

數位實驗二 步進馬達控制電路設計

【目的】

設計步進馬達的控制電路

- 了解步進馬達運轉原理
- 了解 ULN2003L 工作原理
- 了解如何由數位電路的小電流推動外部元件，與如何使用緩衝元件保護精密 IC，以免遭受外部大電流燒毀

【實驗背景】

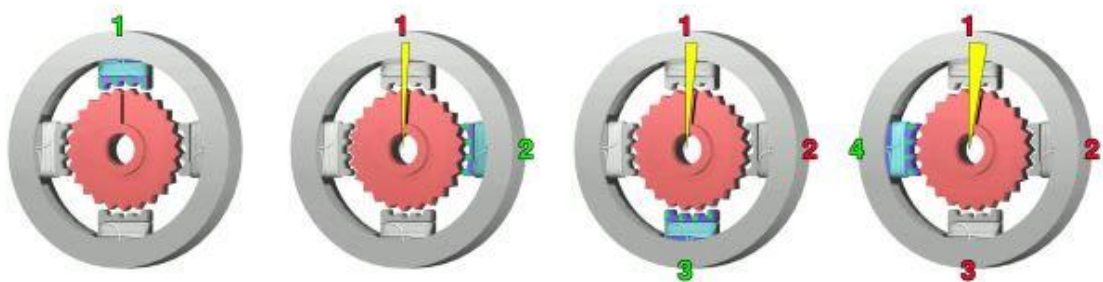
Verilog 設計經驗、除頻器與狀態機觀念

【原理與說明】

1. 步進馬達運轉原理

步進馬達是最常用的小型馬達，在許多電腦周邊設備上都可以看到其應用，例如：磁碟機的磁軌控制、定位控制、印表機列印和送紙的控制。

