

스위칭 주파수의 펄스 전압 주입을 이용한 IPMSM의 회전자 초기 위치 추정

박내춘, 김상훈
강원대학교

Initial Rotor Position Estimation Method for IPMSM using Switching Frequency Pulse Voltage Injection

N.C. Park, S.H. Kim
Kangwon National Univ.

ABSTRACT

본 논문에서는 스위칭 주파수의 구형파 펄스 전압 주입을 이용한 센서리스 제어시 회전자 초기 위치 추정 방법을 제안하였다. 추정된 동기좌표계 d축에 스위칭 주파수의 구형파 펄스 전압을 주입하여 회전자의 위치를 추정하고, 인덕턴스 포화현상을 이용하여 회전자의 극성을 판별하였다. 제안된 방법은 실험을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

1. Introduction

매입형 영구자석 동기전동기(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor, IPMSM)는 효율이 높고 출력밀도가 크며 빠른 동특성을 얻을 수 있기 때문에 순시 토크 제어가 요구되는 고성능 전동기 제어분야에 유리하다[1].

현재 IPMSM의 고성능 제어시 구동 시스템의 비용 감소와 신뢰성 향상 등을 위해 레졸버와 같은 위치 센서를 사용하지 않는 센서리스(Sensorless) 제어에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근 신호처리가 비교적 간단하고 주입 신호의 주파수가 높아 소음 저감에 유리한 스위칭 주파수의 구형파 펄스 전압을 주입을 이용한 센서리스 제어 기법이 제안되었다[2].

이러한 센서리스 제어시에도 IPMSM을 기동시키기 위해서는 회전자의 초기 위치를 추정할 필요가 있다. 초기 위치 추정을 위한 방법으로는 주로 전압펄스를 이용하는 방법과 고주파 신호 주입법이 제안되어 왔다.

전압 펄스를 이용한 방법은 인덕턴스의 포화현상을 이용하여 인가한 전압 펄스에 대한 전류의 변화율을 이용하여 회전자의 초기 위치를 추정한다[3]. 고주파 신호 주입법은 높은 주파수의 전압 또는 전류를 인가하여 전동기가 운전되는 기본파 주파수 영역에서는 측정하기 힘든 자기적 포화 현상과 자기 이력 현상(Hysteresis)에 의한 인덕턴스의 차이 및 불평형 현상을 이용하여 회전자의 초기 위치를 추정한다[2]. 전압 펄스를 이용한 방법은 전압 펄스 인가 시 전동기가 회전할 위험이 있으며, 고주파 주입법은 유기된 고주파 전류의 제 2 고조파 성분의 부호를 이용하여 회전자의 극성을 판별하기 때문에 인가할 수 있는 주파수의 제한이 있다.

본 논문에서는 스위칭 주파수의 구형파 펄스 전압 주입을 이용한 IPMSM의 회전자 초기 위치 추정 기법을 제안하였다. 스위칭 주파수의 펄스 전압을 주입하여 회전자의 위치를 추정하고 인덕턴스 포화현상으로 인한 d축과 q축의 차이를 이용

하여 회전자의 극성을 판별한다. 제안된 방법은 실험을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

2. 회전자 위치 추정 기법

본 논문에서 제안된 구형파의 펄스 전압 주입 알고리즘을 적용한 회전자의 위치 추정 블록도가 그림 1에 보인다.

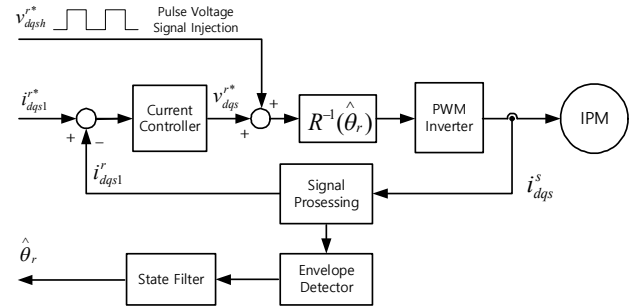


그림 1 회전자 위치 추정 블록도
Fig. 1 Block diagram of rotor position estimator

추정된 동기 좌표계 d축에 고주파 전압을 인가한 경우, 유기된 고주파 전류, i_{dqsh}^s 는 식(1)과 같다[2].

