互討論，且在徵詢指導老師看法和意見後，決定研究主題。
3. 單元控制迴路設計、規劃 — 針對研究主題著手設計、規劃不同單元之機械氣壓控制迴路，展開研究工作。

(二)、研究實驗階段

1. 控制迴路實驗測試、偵錯 — 就劃分各單元控制迴路進行實驗測試、偵錯，以確定其操作之正確性。
2. 標示牌製作、錄影拍攝 — 製作標示牌與拍攝實際操作過程，以為存證。

(三)、整合完成階段

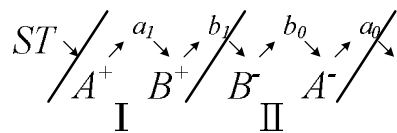
1. 提出討論、分析和比較 — 從過程以至結果，提出討論觀點、意見或建議，並予匯集做分析和比較。
2. 歸納結論和建議 — 整合研究結果和討論，以歸納做出結論，並就後續研究提供建議。
3. 撰寫說明書 — 撰寫書面報告資料呈現研究內容和成果。

二、串級法與霍夫曼之設計範例

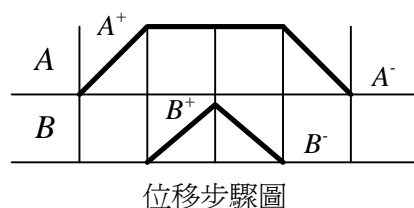
選擇以動作順序 $A^+ B^+ B^- A^-$ 之機械氣壓控制迴路為例，分別就串級法和霍夫曼之設計方式敘述如下：

(一)、串級法

1. 設計步驟一 → 寫出動作順序，並將動作順序分組；分組時，同一組內每個英文字母(氣壓缸代號)只能出現一次，本例即可分為兩組 $/A^+ B^+ / B^- A^- /$ 。



2. 設計步驟二 → 把動作順序轉成位移步驟圖，表示時 A^+ 、 B^+ 分別代表 A 、 B 氣壓缸伸出， A^- 、 B^- 則是代表 A 、 B 氣壓缸縮回。



3. 設計步驟三 → 依動作順序和位移步驟圖，列出個別作動或控制的條件式。

$$A^+ = I$$

$$B^+ = I \times a_1$$

$$B^- = II$$

$$A^- = II \times b_0$$

$$I \Rightarrow II = I \times b_1$$

$$II \Rightarrow I = II \times a_0 \times ST$$

4. 設計步驟四 → 再依照個別作動或控制的條件式畫出氣壓缸輸出迴路，以及切換氣源之回動閥件，其控制訊號之產生係利用活塞桿端點來觸動雙向輓輪極限開關。

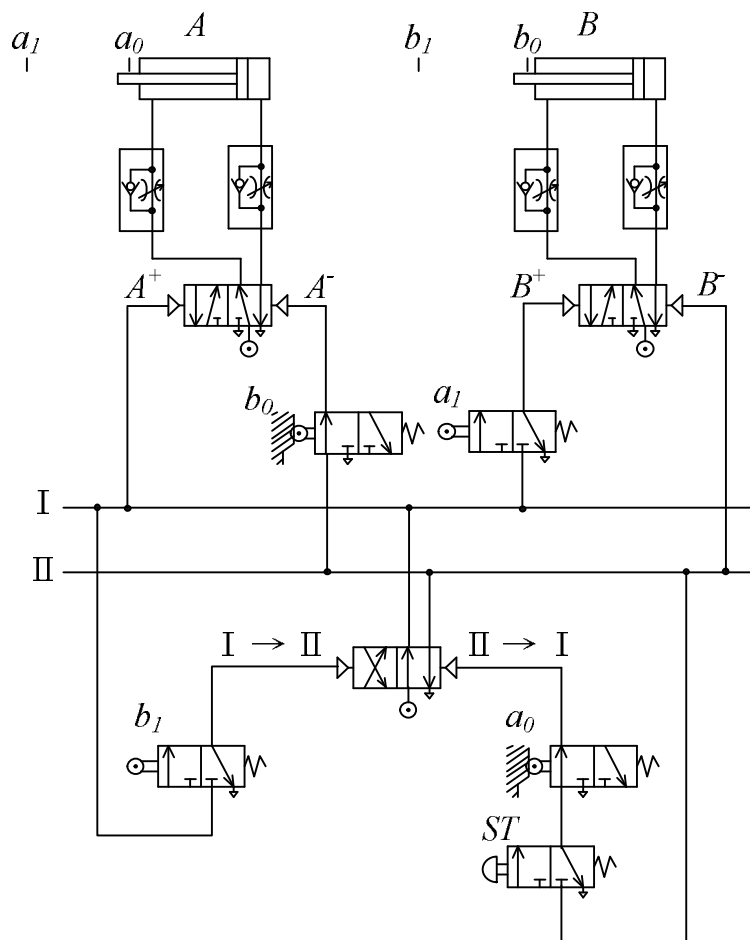
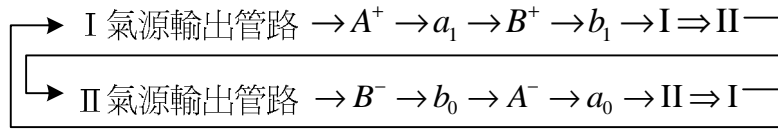


圖 2-1 串級法設計 $A^+ B^+ B^- A^-$ 氣壓控制迴路

5. 動作說明

(1) 首先壓下啟動按鈕 ST 時，第 I 級氣源成為輸出狀態， A 氣壓缸前進碰到輓輪開關 a_1 送出訊號使 B 氣壓缸前進，故 a_1 接在 B^+ 控制線上，而 A^+ 屬於第一組， a_1 氣壓源要接在第 I 級氣源輸出管路上。

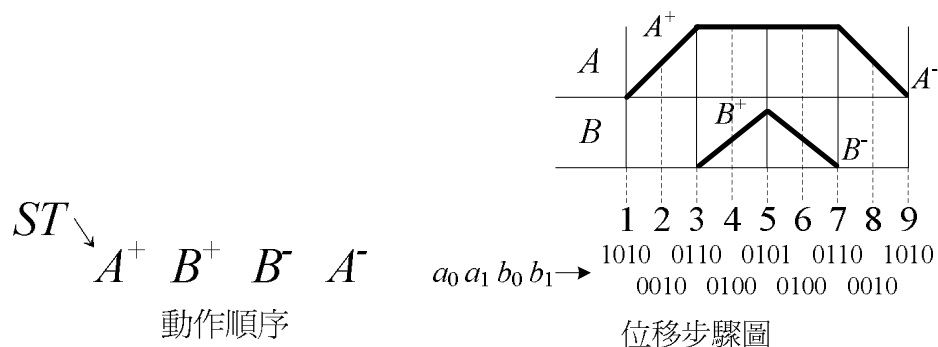
- (2) 接著 B 氣壓缸前進碰到 b_1 送出訊號作動回動閥件，其目的使得第 I 級氣源輸出改變成為第 II 級氣源輸出，故 b_1 和 $I \Rightarrow II$ 控制線連接， b_1 氣壓源接在第 I 級氣源的輸出管路上。
- (3) 此時第 II 級氣源為輸出狀態， B 氣壓缸後退，將 B 控制線接到第 II 級氣源輸出管路上。 B 氣壓缸後退碰到 b_0 使 A 氣壓缸後退，故 b_0 接在 A 控制線上， b_0 之氣壓源接在第 II 級氣源輸出管路上。
- (4) A 氣壓缸後退碰到 a_0 送出訊號作動回動閥件，使得第 II 級氣源輸出改變成為第 I 級氣源輸出，故 a_0 要接在 $II \Rightarrow I$ 控制線上， a_0 之氣壓源接在第 II 級氣源輸出管路上。將以上控制順序表示如下：



- (5) 加入啓動按鈕(ST)時，必須依據氣壓缸動作要求，在適當地方加上該按鈕；經分析氣壓迴路圖可知，啓動按鈕應接在 a_0 和第 II 級氣源輸出管路之間。

(二)、霍夫曼設計法

1. 設計步驟一 → 寫出動作順序，並把動作順序轉成位移步驟圖，表示時 A^+ 、 B^+ 分別代表 A 、 B 氣壓缸伸出， A^- 、 B^- 則是代表 A 、 B 氣壓缸縮回。位移步驟圖中標示狀態 1 是代表動作前，稱為穩態(stable)，從狀態 1 轉變為狀態 2 的瞬間稱為狀態 2 的暫態(transient state)或不穩態(unstable)，餘依此類推。第 9 個狀態會跟第 1 個狀態相同，可視為同一個狀態，此例為 4 個動作順序，所以位移步驟圖可分為 8 個狀態。活塞桿端點觸動雙向輥輪極限開關產生之控制訊號($a_0 a_1 b_0 b_1$)，在狀態 1 可表示成 1010，1 代表觸動輥輪開關，0 則否。



2. 設計步驟二 → 從上一步驟所填之控制訊號表示狀態，配合氣壓缸伸出 (A^+ 、 B^+)或縮回(A^- 、 B^-)之動作，列出原始流程表(primitive flow table)。穩態需加圈，而沒有加圈的表示為暫態，因每一列狀態不能同時包含兩個穩態，所以要區隔。上排的 1010 即($a_0 a_1 b_0 b_1$)，是根據位移步驟圖的控制訊號狀態寫上，重覆的不再列入。

原始流程表

$a_0 a_1 b_0 b_1$ 狀態	1010	0010	0110	0100	0101	A^+	A^-	B^+	B^-	Q_1
1	①	2				1	0	0	×	0
2		②	3			1	0	0	×	0
3			③	4		×	0	1	0	0
4				④	5	×	0	1	0	0
5				6	⑤	×	0	0	1	1
6			7	⑥		×	0	0	1	1
7		8	⑦			0	1	0	×	1
8	1	⑧				0	1	0	×	1

