

# 구형파 2-Hall Sensor를 이용한 영구자석형 동기전동기 벡터 제어의 정역회전을 위한 회전자 위치 추정 알고리즘

공태웅, 이정효, 유재성, 이원철, 원충연  
성균관대학교

## Rotor Position Estimating Algorithm for PMSM Vector Control Using Rectangular 2 Hall Sensors

Tae-Woong Kong, Jung-Hyo Lee, Jae-Sung Yu, Won-Chul Lee, Chung-Yuen Won  
SungKyunKwan University

### ABSTRACT

This paper proposes new vector control method that using two rectangular hall sensors instead of using the expensive encoder and resolver. The proposed method is similar to T-method. But the proposed method measures the speed using two hall sensors signals instead of encoder signal. The proposed new speed estimation method is stable under the rated speed range. This algorithm will be able to moderate prices of the whole system and apply for the unfit place for use encoder and resolver.

### 1. 서 론

영구자석형 동기전동기의 벡터 제어를 구현하기 위해서 가장 중요한 정보 중에 하나는 전동기의 속도와 위치 정보이다. 벡터 제어를 구현할 때 필요한 쇄교 자속의 위치를 계산하기 위해서 반드시 필요한 정보이며, 속도 제어 및 토크 제어를 위한 시스템을 구현하기 위해서도 전동기의 정확한 속도와 위치 측정이 필요하다.[1][2][5]

본 논문은 가전제품에 일반적으로 적용되는 전동기의 위치 센서인 홀센서를 이용하여 벡터제어를 하고자 한다. 홀센서는 가격이 저렴하기 때문에 전동기의 위치 센서로 많이 이용되고 있지만 분해능이 매우 낮기 때문에 벡터 제어를 하는데에 사용하기 힘들다.

일반적으로, 홀센서를 이용한 위치 추정 방법은 홀센서 신호를 4채배 한 신호를 이용하지만 이렇게 하더라도 90도의 위상각 밖에 얻을 수가 없기 때문에 고가의 엔코더나 레졸버를 이용한 제어보다 성능이 떨어질 수밖에 없다. 하지만 이보다 더 큰 문제는 기존의 4채배 된 신호를 이용하는 것으로는 초기 위치 추정 오류로 인해 정역회전을 할 수 없다는 것이다.

따라서 본 논문은 홀센서 신호를 4채배 한 신호로 벡터 제어를 수행할 때의 정역회전 알고리즘과 이를 위한 초기 위치 추정 알고리즘을 제시하고자 한다.

### 2. 구형파 2-Hall Sensor를 이용한 속도 추정

구형파 2-Hall Sensor를 이용한 속도 및 위치 추정 방법은 그림 1과 같이 홀센서의 파형에 대해 Edge를 검출하는 방법을

이용한다.

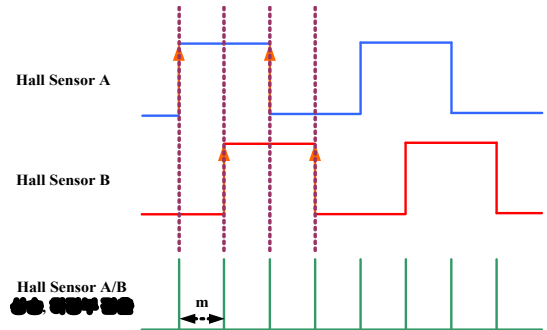


그림 1 홀센서 A/B의 신호와 상승, 하강 검출 신호  
Fig. 1 Hall sensor A/B signal, Edge capture signals

이렇게 A상과 B상의 홀센서 신호 Edge를 검출하면 전동기 회전위치를 90도 간격으로 파악할 수 있다. 90도로 파악된 신호를 이용하여 속도를 추정하기 위해서는 시간에 대한 정보가 필요하다. 따라서 주파수를 알고 있는 클럭 신호를 이용하여 이러한 시간 정보를 만들어 준다.

