

개선된 슬라이딩모드 제어를 적용한 Missile Assembly Test System(MATS)용 IPMSM의 위치제어

조용주*, 신수철**, 이정효**, 박현우**, 이택기***, 김영렬****, 원충연**
 LIG넥스원(주)*, 성균관대학교**, 한경대학교***, 안양대학교****

Position Control of IPMSM for Missile Assembly Test System(MATS) using Improved Sliding Mode Controller

Yong Ju Cho*, Soo Cheol Shin**, Jung Hyo Lee**, Hyeon Woo Park**, Taeck Kie Lee***, Young-Real Kim****, Chung Yuen Won**
 LIG Nex1* Sungkyunkwan Univ.** , Hankyong National Univ.*** , Anyang Univ.****

ABSTRACT

본 논문은 군사용 미사일의 조립 후 성능 검증을 위한 Missile Assembly Test System(MATS)용 IPMSM의 위치 제어 방법을 구현하였다. 이를 위하여 슬라이딩 모드 제어기와 PI 제어기를 Membership 함수를 사용하여 혼합한 개선된 위치제어 알고리즘을 제안하였다. 오버슈트가 없고, 외란에 대하여 강인하게 운전 궤적을 추정하는 특성이 뛰어난 슬라이딩 모드 제어의 장점과, 빠른 제어 응답성과 정상상태에서 리플이 적은 PI제어를 적절하게 혼합하였고, 이를 시뮬레이션을 통하여 IPMSM의 위치제어 성능을 검증하였다.

1. 서론

영구자석 동기 전동기는 위치 및 속도 지령에 대하여 동기 속도로 회전하기 때문에 정확한 속도 및 위치제어가 가능한 장점이 있다. 그러나 시스템 환경에 따라 민감한 파라미터 변동 특성을 갖는 영구자석 동기전동기에서 PI제어기를 이용한 위치 및 속도제어를 수행 할 경우 시스템의 파라미터 변동이나 외란에 의하여 위치 및 속도제어기의 출력에 오버슈트가 발생할 우려가 있다.^[1] 이는 MATS와 같이 제한된 최소 오차를 허용하는 시스템에서 치명적인 문제를 발생시킬 소지가 있다. 반면에 슬라이딩모드 제어를 이용하는 위치 및 속도제어는 시스템의 파라미터 변동이나 외란에 대하여 제어기 출력이 강인한 특성을 갖지만 필연적으로 목표 값에서 토크리플이 존재하는 단점이 있다.^[2] 본 논문에서는 슬라이딩 모드와 PI 혼합 제어기를 이용하여 IPMSM의 위치제어를 수행하였다. 시뮬레이션을 통하여 파라미터 변동과 외란에 강인하고, 토크리플을 저감하는 제어기의 성능을 검증하였다.

2. 본론

2.1 Missile Assembly Test System

군사용 미사일은 목표물을 추적하기 위하여 내부에 상하, 좌우, 회전을 검출하는 3차원 자이로 센서를 갖는다. MATS는 그림 1과 같이 군사용 미사일을 시험하기 위한 장치로 회전 및 Yaw 제어를 이용하여 3차원 자이로 센서의 이상 유무를 검출한다. MATS용 IPMSM의 제어 성능은 다음과 같은 위치제어 성능이 요구된다. 첫째 정확한 직교 회전 제어를 통하여 비행체의 상하, 좌우 자이로 센서를 독립적으로 시험 한다. 두 번째로 MATS는 폭발 위험물을 시험하는 장치로 어떠한 상황에서

도 안정적인 회전 특성을 갖추어야 한다.

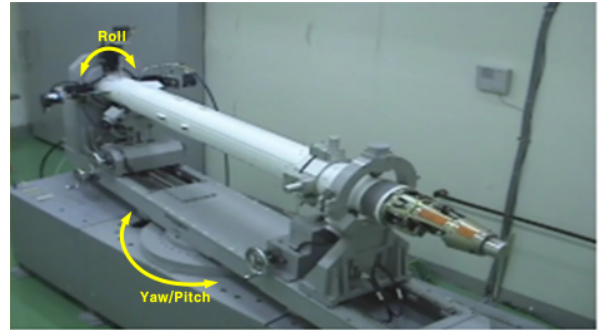


그림 1 미사일 조립 점검 장치.
 Fig. 1 Missile Assembly Test System.