- (1) A^+ 的狀態 1 為 A 氣壓缸伸出，故要給 1 的信號；狀態 2 為 A 氣壓缸伸出中，因此信號仍為 1；狀態 3~6 為 A 氣壓缸已完全伸出狀態，可為 0 或 1 即(×)，不會影響到氣壓缸運作；狀態 7 為 A 氣壓缸縮回，因此要給 0 的信號；狀態 8 為 A 氣壓缸縮回中，故信號仍是 0。
- (2) A^- 的狀態 1~6 為 A 氣壓缸伸出的狀態，因此只能給 0 的信號，不能給 1 的信號，不然會使 A 氣壓缸縮回，產生衝突情況；狀態 7 為 A 氣壓缸縮回，因此要給 1 的信號；狀態 8 為 A 氣壓缸縮回中，因此信號仍是 1。
- (3) B^+ 的狀態除了 3 和 4 為 B 氣壓缸伸出，要給 1 的信號之外，其餘狀態皆為 B 氣壓缸縮回，要給 0 的信號。
- (4) B^- 的狀態 1、2、7 和 8 為 B 氣壓缸縮回，信號可為 0 或 1 即(×)，不影響到氣壓缸的運作；狀態 3 和 4 為 B 氣壓缸伸出，因此要給 0 的信號；狀態 5 和 6 則為 B 氣壓缸縮回，要給 1 的信號。
3. 設計步驟三 → 將原始流程表擠壓簡化為壓縮流程表(merged flow table)，其原則是：

- (1) 合併兩列時，若同行中同時具有穩態和暫態的情形，則保有穩態之個項。
- (2) 即使控制信號($a_0 a_1 b_0 b_1$)不同，也可以合併。
- (3) 可同時利用輸入信號和正反器(flip-flop)，以區分擠壓後的不同狀態。

經壓縮後狀態數只剩下二個，使用一個 $R-S$ 正反器(記憶閥件)來區分；狀態 1~4(第一組) Q_1 為 0，狀態 5~8(第二組) Q_1 為 1，可由個人設計方式設定。

壓縮流程表

$a_0 a_1 b_0 b_1$ 狀態	1010	0010	0110	0100	0101	Q_1
1.2.3.4	①	②	③	④	5	0
5.6.7.8	1	⑧	⑦	⑥	⑤	1

4. 設計步驟四 → 使用卡諾圖(Karnaugh map)模式畫出路徑圖(path map)，根據壓縮流程表填入該圖，穩態 1 為 1010 即($a_0 a_1 b_0 b_1$)且 Q_1 為 0，一一對照填入，壓縮流程表的所有狀態都填入該表後，沒填入者為 Don't care 即(\times)。

路徑圖

$a_0 a_1$ $b_0 b_1$	$Q_1=0$				$Q_1=1$				$a_0 a_1$ $b_0 b_1$
	00	01	11	10	10	11	01	00	
00	\times	④	\times	\times	\times	\times	⑥	\times	00
01	\times	5	\times	\times	\times	\times	⑤	\times	01
11	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	11
10	②	③	\times	①	1	\times	⑦	⑧	10

5. 設計步驟五 → 對照上述路徑圖依據 $R-S$ 正反器激勵表，依正反器 Q_1 之動作條件，填入卡諾圖並化簡，求得 $S_1 = b_1$ ， $R_1 = a_0$ ，但最後狀態切回起始狀態時，應加入啓動按鈕(ST)，故 $R_1 = a_0 \times ST$ 。

S_1 $a_0 a_1$ $b_0 b_1$	$Q_1=0$				$Q_1=1$				$a_0 a_1$ $b_0 b_1$ S_1
	00	01	11	10	10	11	01	00	
00	\times	0	\times	\times	\times	\times	\times	\times	00
01	\times	1	\times	\times	\times	\times	\times	\times	01
11	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	11
10	0	0	\times	0	0	\times	\times	\times	10

$S_1 = b_1$

$Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	R	S
0 \rightarrow 0	\times	0
0 \rightarrow 1	0	1
1 \rightarrow 0	1	0
1 \rightarrow 1	0	\times

		$Q_1=0$				$Q_1=1$					
		$a_0 a_1$	00	01	11	10	10	11	01		
$b_0 b_1$	00	\times	\times	\times	\times	\times	\times	0	\times	00	
	01	\times	0	\times	\times	\times	\times	0	\times	01	
	11	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	11	
	10	\times	\times	\times	\times	1	\times	0	0	10	

$R_1 = a_0 \times ST$

6. 設計步驟六 → 依原始流程表，用卡諾圖一一填寫 A^+ 、 B^+ 、 A^- 、 B^- 之動作條件並化簡，求得 $A^+ = \overline{Q_1}$ ， $A^- = b_0 \times Q_1$ ， $B^+ = a_1 \times \overline{Q_1}$ ， $B^- = Q_1$ 。

		$Q_1=0$				$Q_1=1$					
		$a_0 a_1$	00	01	11	10	10	11	01		
$b_0 b_1$	00	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	00	
	01	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	01	
	11	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	11	
	10	1	\times	\times	1	0	\times	0	0	10	

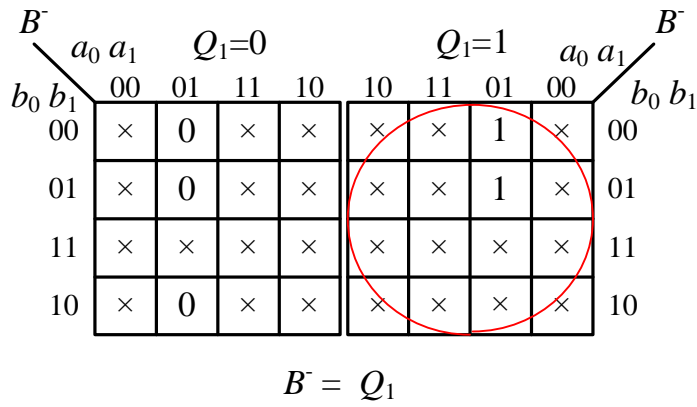
$A^+ = \overline{Q_1}$

		$Q_1=0$				$Q_1=1$					
		$a_0 a_1$	00	01	11	10	10	11	01		
$b_0 b_1$	00	\times	0	\times	\times	\times	\times	0	\times	00	
	01	\times	\times	\times	\times	\times	\times	0	\times	01	
	11	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	11	
	10	0	0	\times	0	\times	\times	1	\times	10	

$A^- = b_0 \times Q_1$

		$Q_1=0$				$Q_1=1$					
		$a_0 a_1$	00	01	11	10	10	11	01		
$b_0 b_1$	00	\times	1	\times	\times	\times	\times	0	\times	00	
	01	\times	1	\times	\times	\times	\times	0	\times	01	
	11	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	\times	11	
	10	0	1	\times	0	0	\times	0	0	10	

$B^+ = a_1 \times \overline{Q_1}$



7. 設計步驟七 → 最後依所得之各動作條件，畫出氣壓缸輸出迴路及切換氣源之記憶閥件(即正反器)。

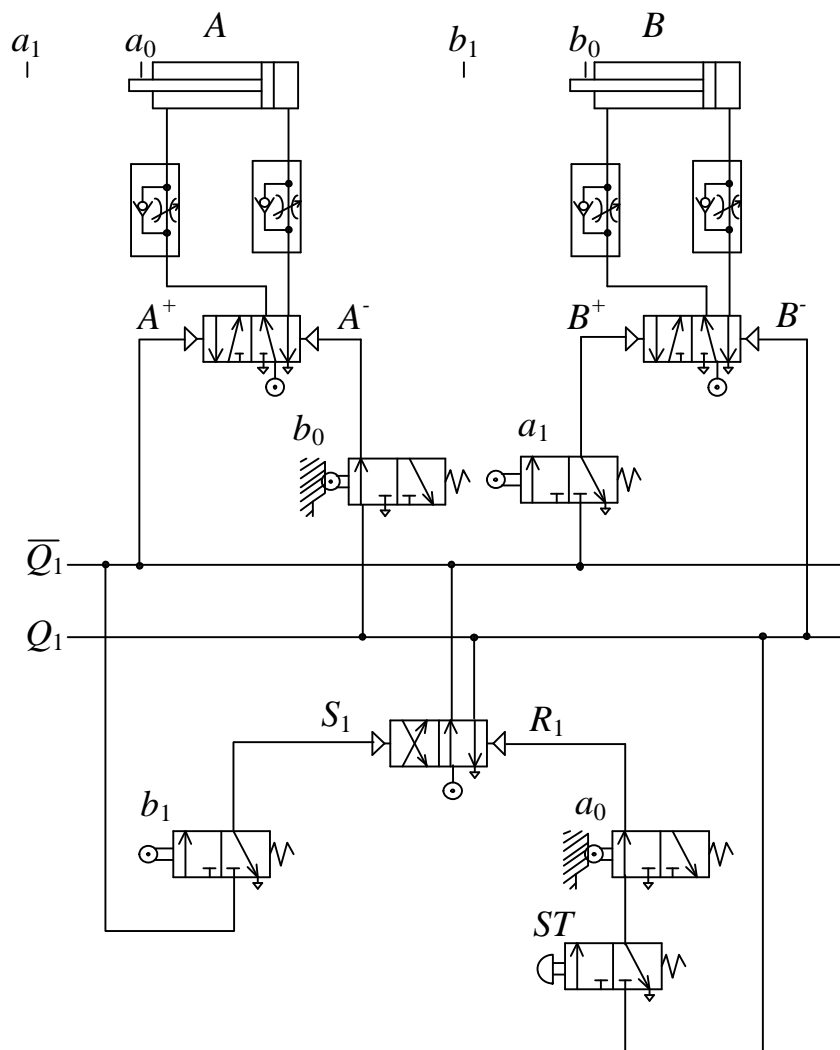
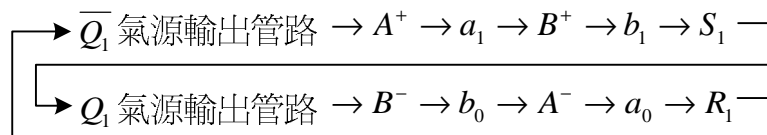


