

슬라이딩 모드 관측기를 이용한 IPMSM의 센서리스 제어의 기동특성에 관한 연구

김상훈 정영석 권순재 김만고
부경대학교

A Study on Startup-Characteristic for Sensorless Control of IPMSM with Sliding Mode Observer

SangHun Kim, YoungSeok Jung, SoonJae Kwon, MarnGo Kim
Pukyong National University

ABSTRACT

본 논문에서는 슬라이딩 모드 관측기를 이용하여 IPMSM(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor)의 센서리스 제어의 기동특성에 관한 연구를 수행하였다. IPMSM의 센서리스 제어는 초기 구동시 회전자 위치를 알 수가 없으므로 Open-Loop 알고리즘을 이용하여 강제로 모터를 구동시킨다. 그러므로 Open-Loop에서 Closed-Loop로 제어되는 시점에서 부하의 상태에 따라 기동 특성에 문제점을 야기시킬 수 있다. 본 논문에서는 부하에 따라 기동 특성에서 야기되는 문제점과 해결책을 제시한다. 제시된 방법을 시뮬레이션을 통해 검증한다.

1. 서론

SMO(Sliding Mode Observer)는 IPMSM의 역기전력을 이용한 위치 추정 알고리즘이기 때문에 저속영역이나 정지 상태에서는 위치정보를 얻을 수 없다. 때문에, Open-Loop 제어를 이용하여 일정속도로 초기 구동을 하게 된다. 기동 후 SMO에서 얻은 정보로 모터를 제어하기 위해 Close-Loop 제어로 전환하는 과정에서 부하에 따라 속도제어 양상이 달라지며 속도 응답이 불량해진다. 이는 기동시 부하를 고려하지 않고 필요 이상의 회전자계를 만들어주기 때문에 야기된다. 부하의 크기는 Open-Loop 제어시 SMO의 추정 위치와 제어 입력 위치의 오차로 추정 할 수 있으며, 회전자계의 크기는 q축전류크기를 제어함으로써 줄일 수 있다. 따라서 본 논문에서는 Open-Loop 제어시 부하의 크기에 따른 전류제어를 함으로써 부하의 크기에 관계없이 기동응답이 양호하도록 제어한다. 기동 과도응답의 향상을 시뮬레이션을 통해 확인한다^{[1][2][4]}.

2. IPMSM의 모델링

IPMSM은 d-q축(회전자의 위치를 정확히 알고 있을 경우의 기준 축)에서 다음과 같이 모델링 할 수 있다^[3].

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_d \\ \dot{v}_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a + pL_d & -wL_q \\ wL_d & R_a + pL_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ wK_E \end{bmatrix} \quad (1)$$

센서리스 제어에서는 정확한 회전자 위치를 알 수 없으므로 가상의 γ - δ 축을 이용하며 식 (1)을 변형하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_\gamma \\ v_\delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a + pL_d & -wL_q \\ wL_q & R_a + pL_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\gamma \\ i_\delta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_\gamma \\ e_\delta \end{bmatrix} \quad (2)$$

3. 슬라이딩모드 관측기

슬라이딩 모드 관측기를 설계하기 위해 위에서 구한 IPMSM 모델 식을 다음과 같이 다시 정리할 수 있다.

$$L_d \begin{bmatrix} p\hat{i}_\gamma \\ p\hat{i}_\delta \end{bmatrix} = -R_a \begin{bmatrix} \hat{i}_\gamma \\ \hat{i}_\delta \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} e_\gamma \\ e_\delta \end{bmatrix} + wL_q \begin{bmatrix} i_\delta \\ -i_\gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_\gamma \\ v_\delta \end{bmatrix} \quad (3)$$

위 식으로부터 회전자 위치 정보가 포함된 역기전력을 얻을 수 있는 관측기는 다음과 같다.

$$L_d \begin{bmatrix} p\hat{i}_\gamma \\ p\hat{i}_\delta \end{bmatrix} = -R_a \begin{bmatrix} \hat{i}_\gamma \\ \hat{i}_\delta \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{sign}(\hat{i}_\gamma - i_\gamma) \\ \text{sign}(\hat{i}_\delta - i_\delta) \end{bmatrix} + \hat{w}L_q \begin{bmatrix} i_\delta \\ -i_\gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_\gamma \\ v_\delta \end{bmatrix} \quad (4)$$

4. 초기 구동

정지 상태에서 SMO는 회전자 위치를 검출 할 수 없으므로 임의의 회전 자계를 발생시켜 일정속도까지 가속시킨다. 일반적인 기동과정은 초기정렬, 회전자계생성, 입력위치와 SMO 추정위치 오차 보정의 3단계를 거치며, 이후 SMO를 이용한 속도제어로 전환된다. 본 논문에서는 q축 전류 벡터를 이용하여 회전자계를 생성하였으며 회전자계 생성 단계 중 부하의 상태를 추정하고 회전자계의 크기를 제어하는 단계가 추가된다. 따라서 다양한 부하조건에서 양호한 응답을 얻을 수 있다.

