

# DSP(TMS320F28335)를 이용하는 다극 BLDC 전동기 구동을 위한 홀센서 절대위치 보정 알고리즘 구현법

박준호 · 임동균 · 최중경

국립창원대학교

An Implementation of a Hall Sensor position compensation algorithm for the  
Multi-pole Type BLDC motor driving with the DSP(TMS320F28335).

Jun-ho Park · Dong-gyun Lim · Jung-keyng Choi

Changwon National University

E-mail : cjk@changwon.ac.kr

## 요 약

본 논문에서는 DSP(TMS320F28335)를 이용하는 홀센서 타입의 다극 BLDC 전동기의 벡터 구동을 위한 회전자의 절대위치를 결정하는 방법을 소개하고, 기존 방법의 문제점을 보완하기 위한 알고리즘을 구현 한다. 모터의 각 상에 원하는 교류 전류를 공급하기 위한 전압원 인버터의 스위칭 방법으로 공간벡터 변조방식을 이용하였다. 또한 속도 영역의 증가를 위해 약계자 제어 기법을 사용 하였다. 제안된 알고리즘을 검증하기 위해 보상 전후의 계산된  $I_{qe}$ ,  $I_{de}$  및 상전류를 비교한다.

## ABSTRACT

In this paper, we introduce a method of determining the absolute position of the rotor for the vector control of Hall sensor type multi-pole BLDC motor using the DSP(TMS320F28335), and implement an algorithm to complement the problems of the conventional method. The switching method of the inverter for providing desired sinusoidal current to each phase of a motor, we adopt Space-Vector pulse width modulation method. In order to increase the speed range, Field-Weakness control method are used. In order to verify the proposed algorithm, we compare the value of  $I_{qe}$ ,  $I_{de}$  and phase currents with the values before compensated.

## 키워드

DSP(TMS320F28335), 홀센서, PWM, 회전자 절대위치

## 1. 서 론

근래에 많이 사용되는 브러시리스 직류 전동기(Brushless Direct Current Motor, BLDC)는 구조상 영구 자석 형 동기전동기의 범주에 속하는 전동기이다. 그리고 속도 대 전압이 선형적인 특성을 가지고 있으며, 기존의 직류 동기가 가진 가장 큰 약점인 정류자와 브러시의 마모로 인해 정기적인 유지, 보수, 고속 회전 및 사용 환경의 제약을 극복하고 가장 큰 장점인 선형적인 토크-전류 특성을 가지고 있다. 본 연구에서 사용되어진 BLDC 전동기는 홀센서 타입의 다극(48극) BLDC 전동기이며, 벡터 제어 알고리즘 및 SVPWM 기법이 속도 및 전류제어를 위해 사용 되었다. 전동기의 구동에 필요한 여러 가지 주변 장치들 간의 신호전달과 빠른 제어

알고리즘의 수행을 위해 초고속 연산 처리 능력을 가지는 디지털신호처리기(Digital Signal Processor)인 TI사의 TMS320F28335를 사용하였다. DSP와 주변 장치 간의 인터페이스를 간략화하기 위하여 CPLD를 사용하였으며, BLDC 전동기의 속도영역 증가를 위해 약 계자 제어기법을 사용하였다.

다극 BLDC 전동기는 영구자석 자계의 경계성이 모호하고, 착자 형태가 균일하지 못하고, 이로 인해 획득한 절대위치 정보의 오차가 크게 발생한다. 특히 고속 영역(약 계자 제어영역)에서  $I_{qe}$ ,  $I_{de}$  전류 및 각 상의 전류 파형을 관측하여 보면 불균일한 절대 위치 정보로 기인하는 글리치 파형이 많이 나타나게 된다. 본 연구에서는 홀 센서 타입의 다극 BLDC 전동기 구동 시 홀센서를 통해 얻어진 불연속 적인 위치 정보를 제안된 연속 화

알고리즘을 통해 보정한다. 그리고  $I_{qe}$ ,  $I_{de}$  및 각 상의 전류를 비교하여 그 보정 성능을 입증 한다.

