

터미널슬라이딩모드와 백스테핑을 이용한 IPMSM의 제어

문병윤*, 박승규*, 광군평*
 창원대학교*

IPMSM Control Using Terminal Sliding Mode and BackStepping

Byeong-Yun Mun**, Seung-Gyu Park*, Gun-Pyeong kwak*
 Changwon National Universty

Abstract - 본 논문에서는 IPMSM의 제어에 있어 터미널슬라이딩모드를 사용한다. 이용하여 슬라이딩 평면에서 유한한 시간 안에 오차가 0으로 수렴함을 보장하도록 제안한다. 그러나 IPMSM 부하외란의 비정합성 문제해결을 위해 백스테핑제어 기법을 적용하였다. 제안된 제어기는 백스테핑 PID제어기를 사용한 IPMSM제어 시스템과 비교할 때 강인한 특성을 갖는다.

$$i_{q(ref)} = \frac{(-cp|x|^{p-1}\dot{x} + \frac{B_m}{J_m}W_r - K_1S - K_2\text{sign}(s))}{(\frac{3P_o}{2J_m}(\lambda_m + (L_d - L_q)i_d))} \quad (4)$$

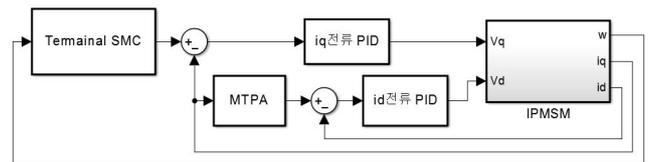
증명 :
 다음과 같은 리아프노프 후보함수를 설정한다.

$$V = \frac{1}{2}S^2 \quad (5)$$

위 함수를 시간에 대해 미분하고 식 (2) 및 (4)를 적용하면 다음과 같은 식을 증명한다.

$$\begin{aligned} V &= \dot{S} = S(\frac{3P_o}{2J_m}(\lambda_m + (L_d - L_q)i_d)i_q \\ &- \frac{B_m}{J_m}W_r - \frac{T_l}{J_m} + cp|x|^{p-1}\dot{x}) \\ &= S(-K_1S - K_2\text{sign}(s)) \\ &= -K_1S^2 - K_2|S| < 0 \\ i_{q(ref)} &= i_{q(ref)eq} + \Delta i_{q(ref)} \end{aligned} \quad (6)$$

위의 제어입력과 PID제어기를 사용한 백스테핑개념을 이용한 전체 IPMSM의 제어시스템은 다음과 같다.



〈그림 1〉 백스테핑 개념을 이용한 IPMSM의 터미널슬라이딩모드제어 시스템의 블록도

3. 시뮬레이션

시뮬레이션에 사용된 IPMSM의 파라미터값은 다음과 같다.

〈표 1〉 시뮬레이션에 사용된 IPMSM의 파라미터값

P_o	2
R	1.9Ω
L_d	15.1mH
L_q	31mH
λ_f	0.31 Vs/rad
J_m	0.0005Kg·m ²
B_m	0.03Nms/rad
$i_{d(ref)}$	0.4A
c	10
K_1	155
K_2	180
p	0.7

1. 서 론

영구자석형 동기전동기는 회전자자석의 부착형태에 따라서 표면부착형(SPM)과 매입형(IPMSM)으로 분류된다. 제어에 있어서의 IPMSM은 자계전류가 영일 때 최대토크효율을 갖는 SPM과 달리 자계 전류를 '0'이 아닌 값으로 적절히 제어해 주어야 하기 때문에 동특성에 있어서 비선형성을 그대로 고려하여 제어해야 한다.

본 연구에서는 강인성을 향상시키기 위해서 터미널슬라이딩모드제어기를 적용하고자 한다. 그러나 IPMSM은 정합조건을 만족시키지 못하므로 터미널슬라이딩모드를 적용하기가 어렵기 때문에 백스테핑기법을 사용하여 이 어려움을 극복한다.[2] 백스테핑제어의 장점은 고차계통을 작은 차수의 계통으로 나눔으로서 안정도 등의 고려를 용이하게 한다는 데 있다. 백스테핑제어의 기본원리는 입력항이 존재하지 않는 소계통에서 다른 소계통의 상태를 입력으로 생각하여 결정하고 다음 제어 단계에서 결정된 상태값이 실제적으로 얻어질 수 있도록 제어기를 결정하게 된다.[3] 이전 단계에서 결정되었던 상태값이 기준입력값의 역할을 하게 된다.

위 시스템에 대해서 다음과 같은 터미널 슬라이딩 평면을 정하여 적용하고자 한다 [4].

$$S = \dot{x} + c|x|^p \text{sign}(x) \quad (2)$$

여기서 c는 양의 상수이고, p는 0.51 < p < 1을 만족하는 유리수이다.

위의 슬라이딩모드제어기에 대한 강인성은 Vq전압을 입력으로 할 때 부하외란이 정합조건을 만족시키지 못하기 때문에 iq를 입력으로 하여 터미널슬라이딩모드제어기를 설계한 다음, 전류값을 그 값으로 만드는 전압입력을 결정해 주는 백스테핑제어 기법을 사용해야 한다.

3. 제어기 설계

식(1)에서 속도식은 다음과 같다.