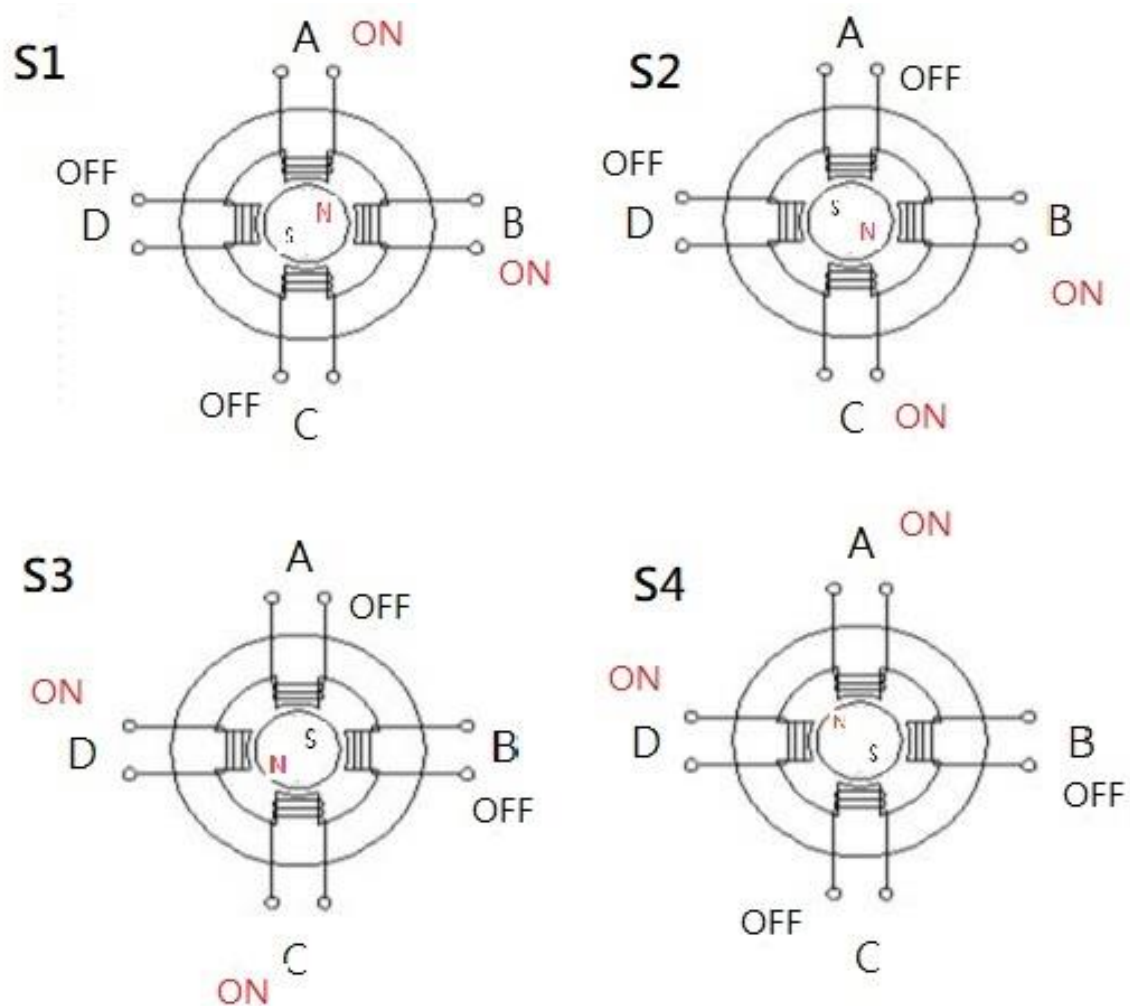
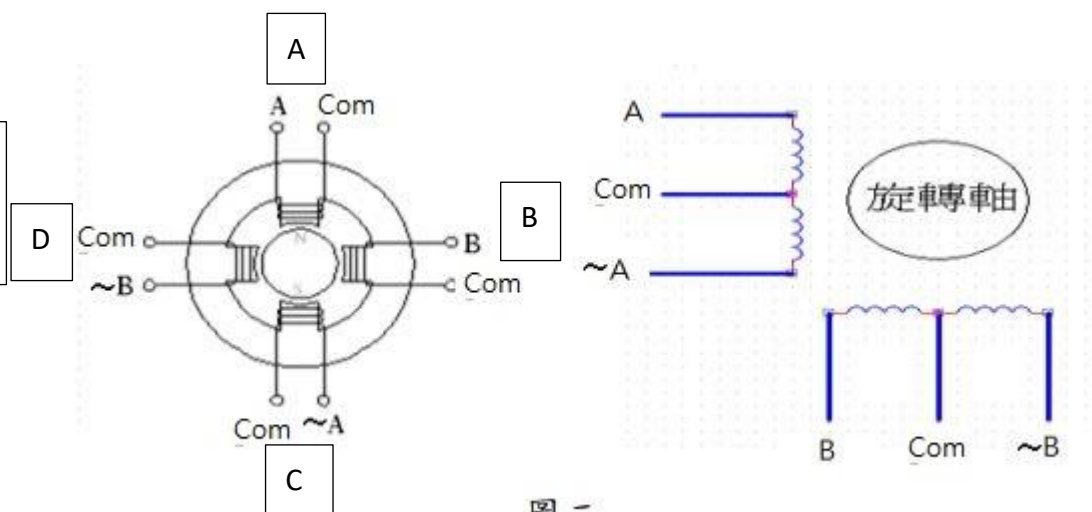
馬達又叫作電動機，是利用電場和磁場的交互作用，將電訊號轉換成機械運動，也就是利用定子與轉子線圈上的電磁場變化產生磁力，推動轉子，如果兩個磁場擺成相互垂直的結構，因為同極相斥、異極相吸的作用，會在轉子上產生作用力而產生旋轉的運動，我們先以定子上有四組線圈的結構為例，當我們對四組線圈分別控制，每次只選擇其中一組的線圈動作，當四組線圈依序輪流動作時，步進馬達就可以做到旋轉的動作，如圖一所示。

