

電動機械實驗 Lab1 報告

(Electrical Machinery Laboratory Lab1 Report)

實驗題目 (Experiment title): Stepping motor driving control

日期 (Date): 2022/02/23 & 2022/03/02

時間 (Time): 18:30 ~ 24:00

地點 (Place): 台達館 220

組別 (Group number): 第 1 組

組員 (Group member) (簽名): 王致中、黃威誌

撰寫人 (Writer): 108061106 王致中

1. 實驗目的(Experiment purpose)：

步進馬達的應用相當廣泛，舉凡磁碟機、印表機、繪圖機、傳真機等電腦周邊設備，均常以步進馬達做為致動器(Actuator)。認識步進馬達之結構、特性、驅動及控制方式，將能使我們更加了解這些設備的背後原理。步進馬達的特性有以下幾點：

- (1) 以脈衝式電流驅動。
- (2) 旋轉角度與脈衝數成正比。
- (3) 馬達之旋轉方向可由脈衝之順序予以控制。
- (4) 可以開迴路穩定控制，只要轉矩-速度特性規格妥當選擇，即可得精密之定位控制。

本實驗的主要目的，在於配合課堂上之介紹，以一簡單之實驗來瞭解步進馬達的驅動運轉特性。

2. 系統組態及接線圖(System configuration and connection diagram)：

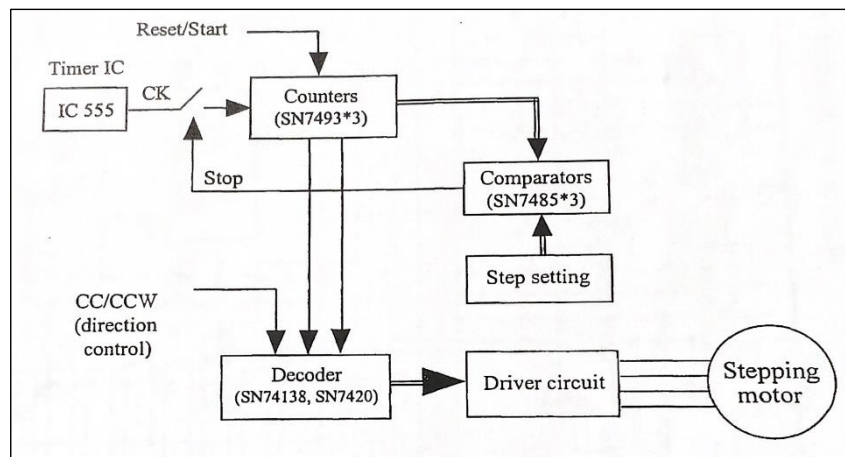


Fig. 2.1. Block diagram of stepping motor driving control.