2.2 제안한 IPMSM의 위치제어 블록

그림 2는 개선된 슬라이딩 모드를 적용한 IPMSM의 위치 제어 블록도이다. IPMSM의 위치제어에 필요한 i_{qs}^* 전류 지령치는 슬라이딩 모드 위치 제어기와 PI 위치 제어기 및 Membership 함수를 통하여 얻어진다.

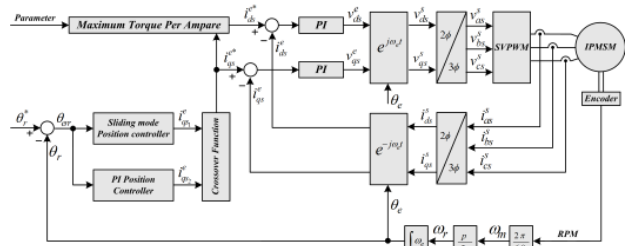


그림 2 제안한 시스템의 제어 블록도
 Fig. 2 Control block of proposed system.

2.3 위치제어를 위한 IPMSM의 속도 궤적

그림 3은 MATS의 위치제어를 하기 위한 IPMSM의 슬라이딩 궤적 이다. MATS의 회전체와 IPMSM은 감속기로서 결합되며, IPMSM이 기계적으로 60회전 할 때 MATS는 0.1746[rad], 즉 10° 회전한다. 그림 3과 같이 위치 오차 영역에서 생성된 속도 궤적을 시간 영역에서 다시 표현하면 그림 4와 같다.

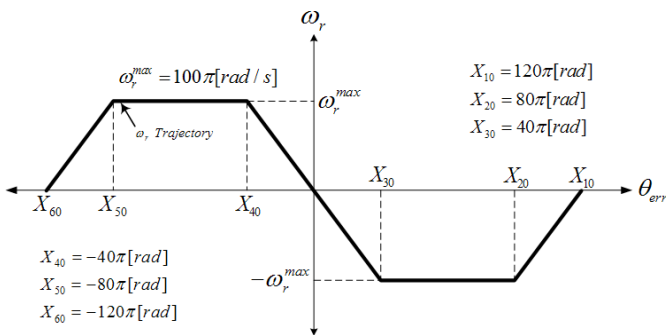


그림 3 IPMSM의 위치 제어를 위한 슬라이딩 궤적.
Fig. 3 Sliding trajectory of position control for IPMSM.

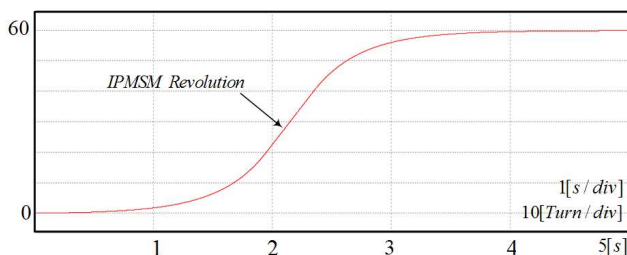


그림 4 속도 궤적에 따른 IPMSM의 회전 패턴.
Fig. 4 Revolution pattern based on speed trajectory of IPMSM.

2.4 Membership Function

그림 5는 슬라이딩 모드 제어기와 PI 제어기 출력을 혼합하기 위한 Membership 함수이다. 슬라이딩 모드 제어기를 갖는 위치 제어는 0점을 기준으로 제어 한다.

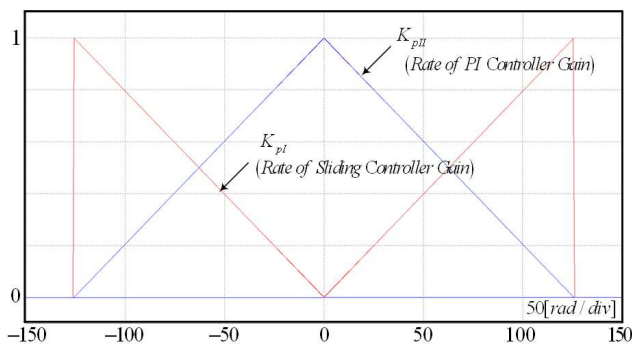


그림 5 위치 오차에 따른 멤버십 함수.
Fig. 5 Membership Function following the position error.