$$\begin{bmatrix} i_{dsh}^s \\ i_{qsh}^s \end{bmatrix} = V_h T_s \begin{bmatrix} \frac{\cos(\theta_r) \cos(\tilde{\theta}_r) + \sin(\theta_r) \sin(\tilde{\theta}_r)}{L_{dh}^r} + \frac{\sin(\theta_r) \sin(\tilde{\theta}_r)}{L_{qh}^r} \\ \frac{\sin(\theta_r) \cos(\tilde{\theta}_r) + \cos(\theta_r) \sin(\tilde{\theta}_r)}{L_{dh}^r} + \frac{\cos(\theta_r) \sin(\tilde{\theta}_r)}{L_{qh}^r} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 V_h 는 인가한 전압의 크기, T_s 는 샘플링 시간, $\tilde{\theta}_r$ 는 위치 오차를 나타낸다. 위치 오차 $\tilde{\theta}_r$ 가 거의 0이라고 가정하면 식(1)은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} i_{dsh}^s \\ i_{qsh}^s \end{bmatrix} \approx \frac{V_h T_s}{L_{dh}^r} \begin{bmatrix} \cos(\theta_r) \\ \sin(\theta_r) \end{bmatrix} \quad (2)$$

이로부터, 회전자의 위치 $\theta_{r,Cul}$ 은 식(3)과 같이 역탄젠트 함수를 사용하여 구할 수 있다.

$$\theta_{rCal} = \text{atan2}(i_{qsh}^s, i_{dsh}^s) \quad (3)$$

3. 자극 판별 방법

신호 주입을 이용하는 방법은 회전자의 구조에 따른 공간적인 인덕턴스 분포의 차이를 찾아내는 방식이기 때문에, d와 q 축의 위치는 추정할 수 있으나 영구 자석의 극성을 구별하지는 못한다. 따라서 추가적으로 영구 자석의 극성을 구별해내는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 인덕턴스의 포화현상을 이용한 자극 판별 방법을 제안한다.

고정자에 전류가 흐르는 경우 a상 권선의 자속축이 회전자 N극이나 S극에 일치하는 경우 자속 방향에 따른 철심의 포화 정도가 달라지므로 d축과 -d축의 인덕턴스는 다르게 된다[3]. 제안한 기법은 고정자에서 구형파 펄스 전압을 인가할 경우 회전자의 N극 위치에서 인덕턴스 포화로 인하여 S극에서 보다 더 큰 전류가 흐르는 것을 이용하여 회전자의 극성을 판별하는데, 그림 2와 같이 연속으로 샘플링된 두 전류로 판별한다.

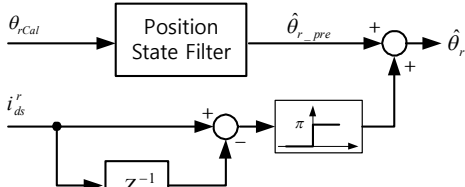
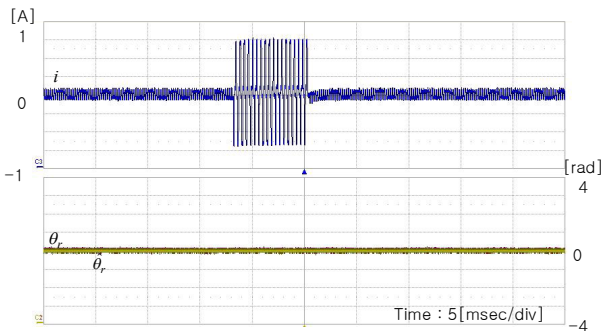