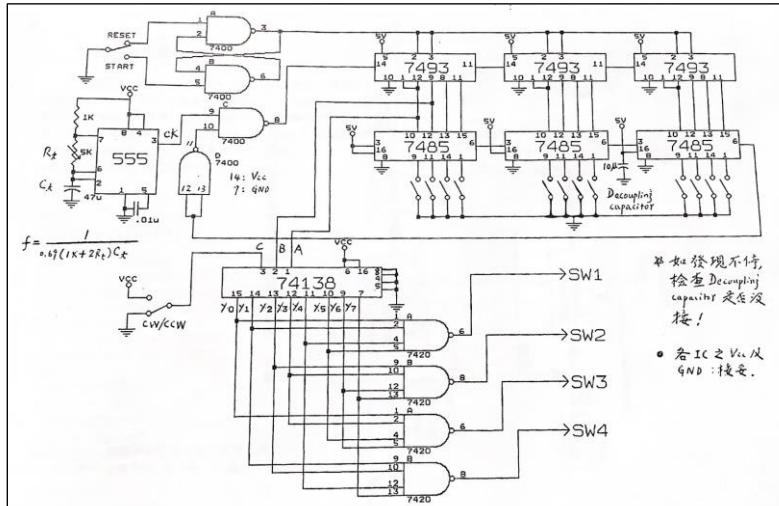


Fig. 2.2. 全步兩相/兩相激磁接線圖

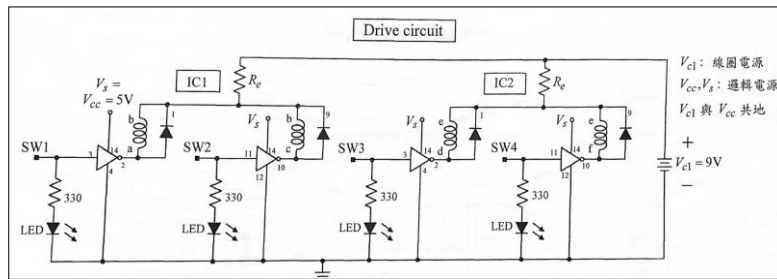


Fig. 2.3 驅動電路接線圖

3. 實驗項目之工作原理(Operation principles) :

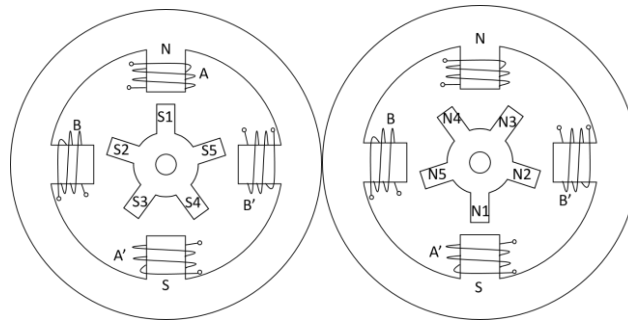


Fig. 3.1. 步進馬達結構示意圖

(1) 步進馬達的驅動原理 :

步進馬達必須依其結構特徵，對各定子之線圈施予特定順序的驅動信號，而調控驅動訊號頻率可改變步進馬達之轉速，而改變驅動信號

之順序則可改變其轉向。以下方馬達為例，我們可以透過變化 A、B 兩個相位的順序以控制轉向，我們可以藉由相位去控制全步或半步。本實驗我們進行兩相全步激磁的操作，透過 A、A'、B、B' 一次產生兩相，使線圈產生磁場以帶動轉軸轉動，如 Fig. 3.1 所示。

步進馬達的定子繞有線圈，由驅動電路供給適當方向及大小的電流予以激磁，產生磁極於馬達齒部，其所產生磁極的極性由電流方向決定。

而為使反應時間縮短，我們有以下兩種做法：

- a. 外加電阻(被動式)：藉由加入額外電阻以降低時間常數，提高電流上升之速度。但此種做法必須增加電壓以維持電流大小。
- b. 增壓(主動式)：加大電壓，提升電流上升速率以降低反應時間。

步進角計算公式：

$$\theta_s = \left| \frac{360^\circ}{N_s} - \frac{360^\circ}{N_r} \right| = \left| \frac{360^\circ}{40} - \frac{360^\circ}{50} \right| = 1.8^\circ$$

(2) 邏輯電路原理：

- a. 利用 IC 555 以產生脈衝波輸出 clock 訊號，以外接電容及電阻調整 time constant，藉此改變 clock 的頻率。
- b. clock 訊號接給 IC 7400，其中 IC 7400 可執行 reset/start 的動作，以控制 counter 停止或開始。
- c. 使用 3 個 IC 7493 做為 counter (12 bits)，並使用 3 個 IC 7485 做為 comparator (12 bits)，持續比較兩者數字，若兩者數字相同，則回傳信號給 IC 7400 停止計數。
- d. IC 74138 為三轉八 decoder，解碼後之訊號進入 IC 7420，IC 7420 之輸出即為步進馬達激磁順序所需之控制訊號。
- e. IC 2068B 為馬達加上飛輪二極體，使電感在消磁時能夠順利導通。

