

외부부하에 의해 회전중인 영구자석동기전동기의 센서리스 제어 알고리즘

이한솔¹, 조관열¹, 김학원¹, 차운철²

¹한국교통대학교, ²아이에이

Sensorless Control Algorithm of a PM Synchronous Motor Under Naturally Rotating by Load

Han Sol Lee¹, Kwan Yuhl Cho¹, Hag Wone Kim¹, Youn Cheul Cha²

¹Korea National University of Transportation, ²iA

ABSTRACT

자동차 라디에이터용 팬과 에어컨 실외기 팬의 경우 영구자석 동기 전동기는 자연 상태에서 외부 바람에 의해 임의의 방향과 임의의 속도로 회전할 수 있다. 이런 응용분야에서 회전자 위치검출 센서가 부착되어 있는 경우에는 회전방향 및 속도를 비교적 간단하게 제어할 수 있다. 그러나 회전자 위치검출 센서를 사용하지 않는 센서리스 제어의 경우 외부부하에 의해 회전자가 회전중일 때는 회전자의 위치정보가 없기 때문에 추가적인 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 외부부하에 의해 회전자가 임의의 방향 및 임의의 속도로 회전하고 있는 경우 원하는 회전방향으로 원하는 속도로 제어하기 위한 센서리스 제어 알고리즘을 제안한다. 회전자가 역방향 및 정방향 저속으로 회전중인 경우와 정방향 고속으로 회전중인 경우에 대해 회전자를 정방향의 주어진 속도로 제어하기 위한 회전자 위치검출 및 센서리스 제어 알고리즘을 제안하고 실험으로 검증한다.

1. 서 론

영구자석 동기전동기는 직류전동기 및 유도전동기와 대비하여 높은 효율과 우수한 제어성능으로 인해 가전제품 이외의 전 기자동차, 승강기 등의 산업용에 적용되고 있다. 영구자석 동기 전동기의 벡터제어를 위해서는 회전자의 위치를 알아야한다. 일반적인 경우 위치 검출용 센서를 사용하여 회전자의 위치를 검출한다. 그러나 위치검출용 센서는 가격이 비싸고 설치를 위한 별도의 공간 확보가 필요하다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 센서리스 구동 알고리즘에 대한 연구가 진행되었다. 일반적으로 영구자석동기전동기의 센서리스 제어는 정지 상태에서 회전자를 기동하기 위해 일정한 위치에 정렬시키고 개루프로 강제 기동 시킨 후 일정속도 이상에서 센서리스 제어로 전환한다. 그러나 자동차 라디에이터용 팬과 에어컨 실외기와 같이 외부부하에 의해서 회전하는 경우의 센서리스 전환 시에는 회전자 검출을 위한 추가적인 알고리즘이 필요하다.^{[1][3]}

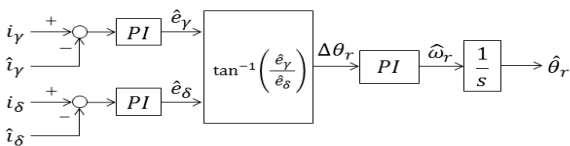


그림 1 역기전력 추정 및 위치추정 블록도

$$v_\gamma = r_s i_\gamma + L_d \frac{di_\gamma}{dt} - \omega_r L_q i_\delta + e_\gamma \quad (1)$$

$$v_\delta = r_s i_\delta + L_q \frac{di_\delta}{dt} + \omega_r L_d i_\gamma + e_\delta$$

$$\Delta\theta_r = \tan^{-1}\left(\frac{e_r}{e_\delta}\right), \quad \hat{\omega}_r = \left(k_p + \frac{k_i}{s}\right)\Delta\theta_r \quad (2)$$

회전자 위치검출은 그림 1과 같이 $\gamma\delta$ 축 전류오차를 PI 제어에 의해 $\gamma\delta$ 축 역기전력을 추정하고, 추정된 역기전력으로부터 위치오차를 추정한다. 추정된 위치오차를 PLL(Phase locked loop) 제어에 의해 회전자의 속도와 위치를 추정한다. $\gamma\delta$ 축 추정전류는 (1)의 전압방정식으로부터 식 (3)과 같이 이산형태 (Discrete form)로 구한다.^[3]

$$\hat{i}_\gamma(k+1) = \left(1 - \frac{r_s T_s}{L_d}\right) \hat{i}_\gamma(k) + \frac{T_s}{L_d} (v_\gamma + \omega_r L_q \hat{i}_\delta - \hat{e}_\gamma(k)) \quad (3)$$

$$\hat{i}_\delta(k+1) = \left(1 - \frac{r_s T_s}{L_q}\right) \hat{i}_\delta(k) + \frac{T_s}{L_q} (v_\delta - \omega_r L_d \hat{i}_\gamma - \hat{e}_\delta(k))$$

