

단상 영구자석 동기 전동기의 센서리스 제어 방법

조수인, 이욱진
충남대학교 전기공학과

Sensorless Control of Single-Phase Permanent Magnet Synchronous Motor using Current Controller in Synchronous Reference Frame

Su-In Jo, Wook-Jin Lee

Dept. of Electrical Engineering, Chungnam National University

ABSTRACT

본 논문은 단상 영구자석 동기 전동기의 센서리스 제어방법을 제안한다. 단상 전류와 그에 직교하는 가상의 전류성분을 이용하여 dq 회전 좌표계에서 전류제어를 하고, d축 전류제어기의 출력을 이용하여 회전각을 추정한다. 제안된 방법은 구현이 매우 간단하다는 장점이 있다. 실험을 통해 제안된 방법의 성능을 확인하였다.

1. 서 론

단상 전동기는 구조가 간단하고 형상을 자유롭게 설계하는 것이 가능하기 때문에 산업의 경제적인 측면에서 이점이 있다. 주로 저전력의 산업분야에서 많이 쓰인다. 통상 전동기를 제어할 때에는 속도센서 혹은 위치센서 등이 필요하다. 그러나 센서를 사용하면 비용적인 부담이 크고 전체 구조의 크기가 커지기 때문에 센서 없이 전동기를 제어하는 센서리스 방법들이 많이 연구되었다. 3상 전동기의 센서리스 방법은 많은 연구들이 있었지만 단상 전동기 센서리스 방법은 비교적 적게 연구되었다. 기존의 대표적인 단상 전동기 센서리스 연구들은 전류의 ZCP(zero crossing point)를 이용한 방법, orthogonal flux를 이용한 방법 등이 존재한다.

본 논문은 기존 3상 표면 부착형 동기전동기를 대상으로 연구되었던 d축 전류제어기의 출력을 이용한 센서리스 방법을 단상 전동기에 적용한 센서리스 제어 방법을 제안한다.

2. 본 론

2.1 단상 전류 제어기

전류를 d q 동기좌표계에서 제어하기 위해서는 직교하는 두 개의 전류신호가 필요하다. 단상전동기에는 한 개의 전류신호밖에 없으므로 단상 전동기에 흐르는 전류성분인 i_α 에 직교하는 가상의 전류성분 i_β 를 가정한다. d, q축의 전류오차를 i_α , i_β 로 나타내면 식 (1), (2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 Err_d &= i_{ds}^* - i_{ds}^r \\
 Err_d &= [i_\alpha^* \cos(\omega t) + i_\beta^* \sin(\omega t)] - [i_\alpha \cos(\omega t) + i_\beta \sin(\omega t)] \\
 Err_d &= (i_\alpha^* - i_\alpha) \cos(\omega t) + (i_\beta^* - i_\beta) \sin(\omega t) \quad (1)
 \end{aligned}$$

