

步進馬達工作原理及 驅動實例

步進馬達是一種將電脈衝訊號轉換成相應角位移或線位移的電動機。本文詳細講解了步進馬達的工作原理，以及驅動步進馬達的方法，並給出了一個使用 Arduino Mega 結合 ADI 的 TMC5130-EVAL 來驅動步進馬達的設計實例。本文希望可以幫助初學者，瞭解步進馬達的工作原理，以及如何驅動步進馬達。然後給出一個設計實例，如何使用 Arduino Mega 結合 ADI 的 TMC5130-EVAL 來驅動步進馬達。

■作者：Alan Yang

什麼是步進馬達？

步進馬達是一種將電脈衝訊號轉換成相應角位移或線位移的電動機。

對於步進馬達，每輸入一個脈衝訊號，轉子就轉動一個角度或前進一步。其輸出的角位移或線位移與輸入的脈衝數成正比，轉速與脈衝頻率成正比。因此，步進電動機又稱脈衝電動機。

下面看一個簡單的雙極馬達：

圖 1：雙極馬達

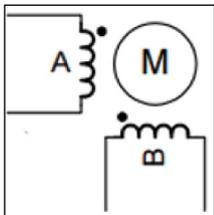
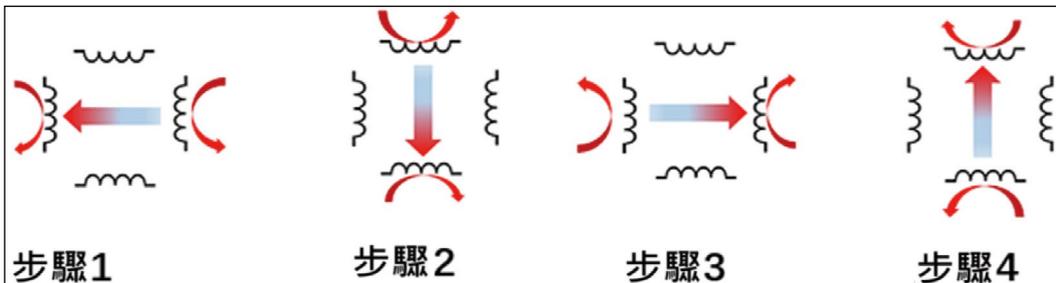


圖 2：雙極步進馬達



圖 3：步進馬達轉動四個步驟



雙極步進馬達有四條電線和兩個線圈。要使其旋轉，需要透過線圈發送電流。每條電線都需要能夠被高低驅動。以下是如何驅動電流使步進馬達旋轉。

要理解為什麼這樣做，請考慮一個只有四個步驟的簡單步進馬達。在第一階段，它將磁體與第一線圈對齊。下一步將磁體旋轉 90 度。透過第一線圈反向發送電流會反轉磁體極性。相反的線圈被連接，但相對於中心磁體產生相反的磁場。

當然，大多數步進馬達的步數超過 4 步。

你的標準步進馬達每轉 200 步，以這種方式旋轉馬達稱為全步進。一旦你完成了全步工作，半步是非常簡單的。你可以同時透過兩個線圈發送電流，這將使解析度加倍。

步進馬達驅動器也可以使用

微步進，微步進調節通過線圈的電流。典型的馬達控制器可以在每一個完整的步驟中執行 16 個微步驟。一些晶片負責調製電流，但較舊的晶片需要為其驅動的步進馬達“調諧”。微步進進一步將整個步進劃分為 256 微步進，使典型的 200 步進馬達變成 51200 步進馬達！微步進還降低了馬達的噪音，使其運行更平穩、更

