2015년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2015. 7. 15 - 17

고주파 주입 신호가 없는 IPMSM 센서리스 제어 안정성 향상을 위한 방안

조태호*, 주경진*, 박현종*, 김창현*, 이 주*
한양대학교*

Method for Improving stability of IPMSM Sensorless Control in Relation No Signal about High Frequency voltage

Tae-Ho Cho*, Kyoung-Jin Joo*, Hyun-Jong Park*, Chang-Hyun Kim*, Ju lee*
hanyang University*,

Abstract - In this paper, it employs IPMSM sensorless methods about current model and Extend-EMF methods. By using a MATLAB/Simulink program, it presents sensorless method in relation No high frequency voltage and replaces current based sensorless method. This IPMSM motor is drived by MTPA and Flux weakening controls for adjusting a actual motor application. In order to improving stability of IPMSM sensorless control, method about Sensorless estimation change is suggested by this paper.

1. 서 론

매입형 영구자석 동기 전동기(Interior Permanent Magnet SYnchronous Motor, IPMSM)은 출력밀도와 효율이 높아 다양한 고성능 전동기 구동분야에서 사용이 높아지고 있다. 영구자석 동기 전동기 벡터제어 시 자속각 검출을 위해서는 엔코더(Encoder) 및 레졸버(Resolver)등이 필요하나 비용 및 센서로 인한 고장 가능성으로 인해 여러 시스템에서 적용이 불가능한 경우가 많다.

이러한 문제를 해결하기 위한 속도 및 위치센서를 이용하지 않는 센서리스(Sensorless) 벡터 제어에 대한 연구가 오래 전부터 있어왔다. 본 논문에서는 이러한 기존의 센서리스 제어 기법 중에서 역기전력 추정 방법 및 전류 모델 기반 센서리스 제어를 혼합 사용하여 속도 변화에 따른 안정성 향상 및 운전 가능함을 증명하고자 한다.

2. 본 론

2.1 전동기 파라메터 및 센서리스 제어 방법

2.1.1 전동기 파라메터

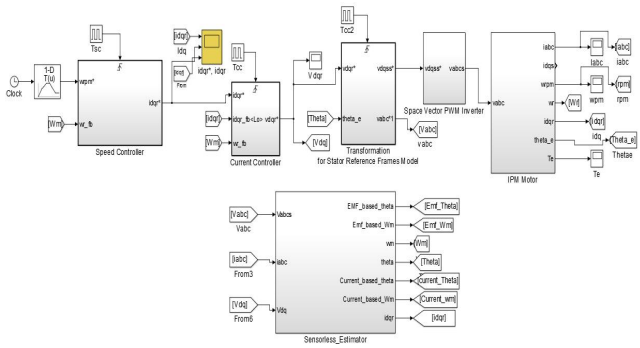
전동기는 도시철도 차량용 IPMSM 210Kw급 견인용 전동기를 대상으로 하였다. 전동기 파라메터는 <표 1>과 같은 파라메터를 값을 가지며 다음과 같은 값을 통한 BaseRpm은 12392rpm 이다. 본 논문에서는 17000rpm까지 약자속 제어를 실시하여 음의 d축 전류를 더 많이 인가하여 보다 더 높은 속도의 센서리스 동작을 파악한다.

<표 1> 전동기 파라미터

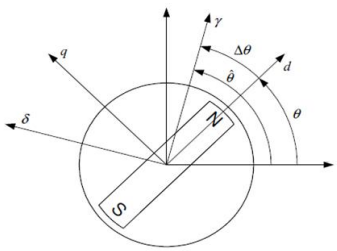
Parameter	Value
Power Rating[kW]	210
Phase Current Rating[Apk]	155.6
DC Link Voltage[V]	1500
Pole	4
L_d[mH]	1.979
L_q[mH]	5.528
R_s[mΩ]	39.224

