

SPMSM의 각도기반 데드타임 보상알고리즘

박승훈, 정철현, 최명수, 조춘호*, 김태웅
경상대학교, (주)한국항공우주산업*

Position Based Dead-Time Compensation Algorithm of SPMSM

Seung Hoon Park, Cheul Hyun Jeong, Myeong Soo Choi, Choon Ho Cho*, Tae Woong Kim,
Gyeongsang National University, Korea Aerospace Industries*

ABSTRACT

본 논문에서는 전동기 토크리플 및 효율 개선을 위해 부정확한 엔코더설치로 인한 초기위치의 오차검출, 각도/전류 정보를 이용한 데드타임 보상과의 상관관계에 대해 시뮬레이션 해석 및 실험을 통해 유효성을 검증한다.

1. 서론

최근 신재생에너지, 에너지절감, 에너지사용의 고효율화에 대한 분야에 많은 연구들이 이루어지고 있다. 에너지절약을 위해서는 고효율제품을 사용하는 것이 효과적 수단이며, 전력사용량이 가장 큰 전동기 효율을 개선하는 것이 중요하다. 그중에서도 서보전동기는 유도전동기와 비교하여 상대적으로 작은 관성을 갖고 주어진 전기적 토크에 대해 상대적으로 더욱 빠른 응답을 가지고 있기 때문에 많은 관심을 가지고 있다.

본 논문에서는 서보전동기 효율향상 및 토크리플의 최소화를 위한 표면영구자석형 동기전동기(SPMSM)의 초기자극위치 검출 및 부정확한 엔코더설치에 따른 초기위치오차를 확인한다. 그리고 검출한 초기자극위치정보와 각도/전류 정보를 기반으로 하는 데드타임 보상알고리즘과의 상호크로스 관계를 고찰한다.

2. SPMSM 제어

2.1 SPMSM 수학적 모델링

SPMSM의 동기좌표계 전압 방정식 및 토크 방정식은 식 (1) 및 (2)와 같이 표현된다.^[1] i_d 를 0으로 제어하면, $\lambda_d = \lambda_{af}$ 되고 순수토크만 발생하는 토크방정식으로 식 (3)과 같이 표현되고, 토크방정식에 있어서 쇠교자속이 일정하게 되기 때문에 토크가 q축 전류에 직접적으로 비례한다.

$$v_d = R_s i_d + p\lambda_d - \omega_s \lambda_q \quad (1)$$

$$v_q = R_s i_q + p\lambda_q + \omega_s \lambda_d \quad (2)$$

$$T_e = \frac{3}{2} P [\lambda_{af} i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad (3)$$

$$T_e = \frac{3}{2} P \lambda_{af} i_q \quad (4)$$

where $p = d/dt$, $\lambda_d = L_d i_d + \lambda_{af}$, $\lambda_q = L_q i_q$, P is pole pair

2.2 초기자극위치 추정

서보전동기의 정밀토크제어를 위해서는 SPMSM의 정확한 초기자극위치(IPP; Initial Pole Position) 정보가 필요하다. 잘못된 IPP를 기반으로 제어한다면, 토크 및 응답속도 저하 혹은 제어불능의 상태를 가져온다.

그림 1(a)에서 보는 것과 같이 실제 초기자극위치 θ_{act} 와 추정된 자극위치 $\hat{\theta}$ 가 같다면, 지령토크 T_e^* 는 실제토크 T_e 와 같게 나타날 것이다. 그러나 그림 1(b)에서와 같이 실제 초기자극위치 θ_{act} 와 추정된 자극위치 $\hat{\theta}$ 사이에 오차 $\theta_{err} (= \theta_{act} - \hat{\theta})$ 가 존재하면 실제토크 T_e 와 지령토크 T_e^* 가 다르게 되며, 식(4)와 그림 1(b)로 표현된다.^[2]