## II. 본 론

### 2.1 알고리즘 구현을 위한 하드웨어

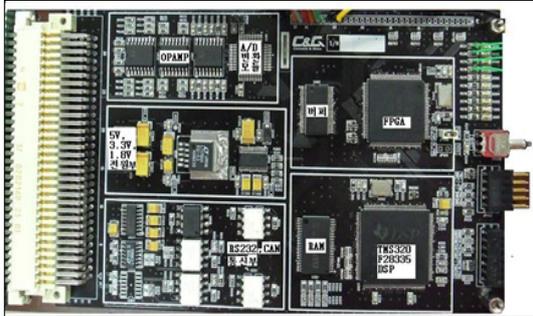


그림 1. 제어기 하드웨어 구성

그림 1은 알고리즘 구현을 위해 제작된 제어기 하드웨어 이다. 부동 소수점 연산이 가능한 고속의 DSP(TMS320F28335)를 사용 하였으며 주변회로 간략화를 위해 CPLD를 이용하였다. 외부 홀 CT 센서를 이용하여 얻어진 상전류 정보를 14bit A/D 컨버터를 이용하여 디지털 값으로 빠르게 변환한다.

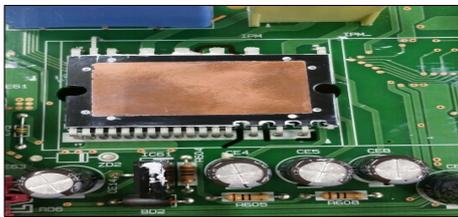


그림 2. 인버터 하드웨어 구성

그림 2에서는 BLDC 전동기 구동을 위해 사용된 IPM 보드의 모습을 보인다. IPM 이용하여 모터의 각 상에 정현파 전류를 공급하도록 하였다. IPM의 정격은 15A, 600V 이다.

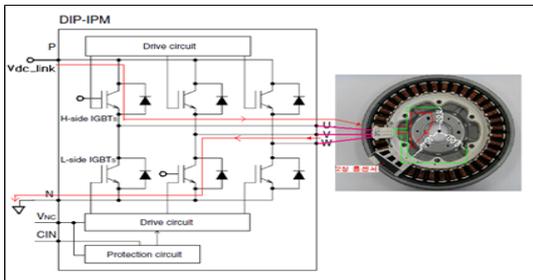


그림 3. BLDC 전동기와 인버터 연결

그림 3은 본 연구에 사용된 다극 BLDC 전동기와 IPM 인버터의 연결 모습이다. 24극쌍 48극의 아우터로터 타입 BLDC 전동기가 사용 되었다.

### 2.2 사용된 BLDC 전동기 및 홀센서 배치

본 논문에 사용된 BLDC 전동기는 절대위치를 얻기 위해 90° 간격의 홀센서 2개가 사용된다.

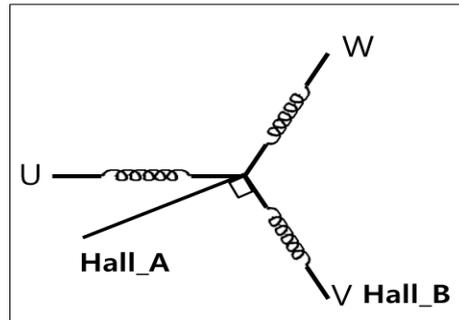


그림 4. 사용된 BLDC 전동기의 Hall 센서 배치

사용된 BLDC 전동기는 그림 4와 같이 Hall\_B는 BLDC 전동기의 V상에 Hall\_A는 Hall\_A와 90° 위치 차이로 U와 V사이에 위치한다. 따라서 홀 신호의 로직 정보는 4가지 이진정보(00, 01, 10, 11) 형태를 보인다.