2.1.2 센서리스 제어 방법

저속에서의 역기전력 측정 문제를 해결하기 위해 신호를 주입하여 전동기의 회전자 위치를 검출하는 방법은 고주파 신호를 고정자 전압에 인가하여 피드백 된 상전류에서 회전자의 위치 정보를 알아내게 된다. 그러나 추가적인 전압으로 인하여 고속 영역에서의 사용이 제한과 주입 신호에 따른 소음이 발생하는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문은 고주파 주입 신호를 하지 않는 방법을 전류 기반 센서리스 제어(Matsui Estimator)를 적용하였다. 이 두 가지 센서리스 제어 기법은 똑같이 전압과 전류를 피드백 받아서 수학적인 알고리즘으로 위치 및 속도를 추정한다. <그림 1>에서 MATLAB/SIMULINK로 구현한 시뮬레이션에서 센서리스 추정으로 계산된 추정 값은 전동기의 속도 제어 및 전류 제어에 다시 피드백 되어서 운전이 된다.



<그림 1> IPMSM 센서리스 운전 시뮬레이션



<그림 2> dq축과 가상의 $\gamma\delta$ 축 과의 관계

센서리스 제어는 실제의 d, q축을 직접 알기 어렵기 때문에 <그림 2>와 같이 가상의 $\gamma\delta$ 축을 바꾸고 이 가정한 축 상에서 전류제어와 속도제어를 한다. d,q축 전압방정식을 $\gamma\delta$ 으로 바꾸어 전압방정식과 $\Delta\theta = 0$ 에서의 전압방정식의 차를 통한 회전자 속도 및 위치 추정 값은 다음과 같은 (1.1), (1.2), (1.3) 이 된다.

$$e_M(n) = e_M(n-1) - K_E \Delta i_\delta(n) \tag{1.1}$$

$$\theta_M(n) = \theta_M(n-1) + \frac{T}{K_E} e_M(n) + K_\theta \,\mathrm{sgn}\{\ \omega_{M0}(n-1)\ \}\,\Delta i_\gamma(n) \tag{1.2}$$

$$\omega_r(n) = \frac{\theta_M(n) - \theta_M(n-1)}{T} = \frac{e_M(n)}{K_E} + \frac{K_\theta \,\mathrm{sgn}\{\ \omega_{M0}(n-1)\ \}\,\Delta i_\gamma(n)}{T} \tag{1.3}$$

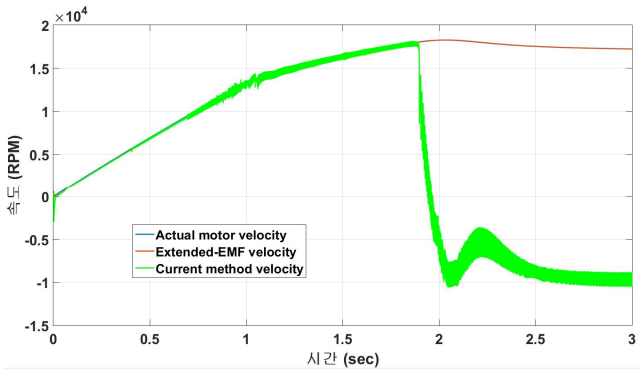
이러한 방법은 전류 기반 센서리스 제어로 이용이 되며 본 논문에서 사용하는 또다른 센서리스 제어 기법인 역기전력 기법은 전압과 전류 값을 통하여 구하고 이를 PLL type을 통한 속도 위치 추정을 한다.

본 논문에서 요구되는 센서리스 운전 속도는 <표 2>와 같으며 MTPA 벡터제어와 약자속 제어까지 하여 속도 제어를 한다.