$$T_e = T_e^* \times \cos \theta_{err} \quad (4)$$

$$T_{loss} = T_e^* - T_e = T_e^* \times (1 - \cos \theta_{err})$$

where T_e : 발생토크, T_{loss} : 손실토크, T_e^* : 지령토크

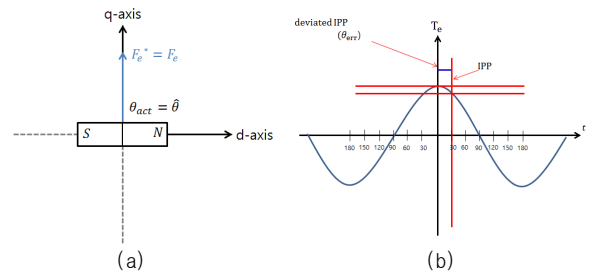


그림 1. 초기자극위치오차에 따른 지령토크 및 발생토크의 관계

3. 데드타임 보상알고리즘

3.1 데드타임에 대한 영향

PWM 전압형 인버터에서는 게이트신호 전달에 의한 반도체 스위치의 on/off시간의 시간지연으로 인하여 한 레그의 스위치가 동시에 도통되어 단락되는 위험이 있어, 이를 방지하기 위하여 데드타임을 설계한다. 그러나 데드타임 기간 중의 왜형전압은 기본파 전압에 대해 구형파 형태로 나타나고, 출력전류파형을 왜형시켜 전동기의 운전주파수의 6배 토크리플이 발생하게 되며, 특히 출력전압이 낮은 저속 운전영역에서 크게 영향을 미치게 된다.

3.2 데드타임 보상알고리즘 제안

전동기 토크리플 저감을 위해 데드타임 보상은 필수적이며, 그림2(a)는 데드타임 보상알고리즘에 대한 블록선도를 보여준다. 전동기의 초기위치를 정확히 추정한 각도정보 및 d q 전류 정보를 기반으로 구현한 새로운 데드타임 보상알고리즘이며 기존 검출 3상전류보다 극성을 정확히 판단할 수 있는 장점을 지니고 있다.^[3]

$$\phi_{est} = \tan^{-1} \frac{i_{qfb}}{i_{dfb}} \quad (5)$$

$$P_{abc} = F(\hat{\theta} + \phi_{est}) \quad (6)$$

$$V_{loss} = V_{dc} \times T_d \times f_{sw} \quad (7)$$

$$v_{abc\ comp} = v_{abc} + V_{loss} \times P_{abc} \quad (8)$$

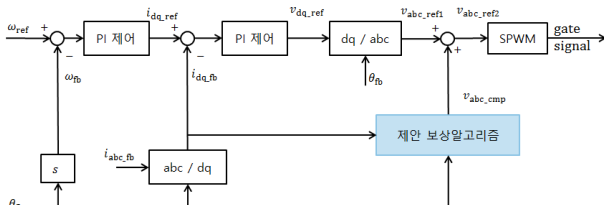
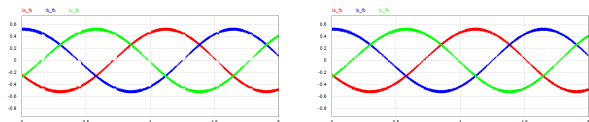


그림 2. 제안 데드타임 보상알고리즘의 블록선도

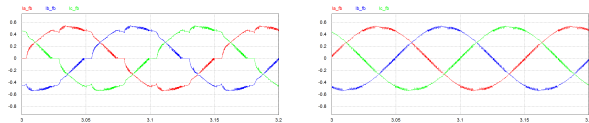
4. 시뮬레이션 및 실험

본 논문에서는 제안한 각도기반 데드타임 보상알고리즘의 유효성을 검증하기 위해 550W급 SPMSM 구동용 3상 전압형 인버터를 구성하였다. 경부하(정격토크의 5%) 및 저속영역(속도 : 10rpm, 100rpm) 운전조건에서 시뮬레이션을 수행하였으며 그림(3)을 통하여 나타낸다. 또한 엔코더가 정확하게 기계적으로 설치되지 않아 전동기의 초기위치오차가 존재하고 각도기반 데드타임 보상알고리즘으로 보상할 경우에 대한 시뮬레이션 결과는 그림(4)에 보여준다.