기존논문에서는 외부부하에 의한 회전 시 위치추정, 정방향 회전 시 센서리스 제어방법, 역방향 회전 시 센서리스 제어방법을 언급했다.^[3] 하지만 역기전력을 기반한 센서리스 제어는 저속에서 속도와 위치추정이 불안정 하고 센서리스 제어를 불가능하게 할 수 있다. 본 논문에서는 외부부하에 의해 팬이 회전하고 있는 경우 원하는 회전방향, 원하는 속도로 제어하기 위한 새로운 센서리스 제어 알고리즘을 제안한다.

2. 자연회전 시 센서리스 제어 알고리즘

2.1 초기 속도 및 위치추정

외부부하에 의해 팬이 임의의 속도와 임의의 방향으로 회전 시 원하는 방향과 속도로 제어하기 위해서는 정확한 회전자의 위치를 알아야 한다. 회전자 위치 추정을 위해서는 측정된 전류와 전류제어기 출력 값인 지령 전압 값이 필요하며 초기에 토크를 발생 시키지 않고 추정하기 위해서 dq축 전류 지령을 0으로 제어한다. dq축 전류가 0이 되면 전류제어기 출력인 dq축 전압 지령이 식(1)의 모델식에 의거하여 역기전력 크기와 같게 된다. 추정된 역기전력을 사용하여 회전자의 위치와 속도를 추정하게 된다.^[2]

추정된 속도 값이 200RPM 이상의 정방향일 경우에는 정방향 제어 알고리즘을 통하여 팬이 회전하고 있는 상태에서 회전자의 속도와 위치를 추정하고 원하는 속도로 제어한다. 팬이 정방향 200RPM 이하 또는 역방향으로 회전하고 있는 경우에는 역방향 제어 알고리즘에 의해 팬을 정방향의 원하는 속도로 제어한다.

2.2 정방향 제어 알고리즘

외부부하에 의해 회전하는 팬의 초기 속도추정을 통하여 200RPM 이상의 정방향으로 회전할 경우에는 정방향 제어 알고리즘을 적용한다. 회전상태에서 dq축 전류를 영(Zero)으로 제어하고 역기전력 추정을 통하여 회전자의 속도와 위치를 추정한다. 추정된 속도를 피드백 받아 속도제어기가 구동되면 원하는 속도의 토크를 낼 수 있는 지령 전류를 출력하고 전류제어기를 통하여 출력된 지령 전압이 인버터를 통하여 모터에 인가되면서 센서리스 제어로 구동으로 전환된다.

2.3 정방향 저속, 역방향 제어 알고리즘

추정된 속도가 정방향의 200RPM 이하이거나 역방향 임의의 속도로 회전하는 경우에는 일정한 d축 전류를 흘려주고 개루프 위치정보로 강제구동을 한다. 외부부하로 회전하던 팬은 서서히 감속하게 되며 정속으로 방향이 전환된다. 그 이후에는 기존 센서리스 전환방법과 같이 위치를 추정하고 센서리스 제어 구동으로 전환 된다.