### 2.3 홀 센서를 이용한 절대 위치 추정

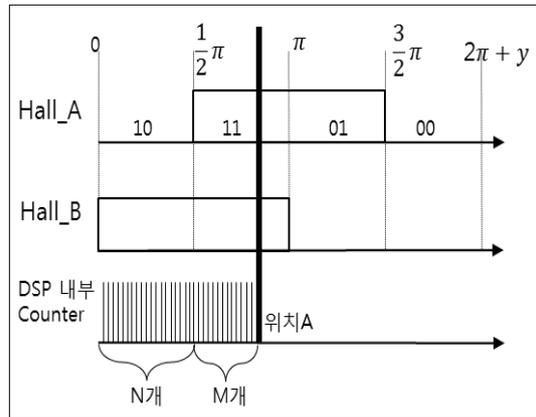


그림 5. DSP Counter를 이용하여 회전자의 절대위치 결정

그림 5와 같이 로직정보(10) 인 구간에서의 카운터 값이 N개 이고 다음 로직(11)구간 A의 위치에서 카운터 값이 M개 이면 절대위치는 계산식(1)과 같이 계산할 수 있다. 즉 이전 로직에서 얻은 카

인터 값을 이용하여 다음 로직 내에서의 회전자의 절대위치를 추정하는 방법이다.

$$\text{위치A} = \frac{\pi}{2} + \frac{2\pi}{4} * \frac{1}{N} * M \quad (1)$$

각 홀센서의 Edge 에서는 각 Edge에 맞는 절대 위치 정보를 사용하고 로직이 일정한 구간에서는 위의 추정 식을 통해 얻어지는 절대위치 정보를 이용하게 된다.

#### 2.4 홀 센서를 이용한 절대 위치 추정의 한계

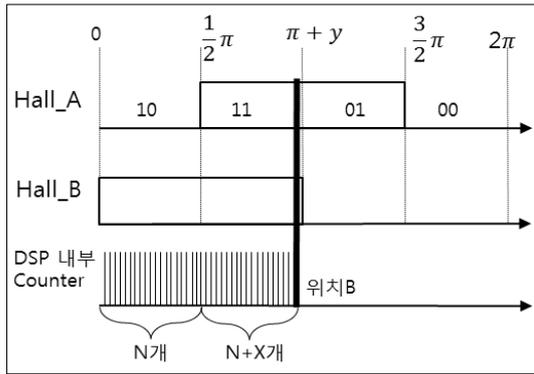


그림 6. 불연속 적인 위치정보

그림 6은 기존 방법(회전자의 절대위치 추정 방법)의 한계점을 보여주고 있다. 그림 5와 같이 로직 정보가 (11)에서 (01)로 바뀌기 바로 전, 즉 위치B(로직(11)구간에서)에서의 카운트 값이 N+X개가 된다면 위치 B는 π+y의 값을 가지게 되며 바로 다음 로직이 변하게 되면 π로 계산 하게 된다. 이는 속도가 높은 구간(약 계자 제어 영역)에서 더욱더 크게 발생 한다. 위와 같은 불연속 적인 절대위치 정보를 통해 벡터제어를 구동하게 되면 각 로직이 변화는 구간에서 토크 리플 및 Iqe, Ide급변 또한 상전류 파형의 왜곡이 발생 하게 된다.

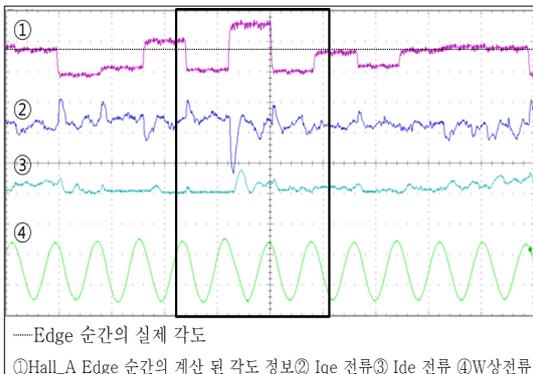


그림 7. 불연속적인 회전자의 위치정보로

인한 Iqe, Ide의 흔들림 및 W상 전류의 왜곡

그림 7은 불연속 적인 절대위치 정보가 Iqe, Iqe 및 상전류 파형에 미치는 영향을 보여주고 있다. ① 은 Hall\_A의 Rising edge( $\frac{1}{2}\pi$ ) 순간에서 계산식(1)을 이용하여 계산된

