

Lyapunov 방식을 적용한 PMSM 센서리스 제어

PMSM Sensorless Control using Lyapunov method

*#주경진¹, 정연호¹, 최재학¹, 구대현¹

*#K. J. Joo¹(kj8532@keri.re.kr), Y. H. Jung¹, J. H. Choi¹, D. H. Gu¹

¹한국전기연구원

Key words : Lyapunov, PMSM, Sensorless

1. 서론

영구자석 동기전동기(Permanent Magnet Synchronous Motor)는 작은 크기로 높은 전력 밀도를 제공한다. 하지만 PMSM을 강인하게 제어하기 위하여 회전자의 위치 추정이 필요하고, 회전자의 위치를 결정하기 위해 엔코더나 레졸버를 사용할 수 있지만 이러한 센서들은 비싸고 모터에 추가적인 비용을 발생시키게 된다. 따라서 회전자의 위치를 추정하기 위하여 센서리스 제어가 필요하다.

본 고에서는 모든 속도영역에서의 PMSM 위치 센서리스 구동을 위하여 Lyapunov 이론을 적용한 제어 방식에 대하여 기술한다. 검증을 위하여 3.5kW 용량의 SPMSM를 사용한다.

2. Observer 설계

A. 전압방정식

PMSM의 전압방정식은 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned} u_s^r &= R_s i_s^r + \frac{d\lambda_s^r}{dt} + j\omega\lambda_s^r \\ &= R_s i_s^r + (s + j\omega)L_s i_s^r + j\omega\lambda_{PM} \end{aligned} \quad (1)$$

추정 회전자 위치 $\hat{\theta}$ 의 추정좌표계에서 공간 벡터 변환은 식(2)와 같다.

$$i_s^r = i_d + j i_q = \hat{i}_s^r e^{j(\hat{\theta} - \theta)} = \hat{i}_s^r e^{j\tilde{\theta}} \quad (2)$$

식(2)를 이용하여 전압방정식을 유도하면 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{u}_s^r &= R_s \hat{i}_s^r + L_s \frac{d\hat{i}_s^r}{dt} + j\hat{\omega}L_s \hat{i}_s^r + j\omega\lambda_{PM} e^{-j\tilde{\theta}} \\ &= R_s \hat{i}_s^r + L_s \frac{d\hat{i}_s^r}{dt} + j\hat{\omega}L_s \hat{i}_s^r + j\omega\lambda_{PM} (\cos\tilde{\theta} - js\sin\tilde{\theta}) \\ &\quad + j\omega\lambda_{PM} - j\omega\lambda_{PM} + \frac{d\lambda_{PM}}{dt} \end{aligned} \quad (3)$$

B. Lyapunov 이론이 적용된 센서리스 알고리즘

Lyapunov 이론은 비선형 시스템의 안정성 판별을 위한 방법이다. 적용을 위한 조건은 다음과 같다.

$$V(x) \geq 0, \quad \dot{V}(x) \leq 0 \quad (4)$$

고정자 쇄교자속은 d-q축 성분과 $\hat{d}-\hat{q}$ 축 성분으로 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \lambda_s &= \hat{\lambda}_s = \hat{\lambda}_{sd} + \hat{\lambda}_{sq} = L_s \hat{i}_d + \hat{\lambda}_{rd} + L_s \hat{i}_q + \hat{\lambda}_{rq} \\ &= L_s \hat{i}_s + \hat{\lambda}_r \end{aligned} \quad (5)$$

d-q축과 $\hat{d}-\hat{q}$ 축의 위치 오차의 동특성을 통하여 속도와 위치를 추정할 수 있다.

Fig.1은 위 식을 바탕으로 하여 회전자 위치 추정기를 도식화하여 나타낸 것이다.

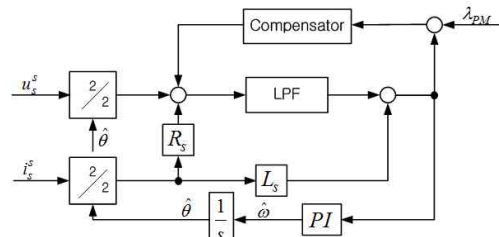


Fig. 1 Rotor angle observer

3. 센서리스 알고리즘을 적용한 실험 결과

Lyapunov 이론을 적용하여 설계한 위치 추정기를 검증하기 위하여 다음 Table 1의 모터 변수를 이용하여 실험하였다.

Table 1 Specifications of test motor

3-Phase, 220[V], 3.5[kW], 8 Poles	
Rated speed	2000[rpm]
Rated Torque	16.7[Nm]
Flux linkage	0.12589[Wb]
Stator resistance	0.122[Ohm]
Stator inductance	1.175[mH]

다음 그림 2는 기준속도 2000[rpm], 무부하와 50% 부하를 인가하였을 때의 각각 실제속도와 추정속도 및 추정된 동기좌표계의 자속이고, 그림 3은 기준속도 2000[rpm] 정상상태에서 무부하와 50% 부하가 인가되었을 때의 실제위치와 추정위치 및 동기좌표계의 실제와 추정된 q축 전류이다.