그림 2 제안된 초기위치 추정 기법 블록도
Fig. 2 Block diagram of proposed method

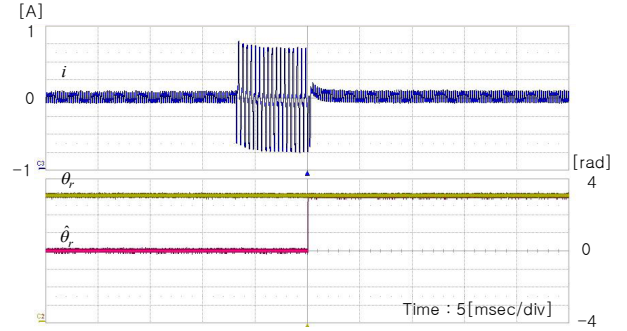
4. 실험 결과

제안된 회전자 초기 위치 추정기법의 타당성을 검증하기 위하여 800[W] IPMSM에 대하여 실험을 수행하였다. 제어기로는 TI(Texas Instruments)사의 TMS320F28335를 이용하였고, 스위칭 주파수는 5[kHz], 전류 샘플링 주기는 100[usec]이다. 위치 추정을 위해 주입된 전압의 크기는 20[V]이고, 자극 판정을 위해 주입한 전압은 80[V]이다.

그림 3은 초기 위치 추정 시 자극 판별 오차가 발생한 경우와 발생하지 않은 경우에 실험파형을 나타내고 있다. 자극 위치 오차가 없는 그림 3(a)의 경우에는 양의 방향 d축 전류가 더 크게 된다. 그러나 d축과 -d축을 잘못 판정한 경우에는 그림 3(b)와 같이 음의 방향 d축 전류가 더 크게 되므로 추정된 위치를 변경하여 준다.



(a) 자극을 올바르게 판단한 경우



(b) 자극을 잘못 판단한 경우

그림 3 초기 위치 추정 실험 결과

Fig. 3 Experimental results for initial rotor position estimation

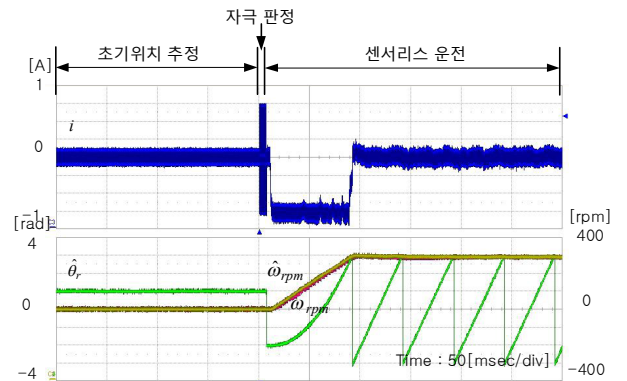


그림 4 제안한 방법을 적용한 초기 기동 실험

Fig. 4 Startup result with the proposed method

그림 4는 초기각 추정 후 0에서 300[rpm]까지 가속한 결과를 나타내고 있다. 회전자의 위치를 추정한 후 자극 판정을 통해 d축과 -d축의 오차를 보상하여 회전자의 위치를 초기부터 잘 추정하고 속도 역시 실제 속도를 기동 시부터 잘 추정하는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 스위칭 주파수의 구형파 펄스 전압 주입을 이용한 센서리스 기법에서 회전자의 초기 위치 추정 기법을 제안하였다. 이 방법은 인덕턴스 포화 현상에 따른 d축과 -d축의 전류 변화를 이용하여 회전자의 위치를 추정하기 때문에 전동기의 전기적, 기계적 상수에 영향을 받지 않으며 기존의 방법에 비해 간단하다. 제안한 기법을 실제 IPMSM 구동 시스템에 적용하여 그 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] 김상훈, *DC, AC, BLDC 모터 제어*, 복두출판사, 2010
- [2] 윤영두, "구형파 전압 주입을 이용한 교류 전동기의 센서리스 제어에 관한 연구", 서울대학교 공학박사 학위논문, 2010.
- [3] 박내춘, 이윤규, 김상훈 "인덕턴스의 포화현상을 이용한 IPMSM의 회전자 초기위치 추정," 전력전자학회 논문지, 제16권, 제4호, pp. 266-273, 2011. 6.