

외란 관측기를 이용한 센서리스 PMSM의 강인 제어

이국선*, 최익*, 백주훈*
광운대학교*

Robust Control of Sensorless PMSM using Disturbance Observer

Kooksun Lee*, Ick Choy*, Juhoon Back*
Kwangwoon University*

ABSTRACT

본 논문에서는 센서리스로 구동하는 PMSM의 부하 토크 변동에 대한 속응성 향상 기법을 제안한다. 센서리스 구동의 대표적인 기법으로 전류 기반 모델을 이용하여 역기전력을 관측하고, 이로부터 위치/속도 정보를 검출하는 방식을 들 수 있다. 이 때, 관측기의 수렴 속도가 역기전력을 관측할 수 있을 만큼 충분히 빨라야 하며, 제어기는 관측기로부터 추출된 속도 정보를 이용하므로 전체 제어기의 대역폭은 관측기의 대역폭에 의해 제한된다. 이로 인하여 속도 제어기가 부하 토크 변동에 충분히 빨리 대응하지 못할 수 있다. 본 논문은 외란 관측기를 사용하여 부하 토크를 외란으로 간주하고 그 영향을 보상한다. 모의실험을 통하여 강인성이 향상됨을 보인다.

1. 서론

PMSM의 구동을 위해서는 회전자의 위치를 검출 할 수 있는 센서가 필요하다. 그러나 위치 센서는 가격이 상대적으로 고가이고, 주위 환경에 민감하다. 이런 단점으로 인해 위치 센서가 필요 없는 다양한 센서리스 기법들이 연구되어 왔다.^[1]

특히, 역기전력을 추정하여 이로부터 회전자의 위치를 검출하는 방법이 많이 쓰이고 있는데, 이는 미지 입력인 역기전력을 추가적인 시스템 상태 변수로 정의하고 이를 추정하는 상태 관측기(Observer)를 사용하는 기법이다.

많은 경우 모터 구동시 외부로부터 인가되는 부하 토크를 외란으로 여기고, PI 제어기를 통하여 그 영향을 제거한다. 이 때 제어기의 이득은 외란을 충분히 빨리 극복할 수 있도록 선정하는 것이 일반적이나 상황에 따라 PI 제어기의 이득을 충분히 크게 선정하지 못할 수 있다. 특히, 센서리스 제어의 경우 통상 관측기의 수렴 속도가 제어기 수렴 속도보다 빠르게 설계하므로 외란에 대한 응답속도는 더욱 느려진다.

본 논문에서는 외란 관측기^[2]를 센서리스 PMSM에 적용하여 부하 토크 변동에 강인한 센서리스 제어 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법을 일반적인 센서리스 제어 기법과 비교하는 시뮬레이션을 수행하여 그 우수성을 확인하였다.

2. 본문

2.1. PMSM 모델

그림 1과 같은 표면 부착형 영구자석 동기 전동기(SPMSM)를 고려한다. 각 상에서는 회전자의 회전으로 인하여 정현파 형태의 역기전력이 발생한다. 해석을 용이하게 하기 위해서 그림 2와 같은 좌표 변환을 적용한다.

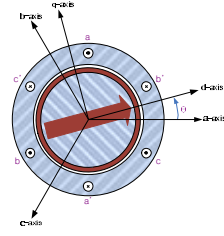


그림 1. SPMSM

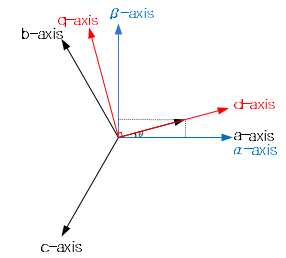


그림 2. Reference Axis

Stationary reference frame model

$$\begin{aligned} \dot{i}_\alpha &= -\frac{R_s}{L_s}i_\alpha + \frac{1}{L_s}v_\alpha - \frac{1}{L_s}E_\alpha \\ \dot{i}_\beta &= -\frac{R_s}{L_s}i_\beta + \frac{1}{L_s}v_\beta - \frac{1}{L_s}E_\beta \\ \dot{E}_\alpha &= -\omega_e \Phi_f \sin(\theta_e) \\ \dot{E}_\beta &= \omega_e \Phi_f \cos(\theta_e) \end{aligned} \quad (1)$$

