



## PSoC (Programmable System-on-a-Chip)으로 Brushless DC Fan 효율적으로 설계하기

By Dave Van Ess, Application Engineer, MTS, Cypress Semiconductor Corp.

보다 많은 산업 및 컨슈머 제품들이 점점 작아짐에 따라, 보다 효율적이고 조용한 방식으로 열을 제거할 필요성이 점점 중요해지고 있다. PSoC (Programmable System on a Chip)은 이러한 문제를 해결하기 위한 효과적이고 비용 효율적인 방식을 제공해준다.

일반적인 인텔리전트 DC fan (그림 1 참조)는 4개의 선을 가지고 있다 : power (빨간색), ground (검은색), fan 속도 설정을 위한 PWM input (파란색), 그리고 tachometer output (녹색). 호스트 시스템은 PWM의 duty cycle을 설정함으로써 특정한 속도를 요구하며, tachometer 피드백과 함께 올바른 작동을 확인한다. 주변 온도를 측정하면서 fan이 가능한 느리고 이따금씩 구동하는 것을 허용하며, 이는 더미스터 (thermistor)의 비용을 의미한다.

기계적 소음을 줄이고 작동 라이프타임을 늘리기 위해 이러한 설계 사례는 single-phase, 4-pole brushless DC 모터를 조절할 것이다. Fan 모터는 외부의 4-pole 영구 자석 회전자와 고정된 4-pole 고정자를 가진 하나의 고유한 설계이다. Poles은 연속으로 single coil이 되면서 교대로 감겨진다. 한 방향에서 coil에 전류를 가하면 0° 혹은 180° 어느 쪽에서도 모터를 잠글 것이며, 반대 방향에서 전류를 가하면 90° 혹은 270° 에서 모터를 잠글 것이다. 회전자의 위치를 측정하기 위한 아날로그 Hall effect 센서로 개발자들은 모터의 회전을 컨트롤하기 위한 규모와 전류 방향을 맞출 수 있다.

Coil은 전류의 방향을 조절하기 위한 4-transistor H bridge로 구동되며, 적절한 leg은 전류의 양을 설정하기 위한 PWM으로 구동된다. 전류 전환은 coil 전류를 모니터 하기 위해 추가된다.