圖 4：完整步驟 1 和 2 之間的半步

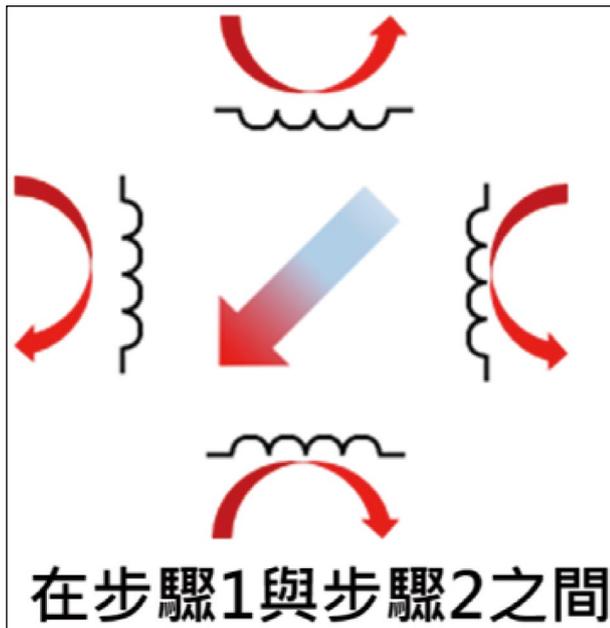
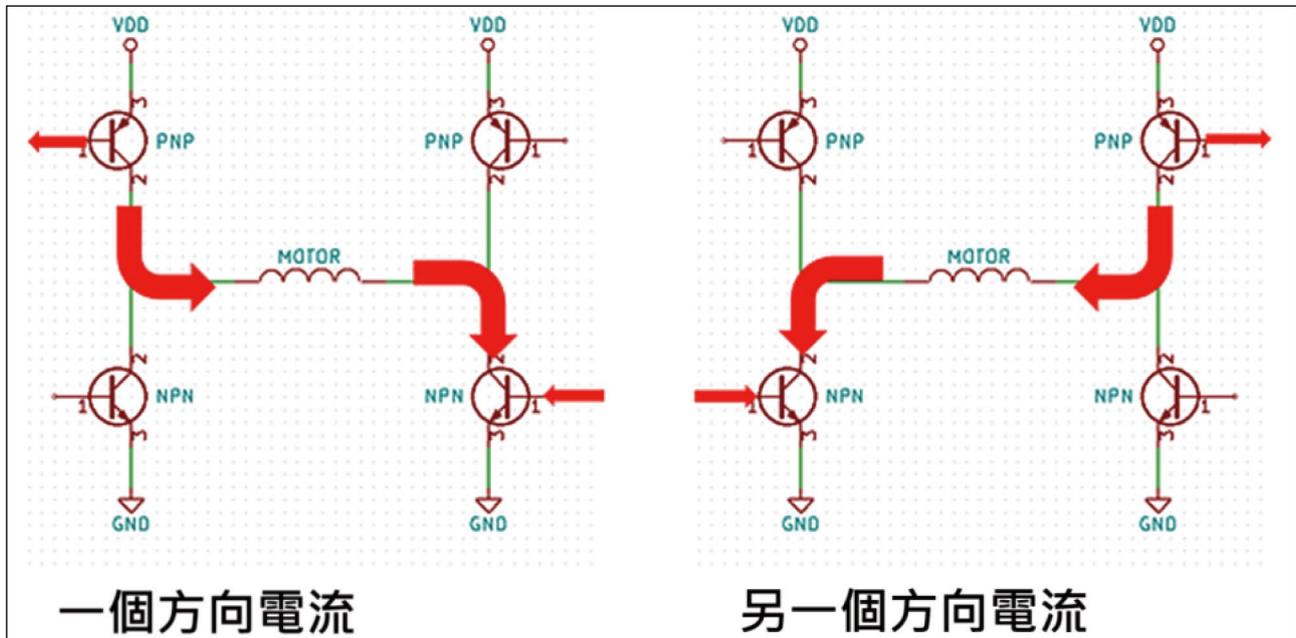


圖 5：線圈中的電流方向



高效率。

如何控制線圈中的電流：

控制通過繞組的電流的最常見設置是使用所謂的 H 橋。它是一組四個電晶體，可以將每條導線拉高或拉低。你也可以用 MOS 電晶體代替電晶體，但佈線會有點不同。該圖顯示了如何透過 H 橋向任意方向發送電流，你只需要