Rotating reference frame model

$$\begin{aligned} \dot{i}_d &= -\frac{R_s}{L_s}i_d + \frac{1}{L_s}v_d + \omega_e L_s i_q \\ \dot{i}_q &= -\frac{R_s}{L_s}i_q + \frac{1}{L_s}v_q - \frac{1}{L_s}\omega_e \Phi_f - \omega_e i_d \\ T_e &= \frac{3}{2} \frac{P}{2} \Phi_f i_q \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, i_X, v_X, E_X 는 각각 해당 축(X-axis)의 전류, 전압, 역기전력이고 R_s, L_s 는 고정자 저항과 인덕턴스이다. 또한, ω_e, θ_e 는 회전자의 속도와 각도이고 Φ_f 는 회전자 영구 자석의 자속이다. P 는 전동기의 극수, T_e 는 전동기의 출력 토크이다.

2.2. 역기전력 관측기

통상 센서리스 구동을 위하여 회전자의 위치를 추정하는데, 이는 역기전력 관측기를 사용하여 얻을 수 있다. 즉, 식 (1)의 역기전력 $\hat{E}_\alpha, \hat{E}_\beta$ 를 추정하여 회전자의 위치를 구할 수 있다. 역기전력 추정을 위한 슬라이딩 모드 관측기는 외란 및 시스

템 파라미터 변동에 강인하고 설계가 용이하다는 장점이 있다.

샘플링 속도에 비하여 모터의 회전 속도가 매우 느린 저속 영역에서 식 (3)과 같은 슬라이딩 모드 관측기를 구성할 수 있다. 속도에 따라서 더욱 정확한 역기전력 모델을 구성할 수도 있으나 여기서는 다루지 않는다.^[3]

$$\begin{aligned} \dot{\hat{i}}_{\alpha} &= -\frac{R_s}{L_s} \hat{i}_{\alpha} + \frac{1}{L_s} v_{\alpha} - \frac{1}{L_s} \hat{E}_{\alpha} \\ \dot{\hat{i}}_{\beta} &= -\frac{R_s}{L_s} \hat{i}_{\beta} + \frac{1}{L_s} v_{\beta} - \frac{1}{L_s} \hat{E}_{\beta} \\ \dot{\hat{E}}_{\alpha} &= 0 \\ \dot{\hat{E}}_{\beta} &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

위 슬라이딩 모드 관측기가 슬라이딩 조건을 만족하게 되면 식 (4)로부터 회전자의 위치를 추정할 수 있다.

$$\hat{\theta} = \tan^{-1} \left(\frac{\hat{E}_{\alpha}}{\hat{E}_{\beta}} \right) \quad (4)$$

2.3. 외란 관측기

외란 관측기는 부하 토크를 관측하여 보상함으로써 제어의 강인성을 향상 시킨다.^[4](그림 3)

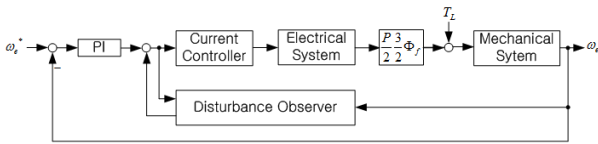


그림 3. 외란 관측기를 이용한 제어

외란 관측을 위한 Q필터와 플랜트의 역 모델(P_n)은 수식 5와 같이 구성 한다.

$$P_n(s) = J_n s + B_n \quad (5)$$

$$Q(s) = \frac{w_D}{s + w_D}$$

J_n 과 B_n 은 각각 모터에 작용하는 회전관성모멘트와 마찰력의 공칭값이고 w_D 는 필터의 대역폭이다.