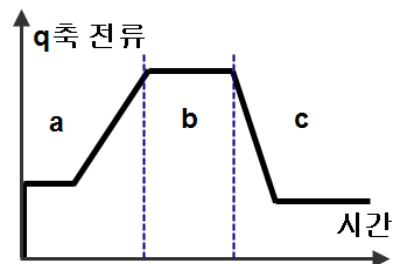


그림 1 초기 구동시 q축 전류

초기 구동시 각 단계는 위의 그림 1 으로 설명할 수 있다. 구간 (a)에서 강제정렬을 하고 구간 (b)에서 회전자계를 생성한다. 일반적인 구동 방법은 구간 (b)에서 Open-Loop 제어가 끝이 나지만 본 논문에서는 부하의 크기에 따라 q축 전류를 줄여주는 구간 (c)가 추가 되었다. 구간 (c)에서 q축 전류 크기 명령은 PI제어기를 통해 나온다. 이 PI제어기는 입력위치와 SMO 추정위치의 오차가 일정 범위 내에 들어오도록 q축 전류의 크기를 조절 한다.

5. 시뮬레이션

부하의 크기를 고려한 IPMSM 제어 블록 선도는 그림 2과 같이 간략하게 나타 낼 수 있다.

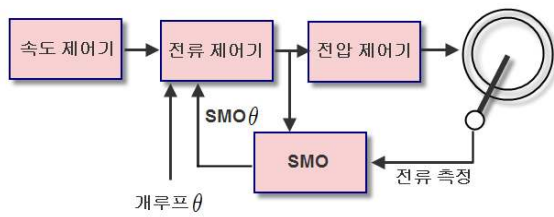
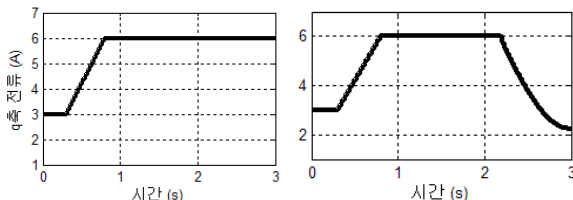


그림 2 블록 선도

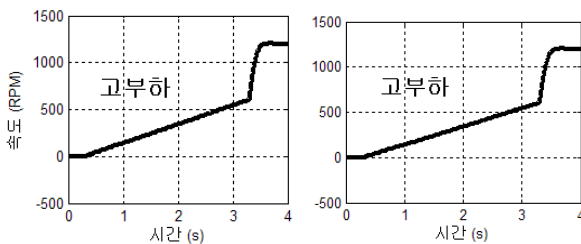
본 논문에서 제안한 이론을 검증하기 위해 Matlab simulink를 이용하여 시뮬레이션 하였다.

그림 3 은 일반적인 구동 i_q (a) 와 부하를 고려한 i_q (b) 의 파형을 나타낸다.



(a) 일반적인 i_q 제어 입력 (b) 제안된 i_q 제어 입력
그림 3 q축 전류

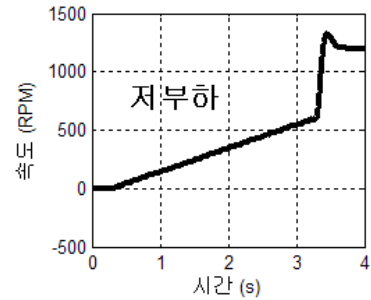
그림 4는 고부하시 일반적인 방법과 제안된 방법의 속도 응답을 나타낸다. 고부하시 응답특성이 양호하도록 제어기가 꾸며져 있으므로 제안된 q축전류 제어를 포함하지 않아도 양호한 결과를 확인 할 수 있다.



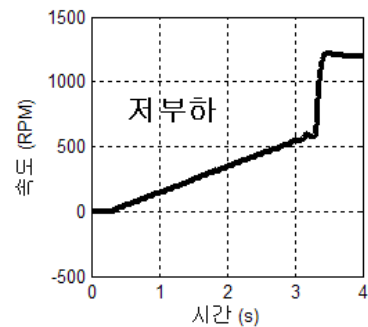
(a) 일반적인 방법 (b) 제안된 방법
그림 4 고부하시 속도 제어

그림 5 은 저부하시 일반적인 방법과 제안된 방법의 속도 응답을 나타낸다. 일반적인 방법 5-(a)에서는 약 15%의 오버

슈트가 발생됨을 알 수 있지만 5-(b)의 개선된 전류제어의 속도 응답은 저부하 에서도 양호한 응답을 보장함을 확인 할 수 있다.



(a) 일반적인 방법



(b) 제안된 방법

그림 5 저부하시 속도 제어

6. 결론

본 논문에서는 슬라이딩 모드 관측기를 이용한 IPMSM의 센서리스 제어의 기동특성에 대한 연구를 수행함으로써 속도제어 응답특성을 개선하였다. 고부하를 기준으로 선정된 제어기에 저부하 기동을 할 경우의 문제점을 확인하고, 부하의 크기에 따라 Open-Loop 제어시 회전자계의 크기를 조절하여 넓은 부하 영역에서 양호한 기동이 이루어지도록 제어기를 설계 하였다. 제안된 제어기의 성능은 시뮬레이션을 통해 확인 되었다.

이 논문은 부경대학교의 BK21연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 한양대학교 에너지변환연구실, 매입자석 동기모터의 설계 및 제어, 인터뷰전, pp. 1-9, 2007.
- [2] 정동화, 전력전자 및 전동기 제어, 인터뷰전, pp. 395-396, 2007.
- [3] Y. S. Jung, "Sliding Mode Observer for Sensorless Control of IPMSM Drives", Proceedings of the JPE, Vol. 9, No. 1, pp. 117-123, 2009, January.
- [4] K. L. Kang, "슬라이딩 모드 관측기를 이용한 고속영역에서의 PMSM 센서리스 제어에 관한 연구", 대한전기학회, Vol. 53B, No. 1, pp. 30-36, 2004.