

자속 관측기를 이용한 센서리스 SRM의 파라미터 오차보정방식

임근민*, 안진우*, 이동희*, 김병한**
 경성대학교*, 삼성전기**

Using the Flux Observer for Sensorless SRM Parameter Error Correction Method

Geun-Min Lim*, Jin-Woo Ahn*, Dong-Hee Lee*, Byeong-Han Kim**
 Kyungseung University*, Samsung Electro-Mechanics**

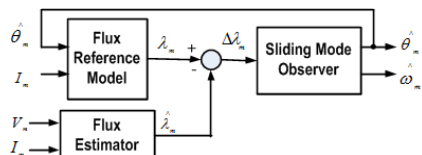
Abstract - 본 논문은 SRM의 센서리스 속도제어를 위한 슬라이딩 모드 자속관측기법을 적용하고, 초기기동에서 센서리스 영역까지의 천이구간에서는 동일한 센서리스 추정방식과 계산된 자속의 오차 성분으로 오픈루프 상태에서 속도리플을 억제할 수 있는 방식과 전동기의 온도 및 파라미터 변화에 의한 자속 오차 성분으로 인해 발생하는 위치 추정오차를 보상하기 위한 새로운 추정위치 보상을 제안한다. 제안된 추정위치 보상은 SRM의 자기적인 특성에 의해 발생하는 인덕턴스 변곡점 위치를 실제 위치로 가정하여 추정된 센서리스 위치를 순시적으로 보상하는 방식이다.

1. 서 론

본 논문에서는 적용 SRM의 자속데이터와 상권선에 인가되는 전압 및 전류로부터 계산되는 자속과의 오차로부터 회전자 위치 및 속도를 추정하는 자속관측기를 적용하여 연속적으로 회전자 위치와 속도를 추정하였다. 자속관측기는 일정한 속도 이상에서 안정적인 회전자 위치 추정이 가능하지만, 정지 상태와 저속구간에서의 위치 오차가 커서 센서리스 속도 제어가 가능한 구간까지는 강제로 오픈루프 방식으로 구동하게 된다. 또한, 스위칭 소자 및 휠링 다이오드에서 발생하는 전압강하 성분과 온도상승에 따른 상저항 변화 등의 전동기 파라미터 변동으로 인해 자속관측기의 회전자 추정위치의 오차는 지속적으로 증가하게 된다. 제안된 방식에서는 동일한 센서리스 추정알고리즘에서 자속오차에 대한 지령위치와의 오차관계로부터 오픈루프 구동의 전류제어를 적용함으로써, 안정적인 초기구동과 센서리스 구간까지의 천이가 가능한 제어기와 한 회전자 위치에서 SRM의 저항 및 전압오차와 전혀 관계없는 SRM의 자기적인 특성에 의해 발생하는 인덕턴스 변곡점 위치를 실제 위치로 가정하여 순시적으로 추정된 센서리스 위치를 보상하는 제어를 제안한다.

2. 자속관측기를 이용한 SRM의 위치 및 속도 추정

SRM의 자속은 회전자의 위치와 전류에 따라 고유의 값을 가지게 되므로, 실제 전동기의 자속정보와 상권선에 인가된 전압 및 전류에 의해 계산된 자속과의 오차에 의해 그림1과 같이 회전자의 위치를 추정할 수 있다.^{[3]-[5]} 상권선에 인가된 전압 및 전류에 의해 계산되는 자속은 식(1)-(3)과 같다.



〈그림 1〉 자속관측기를 이용한 SRM의 위치 및 속도 추정

$$V_s = R \cdot i_m + \frac{d\lambda(L, i_m)}{dt} \quad (1)$$

$$= R \cdot i_m + i_m \frac{dL}{dt} + L \frac{di_m}{dt} \quad (2)$$

$$\hat{\lambda}_m = \int (V_s - R \cdot i_m) dt \quad (3)$$

회전자 위치 추정부는 자속 오차 성분에 대한 함수로 구성되어 전동기의 실제 자속과 계산되는 자속에 의해 회전자의 위치 및 속도를 추정하게 된다. 이 때, k_θ 와 k_ω 는 회전자의 정확한 위치, 속도 추정을 위한 관측기의 계인이다.

$$e_\lambda = \hat{\lambda}_m - \lambda_m \quad (4)$$

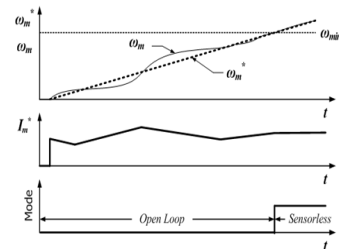
$$\hat{\theta}_{m(k)} = \hat{\omega}_{m(k-1)} + k_\theta \cdot \text{sgn}(e_\lambda) \quad (5)$$

$$\hat{\omega}_{m(k)} = k_\omega \cdot \text{sgn}(e_\lambda) \quad (6)$$

하지만 자속관측기를 이용한 SRM의 위치 및 속도 추정방법은 정지 상태에서는 회전자의 위치 검출이 불가능하고 저속 구간에서는 추정 정밀도가 낮아 초기기동 및 연속적인 동작구간에서의 운전에 대하여 제한적으로 동작하며, 자속계산에 있어서 전압강하 성분 및 상권선의 저항 변화 등의 전동기 파라미터 변동으로 인해 자속관측기의 회전자 추정위치의 오차는 지속적으로 증가하는 단점이 있다.