圖 6：必須確保同一側的兩個電晶體不能同時導通

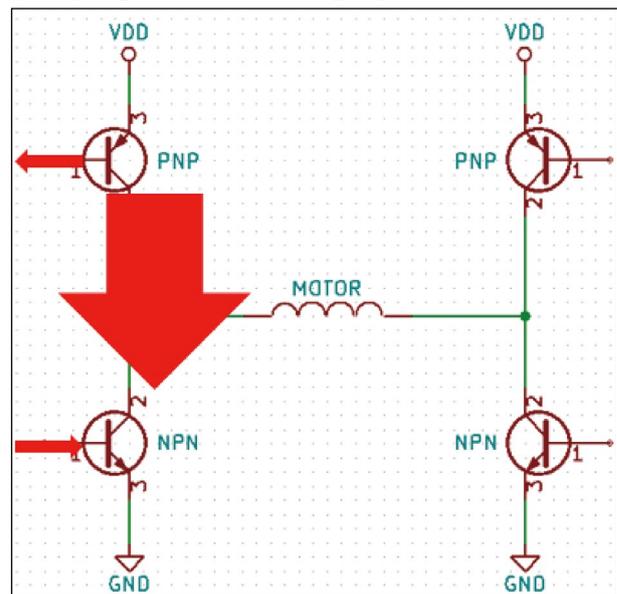


圖 7: 用於保護電晶體的二極體

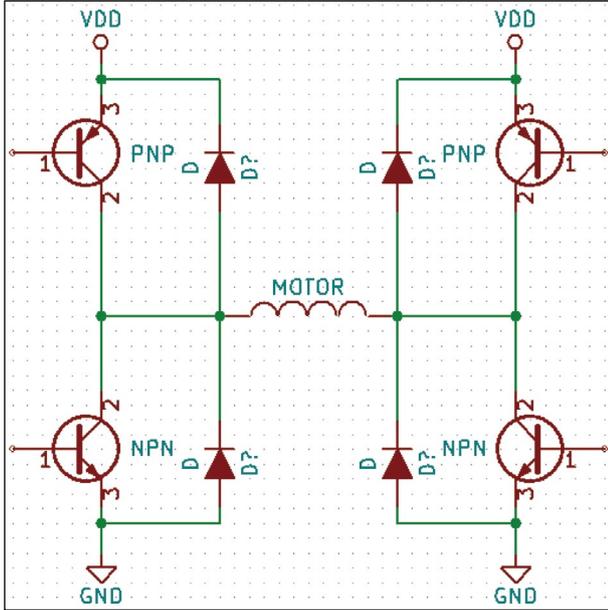


圖 8: 使用另一個電晶體來控制 PNP 電晶體

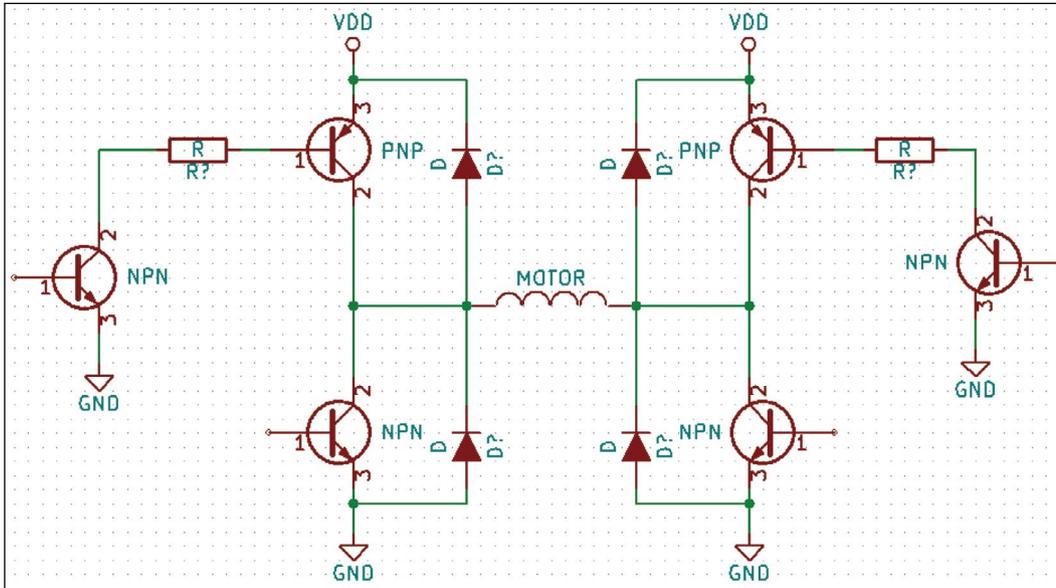
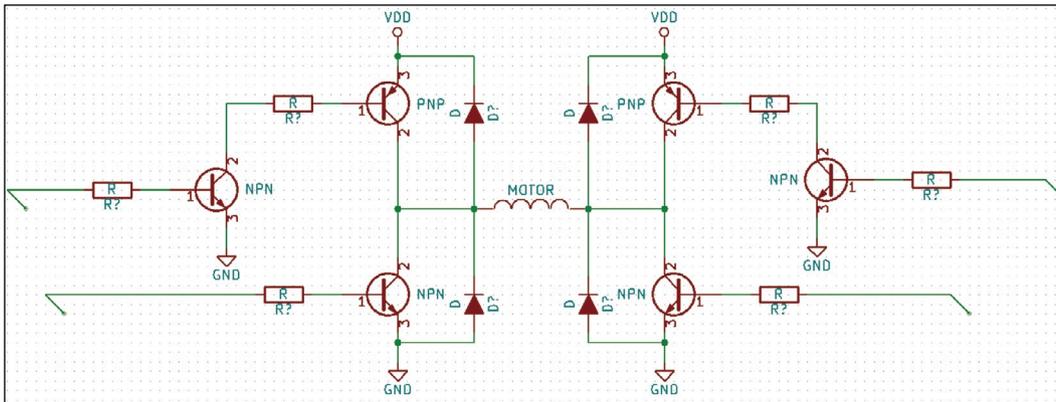


