

## Efficient Design of a Brushless DC Fan with a Programmable System-on-a-Chip

運用可編程系統單晶片快速設計無刷直流風扇

賽普拉斯半導體

MTS應用工程師 - By Dave Van Ess, Cypress Semiconductor Corp.

### Executive Summary

As more industrial and consumer products get smaller, the need to remove the heat in an efficient, quiet way becomes increasingly important. A programmable system on a chip produces an efficient, cost-effective means for accomplishing this.

隨著越來越多工業與消費性產品的規格縮小，業界對於高效率、低噪音散熱方案需求也日趨重要。可編程系統單晶片(Programmable System-on-a-Chip)即可提供高效率、具成本效益的方案，以滿足此一需求。

一般智慧型直流風扇(如圖1所示)有四條線路：電源(紅色)、接地(黑色)、設定風扇轉速的脈衝寬度調變(PWM)輸入(藍色)，與轉速計輸出(綠色)。主系統藉著設定PWM的工作週期來要求特定轉速，並由轉速器傳回的資料研判運轉是否正確。量測週遭環境的溫度，讓風扇盡可能地調降轉動速度和頻率。其成本皆來自轉速計。

為了降低機械噪音並增加運轉壽命，此設計範例將控制一個單相、四極的無刷直流馬達。此風扇馬達為一種獨特的設計，其外側有一個四極永磁式轉子，和一個固定的四極定子。各個電極被連續交互繞線，組成一個線圈。輸入單向的電流至線圈，能將馬達鎖定在0度或180度。輸入相反方向的電流至線圈，則能將馬達鎖定在90度或270度。利用一個類比式霍爾(Hall)效應感測器來測量轉片位置，研發者能夠調整強度與電流方向，以控制馬達轉動。

線圈由一個四電晶體H bridge驅動，藉此控制電流方向，並透過一個PWM驅動合適的接腳來設定電流強度。設計中還有一個電流分流器，用以監測線圈電流。

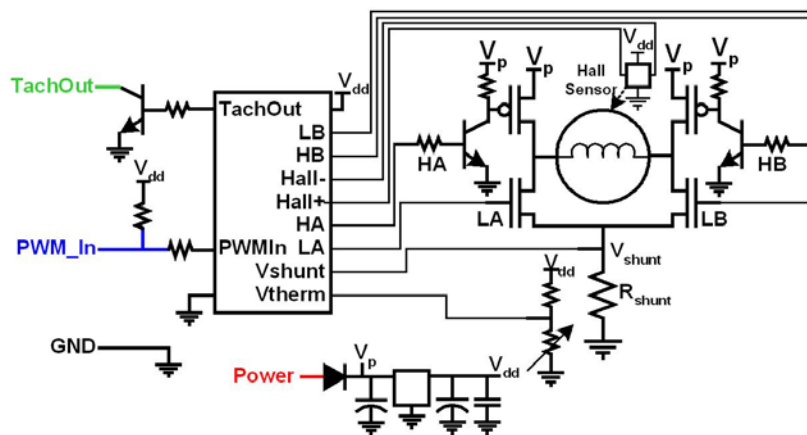


圖1: 特定四線式風扇結構圖

散熱風扇被要求在在6000 rpm到30000 rpm的範圍內運轉，微控制器加上類比與數位週邊元件即擁有足夠能力，來控制一個搭載微控制器的可編程系統單晶片。這種設計需要下列的週邊元件：

- 一個**比較器**，將霍爾感測器的差動類比輸出訊號，轉換成一個數位訊號。
- 一個**8位元PWM**，以控制線圈電流強度。為了控制電流方向，微控制器會將PWM切換成FET橋接器上相對應的較低位接腳。PWM的輸出頻率設定為23.4kHz(6MHz/256)，剛好略高於人耳的聽力範圍。
- 一個**16位元計時器**，用於量測霍爾感測器比較器的信號邊緣。此計時器會測量馬達四個相位的完整時間，由於四個電極間並沒有相同的間隔。每個電極皆需調整至合適的時序，因為在每個週期的最後階段驅動線圈，並不會產生大量動力，反而會消耗可觀電流。為了省電，PWM在週期結束前，會憑經驗判定停止，預留時間。PWM可使用之前得知的相位時間，提早自行關閉。
- 一個**16位元計時器**，用以測量輸入端速度選擇控制訊號的工作週期。計時器的時脈設定為24MHz。計時器被用來測量下降緣、接下來的上升緣，以及下一個下降緣的時間。工作週期的公式如下：

$$DutyCycle = \frac{\frac{n_r - n_{f2}}{f_{clk}}}{\frac{n_{f1} - n_{f2}}{f_{clk}}} = \frac{n_r - n_{f2}}{n_{f1} - n_{f2}}$$

- 請注意時脈的精準度會落在公式範圍外。例如：一個24MHz計時器量測25 kHz 之輸入信號，週期為960，而其精準度將遠低於0.2%。
- 一個**類比數位轉換器(ADC)**，用來測量分流器的電流，及電熱調節器的電壓。

採用一個Cypress **CY8C21323-24LFXI** **PSoC**可編程系統單晶片來控制這個設計。此款晶片採用24針腳的MLF封裝，內含一個微控制器，以及下列週邊元件：

- **四個8位元數位模塊**，可組態成計時器、計數器，以及PWM。它們能被串聯，形成更寬的週邊元件。
- **兩個類比模塊**，可作為單端式可編程比較器。將一個類比模塊與正確組態的數位模塊結合，就能構成一個10位元的類比數位轉換器。這兩個模塊皆能被結合在一個內含差動訊號輸入的比較器。