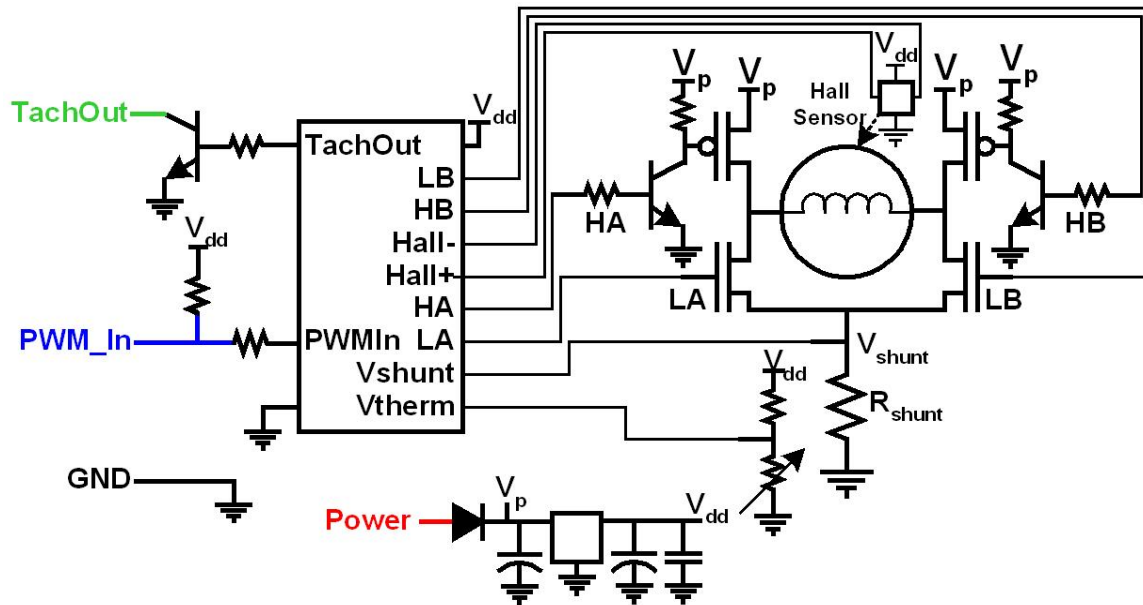


그림 1 : Specified Four Wire Fan 모형도

이 fan의 작동을 위해서는 아날로그 및 디지털 주변기기를 컨트롤 하기 위해 돕는 마이크로 컨트롤러의 용량을 넘지 않고 마이크로컨트롤러 기반의 programmable system-on-a-chip을 위한 하나의 이상적인 애플리케이션인 600 rpm 에서 30,000 rpm까지 요구된다. 다음의 주변기기가 필요하다 :

- 디지털 시그널로 Hall sensor의 차별적인 아날로그 outputs를 전환하기 위한 **comparator**
- Coil 전류의 양을 조절하기 위한 **8-bit PWM**. 전류의 방향을 컨트롤하기 위해 마이크로컨트롤러는 FET bridge의 적절한 더 낮은 leg로 PWM을 바꾼다. PWM output 주파수는 인간의 청력 범주 바로 위인 23.4kHz (6MHz/256)에 설정된다.
- Hall sensor comparator로 부터의 edges를 측정할 **16-bit timer**. 이 timer는 4개의 pole이 완벽하게 일정한 간격을 두지 않기 때문에 모든 4 단계의 모터를 위한 시간을 측정할 것이다. 각 사이클의 아주 최종 bit를 위해 coil을 구동하는 것은 상당량의 전류를 소모하는 반면 어떠한 전력도 생산되지 않기 때문에 각각의 pole을 위한 타이밍은 필요하다. 전력을 보전하기 위해 PWM은 사이클 종료 전에 일부 경험적으로 결정된 분량의 시간을 멈춘다. PWM은 조기에 그 자체를 끄기 위해 phase time을 이용한다.
- Incoming speed 조절 시그널을 위해 duty cycle을 측정할 **16-bit timer**. 이 timer는 24 MHz에서 시간을 잰다. 이 timer는 falling edge, 다음 raising edge, 그리고 그 다음falling edge 를 위한 시간을 측정하기 위해 설정된다. Duty cycle은 다음 방정식에서 볼 수 있다 :

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

- Clock accuracy가 방정식을 벗어난다는 점을 참조. 예를 들어, 25 kHz input을 측정하는 24 MHz timer는 0.2% 보다 훨씬 더 적은 정확성으로 960의 period를 가진다.
- 전환 전류와 thermistor 전압을 측정하기 위한 ADC.

싸이프레스의 **CY8C21323-24LFXI** PSoC programmable system-on-a-chip은 이러한 설계를 컨트롤 하기 위해 선택되었다. 이 제품은 24-pin MLF 패키지에서 작동하고 마이크로컨트롤러를 포함하고 있으며, 다음의 주변기기들을 가지고 있다 :

- Timers, counters, PWMs로 구성될 수 있는 **4개의 8-bit Digital blocks**. 이들은 더 폭넓은 주변기기들을 만들기 위해 종속 접속될 수 있다.
- Single-ended, programmable comparators로서 사용될 수 있는 **2개의 Analog blocks**. 적절하게 구성된 디지털 블록과 함께 하나로 결합하면 10-bit ADC를 가진다. 이들 양 블록 은 차별적인 inputs과 함께 comparator로 결합될 수 있다.

처음을 대략 보면 필요한 시스템 요소들을 구축하기 위한 충분한 주변기기들이 없다는 것을 볼 수 있다. 아래 그림 2처럼, 컨트롤이 8가지 서로 다른 단계로 나뉘지면 필요한 많은 요소들을 가용한 시스템 리소스로 공유할 수 있다.