圖 2-2 霍夫曼設計 $A^+ B^+ B^- A^-$ 氣壓控制迴路

8. 動作說明

- (1) 首先壓下啓動按鈕 ST 時， $\overline{Q_1}$ 氣源成爲輸出狀態， A 氣壓缸前進碰到輓輪開關 a_1 送出訊號使 B 氣壓缸前進，故 a_1 接在 B^+ 控制線上，而 A^+ 屬於 $\overline{Q_1}$ 組， a_1 氣壓源要接在 $\overline{Q_1}$ 氣源輸出管路上。
 - (2) 接著 B 氣壓缸前進碰到 b_1 送出訊號切換記憶閥件，其目的使 $\overline{Q_1}$ 氣源輸出改變成爲 Q_1 氣源輸出，故 b_1 和 S_1 控制線連接， b_1 氣壓源接在 $\overline{Q_1}$ 氣源輸出管路上。
 - (3) 此時 Q_1 氣源爲輸出狀態， B 氣壓缸後退，將 B 控制線接到 Q_1 氣源輸出管路上。 B 氣壓缸後退碰到 b_0 使 A 氣壓缸後退，故 b_0 接在 A 控制線上， b_0 之氣壓源接在 Q_1 氣源輸出管路上。
 - (4) A 氣壓缸後退碰到 a_0 送出訊號切換記憶閥件，使得 Q_1 氣源輸出改變成爲 $\overline{Q_1}$ 氣源輸出，故 a_0 要接在 R_1 控制線上， a_0 之氣壓源接在 Q_1 氣源輸出管路上。
- 將以上控制順序表示如下：



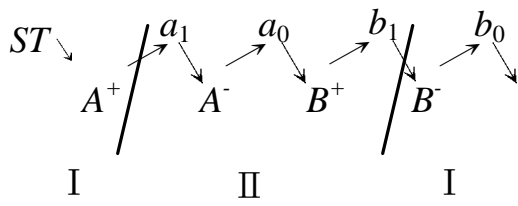
- (5) 加入啓動按鈕(ST)時，必須依據氣壓缸動作要求，在適當位置加上該按鈕；經分析氣壓迴路圖可知，啓動按鈕應接在 a_0 和 Q_1 氣源輸出管路之間。

三、各單元控制迴路設計、規劃

試分別以串級法和霍夫曼方式，就下列規劃之各項機械氣壓控制迴路加以設計。

- (一)、 $A^+ A^- B^+ B^-$ — 如圖 3-1、3-2。
- (二)、 $A^+ B^+ A^- B^-$ — 如圖 3-3、3-4。
- (三)、 $A^+ B^+ B^- A^- B^+ B^-$ — 如圖 3-5、3-6。
- (四)、 $A^+ B^+ A^- B^- A^+ B^+ B^- A^-$ — 如圖 3-7、3-8。

另規劃若干以單支氣壓缸爲主之控制迴路設計單元，包括自保持 ON 優先、自保持 OFF 優先、動作順序 — $A^+ A^- A^+ A^-$ ，以及按下次數 ON /雙數 OFF 等，但限於篇幅限制的規定，故無法予以一一詳列。



$$A^+ = I \cdot b_0 \cdot ST$$

$$A^- = \Pi$$

$$B^+ = \Pi \cdot a_0$$

$$B^- = I$$

$$I \rightarrow \Pi = I \cdot a_1$$

$$\Pi \rightarrow I = \Pi \cdot b_1$$

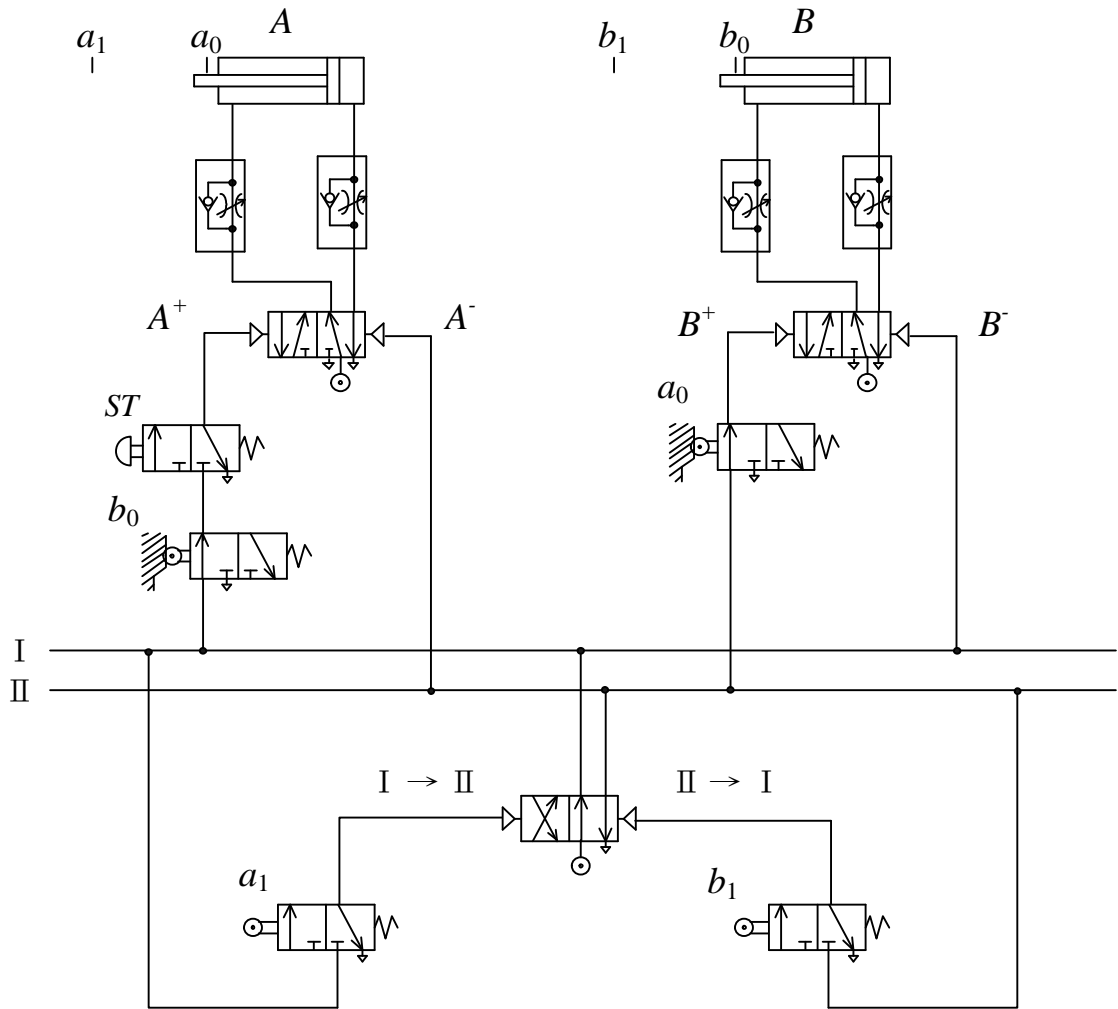
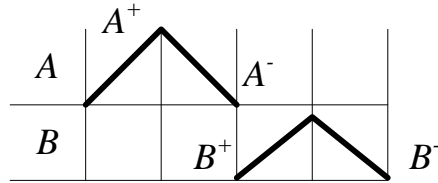


圖 3-1 串級法_ A^+ A^- B^+ B^- 機械氣壓控制迴路

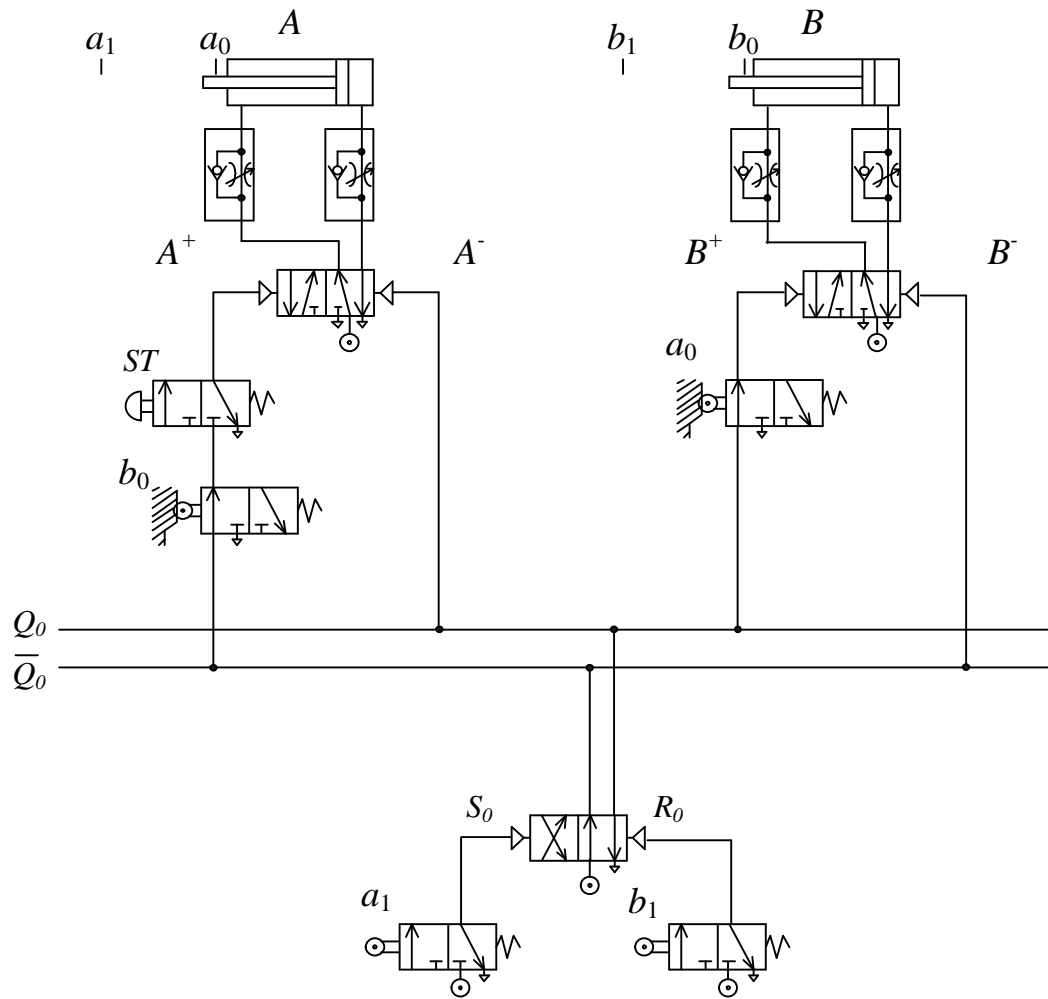
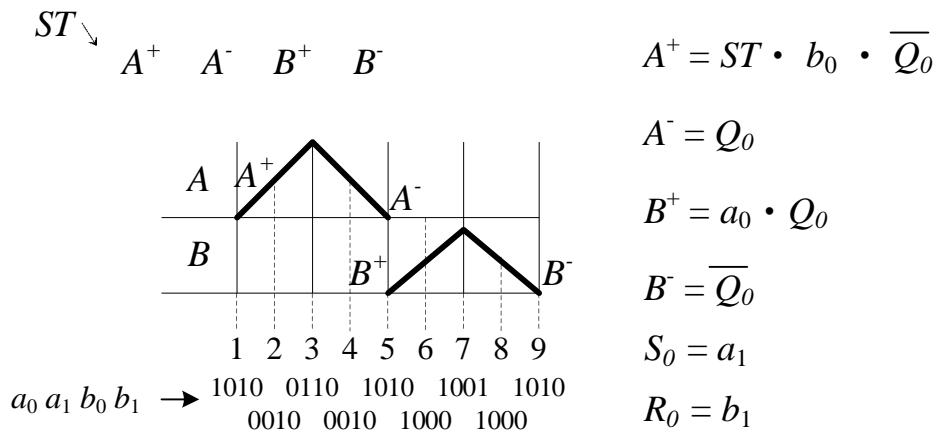
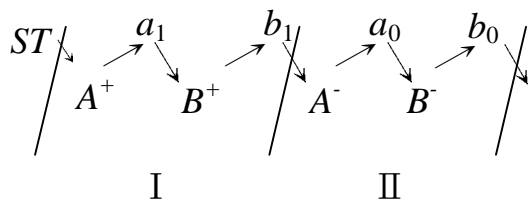


