

전기스쿠터용 IN-WHEEL 영구자석 동기전동기의 제어방법

손태식, 목형수, 김학원*, 조관열*, 이용균**
(건국대학교, 충주대학교*, 브이씨텍**)

The control method of In-wheel PMSM for electric scooter

TaeSik Son, HyungSoo Mok, HagWone Kim*, KwanYuhl Cho*, YongKyun Lee**
(Konkuk Univ, Chungju National Univ*, VCTech**)

ABSTRACT

This paper deals with PMSM control method for electric scooter. Electric scooter's motor has special structure that is hard to attach resolver or encoder. This paper suggests a method that it is performed of vector control for PMSM using hall sensor. After driving BLDC motor in low speed typically, driving mode is changed to PMSM operation and performs MTPA and flux weakness control. Proposed method is verified through simulation and testing.

1. 서론

최근 유가의 폭등과 환경오염으로 인한 지구 온난화 현상 때문에 이에 대한 방안으로 전기자동차나 전기 스쿠터 등의 개발이 활발히 추진되고 있다. 이 논문에서는 전기스쿠터용 모터의 제어에 관하여 다루었다. 전기스쿠터용 모터는 스쿠터의 협소한 환경 때문에 감속기나 기구적인 동력전달장치가 필요 없는 Outer Rotor Type의 In-Wheel모터를 사용한다. 이 모터는 축이 고정되어 있고 바퀴가 돌아가는 구조이기 때문에 엔코더나 레졸버를 장착하기 힘들다. 따라서 엔코더나 레졸버를 통해 알아낸 회전자 위치정보로 벡터제어를 수행하는 기존의 방법을 적용하기 어렵다.

본 논문에서는 홀센서만 사용하여 회전자 위치정보를 알아내어 벡터제어를 수행하는 방법에 관하여 제안한다. 제안하는 방법은 홀센서의 위치정보를 사용하여 기존의 BLDC모터제어 방법인 120도 도통 방법을 사용하여 모터를 기동한다. 기동 후 일정 속도가 되면 PMSM 제어 모드로 전환한다. PMSM 제어는 홀센서 조합으로 얻을 수 있는 6개의 회전자 위치정보(30,90,150,210,270,330)와 전동기 모델을 이용한 속도 관측기로부터 얻어진 모터 속도정보를 사용하여 순시적인 회전자 위치정보를 구한다. 얻어진 위치 정보는 벡터제어로 MTPA와 약계자 제어를 구현한다. 제안한방법은 실험을 통하여 검증하였다.

2. 모터의 기동방법

그림1은 전체 제어블록도를 나타낸다. 제어 블록도는 저속의 BLDC 제어 모드와 일정속도 이상의 PMSM 제어 모드로 구성된다. 저속에서 BLDC 모터 제어방식으로 구동하는 이유는 이 방식을 사용하면, 홀센서의 위치정보만으로 운전이 가능하며, 센서리스 방식^[2]보다 기동 특성이 우수하기 때문이다. 모터의 기동 후 일정속도 이상이 되면, PMSM의 벡터제어 방식으로 변경하고, 모터속도가 일정속도 미만의 저속이 될 때는 다시 BLDC방식으로 제어한다. 제어방식이 계속 바뀌는 채터링 현상을 피하기 위해 모드 변환 되는 기준 속도에 히스테리시스 특성을 주었다.

