

무효전력을 이용한 영구자석 동기전동기의 새로운 센서리스 제어

한운석*, 최정수**, 김영석***, 신재화****

*(주)아크로스, **경기공업대학, ***인하대학교, ****인천전문대학

New Sensorless Control of PMSM using Reactive Power

Yoon-Seok Han, Jung-Soo Choi, Young-Seok Kim, Jae-Wha Shin

*Acrosens Co. Ltd, **Kyonggi Institute of Technology, ***Inha University, ****Inchon College

Abstract - This paper presents a new speed sensorless control method of permanent magnet synchronous motors based on instantaneous reactive power. The proposed system is constructed in a synchronously rotating reference frame and is very simple. The new approach is not dependent upon the stator resistance, nor is it affected by mechanical motor parameters. The effectiveness of the proposed system is confirmed by the simulation results.

1. 서 론

최근 들어 영구자석 동기전동기는 단위 무게 당 토크 크 비율 및 효율이 다른 전동기에 비해 월등히 높다는 장점을 가지고 있어 산업응용분야에 폭 넓게 사용되고 있다. 그러나, 영구자석 동기전동기는 회전자에 부착되어진 영구자석으로부터 자속을 공급받기 때문에 백터제어를 위해서는 항상 회전자의 정확한 위치 정보를 알아야한다. 따라서, 전동기 회전자의 정확한 위치정보를 얻기 위해서 레졸버나 Absolute Encoder 또는 홀소자 등의 자기센서를 이용한 전자식 위치검출기가 사용되어지고 있다. 이러한 위치검출기는 일반적으로 가격이 고가일 뿐만 아니라 별도의 복잡한 하드웨어가 제어기에 구성되어야 하는 단점이 있다. 또한 진동 및 습도 등의 주위환경에 대한 영향을 많이 받기 때문에 사용환경에 제한을 받는다. 이외에도 위치검출기를 전동기 측에 부착함으로써 인한 전동기 크기의 증대 및 가공성 저하의 문제가 발생하게 된다.

이와 같이 영구자석 전동기의 제어상 큰 문제점인 회전자의 위치를 센서를 사용하지 않고 간접적으로 얻고자 하는 센서리스 제어에 관한 연구가 많이 진행되고 있다.(1)~(5)

본 논문은 순시 무효전력을 이용한 영구자석 동기전동기의 새로운 센서리스 제어를 제안한다. 제안된 방법은 백터제어를 이용하여 고정자 좌표계가 아닌 회전자 좌표계에서의 순시무효전력값을 사용하였기 때문에 제어형태가 간단해진다. 또한, 영구자석 동기전동기의 속도 및 회전자의 위치를 추정하기 위해 전동기의 기계적 방정식을 이용하지 않기 때문에 전동기의 기계적 제 정수에 강인함을 갖는다. 제안한 방법의 타당성과 강인함을 모의실험을 통하여 증명한다.

2. 본 론

2.1 순시 무효전력

회전자 좌표계에서 영구자석 동기전동기의 상태방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + PL_s & -\omega_r L_s \\ \omega_r L_s & R_s + PL_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + K_E \dot{\theta}_r \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, $v_s = [v_d \ v_q]^T$: 인가전압

$i_s = [i_d \ i_q]^T$: 선전류

$E_s = K_E \dot{\theta}_r \cdot [0 \ 1]^T$: 역기전력

R_s : 고정자 저항, L_s : 고정자 인덕턴스

K_E : 역기전력 상수

식 (1)을 이용하여 다음과 같은 방정식을 세운다.

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + PL_s & -\omega_r L_s \\ \omega_r L_s & R_s + PL_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \widehat{E}_s \quad (2)$$

순시 무효전력 q_m 을 선전류 i_s 와 역기전력 E_s 의 백터외적이라고 정의하면, 식 (1)에서의 순시무효전력은 다음과 같다.

$$q_m \equiv i_s \otimes E_s \quad (3)$$

또한, 식 (2)의 정의를 이용한 추정 순시 무효전력은 다음과 같다.

$$\widehat{q}_m \equiv i_s \otimes \widehat{E}_s \quad (4)$$

그림 1은 회전자 좌표계에서의 순시 무효전력을 나타낸다.