4. 實驗步驟(Experiment procedure) :

- (1) 依照接線圖 12 及圖 14 接線，按照：Clock generator → Counter → Decoder → Drive circuit → Motor 之順序接線。 $V_{CC} = V_S$ 與 V_{C1} 必須共地，另外 Decoupling capacitor 要記得接上。
- (2) 每接完一單元，即需要測試其正確性並偵錯。
- (3) 在隔離測試時，必須將一些控制線先 disabled，才能夠正確偵測。
- (4) 以 LED 觀測時，須將 IC 555 的 Clock 頻率降低；而當使用示波器觀測時，則須將頻率調高。
- (5) 以示波器檢查 SW1、SW2、SW3、SW4 的訊號順序。
- (6) 接完線路後，觀測 LED 的亮燈順序，若順序正確，則電路大致無誤。
- (7) 裝上馬達並觀測其轉動狀態，以確認其轉動正常。(正反轉都要測試)
- (8) 量測馬達直流電阻 R_C 。
- (9) 先將 R_e 拔掉，調整可變電阻以改變 clock 頻率，在馬達能正常旋轉的最高速率時，紀錄 clock 頻率以及馬達的轉速。
- (10) 調整 clock 頻率，並接上示波器以顯示 clock、 V_{ba} 、 I_{ba} 的波型。
- (11) 使用被動式電流增速策略，將 R_e 接回電路中，並升壓至 18V，重複步驟(9)、(10)，紀錄其實驗結果。
- (12) 使用主動式電流增速策略，將 R_e 拔掉，升壓至 12V，重複步驟(9)、(10)，紀錄實驗結果。

5. 測試結果(Experimental results) :

(1) 直流電阻 R_C 量測結果 :

$$R_C = 74.56 \text{ ohm}$$

(2) 全步順時針 (IC 74138 接 $V_{CC} = 5V$) :

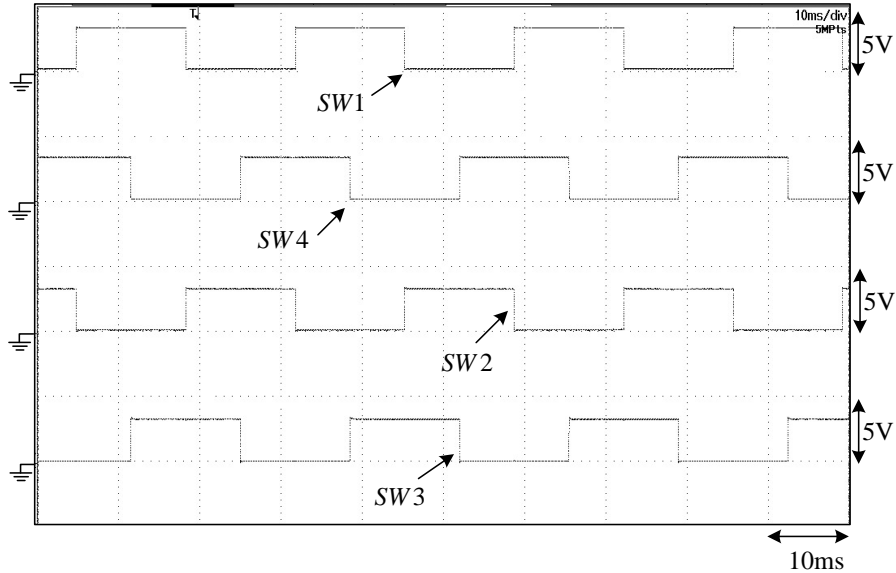


Fig. 5.1. Measured signals of $SW1, SW2, SW3, SW4$ in CW mode.

