

BD66FM52xx 馬達控制應用

文件編號：AN0610TC

簡介

相較於傳統直流有刷馬達的電刷因長期磨損的關係需要一直保養維護，直流無刷馬達不使用基於電刷的機械式換相，而是採用電子式換相，配置適當的驅動器來控制馬達換相，可以提高效率且相對安靜與省電，在現代許多家電、工業應用中都可以看到直流無刷馬達。

BD66FM52xx 系列是 8 位元高性能精簡指令集 Flash MCU，高度集成多種特性，專門為無刷直流馬達應用而設計。本應用筆記以 BD66FM5250 為例，說明無刷直流馬達的控制原理及使用方法。

工作原理

馬達控制工作原理簡介(以 BD66FM5250 為例)，分為轉向與轉速控制兩個部分。

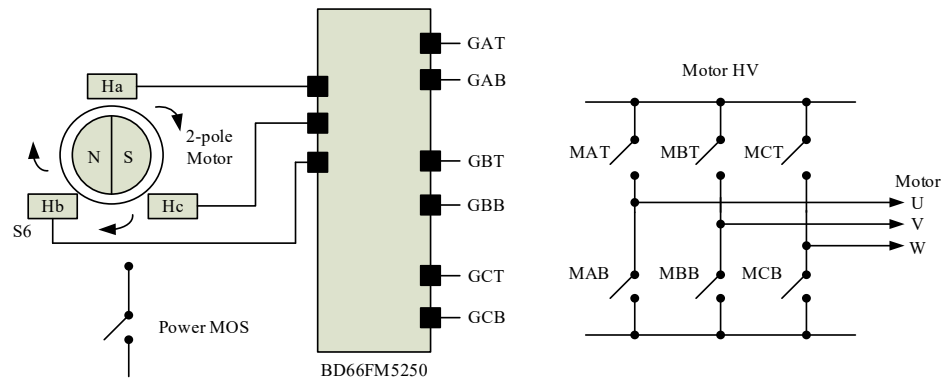


圖 1

轉向控制

圖 1 左側為馬達控制向前轉概念圖、右側為 MOSFET 開關(Mask 功能)方框圖，為了使得馬達運轉，我們必須讓馬達內的轉子動起來，而轉子就是所謂的磁鐵，我們通過控制 MOSFET 開關電路來使得電流流過特定方向的定子繞組(U、V、W 其中兩個)並產生磁場來吸引轉子(磁鐵)，接著通過換相時序來改變開關電路使得電流流過另一個不同方向的定子繞組，並繼續吸引轉子，而這個吸引轉子的過程就是驅動馬達的簡易工作原理，且改變換相時序的組合，即可達到正反轉的轉向控制，在 BD66FM52xx 系列中，我們只需要控制電流的方向即可讓馬達運轉起來。

轉速控制

無刷直流馬達有一個特點，那就是可以自由調變馬達的轉速，對於 User 來說非常方便。其原理為馬達的轉速與磁場大小成正比，而該磁場是由流過定子繞組的電流所產生的，電流越強，磁場越大，馬達轉速也會越快。流過定子繞組的電流大小由外部驅動 MOSFET 開關發出 PWM 訊號(高準位為導通，低準位為斷開)所決定的，當開關導通時，會有電流流過定子繞組；當開關斷開時，則不會有電流。高準位與週期兩者的比例稱為 Duty(占空比)，當 Duty=100%(都為高準位)時代表一個周期內，開關都導通，此時電流最大；當 Duty=0%(都為低準位)時代表一個周期內，開關都打開，此時電流為 0，故我們可以透過調變 PWM 的 Duty 占空比進而調整電流的大小，達到控制馬達的轉速的目的。