圖 3-2 霍夫曼法 $A^+ A^- B^+ B^-$ 機械氣壓控制迴路



$$A^+ = I$$

$$A^- = II$$

$$B^+ = I \cdot a_1$$

$$B^- = II \cdot a_0$$

$$I \rightarrow II = I \cdot b_1$$

$$II \rightarrow I = II \cdot b_0 \cdot ST$$

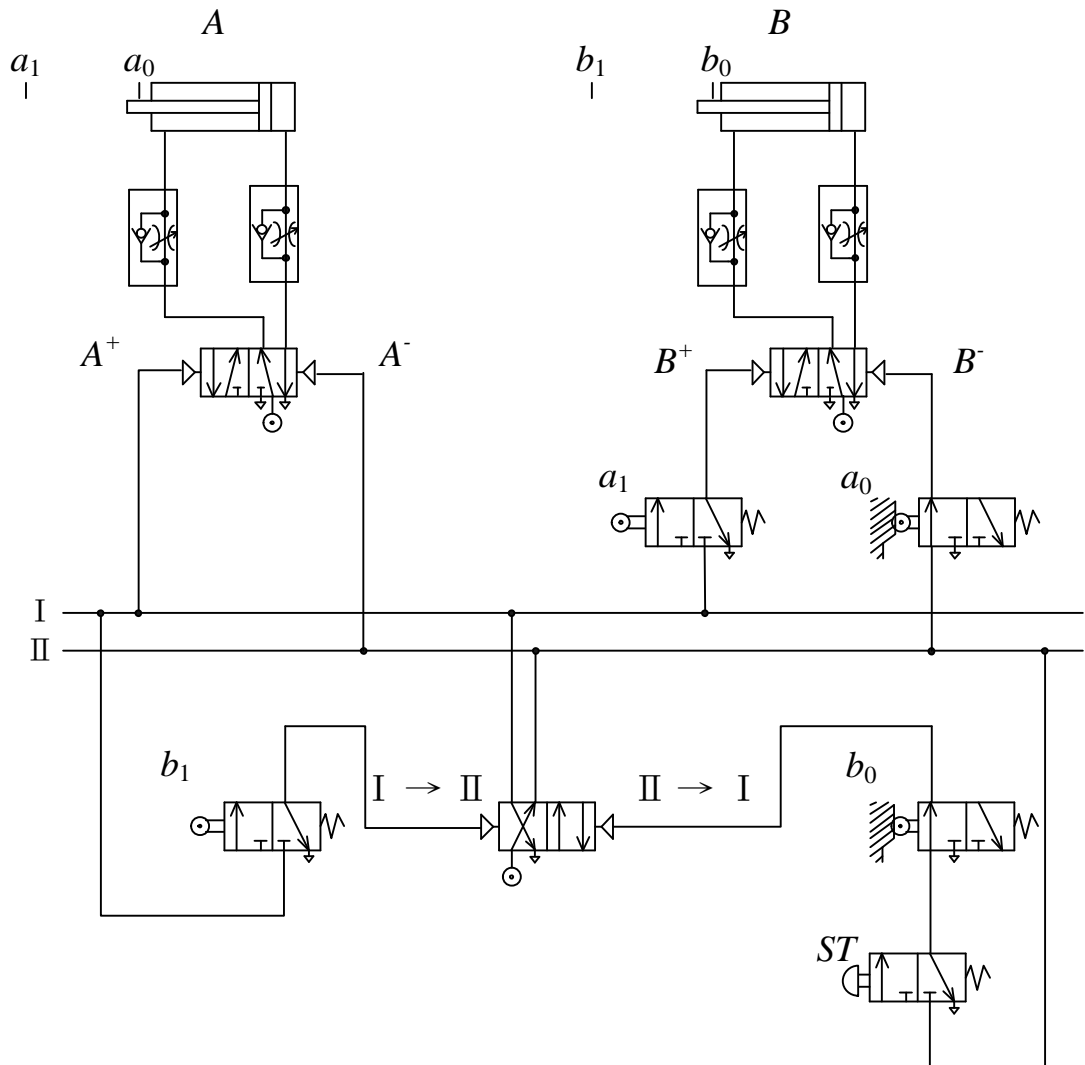
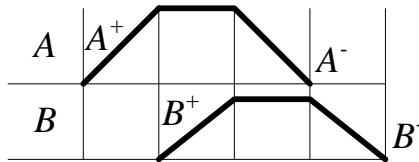


圖 3-3 串級法_ $A^+ B^+ A^- B^-$ 機械氣壓控制迴路

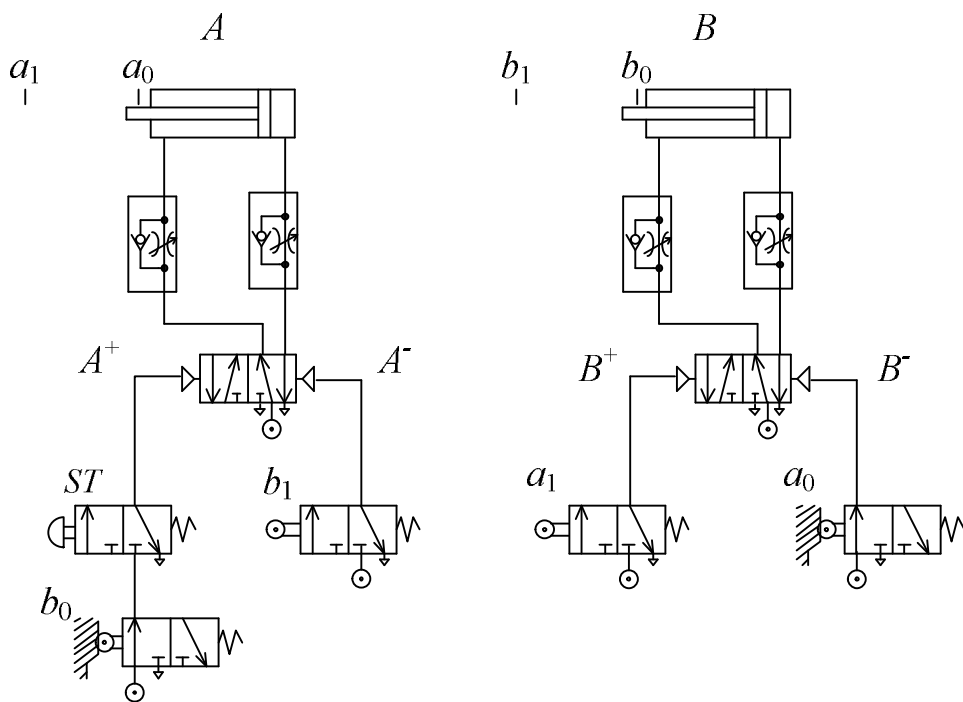
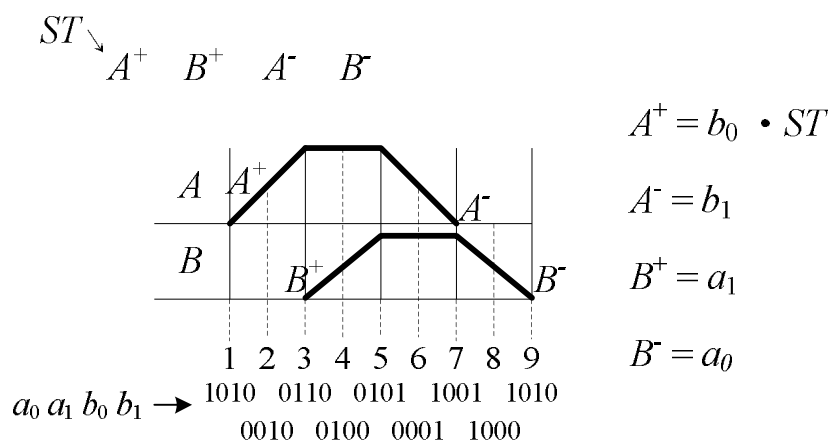
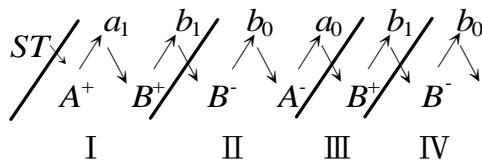