실험을 통해 서보전동기(SPMSM)에 설치된 엔코더의 전동기 초기위치정보를 도출하였고 측정된 초기위치오차를 근거로 하여 각도기반 데드타임 보상알고리즘이 포함된 시뮬레이션을 통하여 전동기의 초기위치오차에 대한 영향을 분석/검토를 실시하였으며, 본 논문에서 제안한 각도기반 데드타임 보상알고리즘은 정확한 초기위치정보가 필요함을 확인하였다.

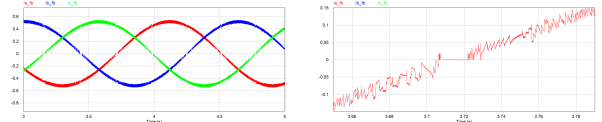


(a) 데드타임 : 5u, 정격토크 : 5%, 속도 : 10rpm

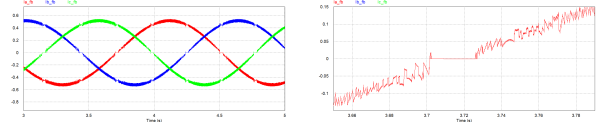


(b) 데드타임 : 5u, 정격토크 : 5%, 속도 : 100rpm

그림 3. 제안 데드타임 보상알고리즘에 의한 전·후 파형

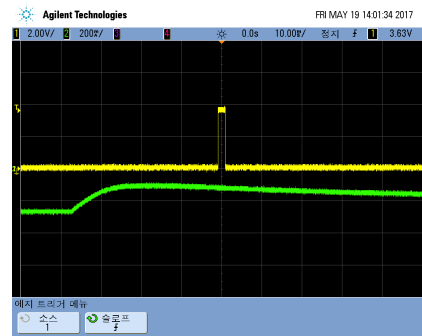


(c) 데드타임 : 5u, 정격토크 : 5%, 속도 : 10rpm, IPP_err : 2.0

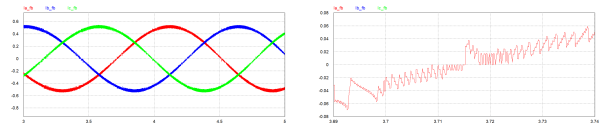


(b) 데드타임 : 5u, 정격토크 : 5%, 속도 : 10rpm, IPP_err : 3.0

그림 4. 초기위치오차가 있는 데드타임보상파형



(a) 전류Ia에 대한 초기위치 확인



(b) 데드타임 : 5u, 정격토크 : 5%, 속도 : 10rpm, IPP_err : 0.03

그림 5. 초기위치오차에 대한 제안 데드타임 보상알고리즘의 영향

5. 결론

본 논문에서는 SPMSM의 고효율 및 토크리플을 개선하기 위해서 각도/전류를 기반으로 한 데드타임을 보상하는 알고리즘을 제안하여 검증하였고 서보전동기의 공장 출고 시 생길 수 있는 초기위치오차에 대한 검증과 초기위치가 데드타임보상에 미치는 영향에 대해서 시뮬레이션 및 실험을 통하여 유효성을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] P. Pragasen and K. Ramu, "Modeling, Simulation, and Analysis of Permanent Magnet Motor Drives, Part I: The Permanent Magnet Synchronous Motor Drive", Proc. of IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 25, no. 2, pp. 265-273, 1989
- [2] Tea Woong kim, Junichi Watanabe, Sumitoshi, and Junji Hirai "Initial Pole Position Estimation of Surface PM LSM" 2001 Journal of power electronics 1(1), 1-8
- [3] 심동준, 조준호, 백운길 "3상 전압형 인버터의 데드타임 보상기법" 전력전자학회논문집 pp399-400, 2014