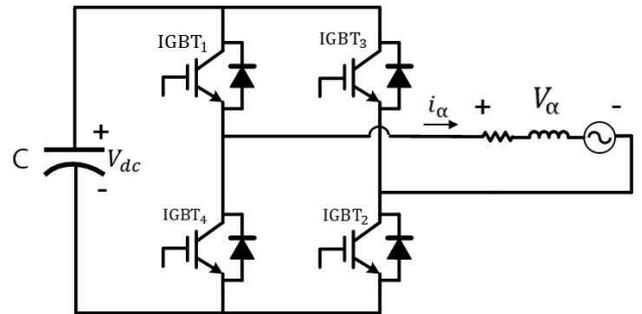


그림 1 단상 전동기와 Full-bridge 인버터 회로

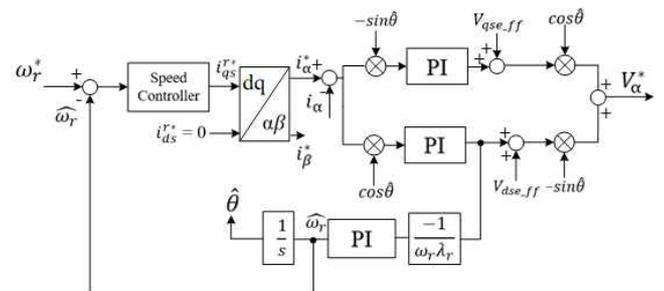


그림 2 단상 표면 부착형 영구자석 전동기 센서리스 블록도

$$\begin{aligned}
 Err_q &= i_{qs}^* - i_{qs}^r \\
 Err_q &= [-i_\alpha^* \sin(\omega t) + i_\beta^* \cos(\omega t)] - [-i_\alpha \sin(\omega t) + i_\beta \cos(\omega t)] \\
 Err_q &= -(i_\alpha^* - i_\alpha) \sin(\omega t) + (i_\beta^* - i_\beta) \cos(\omega t) \quad (2)
 \end{aligned}$$

이 때, 가상의 직교전류성분이 지령과 같다고 가정하여 ($i_\beta^* = i_\beta$) 식(1), (2)를 다시 쓰면, 식 (3), (4)와 같다.

$$Err_d = (i_\alpha^* - i_\alpha) \cos(\omega t) \quad (3)$$

$$Err_q = -(i_\alpha^* - i_\alpha) \sin(\omega t) \quad (4)$$

2.2 d축 전류제어기 출력을 이용한 센서리스 제어

추정한 축에서의 모터의 d, q축 전압방정식은 식(5), (6)과

같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{V}_{ds}^r = R_s \hat{i}_{ds}^r - \hat{\omega}_r \hat{L}_s \hat{i}_{ds}^r + \hat{\omega}_r \hat{\lambda}_f \sin(\theta_{err}) \quad (5)$$

$$\hat{V}_{qs}^r = R_s \hat{i}_{qs}^r + \hat{\omega}_r \hat{L}_s \hat{i}_{qs}^r + \hat{\omega}_r \hat{\lambda}_f \cos(\theta_{err}) \quad (6)$$

이 때, θ_{err} 는 실제 회전각 θ_r 과 추정각 $\hat{\theta}_r$ 의 차이이다. d축의 전압오차는 식(7)과 같다.

$$\hat{V}_{ds}^r = R_s (\hat{i}_{ds}^r - i_{ds}^{r*}) - \hat{\omega}_r \hat{L}_s (\hat{i}_{ds}^r - i_{ds}^{r*}) + \hat{\omega}_r \hat{\lambda}_f \sin(\theta_{err}) \quad (7)$$

d, q축 전류가 지령전류를 잘 추종한다고 할 때, d축 전압오차는 식(8)과 같이 근사될 수 있다.

$$\hat{V}_{ds_{err}}^r = \hat{\omega}_r \hat{\lambda}_f \sin(\theta_{err}) \quad (8)$$

θ_{err} 가 충분히 작다고 하면, 식(8)은 식(9)와 같이 쓰일 수 있다.

$$\hat{V}_{ds_{err}}^r = \hat{\omega}_r \hat{\lambda}_f \theta_{err} \quad (9)$$

식(9)의 d축 오차를 추정속도 $\hat{\omega}_r$ 과 역기전력 상수 λ_f 로 나누고 부호를 반전하여 비례적분제어기의 입력으로 한다. 이 값을 추정속도로 사용하여 속도제어기의 입력으로 하면 속도제어기는 θ_{err} 가 0이 되도록 회전자속도를 제어한다. 추정속도를 적분하여 추정 각을 얻어 전류제어에 이용한다. 그림 2는 제안한 단상 표면 부착형 영구자석 전동기의 센서리스 제어 블록도이다. 저속에서 오픈루프방법으로 기동한 후 일정 속도 이상이 되면 그림 2의 센서리스 방법으로 전환한다.

2.3 실험 결과 및 파형

2.3절에서는 그림 1처럼 회로를 구성하고 PWM하여 실험한 결과와 파형을 나타낼 것이다. 실험 조건은 스위칭 주파수 = 10kHz, dead time = 2 μ s으로 진행하였다.