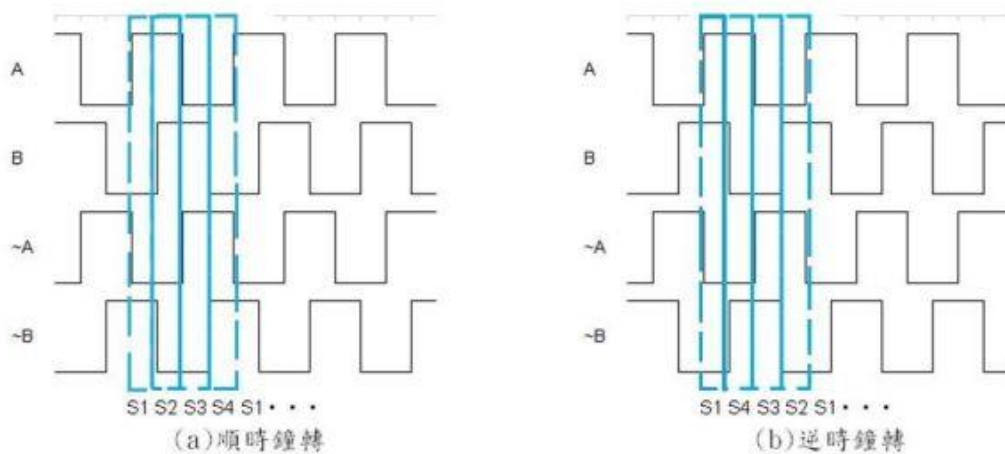


圖一

圖二為步進馬達的基本構造，此次的實作使用二相激磁，一次會同時有兩組定子線圈激磁；激磁順序如果為(A,B) → (B,C) → (C,D) → (D,A)，我們可以觀察到一開始磁針指向 AB 間 → BC 間 → CD 間 → DA 間，所以馬達是以順時鐘方向旋轉，反之以逆時鐘方向旋轉。觀察兩相激磁，發現 A 跟 C 以及 B 跟 D 永遠都是反向的關係，所以命名 C 為 $\sim A$ ，D 為 $\sim B$ 。波形圖如圖三所示。

圖二的 Com
代表的是:
common



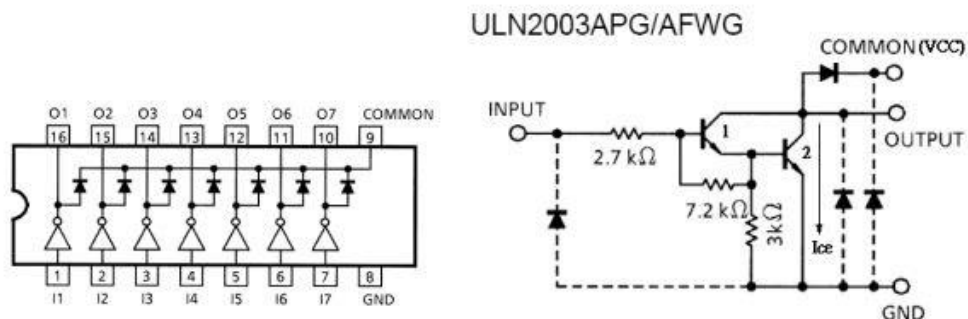


圖三

2. ULN2003L 工作原理

ULN2003L 是一顆由七組達靈頓電晶體組成之 IC，如圖四所示(又稱達靈頓對)，達靈頓對是結合兩個雙極性電晶體的裝置如圖五，可進一步放大電流。達靈頓對在此電路有兩種用意：(1)強化輸出電流。(2)將馬達的大電流導向地，達靈頓對相當於 NOT 功能。

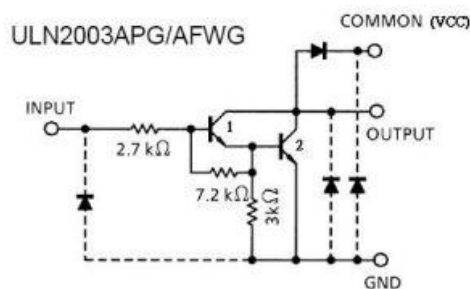
達靈頓對的 input 端連接 DE1 的輸出，當 DE1 輸出高電位時，則此時兩個 BJT 為主動區，第二個 BJT 將電流 I_{CE} 導通流到接地，輸出 output 為低電壓。



