

## BLDC 팬모터 드라이버의 속도제어 선형성 향상 연구

**이경호**, 김기현, 김형우, 서길수  
한국전기연구원

### A Study for Improving Speed Control Linearity of BLDC Fan Motor

Kyoungho Lee, Kihyun Kim, Hyung Woo Kim, Kilsoo Seo  
Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - 본 논문은 BLDC 팬모터의 속도제어 선형성(linearity)에 관한 것이다. PWM으로 모터의 속도를 제어할 때에 입력 duty cycle이 증가함에 따라 모터 속도가 선형적으로 증가하지 않는 문제가 발생한다. 모터를 구동하는 드라이브 IC의 출력 PWM duty cycle을 속도제어의 입력값에 해당하는 입력 PWM duty cycle과 비선형적으로 출력함으로써, 모터 속도의 입력 PWM duty cycle에 대해 선형성을 향상시켰다. 또한, 비휘발성 메모리에 설정값을 저장하여 선형성 정도를 조절가능하도록 하였다. 0.35um CMOS 공정으로 단상 BLDC 모터 드라이브 IC를 설계 및 제작하고, 모터 샘플을 이용하여 PWM 입력 duty cycle과 모터 속도의 선형성 정도를 측정하였다.

시킨다. MCU, DSP등으로 컨트롤러를 설계하기도 하지만, 용량이 작고 저가격화를 위해서는 전용 ASIC으로 컨트롤러를 만들어 게이트 드라이버와 one-chip으로 집적화 한다. 컨트롤러에는 디지털 로직으로 속도제어, 소프트 스타트, 소프트 스위칭, Lock rotor protection 등 알고리즘을 설계해 넣을 수 있다. 또한, 모터나 환경변수에 따라 변동이 있을 경우, 외부 소자들을 사용하지 않고, 비휘발성 메모리에 저장된 설정값들을 컨트롤러에서 이용하여 간단히 변경할 수 있다.

#### 1. 서 론

단상 BLDC 모터는 간단한 구조와 낮은 가격으로 인해 fan, blower, pump 등과 같이 여러 application에 널리 사용되고 있다.[1-2] 서버나 PC의 쿨링 팬모터(Cooling Fan Motor)의 경우에도 가격을 낮추기 위해 단상 BLDC 모터가 채용되고 있다. 이런 쿨링 팬의 경우 CPU의 온도에 따라 속도제어가 필요하다. 이런 경우 주로 PWM (Pulse Width Modulation) 제어를 사용하고 있다. PWM 제어는 Pulse의 duty cycle에 따라 모터의 속도를 조절하는 것이다. CPU가 과열이 되어 팬이 빠른 속도로 돌아야 할 경우 PWM duty cycle을 늘리고, 저속으로 돌 경우 PWM duty cycle을 줄이는 식이다. 그러나, 모터 속도는 PWM duty cycle에 비례하지만, 완전히 선형적이지는 않다. 본 논문은 이러한 모터 속도와 PWM duty cycle 사이의 선형성 향상에 관한 것이다.

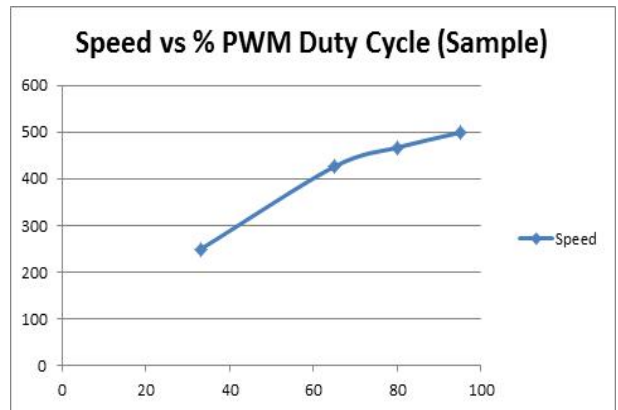
#### 2.2 속도제어 선형성

팬 모터와 같이 모터 속도를 제어할 필요가 있을 경우 PWM 제어를 이용한다. PWM duty cycle 에 비례해서 모터 속도가 선형적으로 증가해야하지만, 모터 파라미터에 따라 비선형적으로 증가하기도 한다. 그림 2에서 보이는 것처럼 PWM duty cycle과 모터 속도의 관계가 약간 불룩한 모습을 보인다.[3] 이것은 PWM duty cycle로 속도 제어가 잘 되지 않는다는 의미이다. 입력 PWM duty cycle대로 원하는 모터 속도가 나올 수 있도록 선형성을 향상시키는 것이 중요하다.