圖 3-4 霍夫曼法_ $A^+ B^+ A^- B^-$ 機械氣壓控制迴路



$$A^+ = I$$

$$A^- = II \cdot b_0$$

$$B^+ = I \cdot a_1 + III$$

$$B^- = II + IV$$

$$I \rightarrow II = I \cdot b_1$$

$$II \rightarrow III = II \cdot a_0$$

$$III \rightarrow IV = III \cdot b_1$$

$$IV \rightarrow I = IV \cdot b_0 \cdot ST$$

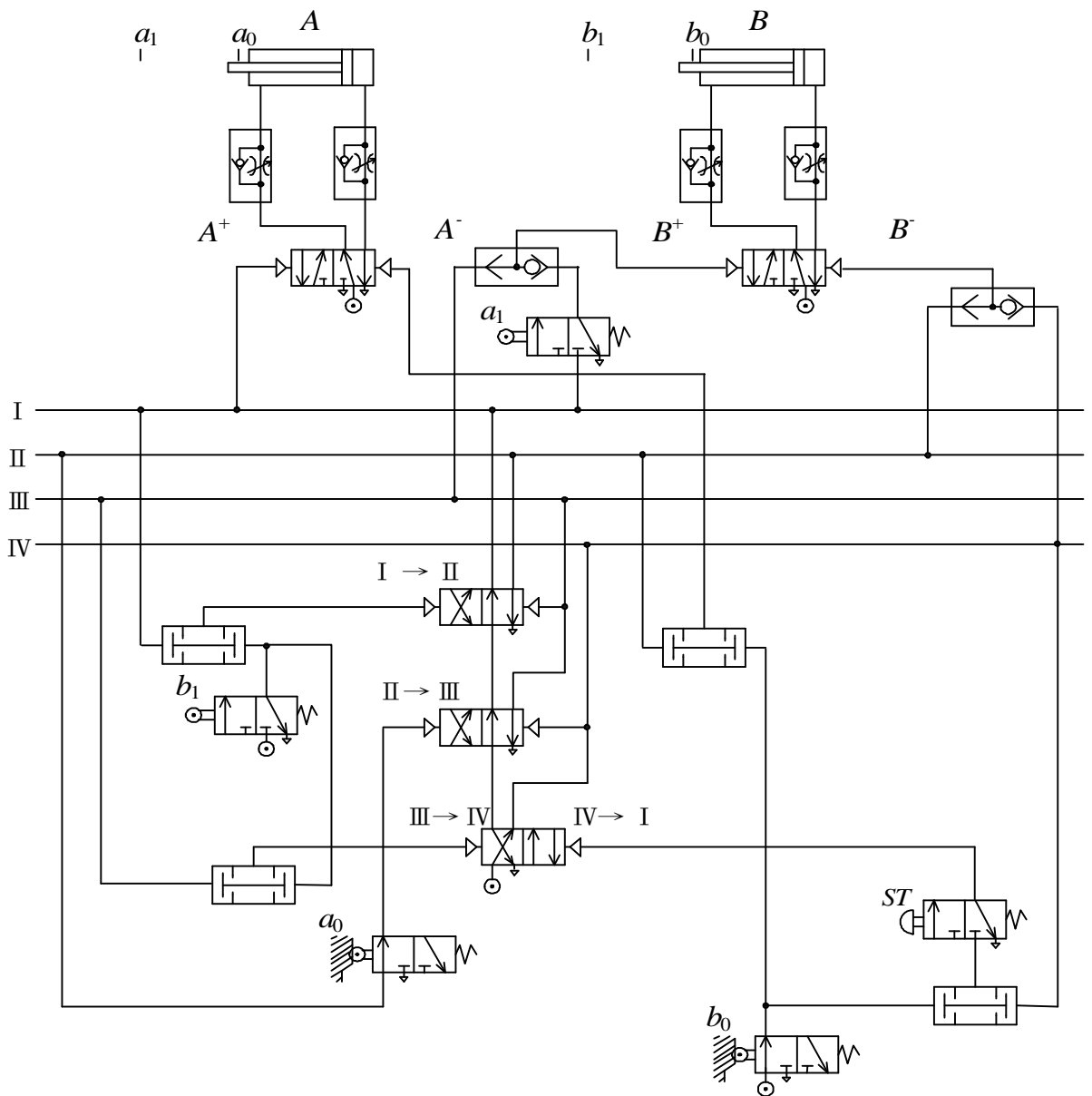
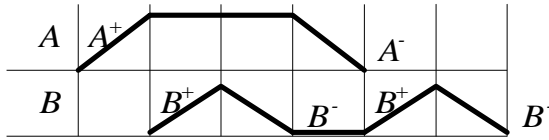


圖 3-5 串級法 $A^+ B^+ B^- A^- B^+ B^-$ 機械氣壓控制迴路

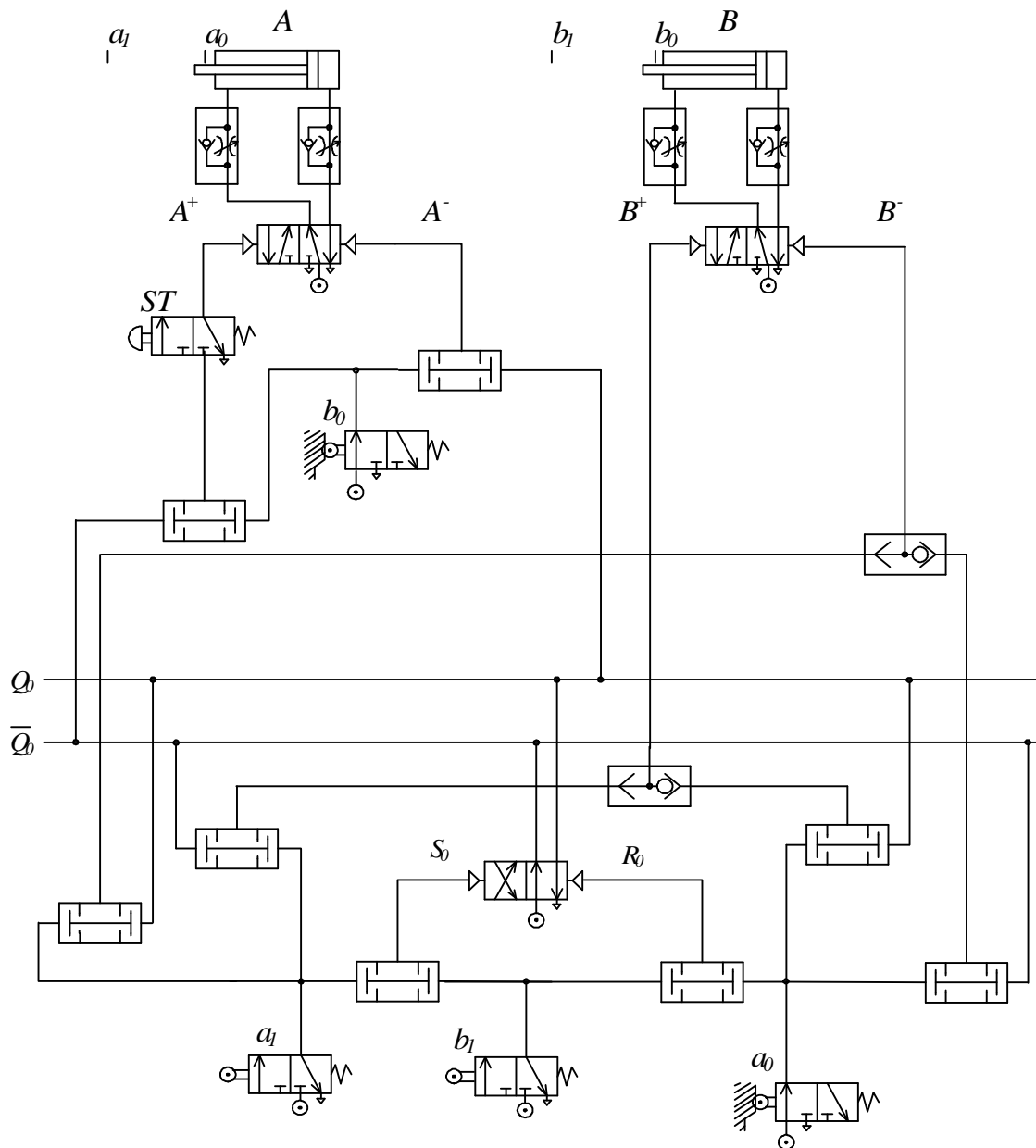
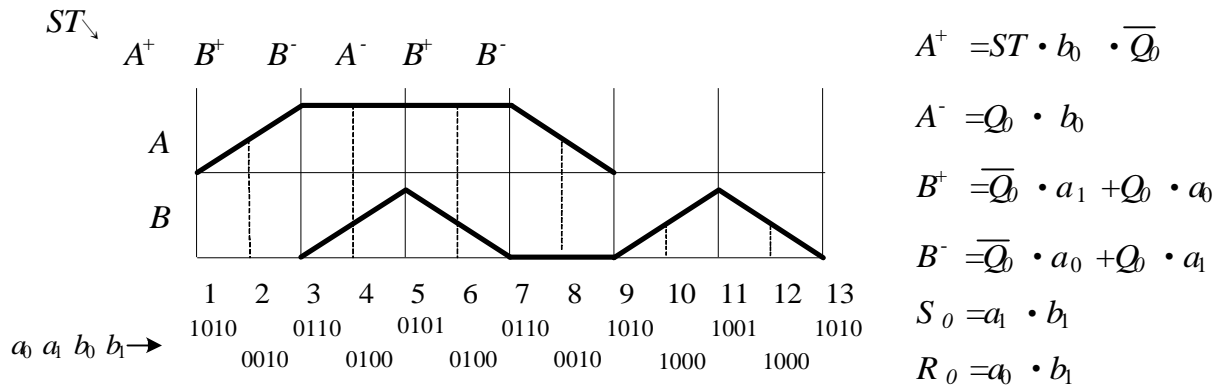
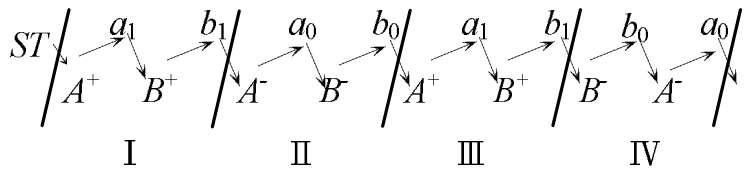