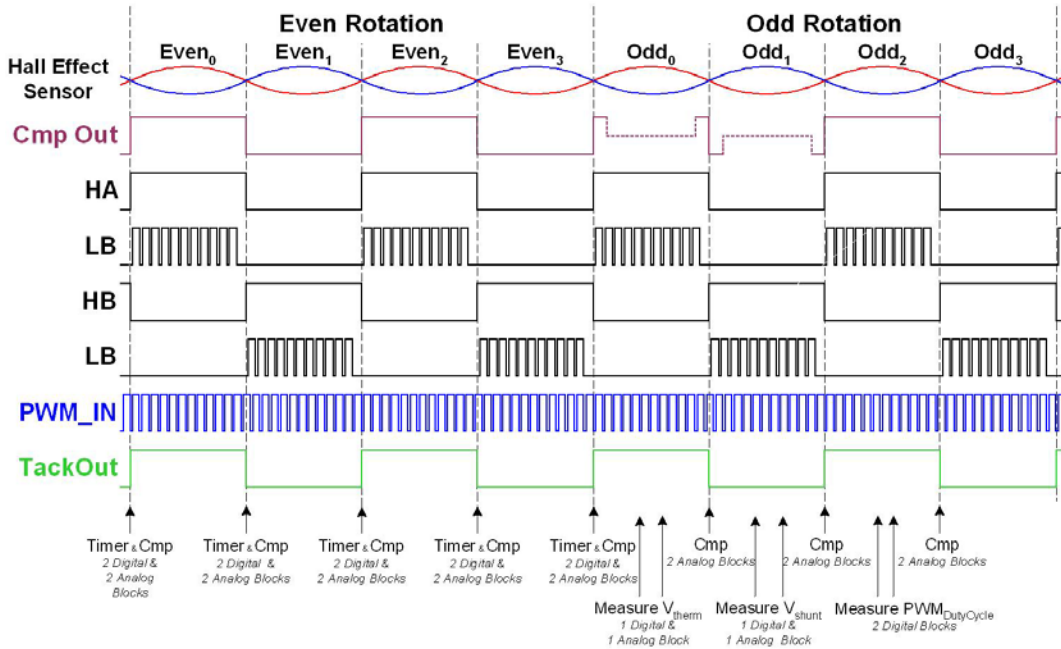


그림 2 : Timing Diagram for Dynamically Reconfigured 4 Wire Fan

타이밍은 각 회전이 4 단계를 가지면서 2개의 회전으로 분류된다. PWM은 모두 8 단계를 필요로 함에 따라 공유될 수 없으며, 싱글 디지털 블록을 필요로 한다. 각 단계는 2개의 아날로그 블록으로 구성된 Hall sensor에서 변화를 시작한다. 이 시점에서 모든 FET는 꺼지고 적절한 high-side FET는 켜진다. PWM은 적당한 low-side FET와 연결되고 켜진다. 아울러, PWM은 언제 꺼야 할지를 결정하기 위해 이전에 계산된 속도를 이용한다.

**Odd<sub>3</sub>** 종료 바로 직전으로부터 **Odd<sub>0</sub>** 시작 바로 이후까지 2개의 디지털 블록은 16-bit timer를 만들기 위해 구성되며 4가지 짝수 단계의 widths 를 측정한다. 이러한 정보는 fan 속도를 계산하기 위해 사용되었다. 여기서 속도는 odd rotations을 위해 측정되지 않았다는 점을 참조한다.

**Odd<sub>3</sub>** 중간에 하나의 아날로그 블록과 하나의 디지털 블록은 ADC 구축을 위해 재구성되며 전환 전류를 측정한다. 이 과정 완료 후, 아날로그 블록은 Hall comparator를 재구성하기 위해 재구성 된다. 동일한 과정이 thermistor 전압을 측정하기 위해 **Odd<sub>1</sub>**에서 수행된다. **Odd<sub>3</sub>**에서는 2개의 디지털 블록이 incoming PWM의 duty cycle을 측정하기 위해 재구성된다. 이 작업이 끝나면, 이 블록들은 fan 속도를 측정하기 위해 재구성되며 이 사이클을 반복한다.

이러한 구성으로 3개의 디지털 블록만이 사용된다. 4번째 디지털 블록은 자유로운 추가 특징들을 위해 사용할 수 있다.

프로그래머블 시스템-온-칩 (programmable system-on-a-chip)은 부품의 수는 줄여주고 성능은 향상시켜 준다. 또한, Dynamic reconfiguration은 시스템 비용 절감은 물론 시스템 리소스 공유를 가능하게 해 준다.



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.