3. 초기 구동 및 속도제어 방식

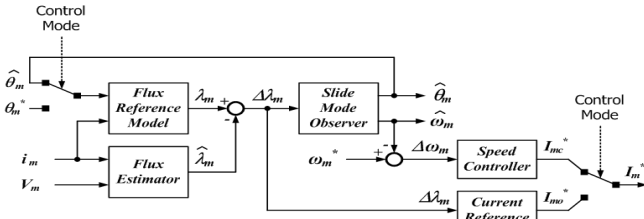
본 논문에서는 자속관측기에 의한 위치 추정과 속도 제어가 가능한 속도영역을 설정하고, 초기 기동에서 안정적인 기동과 부하상태에 따라 적절한 토크 전류가 인가되어 속도리플을 억제할 수 있는 기동 전류 제어를 적용하였다. 제안된 기동 전류 제어는 전동기의 자속과 계산된 자속의 오차를 사용하게 되며, 이때 두 정보 사이의 오차는 지령속도와 실제 속도의 차이를 나타내게 되므로, 자속의 오차에 대하여 기동전류를 연속적으로 제어하는 방식이다.



〈그림 2〉 운전속도에 따른 제어방법

제안된 방식에서는 동일한 센서리스 알고리즘을 적용하므로 구조가 매우 단순한 장점이 있으며, 센서리스 구간에서는 추정위치를 사용하고 오픈루프 구간에서 지령속도에 따른 위치 지령을 사용하도록 설계된다. 그림 2는 제안된 센서리스 SRM의 속도 제어를 위한 구간별 적용방식을 나타내고 있다. 그림 2에서 초기 기동에서 기동전류는 정격 부하를 가정하여 정격전류로 기동하지만, 자속오차에 따라 기동전류를 연속적으로 가변하여 제어함으로써, SRM의 속도가 지령속도를 추종하도록 제어되며, 센서리스 제어가 가능한 일정속도 이상 상승하게 되면, 센서리스 동작으로 전환된다. 그림 3은 제안된 센서리스 SRM의 제어 블록도를 나타내고 있다. 그림 3에서 오픈루프 구간에서는 지령속도에 따른 지령위치 θ_m^* 에 따라 전류 지령을 계산하는 루틴으로 동작하고,

센서리스 구간에서는 추정위치 $\hat{\theta}_m$ 과 추정속도 $\hat{\omega}_m$ 에 따라 속도 제어기에 의한 지령전류가 적용된다.



〈그림 3〉 센서리스 SRM의 제어 블록도

이때, 기동전류 I_{mo}^* 는 동일한 자속관측기를 통한 자속 오차로부터 PI 제어를 적용하여 식(7)과 같이 계산된다.

$$I_{mo}^* = K_p \cdot \Delta\lambda_m + K_i \int \lambda_m \cdot dt \quad (7)$$

초기 정렬과 기동상태에서는 전동기에 인가된 부하상태를 인지할 수 없으므로 자속의 오차는 인가된 토크 전류와 부하 상태에 따른 속도의 오차를 나타내므로, 기동 전류의 가감에 따라 안정적인 기동이 가능하게 된다.

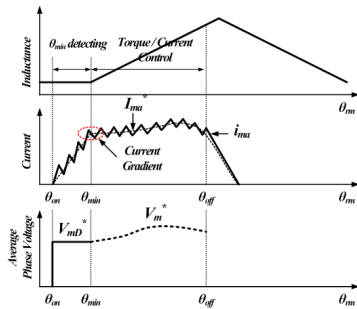
4. 제안된 파라미터 오차보정방식

자속을 계산함에 있어 PWM듀티비와 스위칭 소자 및 휠링 다이오드에서 발생하는 전압강하 성분과 전동기의 연속적인 구동으로 인한 온도상승으로 상권선 저항값의 변동으로 회전자 추정위치의 오차가 발생한다. 본 논문에서는 전압강하 성분을 고려하고 전동기의 온도나 파라미터 변동에 관계없이 자기적인 특성에 의해 회전자 위치를 추정할 수 있는 인덕턴스 변곡점 검출기법을 이용하여, 이때의 추정된 회전자 위치와 자속관측기에서 추정된 회전자 위치와의 오차 성분으로부터 추정자속의 오차를 보정한다. 전압강하 성분을 고려하는 방법은 식(8), (9)와 같다.