圖 3-6 霍夫曼法 $A^+ B^+ B^- A^- B^+ B^-$ 機械氣壓控制迴路



$$A^+ = I + III$$

$$A^- = II + IV \cdot b_0$$

$$B^+ = (I + III) \cdot a_1$$

$$B^- = II \cdot a_0 + IV$$

$$I \rightarrow II = I \cdot b_1$$

$$II \rightarrow III = II \cdot b_0$$

$$III \rightarrow IV = III \cdot b_1$$

$$IV \rightarrow I = IV \cdot a_0 \cdot ST$$

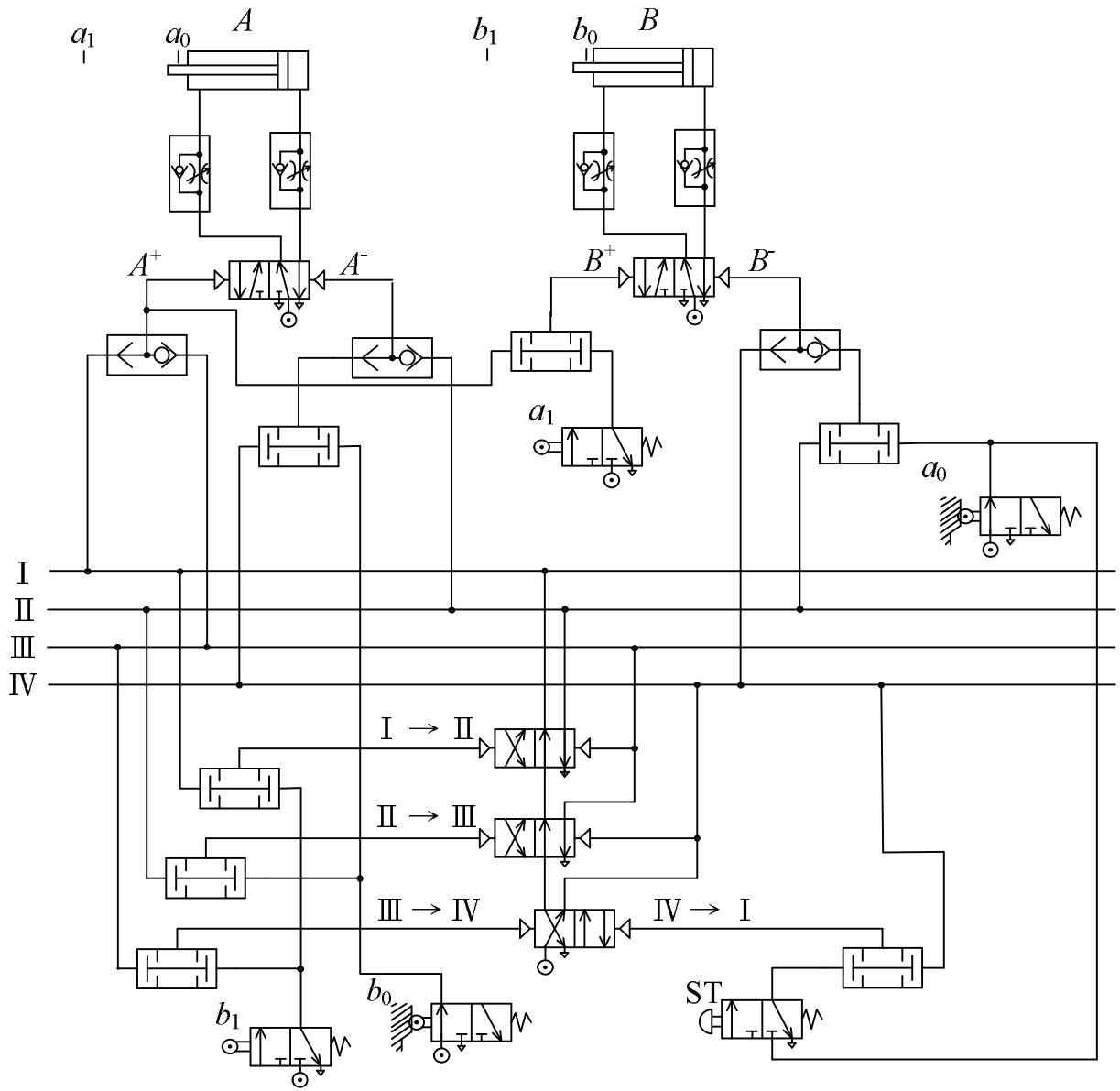
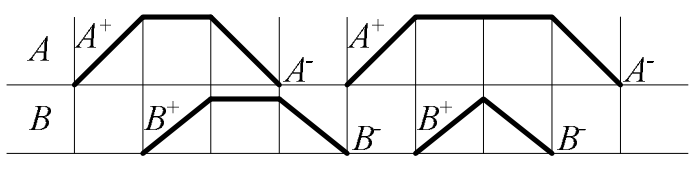


圖 3-7 串級法 $A^+ B^+ A^- B^- A^+ B^+ B^- A^-$ 機械氣壓控制迴路

$ST \searrow$
 $A^+ B^+ A^- B^- A^+ B^+ B^- A^-$

$$A^+ = Q_1 \cdot b_0$$

$$A^- = \overline{Q_1} \cdot b_0 + \overline{Q_2} \cdot b_1$$

$$B^+ = Q_1 \cdot a_1$$

$$B^- = \overline{Q_1} + a_0$$

$$S_1 = a_0 \cdot ST$$

$$R_1 = Q_2 \cdot \overline{a_0} \cdot b_1$$

$$S_2 = a_0 \cdot \overline{b_0}$$

$$R_2 = \overline{Q_1} \cdot a_0$$

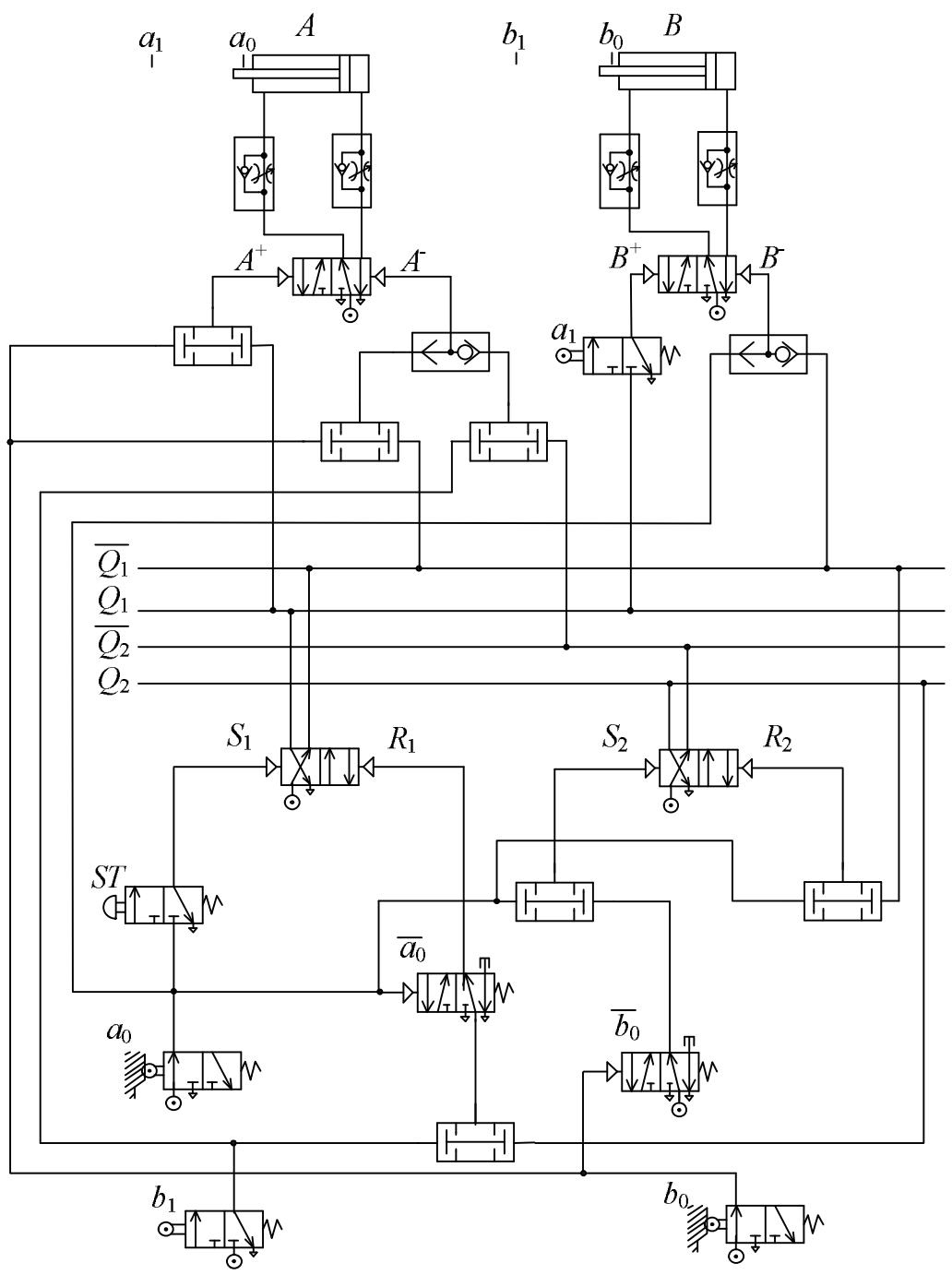
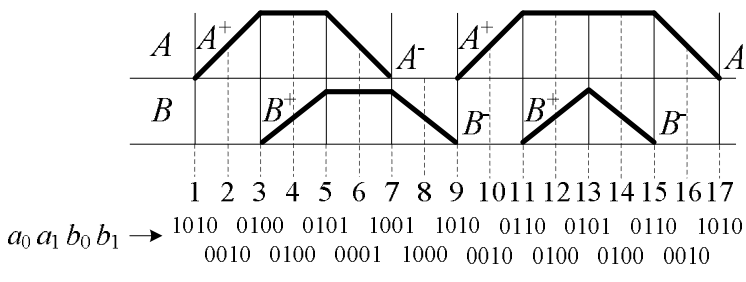