<표 2> 시간에 따른 모터의 요구되는 운전 속도

초 (sec)	0	3	6	9
회전속도(Rpm)	0	5000	17000	17000

2.2 기존 센서리스 제어의 문제점

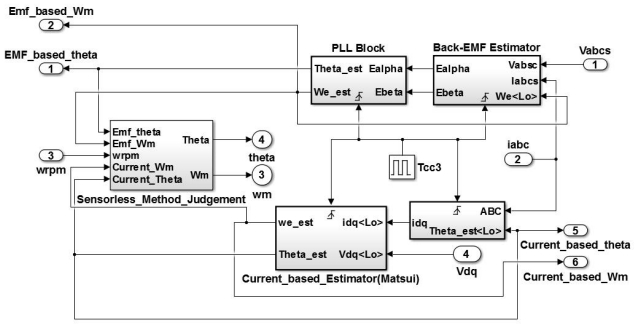


〈그림 3〉 17000rpm 구동시의 각 센서리스 추정 속도

전류 기반 센서리스 기법은 고주파를 주입해야 하는 역기전력 추정 센서리스 기법과 달리 이러한 신호 주입을 하지 않기 때문에 추가적인 전압을 필요로 하지 않고 고주파로 인한 동작 중인 모터의 소음도 없는 장점을 가지고 있다. 그러나 <그림 3> 과 같은 10000 rpm 이상부터는 속도 추정의 오차가 커지기 시작하고 17000rpm을 넘었을 경우 센서리스 속도 추정이 안되는 단점을 가지고 있다.

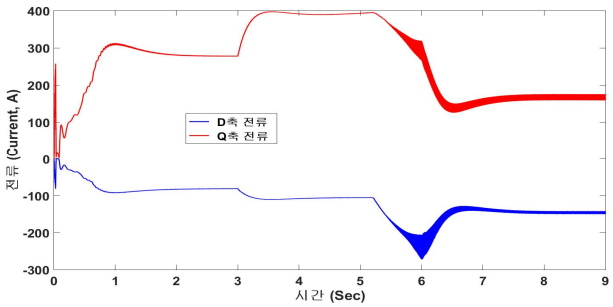
그러나 반대로 역기전력 추정 기법은 저속 및 초기 구동이 문제 없이 작동이 된다면 고속에서도 센서리스 제어가 가능함을 볼 수 있다.

2.3 제안된 센서리스 제어 방법

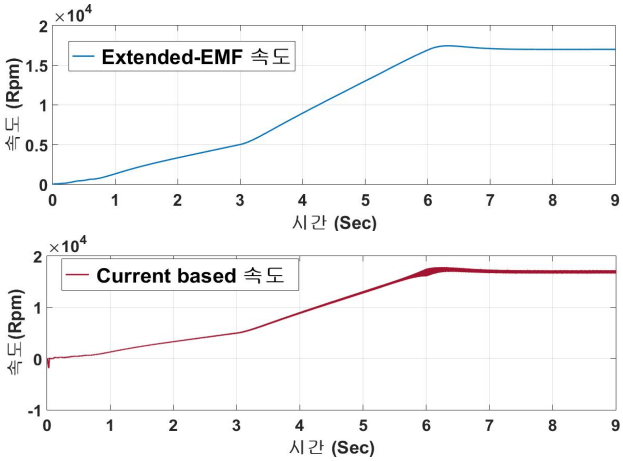


〈그림 4〉 제안된 센서리스 제어 방법

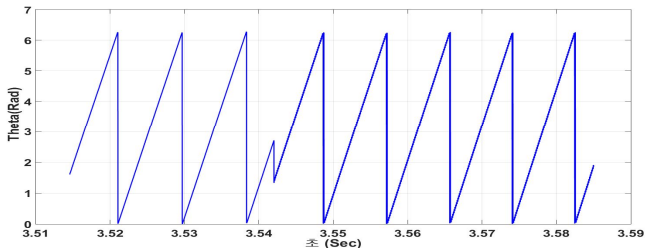
이러한 각 센서리스 제어 기법을 혼합 사용하면 IPMSM 모터를 구동하는데 단점을 상쇄하고 장점만을 이끌어 낼 수 있는 것이 본 논문의 취지이다. 역기전력 기반 센서리스와 전류 기반 센서리스 제어를 통한 위치, 속도 추정을 동시에 실시하여 보다 나은 값을 피드백 하는 방식이다. 초기 구동은 전류 기반 센서리스 제어로 하며 회전하는 rpm값이 기준 이상을 넘었을 경우 역기전력 기반 센서리스 제어로 변환하여 안정적인 추정 값을 얻도록 한다. 또한 IPMSM 모터의 속도가 줄어들 경우에는(약 1000rpm 이하) 다시 전류 기반 센서리스로 변환하여 더 정확한 위치 및 속도 추정 값을 얻도록 한다. 그림<5> 에서는 센서리스 제어 시 D,Q축 전류가 다음과 같이 이루어짐을 알 수 있으며 처음 구동 할 때를 제외하고는 안정적인 D,Q축 전류가 인가 할 수 있음을 알 수 있다. 또한 그림<6>에서는 제안된 알고리즘으로 인하여 고속에서 전류 기반 센서리스 제어가 되지 못했던 것을 보안할 수 있었다. 이는 위치, 속도 추정 값을 역기전력 센서리스 제어로 안정적인 동작이 되었기 때문에 예전과 달리 잘 추정이 되고 있었다.