圖 9: NPN 電晶體基極加上的限流電阻



打開路徑中的電晶體。

你必須確保同一側的兩個電晶體不能同時導通，這將透過提供從電源到接地的低電阻路徑使電路短路。你還應注意，電晶體可能需要一段時間才能從接通切換到斷開，除非你知道自己在做什麼，否則不建議快速切換通過線圈的電流。

這仍然不是全貌，旋轉馬達將產生電壓，為了保護電晶體，最好放置二極體。

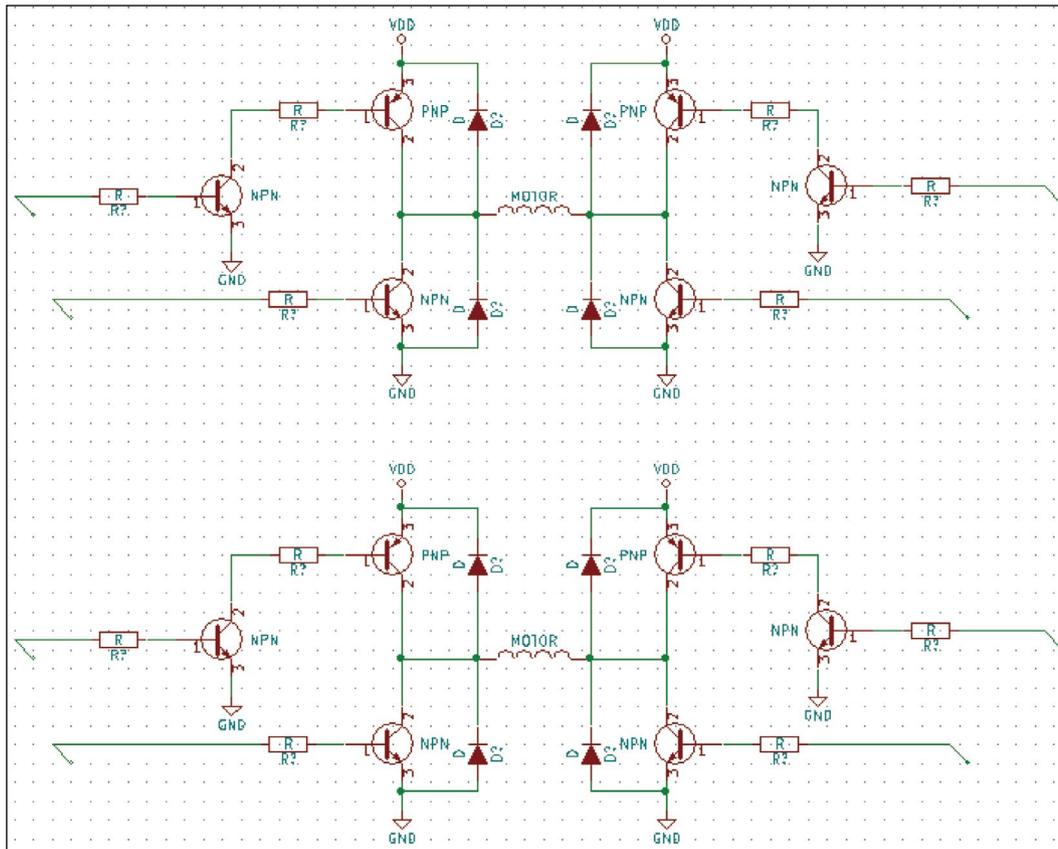
這將防止馬達產生高電壓，這可能會破壞電晶體甚至驅動器。如果驅動步進馬達的電壓高於 MCU 輸出的電壓，則需要添加另一個電晶體來控制 PNP 電晶體。