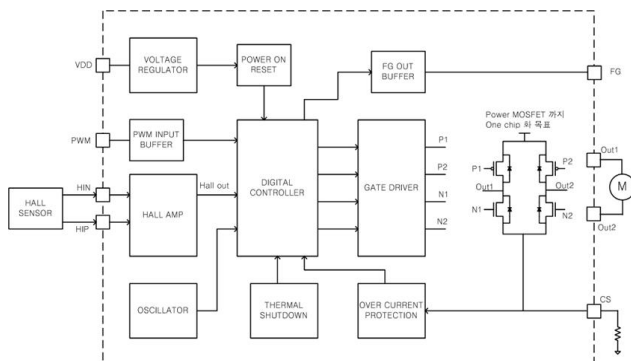
#### 2. 본 론

##### 2.1 단상 BLDC 모터 드라이버

단상 BLDC 모터 드라이버는 컨트롤러, 게이트 드라이버, 파워 스위치 소자로 이루어진다. 그림 1은 단상 BLDC 모터 드라이버 IC의 블록 다이어그램이다. 그림 1에서와 같이 파워 스위치는 H-bridge 형태를 주로 채용하며, MOSFET이나 IGBT 등 모터 용량에 따라 큰 전류를 흘릴 수 있어야 한다. 용량이 작은 경우 드라이버 IC 내로 집적화 하기도 한다. 게이트 드라이버는 파워 스위치를 구동하기 위한 회로로서, 컨트롤러로부터 구동신호를 입력 받아 파워 스위치 MOSFET 게이트를 구동할 수 있도록 level shifter를 거쳐서 출력을 내보낸다.



<그림 2> 모터 속도 vs PWM duty cycle [3]



<그림 1> 모터 드라이브 IC 블록 다이어그램

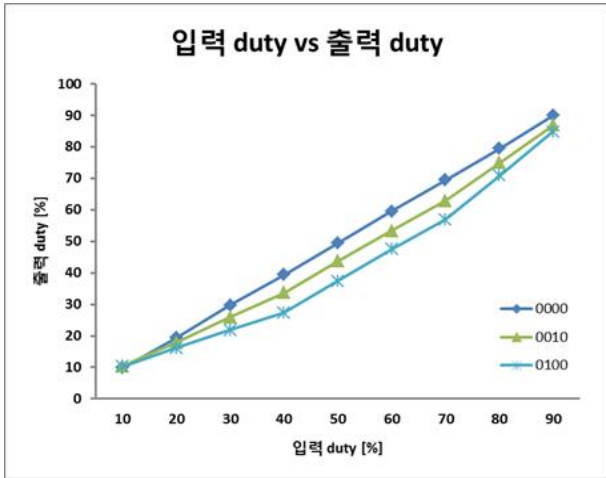
##### 2.2.1 디지털 컨트롤러 설계

컨트롤러는 PWM 신호를 입력 받아, 게이트 구동 신호를 출력한다. 이때 선형성을 향상시키기 위해서 입력 duty cycle대로 출력 duty cycle을 내보내지 않고 비선형적으로 출력 duty cycle을 생성한다.

PWM신호를 세 구간으로 나누어 구간에 따라 기울기를 조절하여 선형성을 향상시킨다. 입력 duty cycle이 0%~40%인 구간은 기울기를 1보다 작게, 40%~70%인 구간은 기울기를 1, 70%~100%인 구간은 기울기를 1보다 크게하여 출력 duty cycle이 입력 duty cycle에 대해 약간 오목하게 하였다. 이 때 오목한 정도는 모터에 따라 선택할 수 있도록 메모리에 설정된 값에 따라 조절할 수 있게 하였다.

그림 3은 입력 duty cycle과 출력 duty cycle 사이의 기울기를 조절 알고리즘을 채용한 모터 드라이버 IC의 디지털 입력 PWM과 MOSFET 구동 신호의 duty cycle을 측정된 결과이다. 메모리는 4bit를 사용하였고, 0000 인 경우는 기울기 조절을 하지 않은 결과이다. 즉, 입력 duty cycle 그대로 출력한 경우이다. 4bit 설정값이 커질수록 기울기 변경 정도가 더 크다.

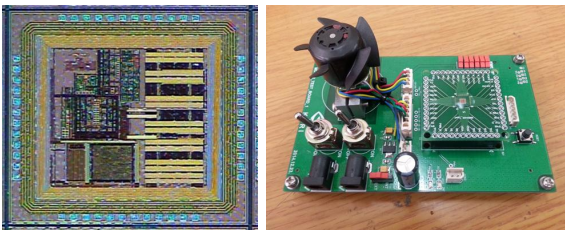
컨트롤러에서는 모터 구동 알고리즘에 따라 게이트 구동신호를 생성한다. 속도 정보가 있는 PWM 신호와 회전자의 위치 정보가 있는 홀센서 신호를 입력 받아 회전자의 위치에 맞게 게이트 구동 신호를 출력



〈그림 3〉 PWM 입력 duty cycle vs 출력 duty cycle

### 2.3 측정

출력 PWM duty cycle 기율기 조절 알고리즘을 적용한 컨트롤러를 설계하고, 게이트 드라이버와 one-chip으로 집적화한 단상 BLDC 모터 드라이브 IC 시작품을 제작하였다. 0.35um CMOS 공정을 이용하였고, 플래쉬 메모리를 집적하여 여러 가지 설정값들을 조절할 수 있게 하였다. 그림 4와 같은 팬 모터 샘플을 이용하여 모터를 구동하면서 속도를 측정하였다.