(3) 全步逆時針 (IC 74138 接 GND) :

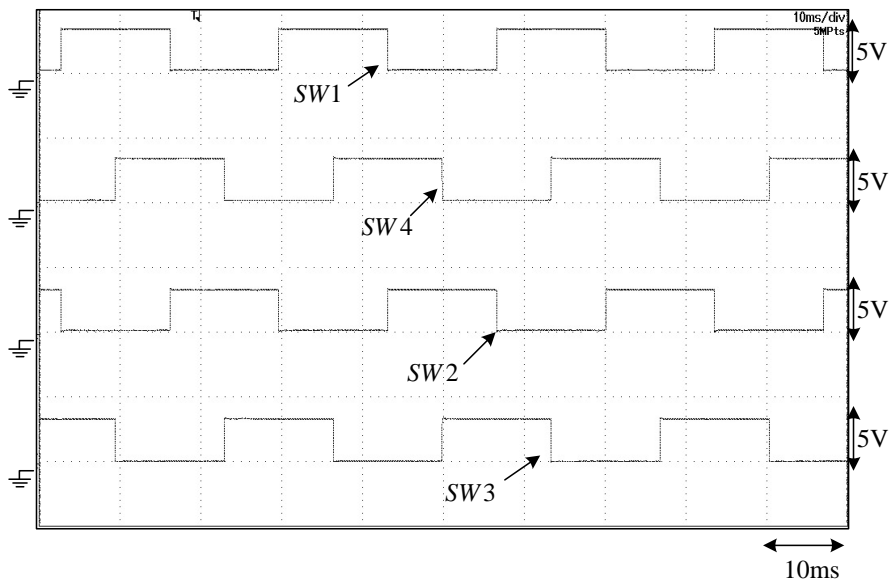


Fig. 5.2. Measured results of $SW1, SW2, SW3, SW4$ in CCW mode.

(4) $V_{C1} = 9\text{ V}$ without R_e :

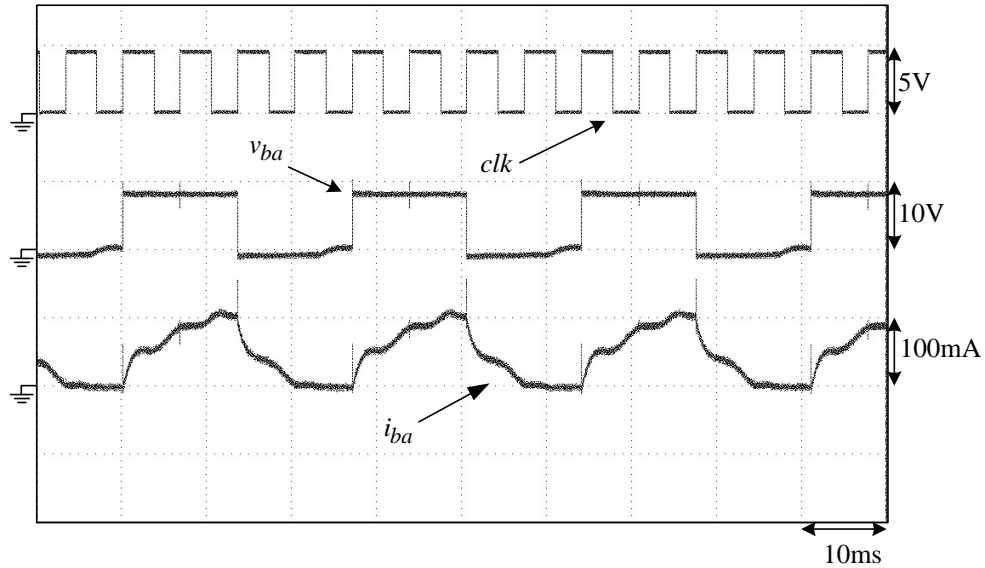


Fig. 5.3. Measured results of *clk*, *v_{ba}*, *i_{ba}*.