圖 3-8 霍夫曼法 $A^+ B^+ A^- B^- A^+ B^+ B^- A^-$ 機械氣壓控制迴路

四、控制迴路實驗測試、偵錯與標示牌製作、錄影拍攝

進行各單元控制迴路之操作、測試和偵錯，以確立控制迴路設計的正確性；並分別製作標示牌，拍攝實際操作過程，以為存證。

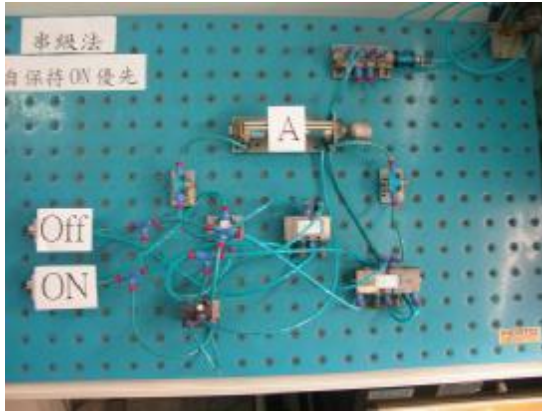


圖 4-1 串級法_自保持_ON 優先

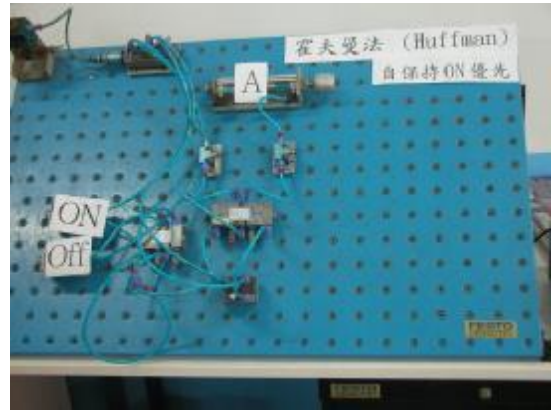


圖 4-2 霍夫曼_自保持_ON 優先

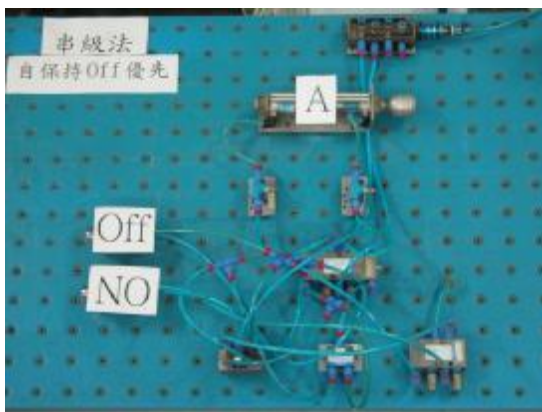


圖 4-3 串級法_自保持_OFF 優先

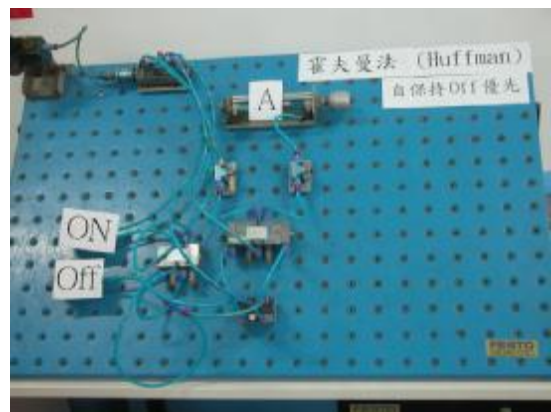


圖 4-4 霍夫曼_自保持_OFF 優先

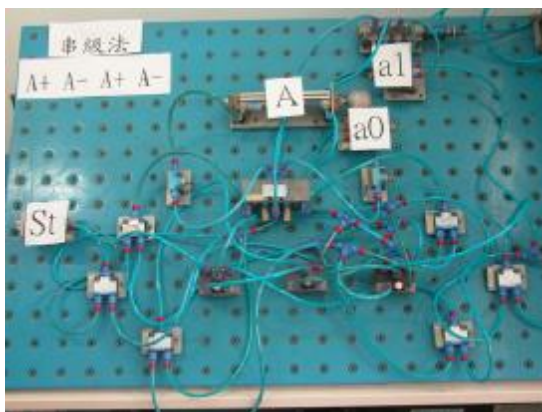


圖 4-5 串級法_ $A^+ A^- A^+ A^-$

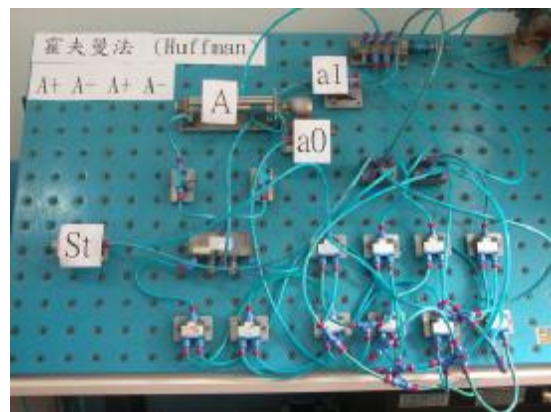


圖 4-6 霍夫曼_ $A^+ A^- A^+ A^-$

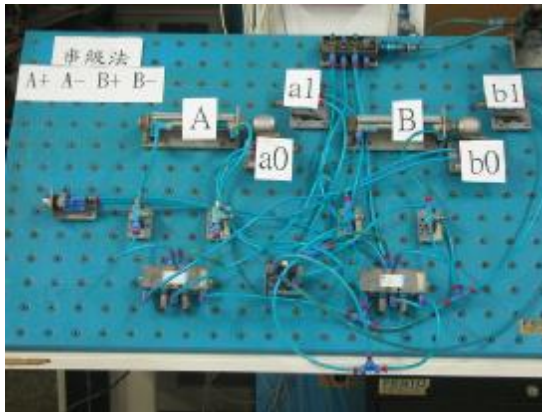


圖 4-7 串級法_ $A^+ A^- B^+ B^-$

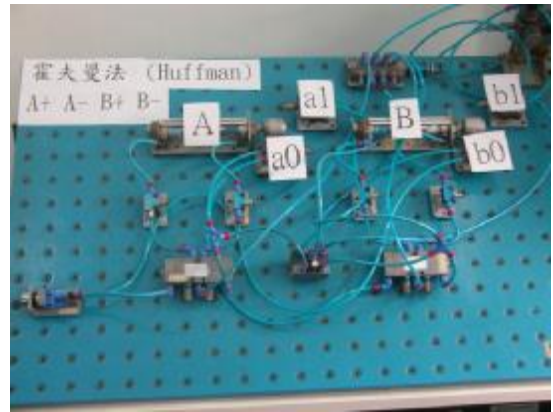


圖 4-8 霍夫曼_ $A^+ A^- B^+ B^-$

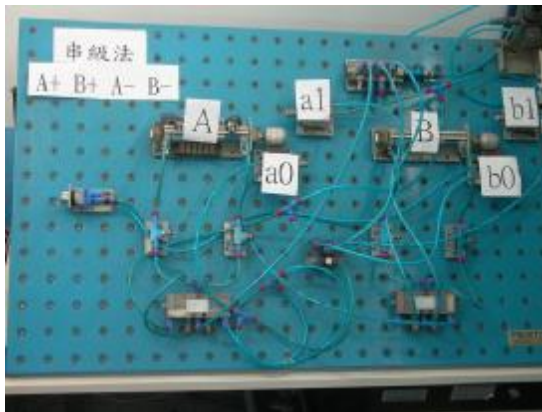


圖 4-9 串級法_ $A^+ B^+ A^- B^-$

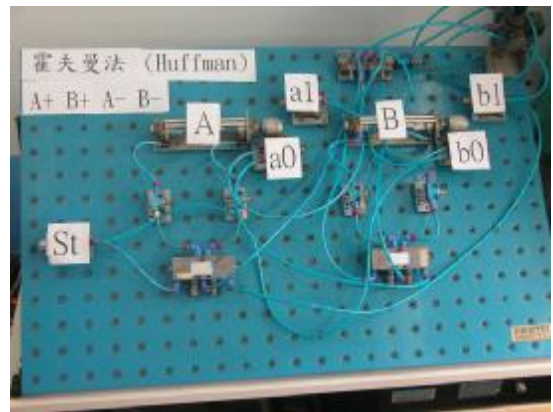


圖 4-10 霍夫曼_ $A^+ B^+ A^- B^-$

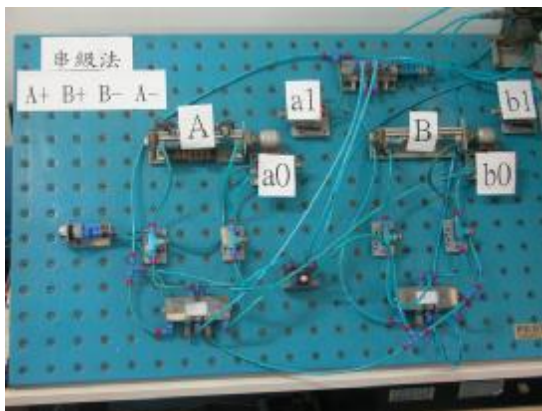


圖 4-11 串級法_ $A^+ B^+ B^- A^-$

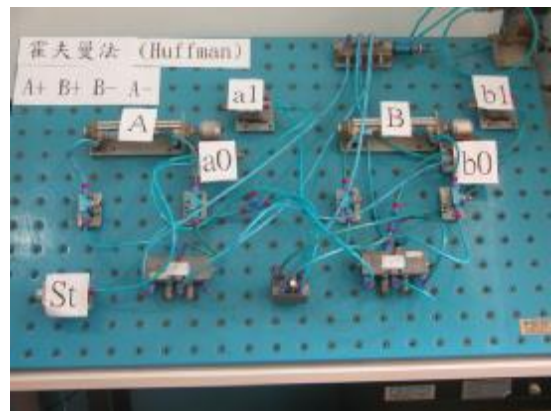


圖 4-12 霍夫曼_ $A^+ B^+ B^- A^-$

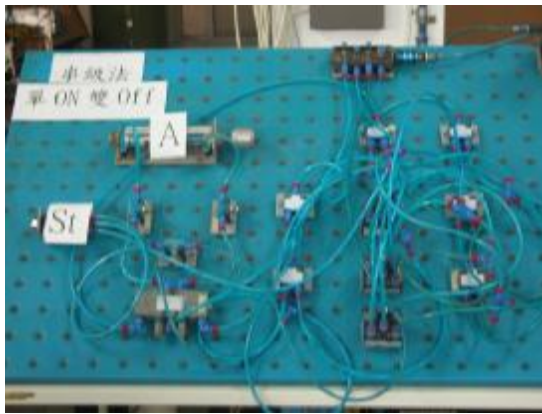


圖 4-13 串級法_按下次數_單數 ON/雙數 OFF

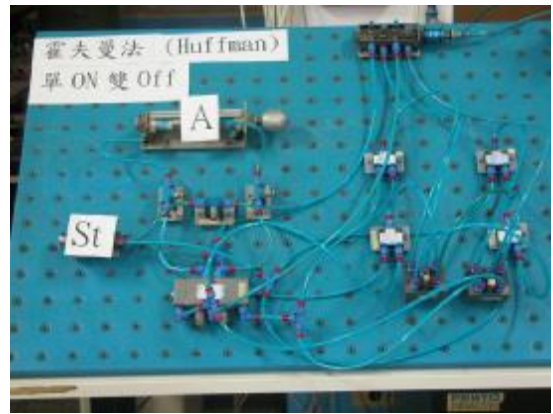


圖 4-14 霍夫曼_按下次數_單數 ON/雙數 OFF

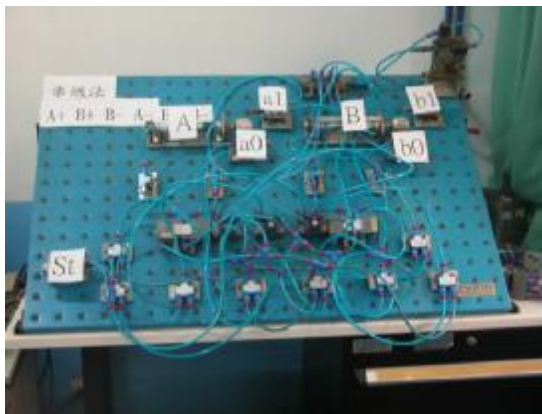


圖 4-15 串級法_ $A^+ B^+ B^- A^- B^+ B^-$

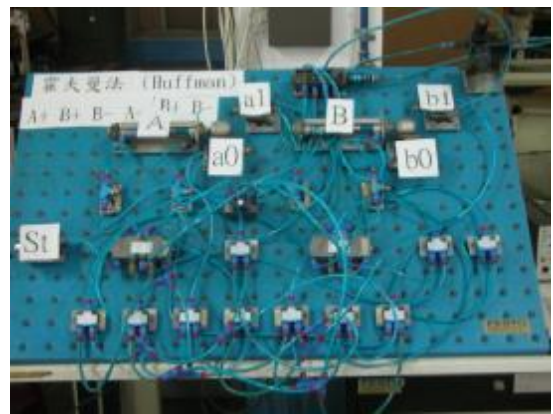


圖 4-16 霍夫曼_ $A^+ B^+ B^- A^- B^+ B^-$

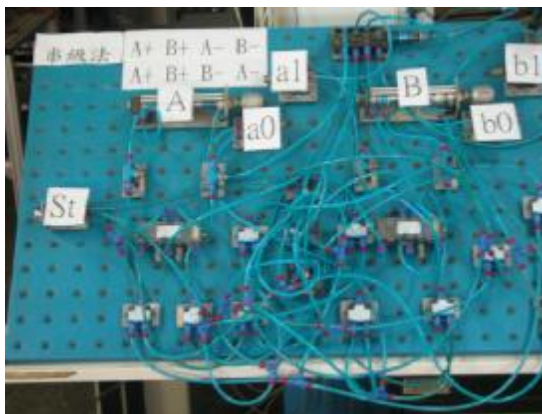


圖 4-17 串級法_ $A^+ B^+ A^- B^- A^+ B^+ B^- A^-$

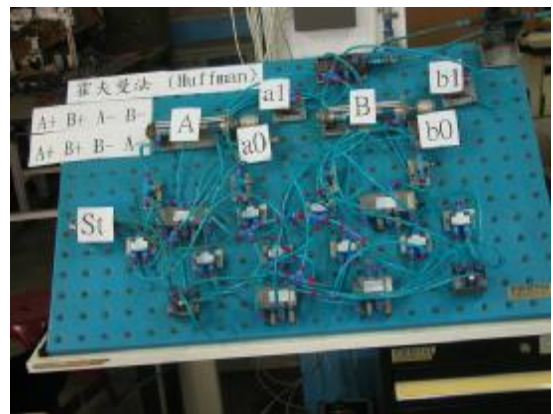


圖 4-18 霍夫曼_ $A^+ B^+ A^- B^- A^+ B^+ B^- A^-$

伍、研究結果

經各單元控制迴路設計、規劃與實驗操作的歷程，分別以串級法和霍夫曼設計方式完成以下各項機械氣壓控制迴路功能。研究顯示，以霍夫曼設計機械氣壓控制迴路，與串級法同樣具有一定步驟、模式可依循，這實在是令人振奮的結果。

- 一、自保持 ON 優先(單支氣壓缸)
- 二、自保持 OFF 優先(單支氣壓缸)
- 三、 $A^+ A^- A^+ A^-$
- 四、 $A^+ A^- B^+ B^-$
- 五、 $A^+ B^+ A^- B^-$
- 六、 $A^+ B^+ B^- A^-$
- 七、按下次數_單數 ON /雙數 OFF (單支氣壓缸)
- 八、 $A^+ B^+ B^- A^- B^+ B^-$
- 九、 $A^+ B^+ A^- B^- A^+ B^+ B^- A^-$

陸、討論

比較串級法與霍夫曼的迴路設計方法間之差異性，表列如下：

機械氣壓迴路 設計方式 比較項目	串級法	霍夫曼法
使用記憶閥數量 與經濟性	使用數量：較多 由於經過較少的設計過程，會使記憶閥沒有減少的情況，成本無法降低	使用數量：較少 由於經過較多的設計過程，使記憶閥的數量得以減少；記憶閥的價格會比一般器具貴，所以減少記憶閥的使用即降低成本，較能符合經濟性原則