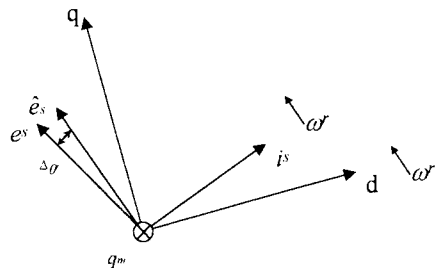


그림 1 회전자 좌표계에서의 순시 무효전력

Fig. 1 Instantaneous reactive power in rotationally reference frame

2.2 순시 무효전력을 이용한 속도 및 위치추정 식 (1)을 이용하여 식 (3)을 풀면 다음과 같다.

$$q_m = i_d \cdot K_E \theta_r \quad (5)$$

만약 추정되는 순시 무효전력이 그림 1에서와 같이 실제 순시 무효전력에 대해 $\Delta \theta_r$ 만큼 벗어나 있다면 식 (4)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\hat{q}_m = i_d \cdot \{K_E \theta_r \cos \Delta \theta_r\} + i_q \cdot \{K_E \theta_r \sin \Delta \theta_r\} \quad (6)$$

윗식에서 $\theta_r \neq 0$ 이고, $\Delta \theta_r \cong 0$ 이라면 식 (6)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\hat{q}_m = i_d \cdot K_E \theta_r + i_q \cdot K_E \theta_r \Delta \theta_r \quad (7)$$

식 (5)와 식 (7)을 이용하여 순시 무효전력 오차 Δq_m 는 다음과 같이 근사화 시킬 수 있다.

$$\Delta q_m = \hat{q}_m - q_m = i_q \cdot K_E \theta_r \Delta \theta_r \quad (8)$$

식 (8)로부터 순시 무효전력값을 이용한 속도 추정식을 정리하면 다음과 같다.

$$\hat{\omega}_r = (K_p + \frac{K_I}{P}) \cdot \Delta q_m \quad (9)$$

위치에 대한 추정값은 식 (9)를 적분하여 얻는다.

그림 2에 전체 제어 시스템에 대한 블록도를 나타왔다. 그림에서 블록도에서 보는 것과 같이 실제 순시무효전력과 추정된 순시무효전력의 차를 PI제어를 통해 추정 속도를 얻고, 이를 적분하여 추정위치값을 얻는다.

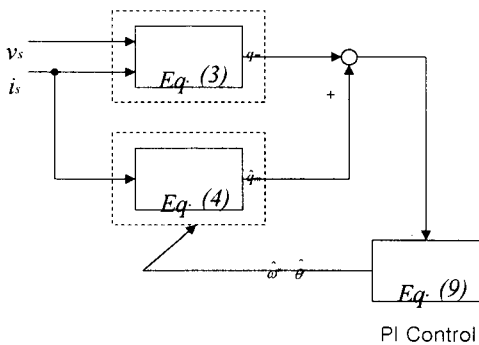
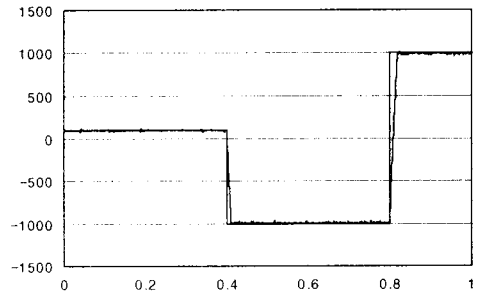


그림 2 속도 및 위치 추정에 대한 제어 시스템
Fig. 2 Control system for speed and position estimation