(5) $V_{C1} = 12\text{ V}$ without R_e :

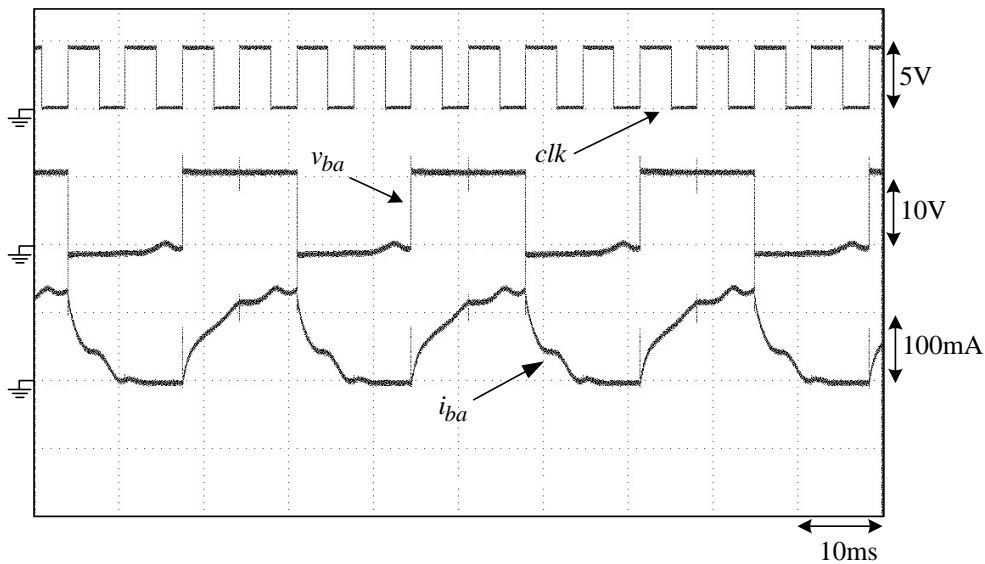


Fig. 5.4. Measured results of *clk*, *v_{ba}*, *i_{ba}*.

(6) $V_{C1} = 18V$ with R_e :

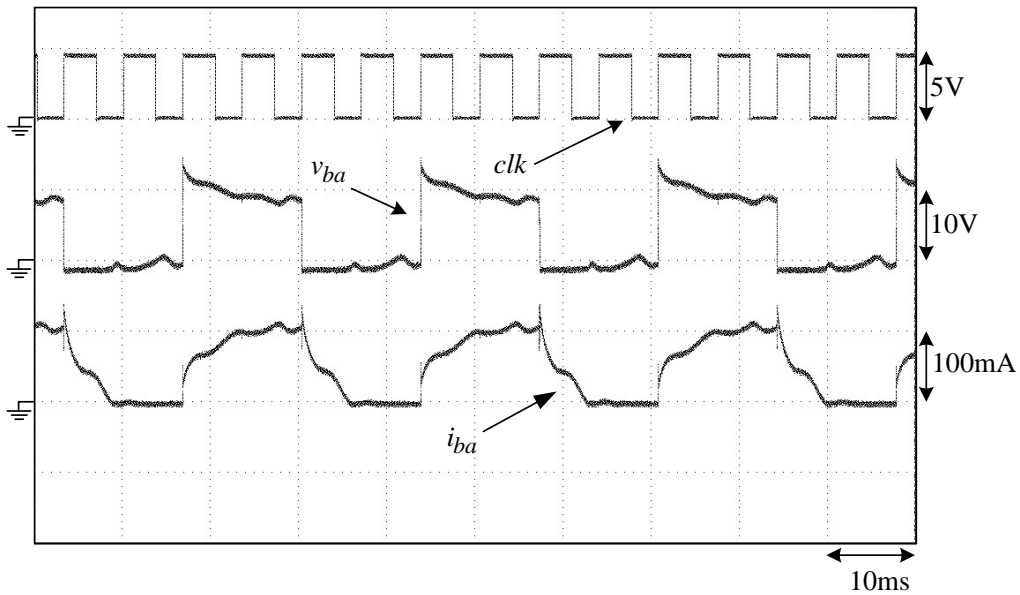


Fig. 5.5. Measured results of clk, v_{ba}, i_{ba} .