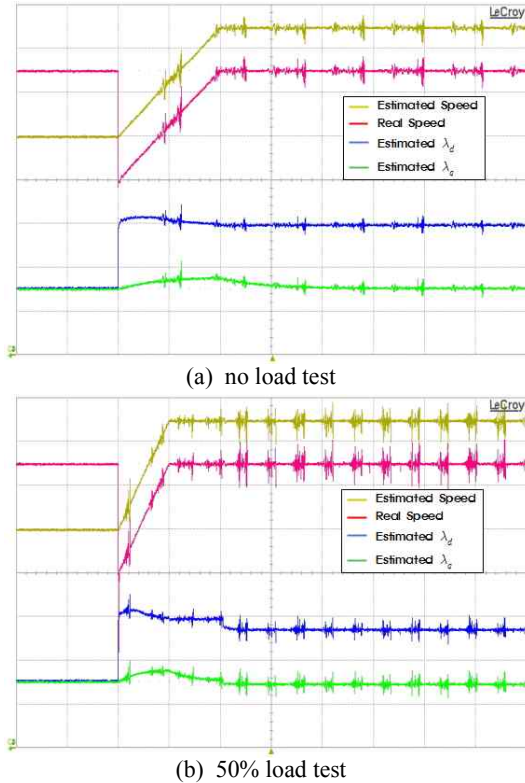
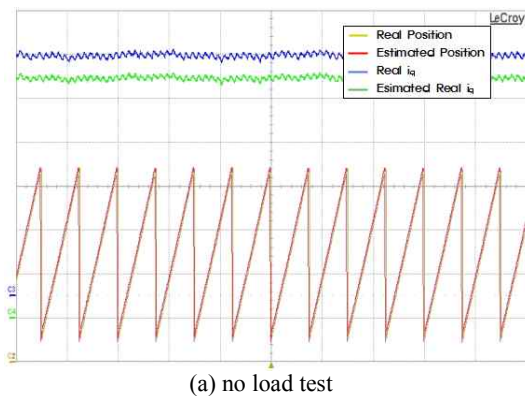
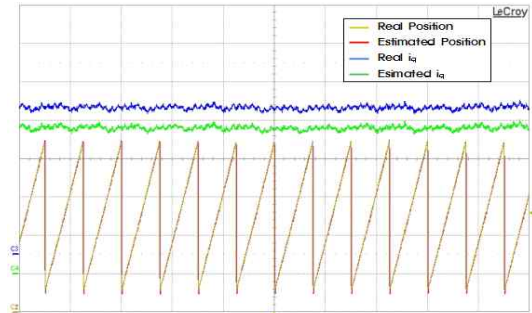


Fig. 2 Transient responses of real & estimated speeds, estimated fluxes



(a) no load test



(b) 50% load test

Fig. 3 Steady-state operating characteristics of real & estimated position and q-axis current

4. 결론

회전자 위치 추정에 대한 새로운 추정기를 제안하였다. 추정기의 안정성은 Lyapunov 방법을 적용하여 검증하였고 강인성은 정상상태에서의 실험으로 입증하였다. 영속도에서 최고속도까지 동일한 제어방법을 적용하였고, 저속에서도 고속에서와 동일한 특성을 나타내었다. 따라서 제안한 방법은 속도와 위치를 정밀하게 추정하기 위하여 센서를 대신하여 사용하기에 적합하다고 할 수 있겠다.

참고문헌

1. Matsui, N.; , "Sensorless PM brushless DC motor drives," Industrial Electronics, IEEE Trans on , vol.43, no.2, pp.300-308, Apr 1996
2. Holtz, J.; Juntao Quan; , "Sensorless vector control of induction motors at very low speed using a non-linear inverter model and parameter identification," Industry Applications, IEEE Trans on , vol.38, no.4, pp. 1087- 1095, Jul/Aug 2002
3. Corley, M.J.; Lorenz, R.D.; , "Rotor position and velocity estimation for a salient-pole permanent magnet synchronous machine at standstill and high speeds," Industry Applications, IEEE Trans on , vol.34, no.4, pp.784-789, Jul/Aug 1998
4. Aihara, T.; Toba, A.; Yanase, T.; Mashimo, A.; Endo, K.; , "Sensorless torque control of salient-pole synchronous motor at zero-speed operation," Power Electronics, IEEE Trans on , vol.14, no.1, pp.202-208, Jan 1999
5. Rasmussen, H.; , "Sensorless field oriented control of a PM motor including zero speed," Electric Mach and Drives Conf, 2003. IEMDC IEEE International , vol.2, no., pp. 1224- 1228 vol.2, 1-4 June 2003