當你打開額外的 NPN 電晶體時，它將允許電流從 PNP 電晶體的基極 (接腳 1) 流出，進而開啓它，現在所需要的只是所有 NPN 電晶體基極上的限流電阻。

就是這樣！該 H 橋將控制通過其中一個繞組的電流。由於有兩個繞組，我們需要將這個電路加倍。

現在，你可以很好地計算所需的元件。使用雙 H 橋並不是驅

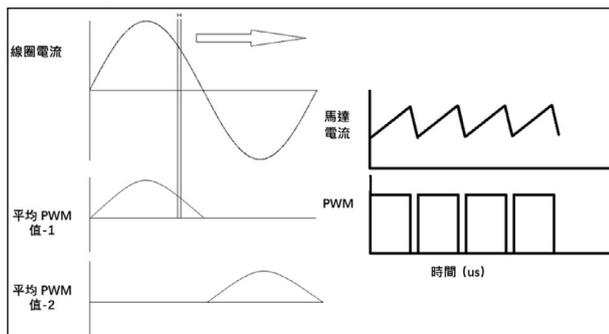
圖 10: 雙 H 橋驅動步進馬達



動步進馬達的唯一方法，你也可以購買步進馬達驅動器，它將內置雙 H 橋（儘管驅動器通常使用 MOS 電晶體和其他技巧）。如果你想減少 BOM 數量（有時獲得更多功能），我建議你看看步進馬達驅動器。你需要查看規格表以瞭解晶片提供的功能，一些晶片只提供電晶體和二極體，而其他晶片則完全控制通過線圈的電流。

微步進：

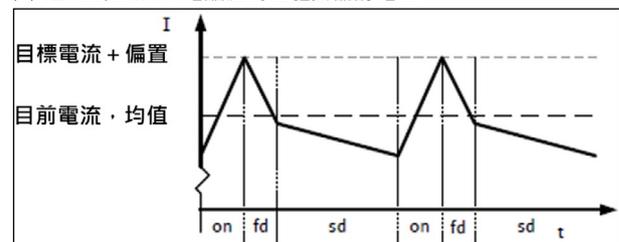
圖 11: 脈寬調製訊號



微步進包括向電晶體發送脈寬調製訊號。這是一種控制馬達線圈電流的簡單方法。預先選擇的 PWM 值被放置在正弦查閱規格表中。典型地，選擇 20-40kHz 的 PWM 頻率。任何低於 20 千赫的聲音，人類耳朵都能聽到。頻率保持低於 40kHz 以提高效率並減少電晶體中的功率消耗。當 PWM 訊

號為高時，電流流過電晶體。當 PWM 訊號低時，電流流過二極體。這是一個非常粗糙的微步進實現，但它給出了它如何工作的一般概念。使用 MOS 電晶體的馬達驅動器可以控制馬達電流降低或衰減的速度。驅動器的電流波形更像這樣：