6. 結果分析(Analysis for the results) :

(1) 由 Fig. 5.1 整理出 table 6.1 :

SW1	1	1	0	0
SW4	1	0	0	1
SW2	0	0	1	1
SW3	0	1	1	0

table 6.1

此為順時針(CW)旋轉之訊號順序。

(2) 由 Fig. 5.2 整理出 table 6.2 :

SW1	1	1	0	0
SW4	0	1	1	0
SW2	0	0	1	1
SW3	1	0	0	1

table 6.2

此為逆時針(CCW)旋轉之訊號順序。

- (3) 在 $V_{C1} = 9V$ without R_e 的條件下，提高 clk 頻率使馬達能在最快轉速下正常運轉所測量之頻率為 437Hz。利用下列公式計算出馬達轉速為 131.6 rpm：

$$\frac{1.8^\circ}{360^\circ} * 437 * 60 = 131.6(rpm)$$

- (4) 在 $V_{C1} = 18V$ with R_e 的條件下，提高 clk 頻率使馬達能在最快轉速下正常運轉所測量之頻率為 610Hz。利用下列公式計算出馬達轉速為 183rpm：

$$\frac{1.8^\circ}{360^\circ} * 610 * 60 = 183(rpm)$$

比較(3)與(4)的結果，我們可以發現馬達轉速明顯提升，這是因為外加的 R_e 降低了時間常數，提升了電流的上升速度，此法為被動式電流增速策略，但缺點是因為增加了 R_e 導致損失也會提升。

若是比較 Fig. 5.3 和 Fig. 5.5，也可以清楚觀察到在被動式電流增速策略(Fig. 5.5)中電流的速度變化提升，但附帶的電壓訊號變得較不穩定，這是因為電流變化速度的提升導致電感產生電壓突波。