功能說明

PWM 功能

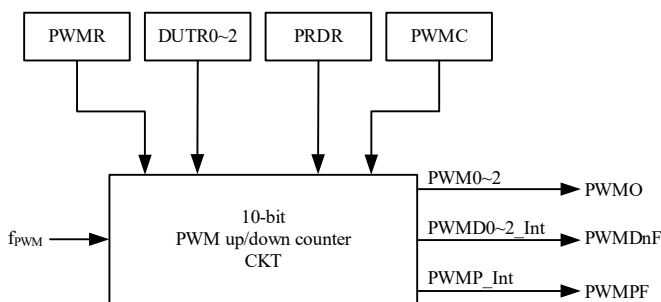


圖 2

圖 2 為 PWM 功能方塊圖，BD66FM52xx 系列提供一個 10-bit PWM 產生器，通過給予相應的 PWM 暫存器設定的 10-bit 值，可輸出 Duty 占空比和 Period 頻率皆可調整的波形(PWMO 與其反相 PWMB，總共六個 PWM 輸出)。在 PWM 功能裡，我們可藉由暫存器設定來調整 PWM 輸出的對齊模式、PWM 的時鐘源選擇、PWM 始能/禁能、PWM 的 Duty 數值、Duty 同步更新功能、PWM 的 Period 數值等相關操作，具體內容可參考規格書。

其中，PRDR、DUTRn 為只寫暫存器，如需要將數據寫入這些暫存器請透過以下方式寫入：寫數據至 DUTRn 或 PRDR 步驟：

1. 寫數據至高位元組暫存器 DUTRnH 或 PRDRH，注意，此時數據僅寫入 2-bit Buffer。
2. 寫數據至低位元組暫存器 DUTRnL 或 PRDRL，此時數據直接寫入低位元組暫存器，同時鎖存在 2-bit Buffer 中的數據寫入高位元組暫存器。

而每次更新 PWM 的 Duty，在數據寫入暫存器後，必須置高 PWMSUF(PWM DUTR0~2 占空比同步更新請求 Flag)，Duty 更新完成後此 Flag 將自動清零。

Mask 整體功能

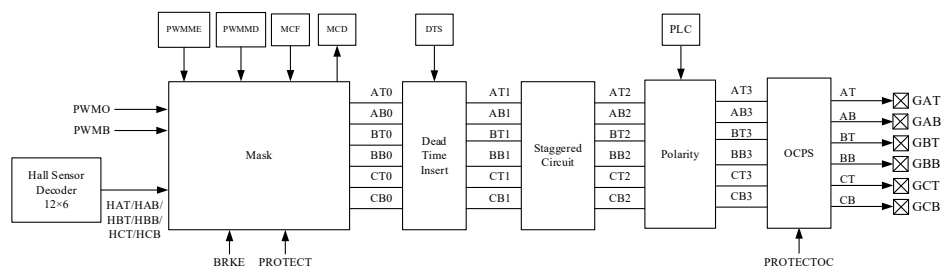


圖 3

上圖為 Mask 整體功能方框圖，BD66FM52xx 系列提供的內部 Mask 電路可細分為控制 MOSFET 開關電路的關鍵 Mask 功能、Dead-Time(死區時間插入)功能、防呆電路、Polarity(極性控制)、馬達保護電路。

除了 Mask 功能之外，其他功能都可選擇致能/禁能，而本應用筆記僅說明 Mask、Dead-Time、防呆電路、Polarity 功能，馬達保護電路礙於篇幅關係，則於其他應用筆記中加以詳細說明。

PWM 產生器會產生 PWMO(PWM0~2)與其反相輸出 PWMB，總計六個 PWM 訊號，並將這六個 PWM 訊號傳送到下一級。Mask 功能是將前一級的 PWM 進行遮蔽，只需要在特定時間讓某幾個 PWM 訊號通過的功能，進而控制馬達的啟動、換相等。

Mask 功能可分為硬體 Mask 模式與軟體 Mask 模式。硬體 Mask 模式為硬體自動切換 MOSFET 的開關功能，使用上不佔用程式執行時間，亦無須額外編寫控制程式，但相較於軟體 Mask 使用彈性較小。軟體 Mask 模式則由 User 自行決定 MOSFET 的開關與否，對於不同馬達的換相、調整 PWM Duty 來說更加方便。