圖 12: 流經 MOS 電晶體馬達驅動器的電流



必須為其驅動的馬達手動最佳化快速衰減週期和慢速衰減週期。一些新晶片會根據其感應到的電流自動調整衰減週期，但舊晶片可能需要最佳化（或調整）。

步進馬達驅動實例

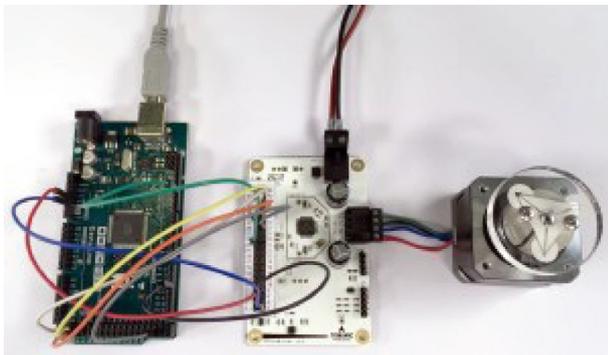
介紹板子：

實例：使用控制板 Arduino Mega 控制步進馬達驅動板 TMC5130-EVAL 來驅動步進馬達。

圖 13: 使用 Arduino Mega 控制步進馬達驅動板 TMC5130-EVAL



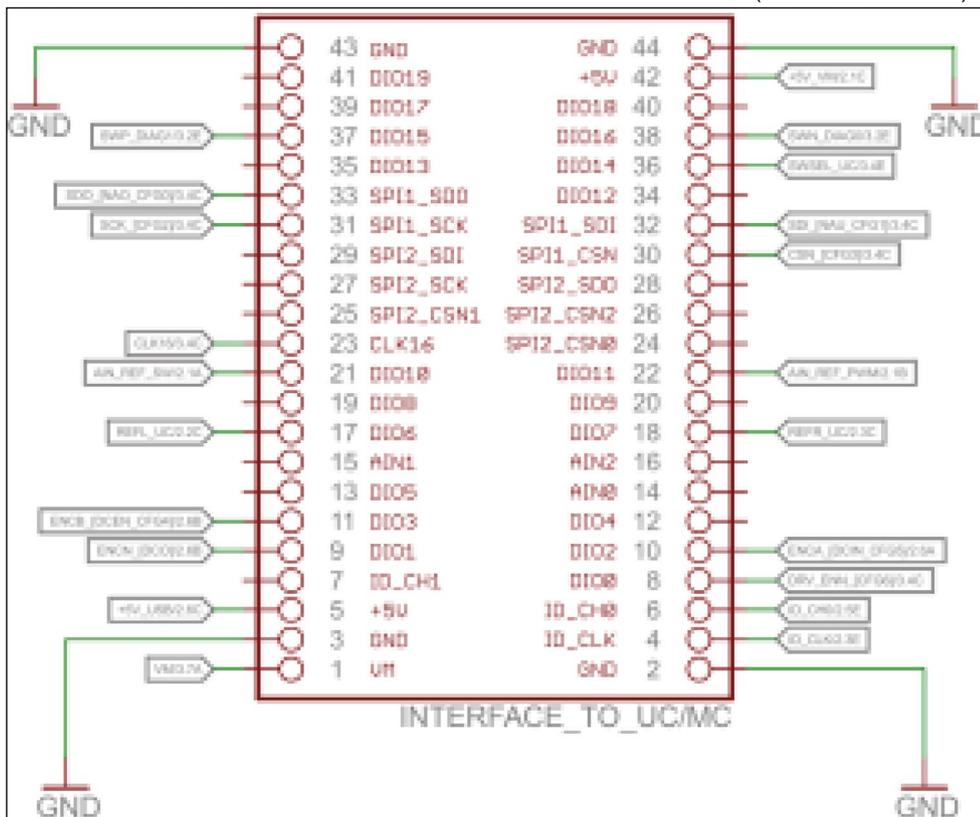
圖 14: TMC5130 與 Arduino Mega 2560 連接



圖片來源於 Trinamic

圖 15: 接腳對應的訊號

(圖片來源於 Trinamic)



控制器：

Arduino Mega 2560 是一款採用 ATmega2560 的微控制器板。它有 54 個數位輸入 / 輸出接腳 (其中 15 個可以用作 PWM 輸出)、16 個類比輸入、4 個 UART (硬體序列埠)、一個 16 MHz 晶體振盪器、一個 USB 連接、一個電源插座、一個 ICSP 接頭和一個重定按鈕。它包含支持微控制器所需的一切；只需用 USB 纜線將其連接到電腦，或用交流到直流適配器或電池為其供電即可開始使用。

步進馬達驅動板：

TMC5130 是一個完全整合的步進馬達驅動器和控制器系統，允許從任何微控制器遠端控制步進馬達。它在硬體上實現了所有即時關鍵任務。一旦配置，馬達可以透過給出目標位置、命令歸航序列或給出目標速度來驅動。使用 TMC5130 的好處

包括：易於使用，使用 256 微步的馬達精度，低馬達雜訊 (無雜訊隱藏斬波器)，無感測器失速檢測 (stallGuard2)，無階躍損耗，dcStep 和 coolStep、UART 或 SPI 控制介面的高效率，高電壓範圍、小外型尺寸，以及低部件數量。