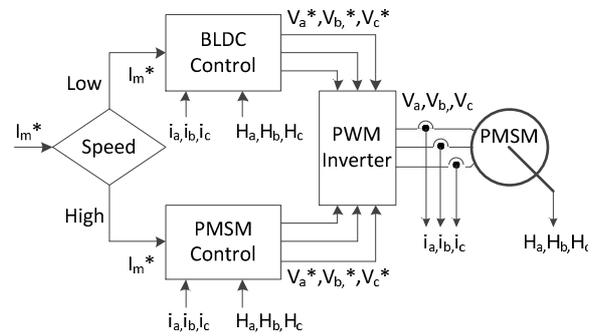


그림 1 제어블록도
Fig 1. control block

3. 벡터제어를 위한 회전자 위치정보

만약 모터의 속도 및 초기위치를 정확히 알 수 있으면, 속도 신호를 적분하여 위치 정보를 얻을 수 있다. 그림2는 홀센서와 전기각의 관계를 설명한다. 일반적으로 홀센서의 신호를 미분하여 전동기의 속도 정보를 얻을 수 있으나, 전기각 60도 마다 속도 정보를 얻게 되어, 속도가 변화하는 과도 상태의 경우 속도 정보를 전기적으로 60도 마다 얻게 되어 속도 정보가 불연속적으로 변화하는 단점이 존재한다. 이에 따라 정확한 위치 신호를 얻을 수 없는 단점이 있다. 일반적으로, 모터의 속도를 얻는 방법은 홀센서의 신호의 주기를 계산하여 속도를 얻는 T-Method가 많이 사용된다.^[3] 그러나 이 방식은 스쿠터의 속도가 증가 또는 감소하는 과도 상태에서 실제 속도와 제어기의 속도 간에 오차가 발생된다. 또한 Hall Sensor의 위치 오차가 있으면, 속도의 오차가 60도 단위로 단속적으로 변화하여 정확한 위치 정보를 얻기 어렵다.

본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 속도 관측기로 전동기의 전기적 모델을 활용한 적응제어 기법의 관측기를 사용한다.^[1] 그 수식은 수식(1),(2)와 같다. 관측기에서 얻어지는 속도의 정보는 인버터의 PWM 주기마다 얻어진다. 이에 따라, 속도가 변화하는 과도상태에서도 정확한 속도 정보를 얻을 수 있다.

$$I_{qM}(k+1) = \frac{T}{L_s} (L_s \hat{\omega}_r(k) i_d(k) - r_s i_q(k) + v_q(k) - \hat{\omega}_r(k) \phi_f) + i_q(k) \quad (1)$$

$$\hat{\omega}_r(k+1) = \hat{\omega}_r(k) - K_w (i_q(k+1) - i_{qM}(k+1)) \quad (2)$$

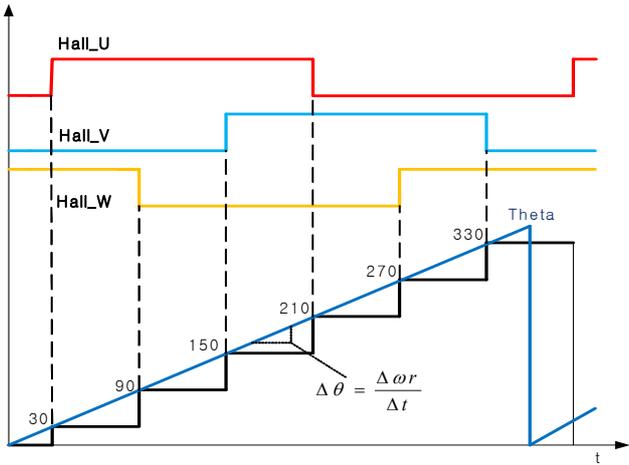


그림 2 Hall 센서신호와 전기각의 관계
Fig 2. Relations between hall signal and theta

PMSM을 구동하기 위한 위치 신호는 관측기로부터 얻어진 속도 신호를 적분하여 얻는다. 속도 신호의 오차는 파라미터 오차 등에 의하여 발생할 수 있어, 위치 신호를 속도의 단순 적분으로 얻게 되면, 시간이 경과함에 따라 위치 오차가 커진다. 이를 보정하기 위하여 Hall Sensor 신호 중 하나의 위치를 증분형 Encoder의 Z pulse와 같은 효과를 얻도록 위치 초기화 작업을 행하여 얻는다. 그림3은 T-Method와 속도관측기의 비교시험 결과이다. 두 방식을 비교한 결과 정상상태와 과도상태에서 모두 관측기를 활용한 방식이 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

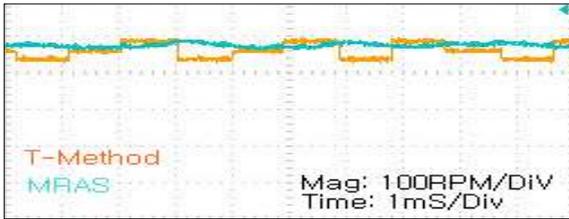


그림 3 속도검출 시험결과
Fig 3. experiment result of speed detection

4. PMSM제어

그림 4는 PMSM 제어 블록도를 나타낸다. 전류당 최대토크를 얻기 위한 d축과 q축의 지령을 계산한 후 약계자 제어를 위한 d축전류를 계산하여 각각 계산된 d축 전류를 비교하여 최종 d축전류를 계산한다. 수식(3),(4)는 MTPA를 위한 수식이다. 수식(5)-(6)은 약계자 제어를 위한 수식이다. 수식(7)는 전류제한을 블록의 수식이다.