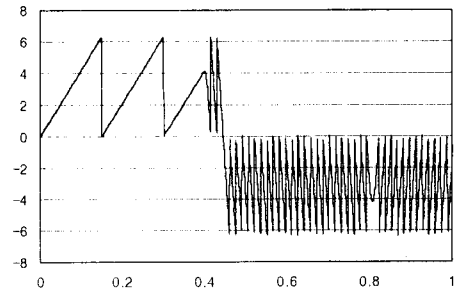
2.3 모의실험 결과

제안한 관측기 시스템의 타당성을 확인하기 위하여 컴퓨터 모의실험을 행하였다. 모의실험결과들은 기동시 회전자의 초기각을 정확히 알고 있다고 가정하였다. 그림 3은 무부하시 가변속에 대한 제어기의 성능을 보여주고 있다. 결과에서 제안한 방법은 저속과 고속 그리고 정역 운전시 지령속도를 잘 추정하고 있는 것을 볼 수 있

며, 이에 따른 각도 역시 양호한 추정성능을 보여주고 있다. 그림 4는 무부하가 아닌 변동부하를 운전중에 인가하였을때에 대한 모의실험결과이다. 운전후 0.25초 후에 +50%의 부하를 인가하고 0.75초 후에 -50%의 부하를 인가하였다. 속도 지령값은 500[rpm]으로 기동시킨후 0.5초 후에 -500[rpm]으로 하였다. 모의실험결과로부터 부하변동에 강인함을 볼 수 있다. 그림 5와 6는 제안된 방법의 강인성을 확인하기 위하여 일정 부하를 인가한 상태에서 기동한 모의실험결과들이다. 또한, 전동기 정수의 변동에 대한 강인성을 동시에 확인하기 위하여 전동기 관성값을 2배 증가하였다. 그림 5는 지령속도를 정지상태에서 스텝형태로 100[rpm], 0.5초후에 -100[rpm]로 했을 때의 결과로 저속 부하 가변속 운전시 회전자의 속도 및 위치를 잘 추정하고 있는 것을 볼 수 있다. 그림 6은 그림 5와 같은 부하조건에서 지령속도를 1000[rpm], 0.5초후에 -1000[rpm]으로 했을 때의 결과로 저속 뿐만 아니라 고속에서도 속도 및 위치를 잘 추정하고 있음을 볼 수 있다.

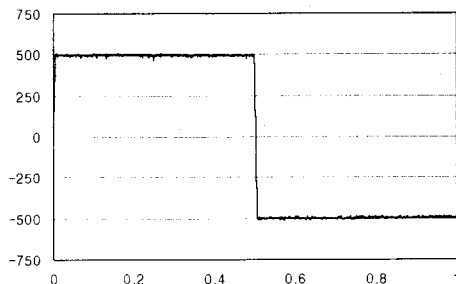


(a) 속도 (지령, 추정, 실제)

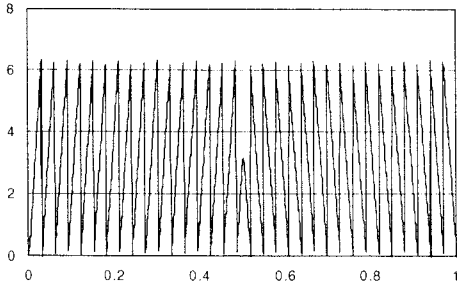


(b) 위치 (추정, 실제)

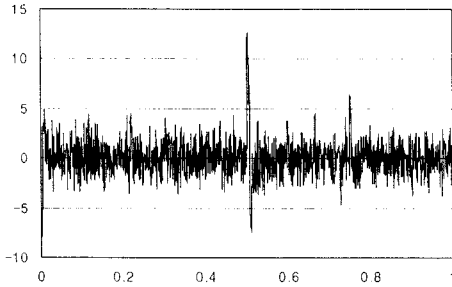
그림 3. 무부하시 가변속 응답특성



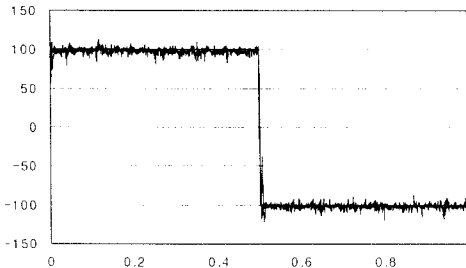
(a) 속도 (지령, 추정, 실제)