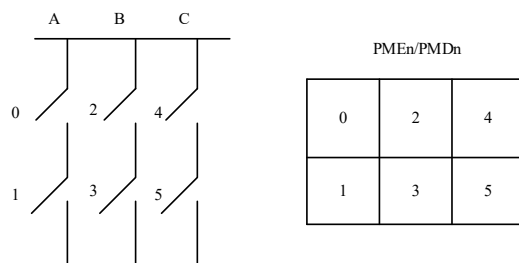


圖 4

圖 4 為軟體 Mask 模式的三相反相器符號及控制位，透過暫存器 PWMME 和 PWMMD 來控制軟體 Mask 電路。暫存器 PWMME 用來控制 PWM 信號是否被 Mask，暫存器 PWMMD 用來決定 MOSFET 開關電路的 On/Off。以下說明以單獨 Mask 模式為例。

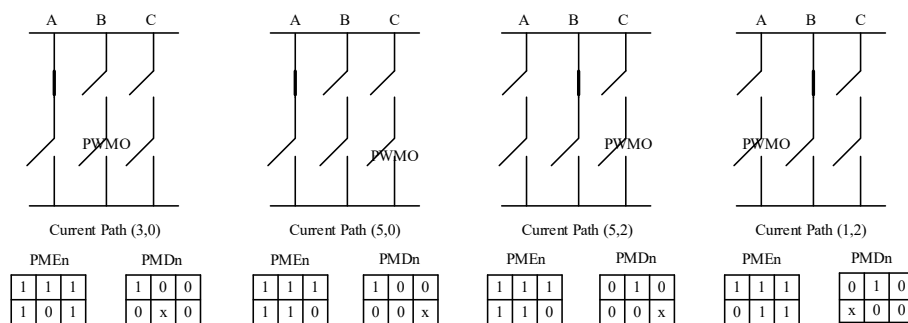


圖 5

由圖 5 得知，PMEn=1 代表 Mask 被致能，PWM 被 Mask；PMEn=0 代表 Mask 被禁能，PWM 能輸出到後級。而 PMDn 則是 PWM 被 Mask 後，才能令 MOS 為導通還是斷開(輸出狀態為 1 還是 0)。以圖 5 左起第一張圖為參考，Mask 電路分為三相(A、B、C)與上下臂(T、B)，總組合稱為六路，實際上電流會由 A 相上臂(AT)、定子繞組 U 相、定子繞組 V 相、B 相下臂(BB)依序流過，路徑如圖 6 所示，而 MOSFET BB 側導通(PWMO 高準位)的導通時間長短等於決定 PWM 的 Duty，當 BB 全開時，Duty=0%，當 BB 全關時，Duty=100%，Duty 控制可參考 PWM 相關章節。

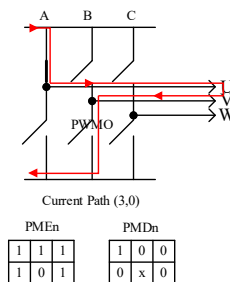


圖 6

註：不可將電流流向設定為同一相的上下臂(如 AT、AB)，此時電流將不會流過定子繞組，而是直接讓 A 相導通，這電流路徑相當於短路，容易造成短路電流貫穿燒毀開關電路上的 MOSFET。BT 與 BB、CT 與 CB 同理，亦不可設定同時閉合。

前面說到 Mask 電路路徑總共有六路，每路剛好對應一個相序，故設定完六路的路徑後，即可驅動馬達，然而每個馬達的相序不盡相同，必須先找到馬達的相序，才能依照該相序來設定外部驅動電路之六路路徑。

以下說明如何找馬達相序，並示範電風扇(12V/30W)之馬達相序查找範例。

前置作業：將馬達的 Hall Sensor(感應轉子位置的感測器)電路與三相電路接在驅動板上、將示波器的四根探棒分別接在 HA、HB、HC、U/V/W，探棒接在 Hall Sensor(HA、HB、HC)上是為了在手動轉動馬達時，可得知轉子會依序經過哪些定子繞組，而第四根探棒接在三相(U/V/W)之中的一個相位，並且可根據轉子轉動而造成的反電動勢來推算該相的時序。完成前置作業後，我們就可以開始來找相序。首先，我們驅動板上電後，手動將馬達朝順時鐘方向轉動，此時示波器會跑出圖 7 波形，訊號 1、2、3 分別是 HA、HB、HC，訊號 4 則是定子繞組 U 相端，因為手轉馬達而產生的反電動勢，呈現出一個馬鞍波形(麥當勞波形)。