위치 정보, 점선은 Edge 에서의 실제 위치정보( $\frac{1}{2}\pi$ )를 나타낸다. 그림과 같이 Edge 순간의 위치 정보 보다 더 앞선 경우 혹은 그 반대의 경우에 Iqe, Ide의 글리치 및 상전류의 왜곡을 확인 할 수 있다.

#### 2.5 제안된 알고리즘

본 연구에서는 홀센서 타입의 다극 BLDC 전동기를 구동 하기 위해 홀 신호 A, B 중 홀 A만을 이용하여 절대위치를 추정하도록 하였다. 이는 홀 A, B의 위상차가 90°를 지키지 못하는 구간이 기계 각 1주기 내에서 빈번하게 발생 하여 홀 A만 사용하여 알고리즘을 구현 하였다.

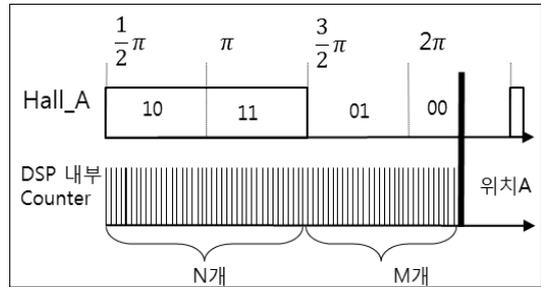


그림 8. 홀 A만을 이용하여 위치 추정

그림 8과 같이 제안된 알고리즘은 홀 A만을 사용하여 홀 신호 반주기 (10, 11)내의 카운트 값을 이용하여 다음 반주기 동안의 회전자의 절대위치를 추정 하도록 하였다. 위치 A일 경우에는 계산식(2)와 같이 현재 절대위치를 계산 할 수 있다.

$$\text{위치 A} = \frac{3\pi}{2} + \pi * \frac{1}{N} * M \quad (2)$$

그림 9,그림 10은 이전 방법의 한계점인 홀 신호의 Edge순간의 불연속 적인 절대위치를 보정하는 방법이다. 그림 9와 같이 위치 B(반주기 시작에서 위치 B까지)의 카운트 값이 N+X개일 경우 다음 Edge 순간의 절대위치 정보는  $\frac{1}{2}\pi$ 가 아닌 그전에 계산된  $\frac{1}{2}\pi+y$ 로 사용하고 다음 반주기 동안의 위치 즉 그림10의 위치C는 계산식(3)으로 계산 할 수 있다.

$$\text{위치 C} = \left(\frac{1}{2}\pi + y\right) + \frac{(\pi - y)}{N+X} * cnt \quad (3)$$