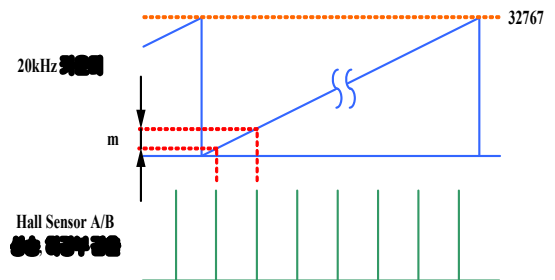


그림 2. 홀센서 A/B의 상승, 하강 검출 신호와 20kHz 신호를 사용한 속도 측정  
Fig. 2 Speed measure that using hall sensor edge capture signal and 20kHz signal

홀센서 신호의 Edge가 검출될 때마다 그 사이의 시간 정보를 얻을 수 있다. 이렇게 얻은 시간 정보와 다음과 같은 일련의 수식을 통하여 전동기의 속도를 추정한다.

$$T = \frac{m}{20k} \quad (1)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{20k}{m} \quad (2)$$

$$rpm = \omega \times \frac{60}{2\pi} \times \frac{1}{P_{pair}} \quad (3)$$

$$rpm = \frac{60 \times 20k}{m \times P_{pair}} \quad (4)$$

### 3. 회전자 위치 추정 및 정역회전과 초기기동 알고리즘

일련의 과정을 통하여 얻은 속도에 대해서 식 (5)와 같은 적분 과정을 통하여 회전자의 위치를 추정한다.

$$\theta = \int \omega dt \quad (5)$$

$$\theta = \theta_{old} + \omega T$$

하지만 다음 홀센서의 edge신호가 나올 때까지는 속도를 측정할 수가 없기 때문에 필연적으로 위치의 오차가 발생한다. 이러한 위치 오차를 없애기 위해서 edge 펄스 수에 따라 위치각을 수정해준다.

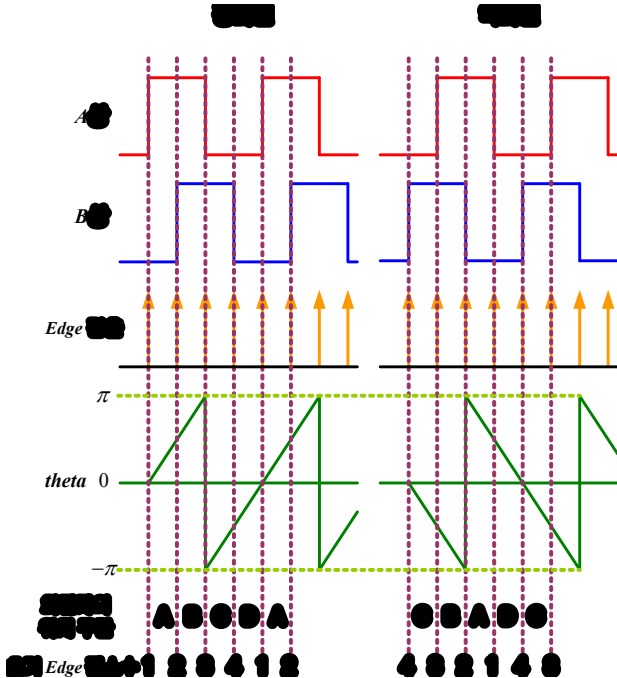


그림 3. 정역회전시 초기 Edge 펄스 수와 회전자의 위치  
Fig. 3. Initial edge pulse count and rotor position in forward and backward direction

그림 3은 전동기를 초기 구동할 때 초기에 홀센서 신호의 Edge 펄스를 검출하여 홀센서의 On/Off에 따라 구간을 구분한 그림이다. 이 때 초기 Edge 펄스는 4n의 주기를 갖기 때문에 초기에 Edge 펄스에 따라 구간을 나누어 주면 그 이후로는 Edge 펄스를 카운트 하여 구동을 하게 된다.

하지만 전동기의 초기 구동에 있어 위와 같은 알고리즘을 쓰면 홀센서 A와 B의 On/Off에 따라 구분한 Edge 펄스 구간과 회전자의 위치가 맞지 않아 정역회전 시 위치 추정에 오류가 발생한다. 따라서 본 논문은 다음의 그림 4와 같은 알고리즘을 통하여 위치각을 추정한다.