圖 7

接著取出其中一個周期(基本上，我們習慣從訊號 1 的高準位到低準位的一個周期來取用)，將其分割出六段代表六個時序(每遇到訊號 1~3 的上升緣或下降緣就劃分一次，總共六次)，可以得到圖 8。再來，我們根據定子繞組 U 相的反電動勢(綠色馬鞍波型)來填上 Hall Sensor 的 A 相時序。看到圖 8 中馬鞍波的峰值可以填上 High(圖中的 H)，而無反電動勢的地方則填上 Low(圖中的 L)，爬升與下降的地方為 Floating(圖中的 X)，可得到圖 9，接著再轉換成 A 相的外部驅動開關時序圖，可得到圖 10。

註：上述所提到的 High & Low 代表外部驅動 MOSFET 的導通與關斷，意指該相的 MOSFET 導通時，馬達會運轉至相對應的位置(由 Hall sensor 來得知位置)。

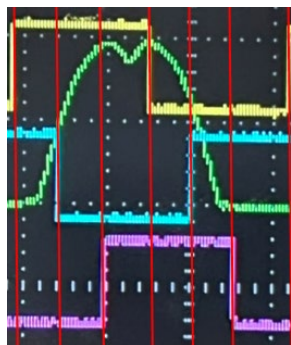


圖 8



圖 9



圖 10

一般馬達有三個相位，我們已經完成 A 相，尚需要 B 相、C 相的時序圖，依照上述的步驟完成後可得到下面三個圖(A、B、C)。

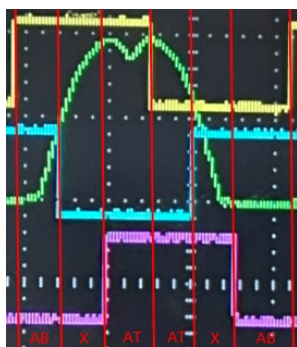


圖 11

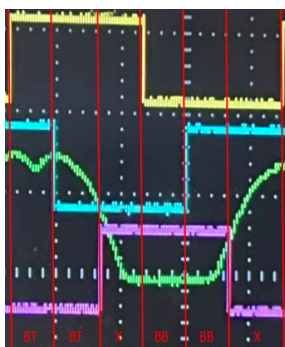


圖 12

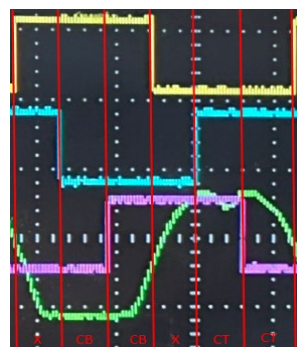


圖 13

完成三相時序後就可以建立出下表。

Time	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
HA	1	1	1	0	0	0
HB	1	0	0	0	1	1
HC	0	0	1	1	1	0
HC : HB : HA	3	1	5	4	6	2
A 相	AB	X	AT	AT	X	AB
B 相	BT	BT	X	BB	BB	X
C 相	X	CB	CB	X	CT	CT

依照該表當開關電路設定 AB、BT 導通時，轉子會被吸引到 HA、HB 感應的位置，即第一個相序；當開關電路設定 BT、CB 導通時，轉子會被吸引到 HA 感應的位置，即第二個相序，以此類推。完成六個相序後，會重新設定為 AB、BT 導通，轉子將會往下一個週期轉動。至此，我們已經找到馬達的相序，亦稱為「六步換相」。

