

자기식 위치 센서를 사용한 영구자석형 동기전동기의 초기 회전자 위치 검출 방법의 개선

박문수, 윤덕용

공주대학교 대학원 전기전자제어공학과

Improvement of Initial Rotor Position Detection Method for Permanent-Magnet Synchronous Motor Using Magnetic Position Sensor

Mun-Su Park, Duck-Yong Yoon

Kongju National University

ABSTRACT

본 논문에서는 영구자석형 동기전동기의 벡터제어를 수행하는데 필요한 회전자의 위치, 특히 기동시의 초기 회전자 위치를 정확하게 검출하기 위하여 자기식 위치 센서를 사용하는 방법을 제안하고, 기존의 광학식 인크리멘탈 로터리 엔코더를 사용하는 경우에 비하여 검출 성능이 우수함을 확인하였다.

1. 서 론

영구자석형 동기전동기(PMSM ; Permanent-Magnet Synchronous Motor)의 벡터제어를 수행하려면 전동기의 상전류를 3상 고정좌표계에서 동기 회전자좌표계로 변환하거나 그 반대의 변환을 수행하는데, 이때 회전자의 위치 정보가 필수적으로 요구된다.^[1,2] PMSM이 회전하는 동안에는 엔코더의 Z상 출력신호를 기준으로 하여 회전자의 위치를 검출할 수 있지만, 전동기를 기동하기 전의 초기 상태에서는 회전자가 임의의 위치에 놓이게 되므로 회전자의 위치를 정확히 측정하는 것이 어렵다.

이 때문에 기존의 시스템에서는 120° 간격으로 설치된 3개의 홀센서 신호를 이용하여 초기 회전자 위치를 60° 구간별로 판단하거나^[2] 회전자의 위치를 수학적 연산으로 추정하는 센서리스 방식을 제안하고 이를 검증하기 위한 수많은 연구가 진행되었으나^[3] 정확도나 실용성 측면에서 만족스럽지 못하였다.

본 논문에서는 기존의 홀센서 및 광학식 인크리멘탈 엔코더를 사용하는 방식에 비해 훨씬 저가형이면서도 고성능인 자기식 위치 센서를 사용하는 방식을 제안한다. 자기식 위치 센서는 ams사의 AS5047U를 사용하고, 제어기인 ARM Cortex-M7 마이크로컨트롤러는 이 센서의 위치 정보를 SPI 직렬통신으로 읽어들이어 벡터제어를 수행한다.

2. 회전자의 위치 검출

2.1 기존의 검출 방식

PMSM의 회전자 위치를 측정하는 방법으로는 홀센서를 사용하는데, 이러한 전동기에는 3개의 홀센서를 120° 간격으로 설치하여 U, V, W상의 출력 신호를 얻으며, 기존의 검출 방식은 이 출력 신호를 사용하여 회전자가 위치하는 0~360° 사이 범위를 60° 구간으로 나누고, 회전자가 위치하는 구간의 중간 값을 취하는 방식으로 초기 회전자 위치를 검출하였다. 전동기가 회전하는 동안에는 로터리 엔코더의 펄스를 카운트하여 변화하

는 회전각을 알아낼 수 있으며, 이 위치 값은 홀센서의 신호를 사용하여 매 주기마다 오차를 보정한다.

이러한 초기 회전자 위치 검출 방식은 회전자 위치를 60° 구간의 중간 값으로 추정하여 얻어내므로 실제 위치가 추정한 위치와 다를 수 있으며, 이 때문에 PMSM의 벡터제어 시스템에서 전동기의 기동 특성이 나빠지는 문제점을 가지고 있다.

2.2 자기식 위치 센서를 사용한 검출 방식

본 논문에서 사용하는 자기식 위치 센서는 180° 간격으로 N극과 S극을 갖는 원통형 영구자석(Diametric Magnet)을 사용하여 전동기의 회전각과 회전속도를 정확히 측정할 수 있다. 센서는 그림 1과 같이 자석의 N극과 S극이 회전함에 따라 레졸버(Resolver)처럼 90°의 위상차를 갖는 사인파(Sine-wave)와 코사인파(Cosine-wave)를 발생하고 이를 사용하여 회전각을 계산하는 원리로 작동한다. 회전각은 SPI 직렬통신을 사용하여 외부에서 읽을 수 있다.