〈그림 5〉 IPMSM 모터 구동 시의 D, Q축 전류



〈그림 6〉 제안된 방법에 의한 센서리스 제어 속도 추정



〈그림 7〉 센서리스 추정 방법 변환에 따른 Theta 추정 변화

또한 그림<7>과 같이 센서리스 방법이 변환될 때는 각도 추정 오차가 발생하여 조금 어긋나는 것이 보이나 센서리스 구동에는 큰 문제가 없었다. 이는 각 센서리스 위치 추정이 큰 경우가 아닐 경우에는 이와 같이 제어 방식을 순간 변화시켜도 구동이 가능함을 알 수 있었다.

3. 결 론

본 논문은 525kW급 IPMSM 센서리스 제어의 안정성을 향상시키기 위하여 일반적인 역기전력 추정 기법에서 전류 모델 기반 센서리스 제어인 Matsui_Estimator를 추가하였다. 전류 모델 기반을 센서리스 제어는 고속 영역을 제외한 구간에서 모터 구동이 가능한 방법으로써 극 저속에서의 모터 구동이 불가능한 Extend-EMF 센서리스 제어 기법의 단점을 보안 할 수 있다. 또한 두 가지의 센서리스 제어 기법을 동시에 추정하기 때문에 예상치 못한 오류 값이 뜰 경우에는 센서리스 제어 기법을 스위칭 하여 안정적인 모터 구동을 지속 할 수 있게 된다. 이러한 기법을 통해서 고주파 주입 방법을 사용하지 않아 노이즈 감소 및 추가적인 전압 인가를 하지 않게 되는 장점을 얻을 수 있게 되었다. 향후 논문에서는 두 가지 센서리스 기법을 동시에 적용하여 실질적인 모터 구동을 하여 기존 역기전력 추정 센서리스 제어 기법과 비교를 하고자 한다.

[참 고 문 헌]

[1] S. Morimoto, K. Hatanaka, Y. Tong, Y. Takeda. T. Hirasa : “Servo Drive system and Control Characteristics of Salient Pole Permanent Magnet Synchronous Motor:, IEEEE Trans. On Industry Applications, IA-29, No. 2, pp. 338-343 (1993)

[2] 장지훈, “속도 및 위치 검출기가 없는 영구자석 동기전동기의 운전 영역 확장에 관한 연구,” 박사학위논문, 서울대학교, 2006.2

[3] J. Holtz, “Initial Rotor Polarity Detection and Sensorless Control of PM synchronous Machines,” conf. Rec. of 2006 IEEE Ind. Appl. Society Annual Meeting, 2006, Vol. 4, pp.2040-2047

[4] Gaolin Wang ; Sch. of Electr. Eng. & Autom., Harbin Inst. of Technol., Harbin, China ;Rongfeng Yang ; Dianguo Xu “DSP-Based Control of Sensorless IPMSM Drives for Wide -Speed-Range Operation”, (2013.2) IEEE Trans. On Volume:60, Issue: 2 pp. 720 -727