乍看之下，這些週邊似乎不足以建構所需的系統元件。如下方圖2所示，當控制程序被分割成八個不同的狀態，其中有許多需求元件能共享系統資源。

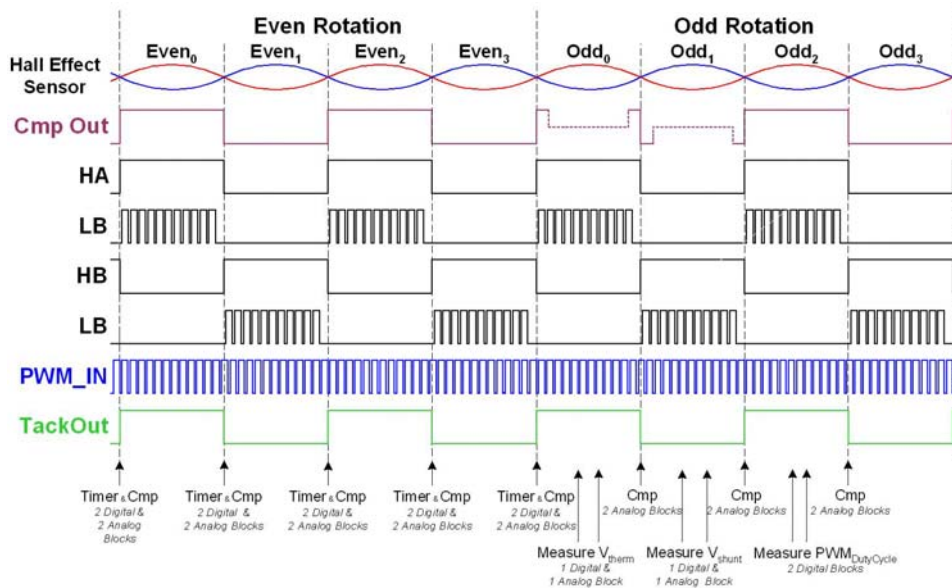


圖2: 動態可重組態四線式風扇的時序圖

時序週期分成兩個週期，每一週期有四個相位(phase)。由於所有八個相位都需要PWM，因此無法共用，且需要一個獨立的數位模塊。每個相位都是從霍爾感測器上的狀態切換開始，該感測器由兩個類比模塊組成。此時，所有FET都是關閉的，然後相對應的高側FET會被啟動。PWM連結至相對應的低側FET後被啟動。PWM採用先前計算出的速度，來決定何時自動關閉。

從Odd<sub>3</sub>結束前到Odd<sub>0</sub>開始後，兩個數位模塊被組態成一個16位元計時器，用以測量四個偶數相位寬度。這項資訊可用來計算風扇速度。請注意該速度不是為了測量奇數週期。

在Odd<sub>0</sub>中間，一個類比模塊與一個數位模塊被重新組態，以構成一個類比數位轉換器，測量分流器電流。在工作結束後，這些類比模塊會被重新組態，以重新建構霍爾比較器。相同作業也會在Odd<sub>1</sub>中進行，用來測量電熱調節器電壓。在Odd<sub>3</sub>方面，兩個數位模塊會被重新組態，以測量輸入PWM的工作週期。在完成工作後，它們將會被重新組態，以測量風扇轉速，之後再繼續重複整個週期。

這個組態僅需使用三個數位模塊。第四個模塊則可運用於其他功能。

可編程系統單晶片能減少元件數量，並提升效能。動態可重組態的方式不僅能共用系統資源，同時減少系統成本。



Cypress Semiconductor  
198 Champion Court  
San Jose, CA 95134-1709  
Phone: 408-943-2600  
Fax: 408-943-4730  
<http://www.cypress.com>

© Cypress Semiconductor Corporation, 2007. The information contained herein is subject to change without notice. Cypress Semiconductor Corporation assumes no responsibility for the use of any circuitry other than circuitry embodied in a Cypress product. Nor does it convey or imply any license under patent or other rights. Cypress products are not warranted nor intended to be used for medical, life support, life saving, critical control or safety applications, unless pursuant to an express written agreement with Cypress. Furthermore, Cypress does not authorize its products for use as critical components in life-support systems where a malfunction or failure may reasonably be expected to result in significant injury to the user. The inclusion of Cypress products in life-support systems application implies that the manufacturer assumes all risk of such use and in doing so indemnifies Cypress against all charges.

PSoC Designer™, Programmable System-on-Chip™, and PSoC Express™ are trademarks and PSoC® is a registered trademark of Cypress Semiconductor Corp. All other trademarks or registered trademarks referenced herein are property of the respective corporations.

This Source Code (software and/or firmware) is owned by Cypress Semiconductor Corporation (Cypress) and is protected by and subject to worldwide patent protection (United States and foreign), United States copyright laws and international treaty provisions. Cypress hereby grants to licensee a personal, non-exclusive, non-transferable license to copy, use, modify, create derivative works of, and compile the Cypress Source Code and derivative works for the sole purpose of creating custom software and or firmware in support of licensee product to be used only in conjunction with a Cypress integrated circuit as specified in the applicable agreement. Any reproduction, modification, translation, compilation, or representation of this Source Code except as specified above is prohibited without the express written permission of Cypress.

Disclaimer: CYPRESS MAKES NO WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, WITH REGARD TO THIS MATERIAL, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Cypress reserves the right to make changes without further notice to the materials described herein. Cypress does not assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit described herein. Cypress does not authorize its products for use as critical components in life-support systems where a malfunction or failure may reasonably be expected to result in significant injury to the user. The inclusion of Cypress' product in a life-support systems application implies that the manufacturer assumes all risk of such use and in doing so indemnifies Cypress against all charges.

Use may be limited by and subject to the applicable Cypress software license agreement.