$$V_s = \frac{t_{on}}{T_s} \cdot V_{dc} - 2 \cdot V_{drop} \quad (8)$$

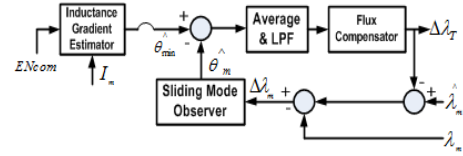
($\frac{t_{on}}{T_s}$: PWM듀티비, V_{drop} : 스위칭소자의 전압강하)

$$\hat{\lambda}_m = \int \left(\frac{t_{on}}{T_s} \cdot V_{dc} - 2 \cdot V_{drop} - R \cdot i_m \right) dt \quad (9)$$



〈그림 4〉 인덕턴스 변곡점의 검출방법

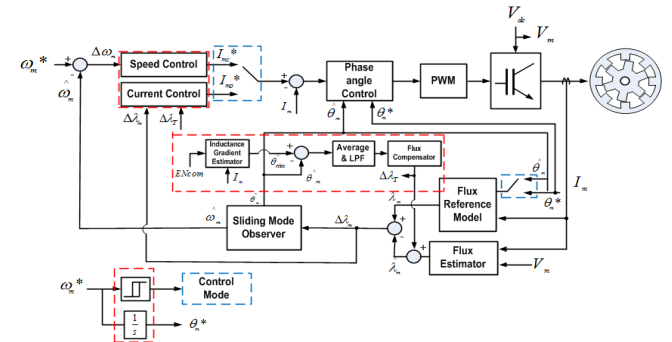
그림 4의 인덕턴스 변곡점 검출방식은 상 인덕턴스의 변곡점을 전류의 형상을 통해 회전자의 위치를 검출하는 방식으로, 토크 리플을 억제하기 위한 전류 형상제어가 어렵고 불연속적으로 회전자의 위치를 검출하는 단점이 있다.^[4] 하지만, 여자전류를 치령치에 추종하도록 제어하기 위해 SRM에서는 어드밴스 각도를 가지고 여자전류를 형성시키게 되고, 어드밴스 각도에서 인덕턴스의 변곡점까지는 토크를 발생하지 않는 영역에 해당하므로, 인덕턴스의 변곡점까지 여자전류의 형상으로 불연속적인 회전자 위치를 검출하고, 인덕턴스의 상승구간에서부터는 토크 제어를 위한 전류제어방식을 적용하면 파라미터 변동에 영향이 적은 회전자 위치의 불연속적인 검출이 가능하다.



〈그림 5〉 제안된 인덕턴스 검출기법의 제어블록도

그림 5는 본 논문에서 제안된 인덕턴스 검출기법의 제어블록도이다. 회전자 위치는 연속적으로 자속추정에 의한 관측기로부터 추정되지만, 자속 관측기의 오차를 보정하기 위해 토크가 발생하지 않는 영역에서는 인덕턴스의 변곡점을 검출하고, 이때의 추정된 회전자 위치와 자속 관측기에서 추정된 회전자 위치와의 오차 성분으로부터 추정자속의 오차를 보정하는 방식을 적용한다. 관측기의 보상은 다음과 같이 구성된다.

$$\Delta\lambda_T = K_{pc} \cdot \Delta\hat{\theta}_{\min} + K_{ic} \cdot \Delta\hat{\theta}_{\min} \cdot dt \quad (10)$$



〈그림 6〉 제안된 센서리스 SRM 제어시스템의 제어블록도

4. 결론

본 논문에서는 SRM의 저가격화를 위하여 자속관측기를 이용한 센서리스 SRM 제어기법과 파라미터 변동에 의한 회전자 추정위치의 오차를 보정하는 방식을 제안하였다. 초기 기동에서부터 동일한 관측기에 의한 오차성분으로 오픈루프 구동의 전류제어와 센서리스 제어로 SRM의 센서리스 제어시스템의 구현이 가능하고 인덕턴스 변곡점 검출기법을 통해 회전자 추정위치의 오차를 보상할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 삼성전기의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] H.J. Guo, W.B. Lee, "An improved sensorless driving method of switched reluctance motors using impressed voltage pulse", PCC-Osaka 2002.
- [2] Ibrahim H. Al-Bahadly, "Examination of a Sensorless Rotor-Position-Measurement Method for Switched Reluctance Drive", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.55, No.1, pp.288-295, 2008.
- [3] Debiprasad Panda, "Reduced Acoustic Noise Variable DC-Bus-Voltage-Based Sensorless Switched Reluctance Motor Drive for HVAC Application", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.54, No.4, pp.2065-2078, 2007
- [4] Gabriel Gallegos-Lopez, Philip C.Kjaer, Timothy J.E. Miller, "A New Sensorless Method for Switched Reluctance Motor Drives", IEEE Trans. on Industrial Applications, Vol.34, No.4, July/August 1998.