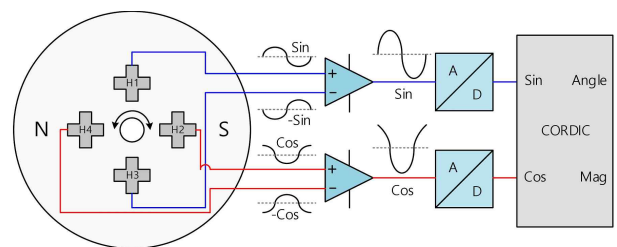


그림 1 자기식 위치 센서의 작동 원리

Fig. 1 Operating principle of magnetic position sensor

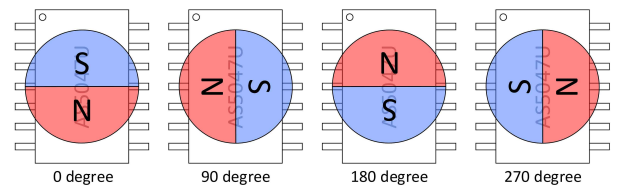


그림 2 원통형 영구자석의 위치에 따른 회전각의 검출

Fig. 2 Rotating angle detection according to the position of the diametric magnet

본 논문에서 사용한 자기식 위치 센서는 ams사의 AS5047U이며,^[4] 표 1에 PMSM에 내장된 엔코더와 AS5047U의 주요 특징을 비교하였다. 영구자석형 동기전동기는 코모텍사의 200W PMSM 모델인 KANQ-02BF1N2를 사용하였다.

이 자기식 위치 센서는 SPI 통신을 사용한 회전자의 위치 검출 기능뿐만 아니라 PMSM에서처럼 U, V, W상의 홀센서 신호와 A, B, Z상의 인크리멘탈 로터리 엔코더 신호를 출력한다. 위치 검출 분해능 및 최고 회전속도, 동작온도 범위 등에서도 충분히 우수한 특성을 가진다.

표 1 PMSM 내장 엔코더와 AS5047U의 주요 특징 비교
Table 1 Comparison of PMSM Encoder and AS5047U

구분	PMSM 내장 엔코더	AS5047U
출력신호	ABZ, UVW	ABZ, UVW, PWM
분해능	2500[PPR]	25~4096[PPR]
최고 회전수	6000[RPM]	28000[RPM]
기능설정	없음	SPI
동작전압	5[V]	5[V], 3.3[V]
동작온도	-10~+85[°C]	-40~+150[°C]

3. 실험 장치의 구성 및 결과

3.1 실험 장치의 구성

본 논문에서는 실험장치로 200W급 PMSM의 벡터제어 시스템을 구성하였으며, 자기식 위치 센서 AS5047U를 사용한 센서 보드를 직접 설계 제작하고, 이것이 전동기의 회전축에 부착한 원통형 영구자석과 On-Axis 방식으로 동작하도록 그림 3과 같이 설치하였다. 이는 기존의 광학식에 비하여 훨씬 저렴한 가격으로 구현할 수 있다. 32비트 ARM Cortex-M7 마이크로컨트롤러를 사용하여 구현한 PMSM의 벡터제어 알고리즘의 블록도는 그림 4에 보였다.