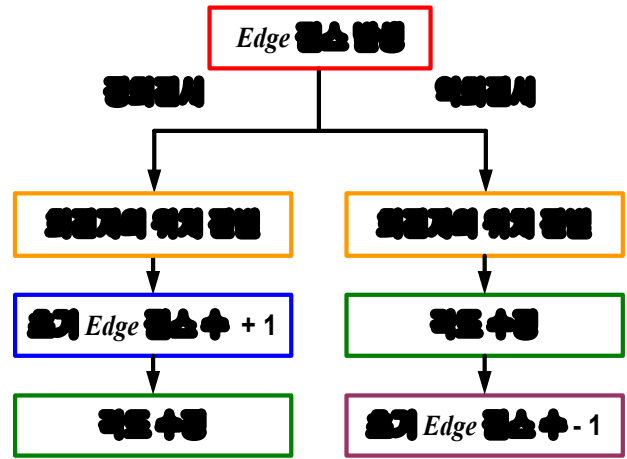


그림 4. 제안한 알고리즘의 블록도  
Fig. 4 Proposed algorithm block diagram

그림 4에서 제안하는 알고리즘은 다음과 같다. 먼저 정회전 역회전을 구분한 다음 회전자의 위치를 판별한다. 만약 회전자가 A구간에 존재한다면 초기 Edge 펄스 수를 +1 하여 준다. 그리고 나서 각도는 초기 Edge 펄스 수가 2인 구간의 각도로 수정하여 준다. 이 때 회전자의 위치는 역회전 방향에서 보면  $\pi \sim \pi/2$  구간에 존재하게 된다. 정회전시와 회전자의 위치를 맞추기 위해서 먼저 회전자의 위치를  $\pi/2$ 로 수정하여 주고 초기 Edge 펄스 수를 -1하여 준다.

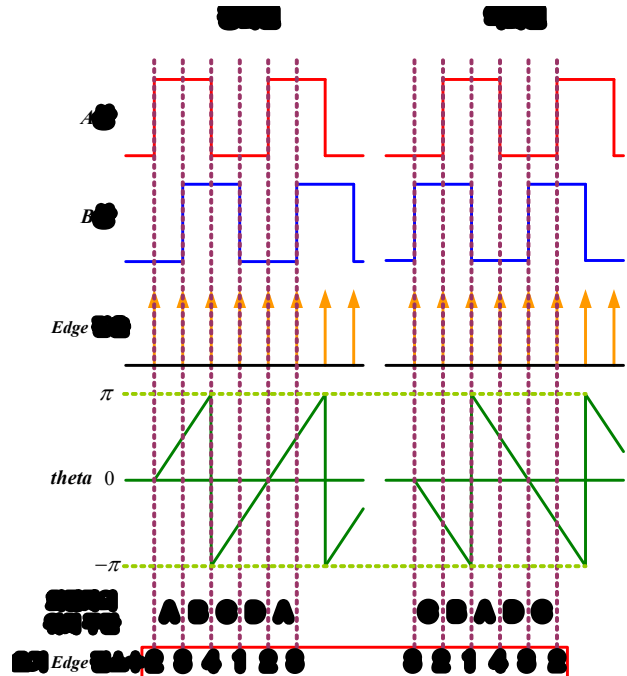


그림 5. 제안한 알고리즘을 적용할 때 정역회전시 초기 Edge 펄스 수 회전자의 위치  
Fig. 5 Initial edge pulse count and rotor position in forward and backward direction using proposed algorithm

#### 4. 실험

본 논문에서 사용된 전동기의 제정수는 표 1과 같다. 제안된 알고리즘은 Altera사의 EPLD인 EPC2LC20와 고속 연산이 가능한 DSP칩인 TMS320F2811칩에 의해 수행되며 전동기를 제어하는 3상 인버터는 IPM(Intelligent Power Module) PS11036 모듈로 전류 제어주기는 100[us], 속도 제어주기는 1[ms]로 제어된다.

표 1 실험에 사용된 전동기 제정수  
Table 1 Motor parameters using in experiment

고정자 저항	3.1[Ω]
쇄교 자속	0.2707[Wb]
Ld	45.5[mH]
Lq	45.5[mH]
관성모멘트	0.0297[kg · m <sup>2</sup> ]
극 수	24[pole]
정격전압	300[V]
정격전류	7[A]
정격속도	400[rpm]
정격토크	20[N · m]

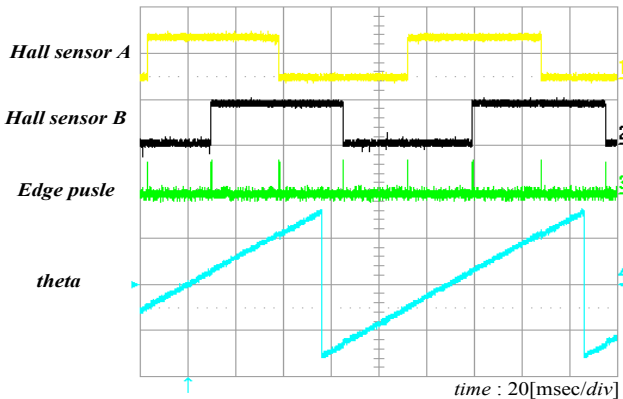


그림 6. 홀센서 A/B, Edge 펄스, theta 파형  
Fig. 6 Hall sensor A/B, edge pulse and theta waveforms

그림 6은 정회전시 홀센서 A와 홀센서 B 그리고 Edge 펄스와 회전자의 위치( $\theta$ )를 나타낸 파형이다. 이 때 홀센서 A의 파형과 회전자의 위치( $\theta$ )가 일치하지 않는 것은 자석의 가공 또는 위치 오차로 인해 소프트웨어 상으로 이동시켜주었기 때문이다.