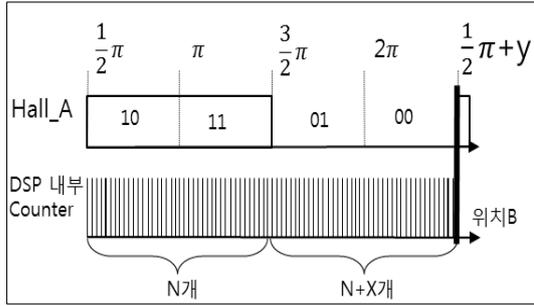


그림 9. 제안된 회전자의 위치 추정 방법 1

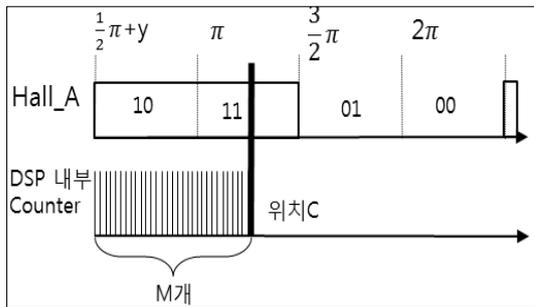


그림 10. 제안된 회전자의 위치 추정 방법 2

보정 알고리즘을 통해 회전자의 절대위치를 얻게 되면 Edge 순간에서 불연속적인 각도 값을 연속적인 값으로 얻을 수 있다. 다음 그림 9는 제안된 알고리즘을 적용하여 BLDC 전동기를 구동하여 계측된 Iqe, Ide 및 상전류 파형이다. 그림에서 확인 할 수 있듯이 Edge에서 계산된 각도 정보가 앞서거나 그 반대의 경우에도 Iqe, Ide의 글리치가 보이지 않으며 상전류의 왜곡도 없음을 확인 할 수 있다.

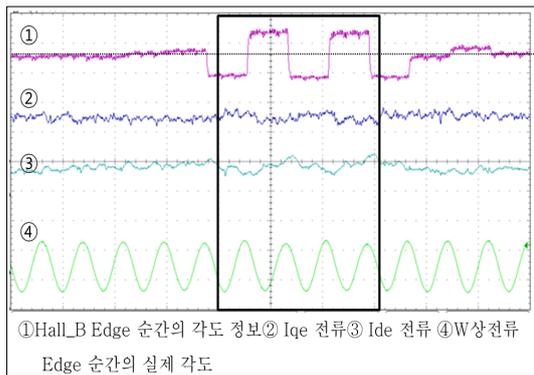
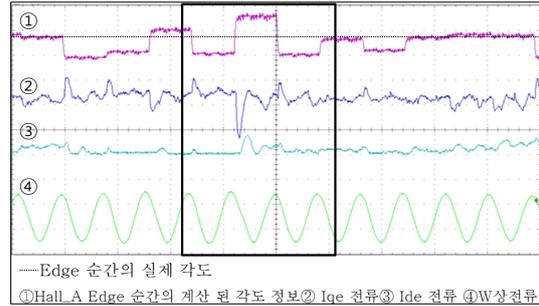
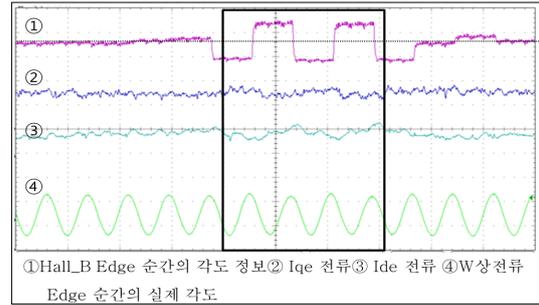


그림 11. 제안된 알고리즘을 Iqe, Ide 및 왜곡 없는 각 상전류 파형



(a) 기존 방법식의 Iqe, Ide 및 상전류 파형



(B) 제안한 알고리즘 적용 후 Iqe, Ide 및 상전류 파형

그림 12. 기존 방식과 비교

### III. 결 론

본 연구에서는 홀센서를 이용하여 다극 BLDC 전동기의 회전자의 절대위치를 찾아내고 불연속적인 위치정보로 인해 발생하는 Iqe, Ide의 글리치 및 각상의 전류 왜곡을(그림 11과 같이) 줄이며 BLDC 전동기의 벡터 구동을 할 수 있었다. 알고리즘 구현을 위해 부동 소수점 연산이 가능한 DSP TMS320F28335를 사용 하였으며, CPLD 를 이용 주변 인터페이스를 간략화 하도록 하였다. 전동기 구동을 위해 각상에 교류 전류를 공급하기 위해 인버터 스위칭 방법은 SVPWM을 사용 하였다.

<본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2013년도 산학연협력기술개발사업(NO.C0119457)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.>

### 참고문헌

[1] 최중경, "서보기기 제어특론 I", 창원대학교 대학원, 1999