2.4. 외란 관측기를 이용한 센서리스 PMSM

제한하는 방식(그림 4)은 센서리스 PMSM에 2.3절에 소개된 외란 관측기를 적용한 것이다. 시뮬레이션을 통하여 기존의 센서리스 방식과 비교하였다. 제어기의 샘플링 주파수(f_s)는 10[KHz] 이다.

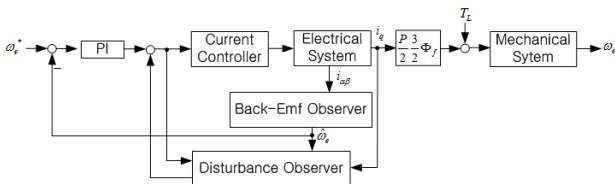


그림 4. 외란 관측기를 적용한 센서리스 PMSM

2.4.1 시뮬레이션

표 1 시뮬레이션 파라미터

Φ_f	0.875	J	0.01
R_s	4.5	B	0.095
L_s	0.0285	f_s	10000

시뮬레이션 결과

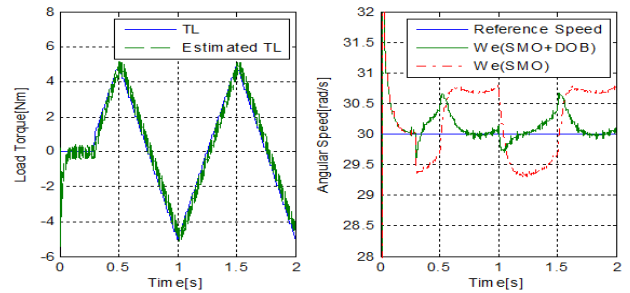


그림 5. 시뮬레이션 결과

그림 5에서 볼 수 있듯이 외란 관측기는 부하 토크를 잘 관측하고 있다. 또한, 제안하는 센서리스 제어 방식이 일반적인 슬라이딩 모드 관측기만 사용한 센서리스 방식보다 부하 토크 외란에 대해서 목표 속도(Reference speed)의 추종 성능이 뛰어난 것을 알 수 있다.

3. 결론

센서리스 PMSM에 외란 관측기를 적용하여, 기존의 센서리스 제어 방식보다 부하 토크 변동에 강인한 제어를 제안하였다. 제시한 방법은 기존의 센서리스 방식에 쉽게 추가할 수 있으며 슬라이딩 모드 관측기뿐만 아니라 관측기 기반의 센서리스 구조에 모두 적용 가능 하다. 또한, 플랜트의 역 모델과 Q필터는 1차이므로 추가 비용(cost)은 적은 편이다.

본 연구는 지식경제부 신재생에너지기술개발사업의 일환(2009T100100621)으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] L.G. Gonzalez, E. Figueres, G. Garcera, O. Carranza, and F. Gonzalez-Espin, "Synchronization techniques comparison for sensorless control applied to Wind Energy Conversion Systems (WECS)", Power Electronics and Applications, 2009. EPE '09. 13th European Conference on, 2009, pp. 1 - 9.
- [2] J. Back and H. Shim, "Adding robustness to nominal output-feedback controllers for uncertain nonlinear systems: A nonlinear version of disturbance observer", Automatica, vol. 44, 2008, pp. 2528 - 2537.
- [3] C. Li and M. Elbuluk, "A sliding mode observer for sensorless control of permanent magnet synchronous motors", Industry Applications Conference, 2001. Thirty-Sixth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2001 IEEE, 2002, pp. 1273 - 1278.
- [4] Y.S. Suh and T.W. Chun, "Speed control of a PMSM motor based on the new disturbance observer", Industry Applications Conference, 2001. Thirty-Sixth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2001 IEEE, 2001, pp. 1319 - 1323 vol.2.