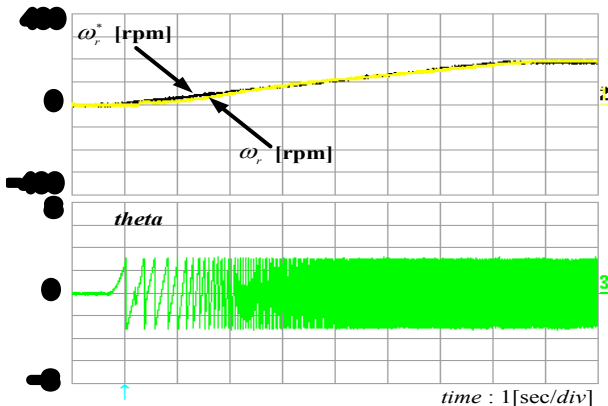


그림 7. 초기 구동시 속도 응답 파형(0→200[rpm])  
Fig. 7 Speed response at starting(0→200[rpm])

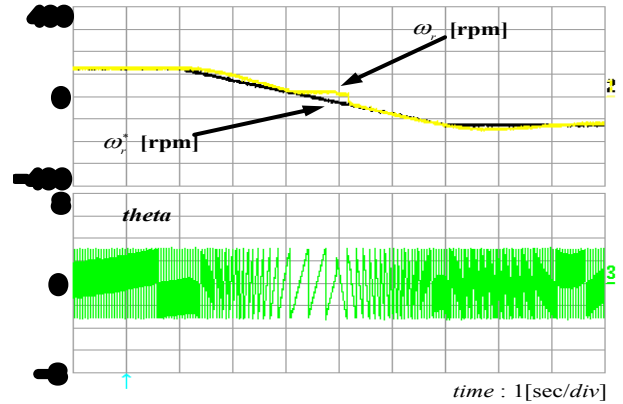


그림 8. 정역회전시 속도 응답 파형(200[rpm]→200[rpm])  
Fig. 8 Speed response at forward and backward direction(200[rpm]→200[rpm])

그림 7은 0[rpm]에서 200[rpm]으로 기동 시켜주었을 때 초기 구동이 잘 되는 것을 보여주는 파형이다.

그림 8은 200[rpm]에서 -200[rpm]으로 정회전에서 역회전으로 회전 방향을 바꾸어 주었을 때의 속도 응답 및 회전자의 위치 파형이다. 200[rpm]의 속도로 정역운전 하였을 때 속도를 잘 추종하는 것을 확인할 수 있다.

#### 5. 결론

구형과 홀센서를 이용한 위치 추정은 90도의 분해능 밖에 갖지 못하는 한계가 있다. 하지만 세탁기를 비롯한 가전제품에서 홀센서를 제외한 위치 센서를 사용하는 것은 상당히 어려운 일이다. 본 논문은 홀센서를 이용한 벡터 제어 방법을 제시하며 이를 위한 정역 회전 알고리즘을 제시하였다. 홀센서를 이용한 벡터 제어를 이용하여 정역회전할 때에는 속도 오차에 의해 추정 위치가 어긋나게 된다. 따라서 이를 위한 위치각을 수정하기 위해 본 논문에서 제안한 알고리즘에 따라 정역회전 시 각도를 수정해야 한다.

본 논문은 에너지관리공단  
에너지자원기술개발사업의 연구비 지원을  
받아 수행한 연구 결과입니다.

#### 참고 문헌

- [1] 정동화, “전력전자 및 전동기 제어”, 도서출판 인터비전, 2005
- [2] 김남준, “유도전동기 저속 운전 특성 개선에 관한 연구”, 1996
- [3] P. Vas, Vector Control of AC Machines, Clarendon Press, pp.316~330, 1990
- [4] B. K. Bose, Power Electronics and AC Drives, Prentice Hall, pp.356~385, 1986
- [5] 설승기, “전기기기 제어론” 도서출판 브레인 코리아, 2002