圖四

圖五

當 DE2 輸出低電位時，則此時 BJT 為截止區沒有電流導通，電流 I_{CE} 將沒有電流，所以電源將直接提供輸出端 output 的負載，輸出 output 為高電壓如圖六。



圖六

這次實驗使用 ULN2003L 腳位 COMMON 接 VCC(12 伏特)，GND 接地，輸入端為腳位 1 至腳位 7，輸入端則是連接 DE1 實驗板的 GPIO，輸出端為腳位 10 至腳位 16，輸出端則連接步進馬達。

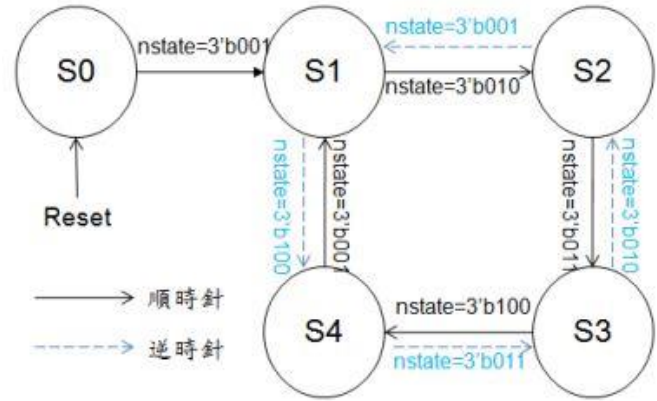
圖七為步進馬達的輸入腳位，由 DE2 所產生的 A、B 相位輸入到步進馬達。



圖七

3. 使用有限狀態機實現步進馬達控制電路

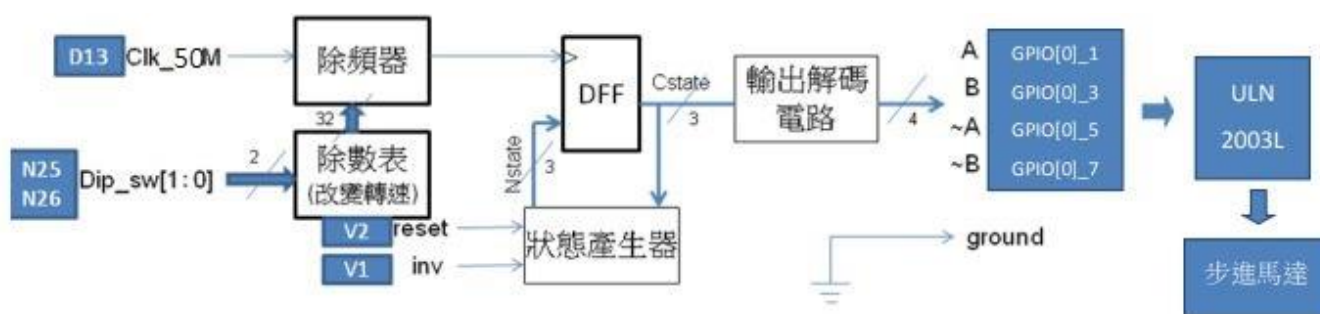
控制原理為有限狀態機，一開始我們的初始狀態是 S0，之後每個時脈來時 必定轉換為下個狀態，每個狀態必定激發兩組線圈，如圖三波型所示。圖八為狀態轉移圖。



圖八

狀態	輸出
S0	A=0,B=0,~A=0,~B=0
S1	A=1,B=1,~A=0,~B=0
S2	A=0,B=1,~A=1,~B=0
S3	A=0,B=0,~A=1,~B=1
S4	A=1,B=0,~A=0,~B=1

【實作】



實作步進馬達控制電路，並以 ULN2003L 提供大電流推動步進馬達。此結果 將可改變馬達轉速與旋轉方向。

此架構如上圖所示，包含：

Input 腳位：clk_50M、Dip_sw[1:0]、reset、inv

Output 腳位：A、B、~A、~B

除頻器：除數可由 32Bits 輸入，改變除數值，藉以輸出不同頻率。

除數表：可由 2Bits 輸入改變輸出值，輸出值如下表。

輸入	輸出(除數)
2'b00	512K
2'b01	1024K
2'b10	2048K
2'b11	4096K

Dff：

栓鎖狀態機之狀態。(P.S. 若要自行建構此元件，請勿命名為 DFF。)