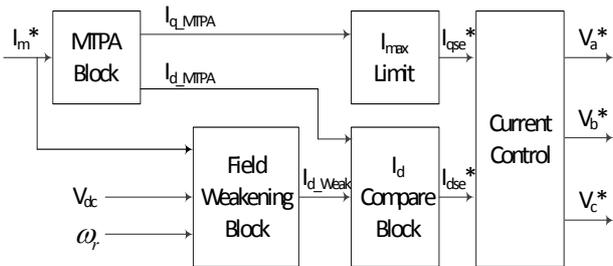


그림 4 PMSM 제어 블록도
Fig 4. PMSM Control block

$$I_{d_MTPA} = \frac{1}{4} \times \left(\frac{\phi_f^2}{(L_q - L_d)} - \sqrt{\left(\frac{\phi_f^2}{(L_q - L_d)} \right)^2 + I_m^2} \right) \quad (3)$$

$$I_{q_MTPA} = \sqrt{I^2 + I_{d_MTPA}^2} \quad (4)$$

$$a_1 = I_q^2 - L_d^2, \quad a_2 = -\phi_f L_d, \quad a_3 = \left(\frac{V_{max}}{\omega_r} \right)^2 - (L_q I_m)^2 - \phi_f^2 \quad (5)$$

$$I_{d_weak} = \frac{-a_2 \pm \sqrt{a_2^2 - a_1 a_3}}{a_1} \quad (6)$$

$$I_{q_Limit} = \sqrt{I_{max}^2 + I_{d_weak}^2} \quad (7)$$

5. 실험 및 결론

제안한 방법은 실차 시험을 통하여 검증하였다. 그림5는 실차 시험에 사용한 스쿠터의 모습이고, BLDC제어 방법뿐만 아니라 구동 하던 방식에 비하여 최대속도와 소음 등에서 우수한 특성을 보였다. 그림6은 BLDC모드에서 PMSM모드로 전환될 때의 파형으로 제안한 방법의 실효성을 확인 할 수 있다. 제안한 방법은 별도의 하드웨어 추가 없이 제어 알고리즘만으로 성능을 개선할 수 있으므로 많은 분야에 적용이 가능할 것이라 예상된다.



그림 5 실차시험용 스쿠터
Fig 5. Scooter for experiment

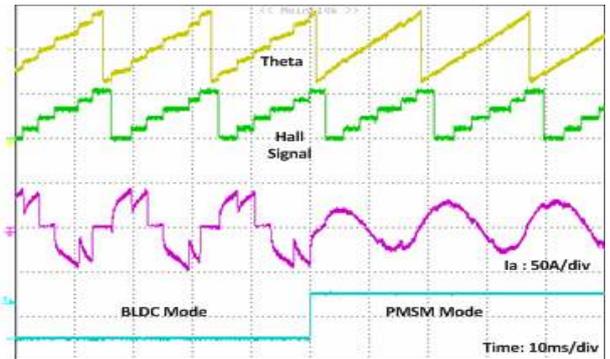


그림 6 모드전환시 실측파형
Fig 6. Real data when mode is changed

참고 문헌

- [1] Nobuyuki Matsui, "Sensorless PM Brushless DC Motor Drives." IEEE Transactions on Industrial Electronics, VOL, 43, NO. 2, APRIL 1996
- [2] LongyaXu, ChangiangWang, "Implementation and experimental investigation of sensorless control schemes for PMSM in super-high variable speed operation" IndustryApplications Conference,1998.Thirty-Third IAS Annual Meeting.The1998 IEEE
- [3] M.R Jeon, K,Y Cho. "분해능이 낮은 위치센서를 이용한 표면부착형 영구자석 동기전동기의 토크제어".KIPE2009 추계학술대회.