設計步驟、過程即 困難程度	設計困難程度：較低 先把狀態分級，再列出各個狀態之動作條件，設計上所需時間較短，只要了解與掌握串級法重點所在，並不難理解	設計困難程度：較高 設計上有許多過程比較複雜，所需時間較長，並牽涉到卡諾圖等設計的需要和化簡，因此困難度較高
功能操作穩定性	穩定性：良好 雖然設計過程較簡易，但穩定性也是可以達到很好的效果，只是有時串接級數增加時，記憶閥件會有較多的壓力降，會影響操作的穩定性	穩定性：更加良好 由於設計過程較多，使穩定性可以達到很好的效果，也改善了串級法的缺點，因此當壓力有變動時不受影響，操作穩定性佳
學習之難易度	學習難易度：較為容易 設計過程較少、容易上手，練習幾個題目就能很快的了解	學習難易度：稍為偏難 設計過程較為複雜，需注意許多小細節，否則常會因為一開始的疏失，導致後來不正確的結果，需要多加反覆思考和練習

使用元件價格比較總表

數量 / 閥件名稱 / 設計法與控制迴路單元		雙動氣壓缸	5口2位雙邊壓力作動閥	5口2位單邊壓力作動閥	3口2位按鈕作動閥(常閉)	3口2位輻輪作動閥(常閉)	雙壓閥	梭動閥	單向節流閥	總價
		串級法	自保持__ON 優先	1	2	1	2			1
自保持__OFF 優先	1		2	1	2			1	2	13460
A+A-A+A-	1		4		1	2	4	2	2	24730
A+A-B+B-	2		3		1	4			4	22050
A+B+A-B-	2		3		1	4			4	22050
A+B+B-A-	2		3		1	4			4	22050
按下次數__單數 ON/雙數 OFF	1		4	1			4	2	3	21060
A+B+B-A-B+B-	2		5		1	4	4	2	4	33990
A+B+A-B-A+B+B-A-	2		5		1	4	7	3	4	39680
霍夫曼設計法	自保持__ON 優先	1	2	1	2				2	11970
	自保持__OFF 優先	1	2	1	2				2	11970
	A+A-A+A-	1	3		1	2	8	2	2	28650
	A+A-B+B-	2	3		1	4			4	22050
	A+B+A-B-	2	2		1	4			4	20370
	A+B+B-A-	2	3		1	4			4	22050
	按下次數__單數 ON/雙數 OFF	1	3	1			4		3	16400
	A+B+B-A-B+B-	2	3		1	4	8	2	4	36230
	A+B+A-B-A+B+B-A-	2	4	2	1	4	6	2	4	37930
元件單價(單位:新台幣)		1800	1680	1410	1850	2040	1400	1490	850	

※元件價格依飛斯妥(FESTO)股份有限公司報價為準。

※因4口2位雙邊壓力作動閥與5口2位雙邊壓力作動閥功能完全相同,故以5口2位雙邊壓力作動閥完全取代。

柒、結論

綜合研究的過程、結果與討論，結論為：

- 一、應用霍夫曼方式設計機械氣壓控制迴路，是一種嶄新且佳的方法，且符合經濟效益，希望此項研究結果可提供此領域學習者作為參考，或是創新的思維方向。
- 二、在機械氣壓控制迴路設計上，大多仍屬順序控制設計，鮮少談及有關資料方面的處理，如以霍夫曼方式來設計，並融入資料處理的概念，想必未來的發展前景是寬廣且令人期待的。
- 三、因機械氣壓所使用閥件數量較多、體積大，在未來，若能參照電子積體電路模式，將此研究成果加以應用，把控制迴路設計模組化，使體積小型化且符合經濟原則，更可提升實用效能而被廣泛採用。

捌、參考資料及其它

呂淮熏、黃勝銘 (民 86)。氣液壓學 (2 版)。台北市：高立圖書有限公司。

陳新一 (民 91)。數位邏輯。台北市：科友圖書股份有限公司。

許宗銘、賴士峯 (民 89)。空油壓概論 (3 版)。台北市：全華科技圖書股份有限公司。

郭興家 (民 93)。機電整合概論。台北市：全華科技圖書股份有限公司。

傅棖棻 (民 96)。氣壓迴路設計。台北市：全華科技圖書股份有限公司。

黃炎輝 (民 90)。氣油壓概論。台北縣：龍騰文化事業股份有限公司。

楊永昌 (民 91)。數位邏輯實習。台北市：科友圖書股份有限公司。

賴南木 (民 75)。各種氣壓控制迴路的設計方法及原則(一)。機械技術雜誌，**15**，114-127。

賴南木 (民 75)。各種氣壓控制迴路的設計方法及原則(二)。機械技術雜誌，**16**，97-113。

【評語】 090904

- 1、 作品說明清楚表達設計理念。
- 2、 霍夫曼法用於氣壓控制創意佳，惟設計困難降低了實用價值。
- 3、 建議利用電腦程式製作氣壓迴路設計與模擬，以提高實用性。