狀態產生器：

參考原理說明：若 reset 為 1 時，狀態恆為 S0，否則 inv 為 0 時，狀態為 S1→S2→S3→S4，inv 為 1 時為反向，狀態為 S1→S4→S3→S2。(可參考圖八)

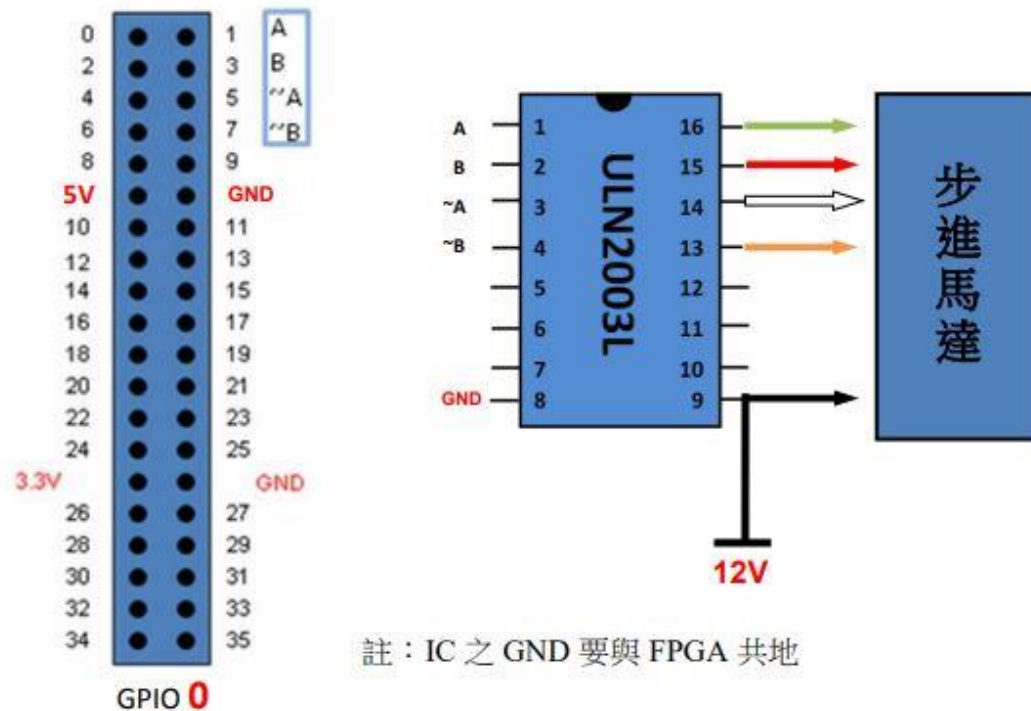
輸出解碼電路：

依照當前狀態，產生 A, B, ~A, ~B 之馬達控制訊號(參考圖三波形)。

注意事項： 助教會提供排線與針腳連接 GPIO 與麵包板，所以 assign pin 時請依照下圖的腳位圖

編譯電路前請記得設定 **input tri-state**，被助教發現沒設定者，一次扣此實驗 10%。

電路板之腳位圖：



找腳位請看各版子的附錄，若仍是找不到請找 User_manual

注意事項：

步進馬達的 12V 請接電源供應器，並設定最大電流為 1.6 安培。

額外 bonus：

做出任何有創意或額外的功能。例如：利用可以顯示馬達轉速、使用 push button 改變馬達轉速等。

此次實驗步驟如下：

1. 看 DEMO
2. 驗證各模組波形
3. 用示波器測量步進馬達之控制訊號，並請助教驗收才算完成
4. 領取電路板所需元件+程式碼下版子驗證
5. 回收電路板元件(ULN2003，排線，排針)

實驗報告：報告內容包含：整體架構圖、整體架構之波形模擬（解釋如何驗證功能正確）、各模組的 Verilog code 及註解(記憶體模組除外)、創意介紹（有實作創意者）以及實驗心得。