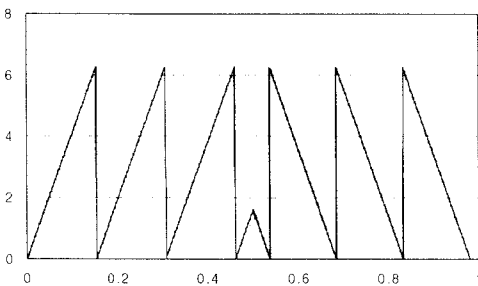
(b) 위치 (추정, 실제)



(c) 속도 오차 (실제 - 추정)
그림 4 변동 부하시 가변속 특성



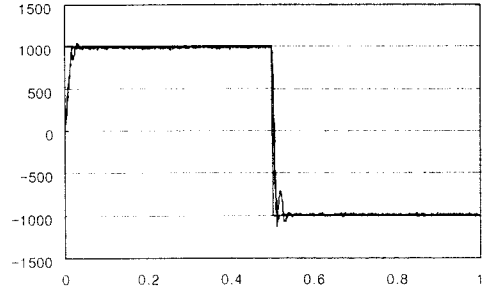
(a) 속도 (지령, 추정, 실제)



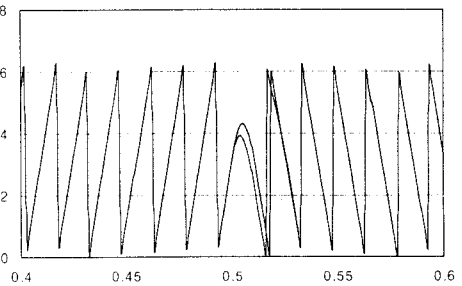
(b) 위치 (추정, 실제)
그림 5 일정부하, 관성계수 증가시 가변속 특성
100[rpm]→-100[rpm]

3. 결 론

본 논문에서는 회전자 좌표계에서의 순시 무효전력을 이용하여 센서리스 제어 시스템을 제안하고 이를 영구자석 동기전동기의 센서리스 속도제어에 대해 적용하였으며, 이를 통한 모의실험을 요약하면 다음과 같다.



(a) 속도 (지령, 추정, 실제)



(b) 위치 (추정, 실제)

그림 6 일정부하, 관성계수 증가시 가변속 특성
1000[rpm]→1000[rpm]

- 1) 제안한 순시 무효전력을 이용한 시스템은 정상상태 뿐만 아니라 속도가 급변하는 과도상태에서도 전동기의 속도 및 회전자의 위치를 잘 추정할 수 있음을 확인하였다.
- 2) 회전자 좌표계에서의 순시 무효전력을 이용하기 때문에 순시 무효전력에 대한 식들이 간단해진다.
- 3) 전동기의 기계적 방정식을 사용하지 않고 회전자의 속도 및 위치를 추정하므로 전동기 정수에 덜 민감함을 확인하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] R. Wu et al. "A Permanent Magnet Motor Drive Without a Shaft Sensor," IEEE Trans. Ind. Appl., vol.27, no.5, pp.1005-1011, 1991.
- [2] N. Matsui et al. "Brushless dc Motor Control without Position and speed Sensor," IEEE Trans. Ind. Appl., vol.28, no.1, pp.120-127, 1992.
- [3] J. Hu, et al. "Application of Sliding Observer to Sensorless Permanent Magnet Synchronous Motor Drive System," IEEE PESC Conf. Record, pp.532-536, 1994
- [4] R. B. Sepe et al. "Real-Time Observer-Based (Adaptive) Control of a Permanent-Magnet Synchronous Motor without Mechanical Sensor," IEEE Trans. Ind. Appl., vol.28, no.6, pp.1345-1352, 1992.
- [5] T. Furuhashi et al. "A Position-and-Velocity Sensorless Control for Brushless DC Motors Using an Adaptive Sliding Mode Observer," IEEE Trans. Industrial Electronics, vol.39, no.2, pp.89-95, 1992.