

# 단상 영구자석 동기 전동기의 비대칭 공극을 고려한 회전자 초기 자극 검출 방법

서승우\*, 김태성\*, 황선환\*, 박종원\*\*  
 경남대학교\*, 지엠비코리아(주)\*\*

## A Rotor Initial Polarity Detection Method of Single-phase Permanent Magnet Synchronous Motor Considering Asymmetric Air-gap

Seung-Woo Seo\*, Tae-Seong Kim\*, Seon-Hwan Hwang\* and Jong-Won Park\*\*  
 Kyungnam University\*, GMB Korea Corp.\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 홀 센서를 사용하지 않고 단상 영구자석 동기 전동기의 초기 회전자 자극을 검출하여 안정적인 오픈루프 기동 및 센서리스 운전 기법을 제안한다. 제안한 회전자 초기 자극 검출 방법은 비대칭 공극을 갖는 단상 영구자석 동기 전동기에 고주파 전압을 인가한 후 회전자 초기 극성에 따른 자기 회로의 비 포화 및 포화여부를 저역통과필터를 이용하여 빠르게 검출하는 방법을 제안하였다. 제안된 초기 자극 검출 방법은 다수의 실험 결과를 통해 안정적 기동 및 센서리스 운전이 가능함을 입증하였다.

### 1. 서론

가정 및 산업분야의 경우, 고효율화를 위해 3상 PMSM 전동기가 널리 사용되고 있다. 하지만, 가격을 고려한 응용분야에서는 단상 영구자석 동기 전동기 관련 연구가 필요한 실정이다. 단상 PMSM은 3상 PMSM과 달리 영 토크 발생 문제가 있기 때문에 비대칭 공극을 갖도록 설계되는 것이 일반적이다. 또한, 3상 PMSM과 마찬가지로 위치센서를 요하지 않는 센서리스 제어 방법의 적용이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 홀 센서를 갖지 않는 단상 영구자석 동기 전동기의 오픈루프 기동 및 센서리스 운전을 위한 회전자 초기 자극 검출 기법을 제안한다. 제안한 방법은 기본적으로 3상 PMSM에 적용되는 고주파 전압 주입 방법을 이용하여, 단상 PMSM의 자기회로에 나타나는 전류의 변화를 관찰한 후 저역통과필터를 이용하여 초기 자극을 추정한다. 제안된 방법은 실험을 통해서 타당성을 검증하였다.

### 2. 단상 PMSM의 모델링 및 회전자 초기 자극 검출 알고리즘

#### 2.1 단상 영구자석 동기 전동기의 모델링

단상 풀 브릿지 인버터를 갖는 단상 PMSM은 그림 1과 같다. 정상상태에서의 단상 PMSM 전압 방정식은 식 (1)과 같다.

$$v_s = R_s i_s + L_s \frac{di_s}{dt} + e \quad (1)$$

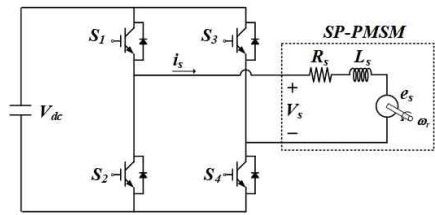


그림 1. 단상 풀 브릿지 회로 및 SP-PMSM의 등가회로

#### 2.2 회전자 초기 자극 추정 알고리즘

제안된 회전자 초기 자극 추정 알고리즘은 식 (2)와 같이 단상 PMSM의 전압 방정식으로부터 유도된다.

$$v_s = R_s i_s + L_s \frac{di_s}{dt} + \omega_r \lambda_{pm} \quad (2)$$

여기서,  $\omega_r$ 는 단상 PMSM의 전기적 각속도이며,  $\lambda_{pm}$ 는 단상 PMSM의 영구자석이 발생시키는 자속이다.

본 논문에서는 초기 회전자 자극 추정을 위해 정지 상태에서 고주파 전압을 주입한다. 이때 회전속도  $\omega_r$ 은 0이며, 식 (2)에서 고정자 저항에 의한 전압강하를 무시하게 되면 식 (3)으로 표현할 수 있다.

$$v_{s \in j} = \omega_{e_j} L_s i_{s \in j} \quad (3)$$

여기서,  $v_{s \in j}$ 는 단상 PMSM에 주입되는 고주파 전압이다.

단상 PMSM의 고정자에 주입된 고주파 전압으로 인해 고주파 성분을 갖는 상전류  $i_{s \in j}$ 가 발생된다. 이때, 고정자의 교번 자계에 의한 자속의 변화 대비 회전자의 영구자석에 의한 쇄교 자속이 지배적인 특징을 가지고 있다. 그 결과 고주파 전압 대비 유기 전압과의 크기 오차가 발생하고 이로 인해 고정자 전류에 회전자 자극에 따른 ‘+’ 및 ‘-’의 직류 성분이 발생하게 된다. 이를 토대로 그림 2에서와 같이 샘플링된 고정자 전류에 저역통과필터를 거치게 되면 회전자 자극에 따른 양의 값 또는 음의 값을 갖는 전류 성분을 검출할 수 있다. 검출된 정보를 기반으로 기동 전류의 방향을 결정할 수 있다.