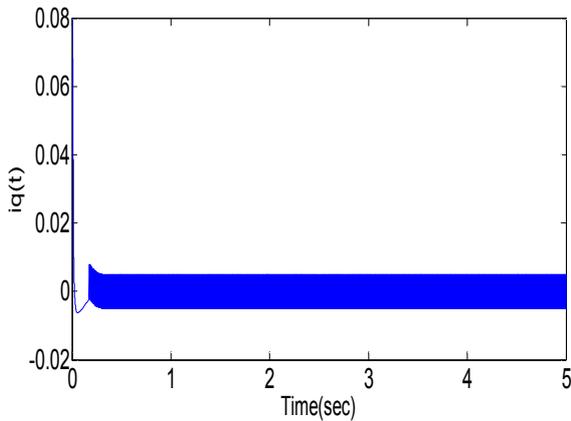
$$J_m \frac{dW_r}{dt} = \frac{3p_o}{2}(\lambda_m i_q + (L_d - L_q)i_d i_q) - B_m W_r - T_l \quad (3)$$

위의 속도식에서 iq를 터미널슬라이딩모드 제어입력으로 설계하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

정리 1: 식 (3)의 시스템에 대한 제어입력 $i_{q(ref)}$ 를 구성하여 식 (4)와 같은 제어기를 이용하면, 유한한 시간안에 속도오차가 0으로 수렴함을 보장한다.

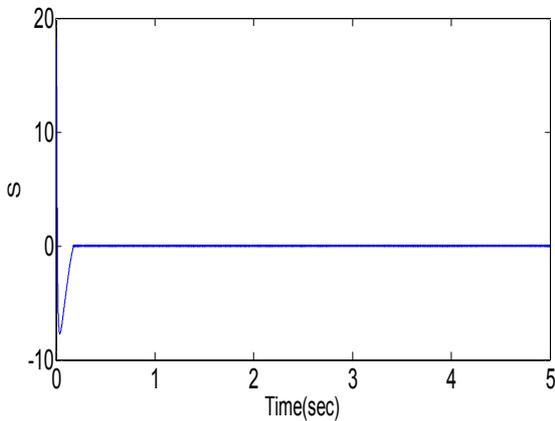
시뮬레이션 결과는 다음 그림들과 같다.

전류 i_q 에 대한 시간응답은 그림 1과 같다.



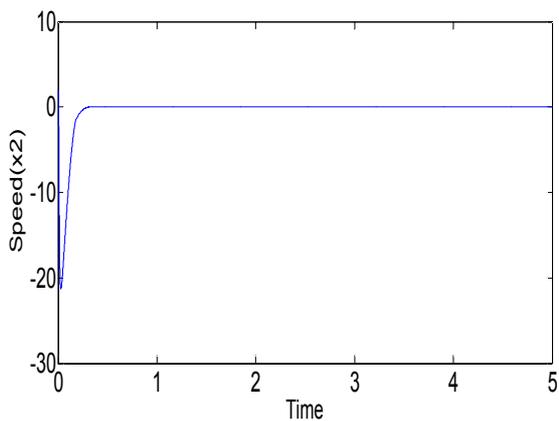
〈그림 1〉 i_q 의 시간응답

그림 2에서 슬라이딩함수 값이 영으로 수렴함을 알 수 있다.



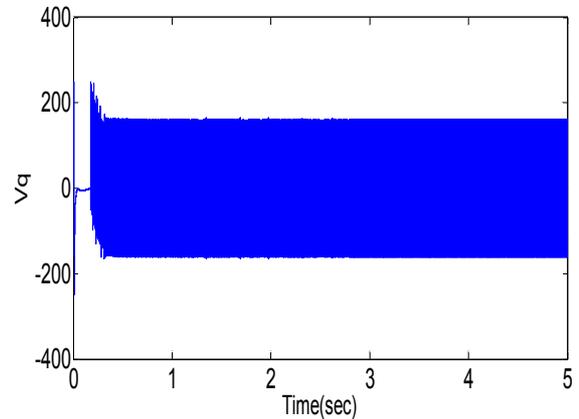
〈그림 2〉 함수 s 값

다음 그림은 속도오차에 관한 그림이다. 외란이 존재함에도 속도오차가 영으로 수렴함을 알 수 있다.



〈그림 3〉 속도오차의 시간응답

다음 그림은 입력전압의 시간응답을 보여주고 있다.



〈그림 4〉 입력전압 V_q

3. 결 론

본 논문에서는 IPMSM을 제어하기 위해 터미널슬라이딩모드를 이용하여 강인성을 향상시키는데 있어서, 백스테핑기법을 적용함으로써 정합조건을 만족시킬 수 있도록 하였다. 기존의 PID제어구조에 비해서 강인성을 향상시킬 수 있고 전체 안정도를 확보할 수 있음을 증명하고 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] C. K. Lin, T. H. Liu and C. F. Li Adaptive Backstepping PI Sliding-mode Control for Interior Permanent Magnet Synchronous Motor Drive Systems , July 01, 2011
- [2] H. J. shieh and K. K. shyu, "Nonlinear-mode torque control with adaptive backstepping approach for induction motor drive," IEEE Trans. Ind. Electron Apr.1999.
- [3] M. A. Rahman, D. M. Vilathgamuwa, N. Uddin, and K. J. Tseng "Nonlinear control of interior permanent-magnet synchronous motor." IEEE Trans. /APR2003.
- [4] Y. H. Jo, Y. H. Lee, and K. B. Park " Design og Extended Terminal Sliding Mode Control Systems /