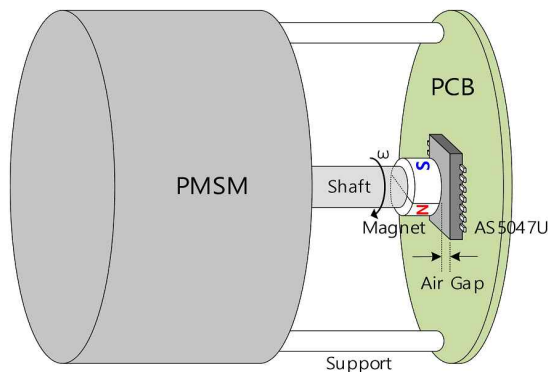


그림 3 AS5047U를 사용한 자기식 엔코더의 구성
Fig. 3 Structure of magnetic encoder using AS5047U

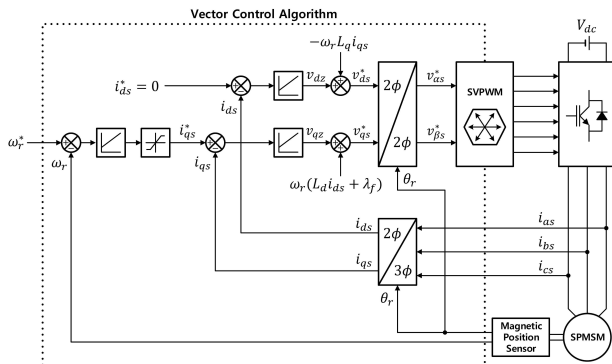


그림 4 영구자석형 동기전동기 벡터제어 알고리즘 블록도
Fig. 4 Vector control algorithm block diagram of PMSM

3.2 실험 결과

자기식 위치 센서를 사용한 벡터제어 인버터의 동작 실험 결과는 그림 5와 같다. (a)는 시각적으로 보기에 편리하도록 시간축으로 20배 확대한 A, B상의 엔코더 신호와 0~360° 범위로 측정된 회전자의 위치를 SPI 직렬통신으로 읽어들이 D/A 컨버터로 출력한 파형이다. (b)는 PMSM을 벡터제어하여 기준 속도를 1800[RPM]으로 스텝 인가하였을 때의 기동 특성 파형이다. 회전자의 위치는 ±0.09°의 분해능으로 측정할 수 있는데, 벡터제어 인버터가 기동 단계부터 회전자의 위치를 정확하게 검출하여 우수한 기동 특성을 나타내는 것을 볼 수 있다.

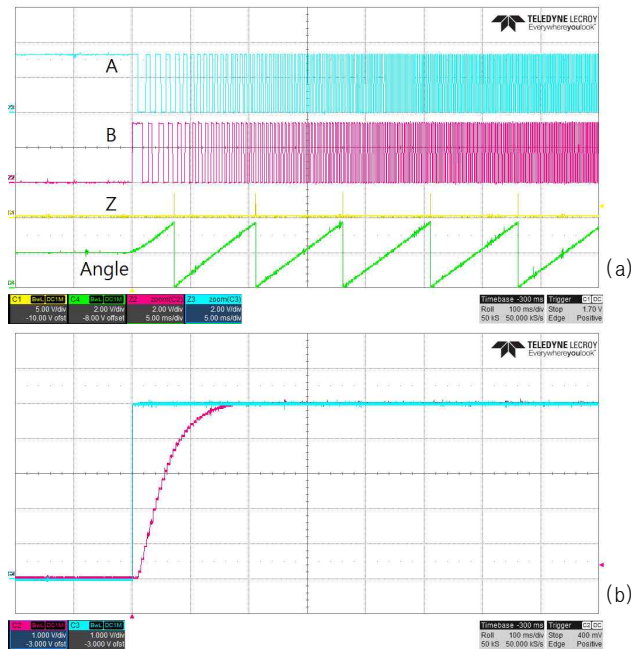


그림 5 자기식 위치 센서를 사용한 벡터제어 인버터의 동작
Fig. 5 Operation characteristics of vector-controlled inverter using magnetic position sensor

4. 결론

본 논문에서는 자기식 위치 센서를 사용하여 PMSM의 초기 회전자 위치를 정확히 검출하는 방법을 제안하였다. 이 방식은 기존의 광학식 로터리 엔코더보다 훨씬 저렴한 가격으로 사용자가 직접 설계 제작하여 사용할 수 있으며, 또한 위치 검출 성능이 기존의 방식에 비하여 우수하다는 것을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] 김상훈, 모터제어 DC, AC, BLDC Motors, 북두출판사, pp. 240~242, 2018.
- [2] 윤덕용, 홍순찬, “공간전압벡터 PWM 기법을 이용한 영구자석형 동기전동기의 속도제어”, 전기학회논문지, 제43권, 제7호, pp. 1112~1120, 1994. 7.
- [3] 김건영, 박영수, 이교범, “극성 판별이 가능한 최소 제곱법 기반의 IPMSM 회전자 초기 위치 추정”, 전력전자학회논문지, 제23권, 제1호, pp. 72~75, 2018. 2.
- [4] ams AG, AS5047U Data Sheet, Oct. 2018.