슬라이딩 모드 제어는 속도 궤적을 강인하게 추종하는 장점을 갖으나, 목표위치에서 필연적으로 전기적 진동이 발생한다. 이를 극복하기 위해 슬라이딩 모드 속도제어와 PI 속도제어를 이중화로 수행한 후 위치 오차에 따른 제어기의 적용 비율을 선형적으로 가변한다. 멤버십 함수의 수학적 표현은 식 (1)과 같다.^[3]

$$K_{pI} = \frac{X_1}{X_{30}}, K_{pII} = 1 - \frac{X_1}{X_{30}} \quad (1)$$

여기서, K_{pI} 은 슬라이딩 모드 제어기의 이득 값이고, K_{pII} 은 PI 제어기의 이득 값이다.

3. 시뮬레이션

그림 6은 PSIM을 이용한 시뮬레이션 회로이다. IPMSM을 구동하기 위한 벡터제어 및 슬라이딩 모드 제어부는 PSIM과 C++을 이용하여 Data Linking Library로 결합 하였다. 그림 7은 시뮬레이션 결과 파형으로, $X_{30} \sim X_{40}$ 구간에서는 슬라이딩 모드 제어와 PI제어를 혼합하여 위치 제어를 수행하고, 그 외의 구간에서는 전적으로 슬라이딩 모드 제어에 따라 IPMSM의 위치제어를 수행한다.

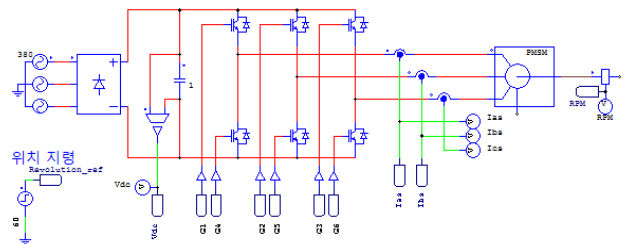


그림 6 IPMSM 위치제어 시뮬레이션.
Fig. 6 Position control simulation for IPMSM.

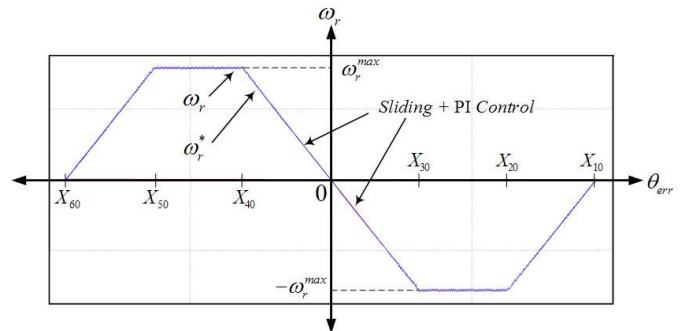


그림 7 슬라이딩 모드 위치제어의 시뮬레이션 결과.
Fig. 7 Simulation result of Sliding Mode Position Control.

4. 결론

본 연구에서 MATS를 위하여 개선된 슬라이딩 모드 제어를 이용하는 IPMSM의 위치제어 기법을 제안하였다. 제안한 기법을 이용하여 IPMSM의 부드럽고 안정적인 가감속 특성을 얻었으며, 정확한 위치 제어가 수행됨을 시뮬레이션을 통하여 입증하였다.

참고 문헌

- [1] Z. Ibrahim and E. Levi, "A comparative analysis of fuzzy logic and PI speed control in high-performance AC drives using experimental approach," IEEE Trans. Industry Application, vol. 38, pp. 1210-1218. 2002. Oct.
- [2] B. K. Bose, "Modern Power Electronics and AC Drives," Prentice-Hall, Inc. pp. 419-430, 2002.
- [3] H. B. Kim, S. M. Yi, N. S. Kim, Lorenz R. D., "Using low resolution position sensors in bumpless position/speed estimation methods for low cost PMSM drives," IAS Conference Industry Application Vol. 4, pp.2518-2525. 2005. Oct.