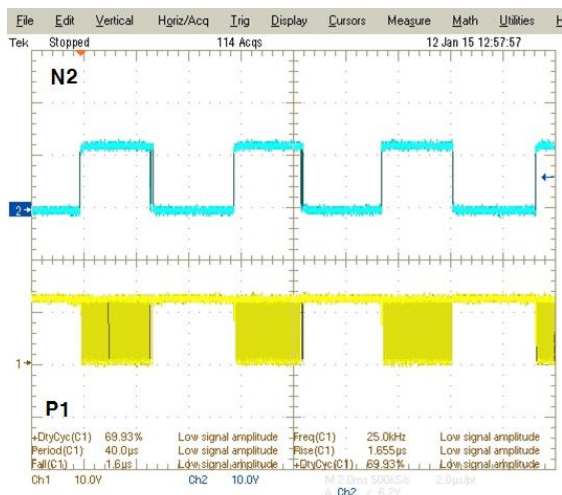


〈그림 4〉 Chip Photo 와 Test board

표 1은 측정에 사용한 소형 팬모터용 샘플의 사양이다.

〈표 1〉 모터 parameters

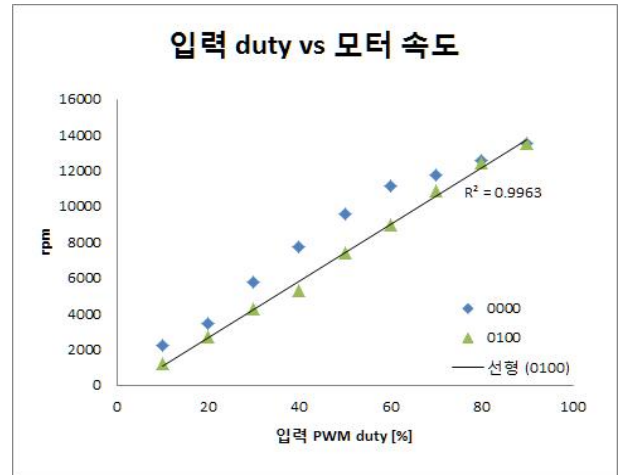
Operating Voltage	12V
Operating Current	0.59A
Input Power	7.1W



〈그림 5〉 모터 구동시 게이트 신호 파형

그림 5는 파워 MOSFET 게이트 구동 신호 측정 파형이다. H-bridge 파워 MOSFET 중 PMOS만 25KHz 의 PWM 신호로 구동하였다. 그림

1의 블록 다이어그램에서 보는 바와 같이 P1-N2, P2-N1이 짝을 이룬다. NMOS는 홀 신호와 동기되기 때문에, NMOS 구동신호의 주기로부터 모터 속도 정보를 얻을 수 있다.



〈그림 6〉 PWM 입력 duty cycle vs 모터 속도

그림 6은 출력 PWM duty cycle의 기율을 변화시키면서 모터의 속도를 측정하는 것이다. 설정값이 '0000' 인 경우는 출력 duty cycle의 기율을 조절하지 않은 경우인데, 입력 duty cycle이 70% 이상인 경우, 그림 2와 같이 모터의 속도 증가가 둔화되어 위로 볼록한 형태를 띄는 것을 볼 수 있다. 그림 3에서와 같이 설정값을 변화시키면서 모터 속도를 측정하였다. 그 결과, 모터 속도 제어의 선형성은 향상된 것을 확인할 수 있다. 모터 속도를 직선으로 fitting 할 경우 '0100' 일 경우, 결정계수가 0.9963 인 선형으로 fitting 되었다.

### 3. 결 론

모터 속도와 PWM duty cycle간의 선형성 향상 알고리즘을 적용한 단상 BLDC 모터 드라이브 IC를 설계하였다. PWM 입력 duty cycle과 모터 속도 사이에 비선형성이 발생하는데 이를 개선하였다. 컨트롤러에서 파워 MOSFET 구동 PWM 신호를 생성할 때 입력 duty cycle 대 출력 duty cycle 간의 기율을 조절함으로써 모터 속도제어 선형성을 향상시켰다.

### Acknowledgment

본 연구는 2014년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20132020101530)

### [참 고 문 헌]

- [1] Lijian Wu, et al, "Steady Performance Analysis on Single-phase Brushless DC Motor", Proceeding of International Conference on Electrical Machines and Ssystems, Oct. 8~11, 2007
- [2] Liviu Ioan Iepure, et al, "Novel Motion Sensorless Control of Single Phase Brushless D.C. PM Motor Drive, with experiments", 12<sup>th</sup> International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, 2010
- [3] <https://learn.digilentinc.com/Documents/202>