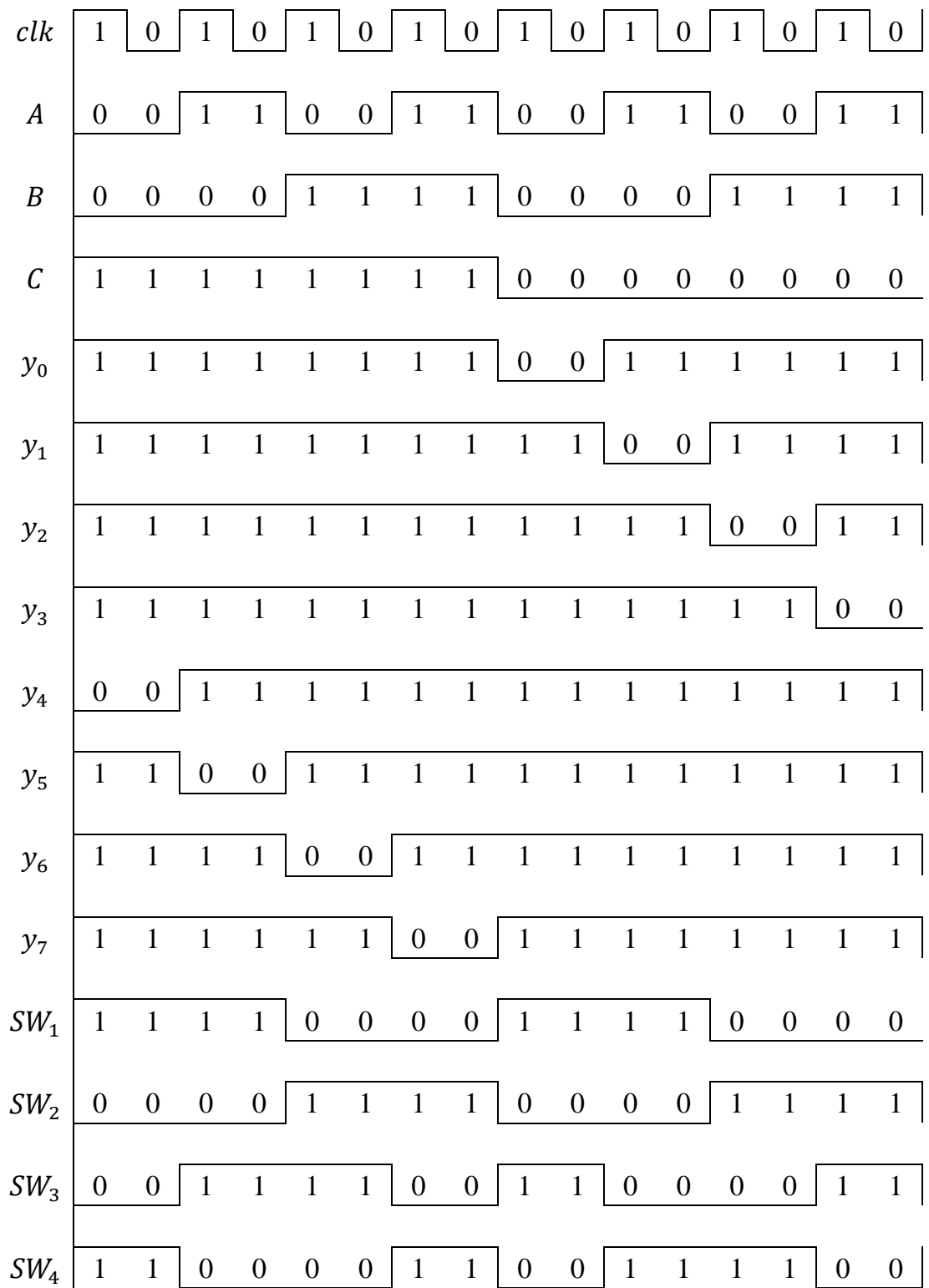
- (5) 在 $V_{C1} = 12V$ without R_e 的條件下，提高 clk 頻率使馬達能在最快轉速下正常運轉所測量之頻率為 703Hz。利用下列公式計算出馬達轉速為 210.9rpm：

$$\frac{1.8^\circ}{360^\circ} * 703 * 60 = 210.9(rpm)$$

比較(3)、(4)、(5)的結果，可以發現在(5)的條件下轉速最高，而(5)為主動式電流增速策略，此法大大提升了電流的上升速度，但要注意不能超過線圈之電流額定值。

比較 Fig. 5.3 和 Fig. 5.4 也能佐證以上論述，在 Fig. 5.4 中電流上升速度以及最大電流明顯高於 Fig. 5.3 的數據。

(6) 邏輯分析波形圖



7. 問題、討論與心得(Problems, discussion, comments)：

這次實驗對於我來說是再一次的複習步進馬達相關的驅動控制與運轉特性。雖然之前在電動機械正課時就已經操作過步進馬達的相關實驗，但本次的實驗過程中我明顯感受到過去半年來我有所成長，不管是對於操作器材的熟悉度，抑或是組裝電路的速度，在實驗過程中我都更加得有自信，並且更快速的完成，這都要歸功於專題的訓練以及實驗室學長們與教授的悉心指導。

步進馬達目前已廣大運用在電腦的周邊設備，但大多都是在負載所需轉矩不大的應用上。我認為步進馬達這種使用開迴路即可的精密定位控制特性在成本上是相當大的優勢，未來若是可以提升其負載轉矩並運用在工業大型機器的話，應該又是另一個產業的革新。