每個馬達的內部構造不盡相同，故相序不一定會相同，所以找相序是驅動馬達的首要任務。當成功驅動馬達後，將示波器接上以下訊號以幫助我們更理解馬達運轉：訊號 1(Hall Sensor A)、訊號 2(AT)、訊號 3(AB)、訊號 4(U 相的相電壓)，如圖 14 所示。其中 AT、AB 是 A 相的上臂與下臂 MOSFET 開關。

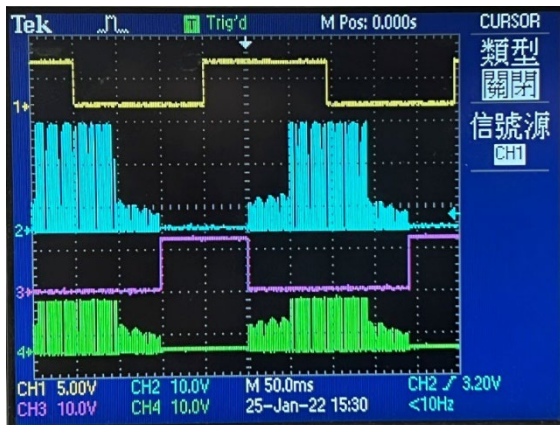


圖 14

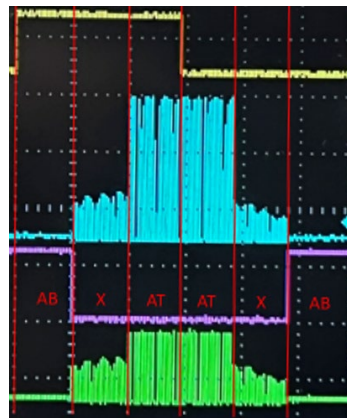


圖 15

可以發現 HA、AT、AB 的關係與先前提到的 A 相的相序符合，如圖 15 所示。而 AT 的峰值電壓達到 24V 則是因為需要進行升壓才可使 MOSFET 導通。另外，也可以看到 A 相選擇上臂輸出 PWM，即 AT 輸出 PWM，調整 AT 的 PWM Duty 時間則可以控制馬達轉速。定子繞組 U 相的相電壓峰值為 12V 且呈現梯形波，而 PWM Duty 則是跟隨 AT 開關而變化，當 A 相的相序不為 AT 或 AB 導通時，此時 U 相的相電壓則為 Floating(梯形波的上升或下降)。

Dead-Time(死區時間插入)功能

死區時間功能是確保外部驅動電路的電晶體對(如 AT、AB)在轉態時不會瞬間同時導通，以防產生短路電流。死區時間可通過應用程式控制在 $0.3\mu s \sim 5\mu s$ 左右，並且只在上升緣插入死區時間，下降緣不加入。死區時間功能由暫存器 DTS 控制，可選擇時鐘源與設定死區時間長短。圖 16 為死區時間插入時序圖。