2.4 실험결과

실험에 사용된 차량용 팬 모터는 그림 2와 표 1의 사양을 갖는 8극 표면부착형 영구자석동기전동기이다. 그림 3은 센서리스 제어 특성에 대한 파형이다. 그림 3(a)는 외부부하로 회전 시 위치를 추정하고 센서리스 전환을 하여 원하는 속도인 2200RPM 운전파형 이다. 그림(b)는 (a)의 초기 확대 파형이다. 그림 3(b)(c)(e)의 ①이전 파형은 자연부하 시 위치센서로 검출된 실제 위치이고 ①에서 dq축 지령 전류가 0으로 제어된다. dq축 지령 전류를 0으로 제어 시 초기 위치정보가 없기 때문에 전류가 튀는 현상이 발생하지만 50msec 이내에 0으로 제어가 된다. 위치추정에 영향을 주지 않게 하기 위해 안정화 시간을 거쳐 ②에서 제안된 알고리즘 사용된다. 그림 3(d)는 위치, 속도 추정 후 200RPM 이하이기 때문에 ①에서 23절에 언급한 알고리즘이 사용된다. 외부부하에 의해 돌고 있는 팬의 속도를 파악하고 그 속도에 따른 개루프 위치로 강제구동을 하여 속도를 증가 시킨 후 일반적인 센서리스 제어 방법처럼 위치 추정을 하고 센서리스 전환이 이루어진다. 그림 3(f)도 (d)와 마찬가지로 같은 알고리즘이 사용되지만 역방향 구동중이기 때문에 감속 후 정방향으로 전환된 후 센서리스 전환이 된다. 임의의 방향과 임의의 속도로 회전중일 때 센서리스 전환이 가능함을 알 수 있다.

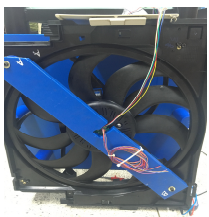
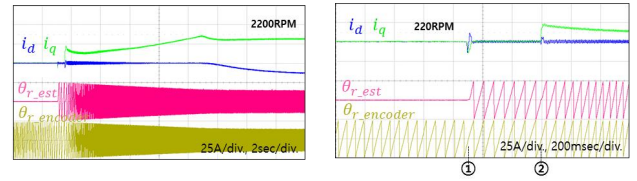


그림 2 실험용 모터

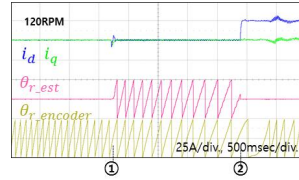
표 1 모터 파라미터 값

Parameter	Value
Rated Voltage	12V
Number of poles	8
EMF constant	0.006Wb
Phase resistance	10mΩ
d axis inductance	44uH
q axis inductance	44uH

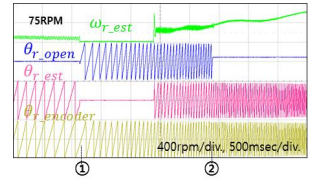


(a) 정방향 고속 회전 시

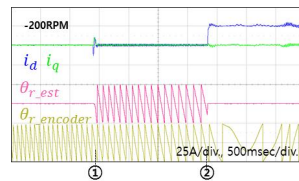
(b) (a) 확대파형



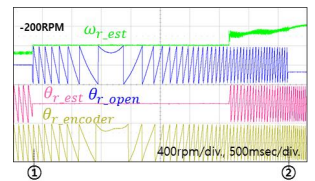
(c) 정방향 저속 전류파형



(d) 정방향 저속 위치파형



(e) 역방향 회전 시 전류파형



(f) 역방향 회전 시 위치파형

그림 3 센서리스 제어 특성

3. 결론

본 논문에서는 외부부하에 의해서 회전자가 자연적으로 회전 시 영구자석동기전동기의 새로운 센서리스 제어 알고리즘을 제안하였다. 외부부하에 의해 자연적으로 회전하고 있는 영구자석동기전동기의 위치검출을 위하여 지령 dq전류를 0으로 제어하여 전류 제어기 출력으로 나온 지령전압으로 위치를 검출하고 검출된 위치와 속도를 바탕으로 정방향 고속에서 정방향, 정방향 저속에서 정방향, 역방향에서 정방향 센서리스 제어 알고리즘을 제안하고 실험적으로 검증하였다.

본 연구는 iA 및 2016년도 에너지인력양성사업의 재원으로 한국 에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20164030201100)

참고 문헌

- [1] 백인철, 이주석, 김학원, "영구자석 표면부착형 동기전동기의 전류제어기를 이용한 센서리스 기동방법 및 속도제어," 전력전자학회논문지, 18권 6호, pp. 523-529, 2013. 12
- [2] A. Borisavljevic, E. Ho, and T. Takahashi, "Fan drive starting into naturally rotating load by sinusoidal sensorless permanent magnet motor control," EPE PEMC 2006, Portorož, Slovenia, pp. 1190-1198.
- [3] K. W. Lee and J. I. Ha, "Evaluation of back EMF estimators for sensorless control of permanent magnet synchronous motors," Journal of Power Electronics, vol. 12, pp. 604-614, July 2012.