2.3.1 정상 상태

그림 3은 3000rpm의 속도로 전동기를 제어했을 때의 실험 결과이다. 속도는 3000rpm 정속으로 제어되며 추정각의 오차는 1° 미만으로, 정상 상태에서 추정속도는 지령속도를 정확하게 추종하는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라 제안한 방법은 정상 상태에서 우수한 성능을 가진다고 볼 수 있다.

2.3.2 과도 상태

그림 4는 2000rpm에서 3000rpm으로 속도 지령의 계단 변화 시 응답을 보여준다. 속도 과도 상태에서 추정각의 최대 오차는 10°정도이다. 이는 정상상태에서의 추정각 오차와 비교하면 큰 수치이지만 제어성능에 큰 영향을 끼칠만 한 수치는 아니다. 추가적으로 속도 추정기의 비례적분제어기 이득을 조정하면 과도 상태에서 더 작은 최대 추정각 오차를 얻을 수 있을 것이다.

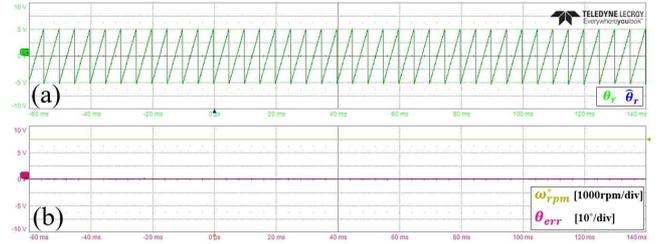


그림 3 3000rpm으로 속도 제어 시 실험 결과. (a)실제각과 추정각. (b)속도 지령과 추정각 오차.

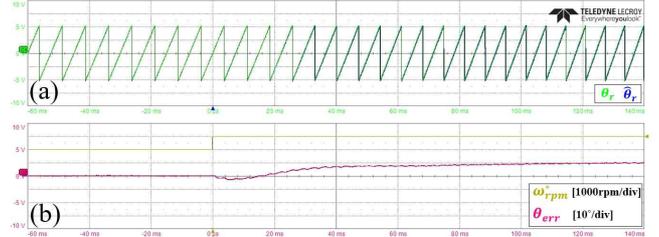


그림 4 2000rpm에서 3000rpm으로 속도 지령 계단 변화 시 실험 결과. (a)실제각과 추정각. (b)속도 지령과 추정각 오차.

3.결 론

본 논문은 단상 표면 부착형 영구자석 전동기의 센서리스 방법을 제안하였다. 제안한 센서리스 제어방법의 성능을 실험을 통해 검증하였다. 기존의 3상 표면 부착형 영구자석 전동기 대상으로 연구되었던 센서리스 방법이 단상 전동기에도 적용됨을 보였다. 제안한 방법은 일정 속도 범위 내에서 성능이 준수하고 구현이 매우 쉽고 간단하다. 다만 전동기모델을 이용한 센서리스 방법은 정격속도의 수% 속도 이상에서부터만 적용이 가능하기 때문에 센서리스 기동방법은 따로 강구해야 할 필요가 있다.

표 1 실험 전동기 상수

Table 1 Motor parameters

정격 출력	5[kW]	Rs	0.3[Ω]
정격 속도	3000[rpm]	Ls	2.27[mH]
극 수	8	역기전력 상수	0.143[V/(rad/s)]

참 고 문 헌

- [1] J. H. Jang and et al., "Sensorless Drive of Surface Mounted Permanent Magnet Motor by High Frequency Signal Injection Base on Magnetic Saliency", IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. 39, No. 4, July/Aug., 2003, pp.1031-1039.
- [2] U.A. Miranda, M. Aredes, L.G.B. Rolim., "A DQ Synchronous Reference Frame Control for Single-Phase Converters", IEEE 36th Power Electronics Specialists Conference (PESC 2005), pp.1377-1891, 2005.