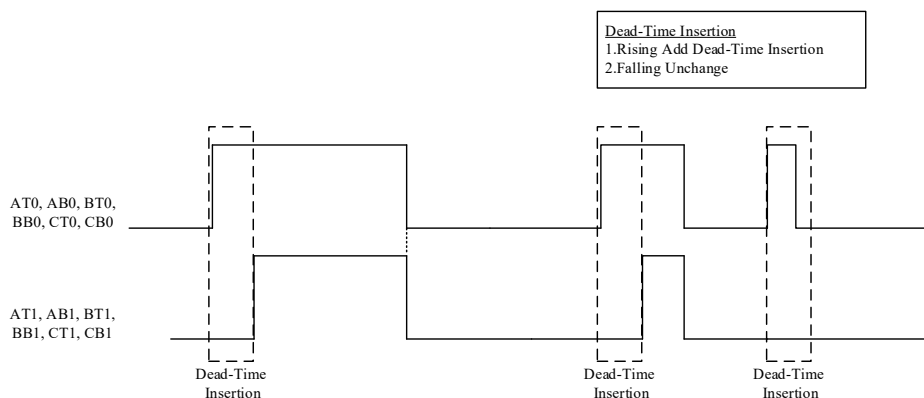


圖 16

Polarity(極性控制)功能

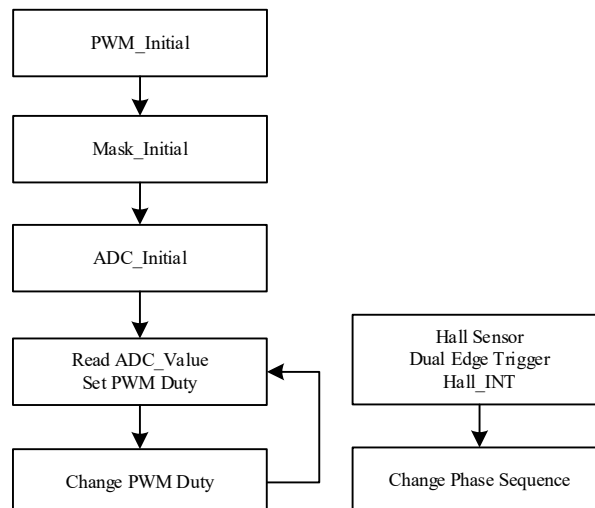
極性控制功能用來設置外部驅動電晶體的開關極性狀態，由暫存器 PLC 控制。這裡舉例 A 相輸入輸出對應，如下表所示：

AT2、AB2	AT3 (PATC=0)	AT3 (PATC=1)	AB3 (PABC=0)	AB3 (PABC=1)
Input=0	0	1	0	1
Input=1	1	0	1	0

註：防呆功能的作用是如果發生軟體應用錯誤，或是外界因素如 ESD，造成外部驅動電晶體對上臂與下臂的 MOSFET 都是導通狀態，防呆電路強迫輸出為不導通的狀態，而防呆電路已在電路內部設定完成，User 不用手動設定。

軟體說明

S/W Flowchart



上圖為無刷直流馬達控制流程圖，流程首先經過初始化設定後，就會進入主迴圈，主迴圈會一直來讀取 ADC 的值(該 ADC 採樣的對象為外部控制馬達轉速的元件)，每當讀取完 ADC 值後就會轉換為對應的 PWM(此 PWM 訊號為驅動馬達的 PWM)的 Duty(Duty 百分比大小與馬達的轉速為正相關)。更新完 PWM 後，會再次進入主迴圈循環。而馬達換相由讀取到 Hall Sensor 回傳的訊號做判斷。每當該訊號有變化時(上升緣或下降緣)，程式會進入 Hall 中斷，自動執行切換相序的動作後跳出中斷程式。

結論

本文通過總結歸納了無刷直流馬達的一些使用注意事項和使用技巧，幫助使用者運用 BD66FM52xx 系列的馬達控制功能。

參考資料

參考文件 BD66FM5250 Datasheet。

如需進一步了解，敬請瀏覽 Holtek 官方網站 www.holtek.com.tw。

版本及修訂說明

日期	作者	發行	修訂說明
2022.05.17	黃冠鈞	V1.00	第一版

免責聲明

本網頁所載的所有資料、商標、圖片、連結及其他資料等（以下簡稱「資料」），只供參考之用，盛群半導體股份有限公司及其關聯企業（以下簡稱「本公司」）將會隨時更改資料，並由本公司決定而不作另行通知。雖然本公司已盡力確保本網頁的資料準確性，但本公司並不保證該等資料均為準確無誤。本公司不會對任何錯誤或遺漏承擔責任。

本公司不會對任何人士使用本網頁而引致任何損害（包括但不限於電腦病毒、系統故障、資料損失）承擔任何賠償。本網頁可能會連結至其他機構所提供的網頁，但這些網頁並不是由本公司所控制。本公司不對這些網頁所顯示的內容作出任何保證或承擔任何責任。

責任限制

在任何情況下，本公司並不須就任何人由於直接或間接進入或使用本網站，並就此內容上或任何產品、資訊或服務，而招致的任何損失或損害負任何責任。

管轄法律

本免責聲明受中華民國法律約束，並接受中華民國法院的管轄。

免責聲明更新

本公司保留隨時更新本免責聲明的權利，任何更改於本網站發佈時，立即生效。