1. 確保 Arduino Mega 與 TMC5130-EVAL 有電壓匹配

如果 Arduino 是 5V 控制板，則必須將

TMC5130-EVAL 上的一個電阻從位置 R3 重新定位到 R8。這將 TMC5130 的邏輯電平設置為 +5V。

2. 連線

圖 14 的纜線顏色

+5V -> 紅色 ; GND -> 藍色 ; SDO -> 黃色 ; SDI -> 橙色 ; SCK -> 白色 ; CSN -> 灰色 ; DRV_ENN -> 黑色 ; CLK16 -> 綠色

接腳對應的訊號，在 Arduino 程式碼的注釋部分記錄了配置。

ARDUINO 程式碼

下面的 Arduino 程式碼不需要任何額外的函式庫。SPI 函式庫是 Arduino IDE 附帶的，該程式初始化 TMC5130 並執行簡單的移動到位置週期。它將根據步進馬達的接線將 200 全步進馬達向一個方向旋轉 10 轉，向另一個方向旋轉 10 轉。請使用 TMC5130 規格表或 TMCL IDE 作為不同暫存器的參考。

```
#include <SPI.h>
```

```
#include "TMC5130_registers.h"
```

```
/* The trinamic TMC5130 motor controller and driver operates through an
```

```
* SPI interface. Each datagram is sent to the device as an address byte
```

```
* followed by 4 data bytes. This is 40 bits (8 bit address and 32 bit word).
```

```
* Each register is specified by a one byte (MSB) address: 0 for read, 1 for
```

```
* write. The MSB is transmitted first on the rising edge of SCK.
```

```
*
```

```
* Arduino Pins Eval Board Pins
```

```
* 51 MOSI 32 SPI1_SDI
```

```
* 50 MISO 33 SPI1_SDO
```

```
* 52 SCK 31 SPI1_SCK
```

```
* 25 CS 30 SPI1_CSN
```

```
* 17 DIO 8 DIO0 (DRV_ENN)
```

```
* 11 DIO 23 CLK16
```

```
* GND 2 GND
```

```
* +5V 5 +5V
```

```
*/
```

```
int chipCS = 25;
```

```
const byte CLOCKOUT = 11;
```

```
// const byte CLOCKOUT = 9; -->
```

```
Uncomment for UNO, Duemilanove, etc...
```

```
int enable = 17;
```

```
void setup() {
```

```
// put your setup code here, to run once:
```

```
pinMode(chipCS,OUTPUT);
```

```
pinMode(CLOCKOUT,OUTPUT);
```

```
pinMode(enable, OUTPUT);
```

```
digitalWrite(chipCS,HIGH);
```

```
digitalWrite(enable,LOW);
```

```
//set up Timer1
```

```
TCCR1A = bit (COM1A0); //toggle OC1A on Compare Match
```

```
TCCR1B = bit (WGM12) | bit (CS10); //CTC, no prescaling
```

```
OCR1A = 0; //output every cycle
```

```
SPI.setBitOrder(MSBFIRST);
```

```
SPI.setClockDivider(SPI_CLOCK_DIV8);
```

```
SPI.setDataMode(SPI_MODE3);
```

```
SPI.begin();
```

```

Serial.begin(9600);

sendData(0x80,0x00000000); //GCONF

sendData(0xEC,0x000101D5); //CHOPCONF:
TOFF=5, HSTRT=5, HEND=3, TBL=2, CHM=0
(spreadcycle)
sendData(0x90,0x00070603); //IHOLD_
IRUN: IHOLD=3, IRUN=10 (max.current),
IHOLDDELAY=6
sendData(0x91,0x0000000A); //
TPOWERDOWN=10

sendData(0xF0,0x00000000); // PWMCONF
//sendData(0xF0,0x000401C8); //PWM_
CONF: AUTO=1, 2/1024 Fclk, Switch amp
limit=200, grad=1

sendData(0xA4,0x000003E8); //A1=1000
sendData(0xA5,0x000186A0); //V1=100000
sendData(0xA6,0x0000C350); //AMAX=50000
sendData(0xA7,0x000186A0); //
VMAX=100000
sendData(0xAA,0x00000578); //D1=1400
sendData(0xAB,0x0000000A); //VSTOP=10

sendData(0xA0,0x00000000); //
RAMPMODE=0

sendData(0xA1,0x00000000); //XACTUAL=0
sendData(0xAD,0x00000000); //XTARGET=0
}

void loop()
{
// put your main code here, to run repeatedly:
sendData(0xAD,0x0007D000); //
XTARGET=512000 | 10 revolutions with micro
step = 256
delay(20000);
sendData(0x21,0x00000000);
sendData(0xAD,0x00000000); //XTARGET=0
delay(20000);
sendData(0x21,0x00000000);
}

void sendData(unsigned long address,
unsigned long datagram)
{
//TMC5130 takes 40 bit data: 8 address and
32 data

delay(100);
uint8_t stat;
unsigned long i_datagram;

digitalWrite(chipCS,LOW);
delayMicroseconds(10);

stat = SPI.transfer(address);

i_datagram |= SPI.transfer((datagram >> 24)
& 0xff);
i_datagram <<= 8;
i_datagram |= SPI.transfer((datagram >> 16)
& 0xff);
i_datagram <<= 8;
i_datagram |= SPI.transfer((datagram >> 8) &
0xff);
}