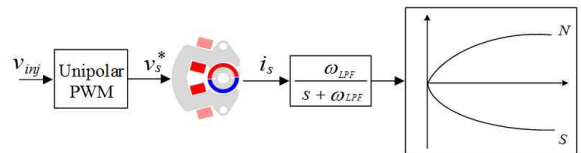


그림 2. LPF를 사용한 회전자 초기 자극 검출 블록도

### 2.3 오픈루프 기동 및 센서리스 운전

제한된 회전자 초기 자극 검출에 따른 단상 PMSM의 오픈루프 기동 및 센서리스 운전 특성을 검증하기 위해서 대표적인 오픈루프 기동인 V/f 대신 I/f 기동 방법을 적용하였다. 이를 통해 센서리스 전환 시점까지 안정적인 기동 특성을 확보하였고, 이후 자속 기반 센서리스 알고리즘으로 운전 모드를 전환하여 고속 운전이 가능함을 확인하였다.

### 2.4 실험 결과

그림 3은 고주파 전압이 단상 PMSM에 인가 될 때 회전자 자극 정보를 포함한 전류 신호를 저역통과필터를 이용하여 검출한 결과를 보여주고 있다. 그림 3의 (a)는 단상 PMSM의 홀 센서가 Low이고, 고주파 전압 주입에 따라 발생된 상전류를 필터링하면 양의 값으로 N극의 위치정보가 확인됨을 보인다. 그림 3의 (b)는 홀 센서 신호가 High인 경우, 고주파 전압을 인가한 후 상전류를 필터링한 결과 음의 값으로 S극의 위치정보가 확인됨을 알 수 있다. 제안된 알고리즘에 의한 정확한 초기 극성 검출을 통해 그림 4와 같이 안정적인 오픈루프 기동을 위한 초기 전류 방향을 선택하여 기동한 결과 안정적인 기동 및 센서리스 운전이 됨을 알 수 있다.

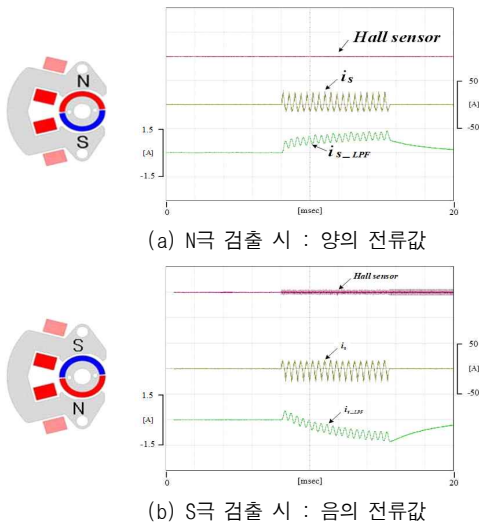


그림 3. 고주파 전압 주입 시 LPF를 이용한 단상 PMSM의 회전자 초기 자극 검출 파형

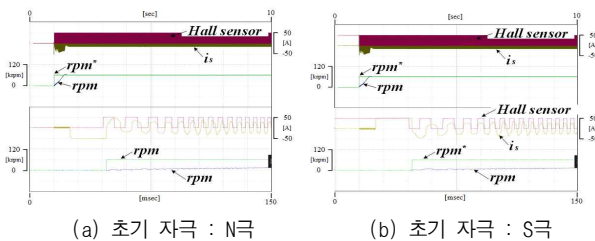


그림 4. 회전자 초기 자극 검출 후 오픈루프 기동 및 센서리스 운전의 파형

## 3. 결론

본 논문에서는 홀 센서를 사용하지 않고 비대칭 공극을 갖는 단상 영구자석 동기 전동기의 정지 시 회전자 자극 검출을 위한 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 고주파 전압 주입에

따른 자기적 특성을 이용하여 전류에 포함된 직류 성분을 저역 통과필터를 이용하여 회전자 자극을 빠르고 용이하게 검출할 수 있음을 보였고, 다수의 실험을 통해서 안정적인 오픈루프 기동 및 센서리스 운전이 가능함을 검증하였다. 이를 통해서 홀 센서 제거를 통한 제품의 공정 신뢰도 증가와 함께 부피 및 가격을 절감할 수 있는 장점을 얻을 수 있다. 또한 역기전력 및 자속 추정이 불가능한 영역에서의 초기 자극 검출 방법을 제안함으로써 일정한 회전 방향을 필요로 하는 응용분야에 적용이 가능함을 확인하였다.

본 논문은 산업통상자원부가 주관하는 2018년 한·일 수출 연계형 자동차부품 기술개발 사업(과제번호 : P035400007)과 2019년 미래자동차 핵심부품 개발 사업(과제번호 : P055100006)의 지원으로 연구되었음.

## 참 고 문 헌

- [1] H. D. Kang, S. H. Hwang and J. S. Lee "Initial Rotor Position Estimation of Single-phase Permanent Magnet Synchronous Motors with Asymmetric Air-gap", IEEE Transportation Electrification Conf., pp. 1-5, Jun. 2018.
- [2] J. Y. Park and J. I. Ha "Sensorless Control of Single-Phase PM Motor drive and Restart Strategy", Proceeding of the KIPE Conference, pp. 99-100, Nov. 2016.
- [3] D. Kim, K. Lee, B. Kim and B. Kwon, "A Novel Starting Methods of the SPM-type BLDC Motors without Position Sensor for Reciprocating Compressor", IEEE Industry Application Conf., vol. 2, pp. 861-865, Oct. 2006.
- [4] W. C. Chen and Y. Y Tzou, "Current-Mode Sensorless Control of Single-Phase Brushless DC Fan Motors", IEEE Ninth International Conference on Power Electronics and Drive Systems, pp. 659-663, Dec. 2011.
- [5] B. J. Kim, H. S. Hwang and C. W. Lee, "Design of a High-speed Single-phase BLDC Motor in Terms of Asymmetric Air Gap", Journal of the Korean Magnetics Society, Vol. 28, No. 2, pp. 58-65, April 2018.