```

```
i_datagram <= 8;
i_datagram |= SPI.transfer((datagram) & 0xff);
digitalWrite(chipCS,HIGH);
```

```
Serial.print("Received: ");
PrintHex40(stat, i_datagram);
Serial.print("\n");
Serial.print(" from register: ");
Serial.println(address,HEX);
}
```

```
void PrintHex40(uint8_t stat, uint32_t data) //
prints 40-bit data in hex with leading zeroes
{
char tmp[16];
uint16_t LSB = data & 0xffff;
uint16_t MSB = data >> 16;
sprintf(tmp, "0x%.2X%.4X%.4X", stat, MSB,
LSB);
Serial.print(tmp);
}
```

程式碼來源於：Trinamic 部落格 (關於程式碼的問題，可以去 Trinamic 部落格上瞭解更多)

總結：

隨著科學技術的發展，特別是永磁材料、半導體技術、電腦技術的發展，步進馬達在眾多領域得到了廣泛應用，包括工業機器中的汽車儀表和機床自動化生產設備、機器人、安全監控攝影機、醫用掃描器、液壓泵、呼吸機和血液分析儀，以及消費性攝影機、商用機器及電腦周邊等應用。希望這篇文章，可以幫助您瞭解步進馬達的工作原理，以及如何驅動步進馬達。同時驅動步進馬達的技術已經很成熟，善於利用現有的硬體和程式碼，才能事半功倍。

CTA



DigiKey 於 2024 年 EDS 領袖高峰會中榮獲供應商頒發 18 個獎項

DigiKey 於 2024 年 EDS 領袖高峰會中榮獲供應商頒發 18 個獎項

DigiKey 宣布在 5 月 21 日至 23 日於美國拉斯維加斯舉辦的 2024 年 EDS 領袖高峰會中，榮獲供應商夥伴頒發 18 個獎項肯定。

DigiKey 因過去一年的銷售成果、合作關係、協作等因素得到肯定。DigiKey 榮獲諸多獎項，包括：

- Advanced Thermal Solutions, Inc.(ATS) 的 2023 年度經銷商獎
- Eaton 的 2023 年度經銷商獎
- FIBOX Enclosures 的 2023 年度經銷商獎
- Grayhill, Inc. 的 2023 年度經銷商獎
- Micro Commercial Components (MCC) 的 2024 年度優質服務經銷商獎
- NMB 的 2023 年度經銷商獎
- Phoenix Mecano 的 2023 年度經銷商獎
- Sunon 的 2023 年度經銷商獎
- WAGO 的 2023 年度經銷商獎
- Abracon 的美洲執行合作夥伴獎
- Bourns, Inc. 的 2023 年度電子商務經銷商獎
- ECS Inc. International 的 2023 年度最高營收創造獎
- EDAC Inc. 的 2023 年傑出獎，表彰為客戶提供卓越價值的傑出合作與協作
- Everlight Electronics 的 2023 年度卓越銷售表現成就獎
- Kingbright 的 2023 年卓越合作夥伴獎
- RECOM Power 的 2023 年度美洲產品目錄經銷商獎
- ROHM Semiconductor 的 2024 年度網路經銷商獎
- Vishay 的 2023 年度被動元件產品目錄經銷商獎

DigiKey 全球業務開發副總裁 Mike Slater 表示：「DigiKey 很高興獲得各家著名供應商肯定我們共同的成就，我們對良好的供應商合作夥伴關係感到自豪，推動了工程師和設計人員開發創新、改變世界的解決方案。」

DigiKey 於去年擴充產品組合，在核心業務、DigiKey 商城與 DigiKey 物流計畫中，新增超過 450 家供應商。