

dSPACE 1104 시스템을 이용한 유도전동기 속도 센서리스 벡터제어 구현

이 동 민* 이 용 석, 지 준 근, 차 귀 수

*(주)전력품질기술 부설연구소, 순천향대학교 전기통신시스템공학과

Speed Sensorless Vector Control Implementation of Induction Motor Using dSPACE 1104 System

Dong-Min Lee*, Yong-Suk Lee, Jun-Keun Ji, Gui-Soo Cha

*Power Quality Technologies Company

Department of Electrical Communication System Engineering, Soonchunhyang University

Abstract - This paper presents a implementation of speed sensorless vector control algorithm of induction motor using MATLAB/SIMULINK. The proposed method utilize the combination of the voltage model based on stator equivalent model and the current model based on rotor equivalent model, which enables stable estimation of rotor flux. Estimated rotor speed, which is used to speed controller of induction motor, is based on estimated flux. The overall system consisted of speed controller with the most general PI controller, current controller, flux controller. Speed sensorless vector control algorithm is implemeted as block diagrams using MATLAB/SIMULINK. Realtime control is perform by dSPACE DS1104 control board and Real-Time-Interface(RTI).

$$\lambda_{qr}^{\omega} = L_m i_{qs}^{\omega} + L_r i_{qr}^{\omega} \quad (8)$$

3. 속도 센서리스 벡터제어

유도전동기의 벡터제어 및 속도제어를 위해서는 엔코더 등을 이용하여 속도나 위치를 측정하는 것이 일반적이다. 벡터제어에 의한 유도전동기 구동은 속도와 자속각 정보를 얻기 위해 일반적으로 속도센서를 사용한다. 그러나 속도 센서를 사용할 경우 센서의 추가설치가 필요하기 때문에 열악한 환경에서 신뢰성을 감소시키고 시스템의 가격을 상승시킨다. 따라서 본 절에서는 속도 및 위치센서를 사용하지 않는 속도 센서리스 벡터제어 방법에 대하여 설명한다.

1. 서 론

유도전동기는 구조가 간단하고 견고하며 가격이 저렴한 장점으로 인해 산업 및 수송 등 여러 분야에서 광범위하게 응용되고 있다. 속도와 토크의 가변이 요구되는 산업응용 및 운송 분야에서 페루프 제어를 실현하기 위해서는 엔코더 등을 이용하여 속도나 위치를 측정하는 것이 일반적이다. 벡터제어에 의해 유도전동기를 구동하는 경우에도 속도와 자속각 위치 정보를 얻기 위해 일반적으로 속도센서를 사용한다. 그러나 속도센서를 사용할 경우 센서의 추가설치가 필요할 뿐 아니라 열악한 환경에서 신뢰성을 감소시키고 구동시스템의 가격을 상승시킨다. 따라서 속도 및 위치센서를 사용하지 않는 속도제어 방식에 대한 관심이 고조되었고 여러 가지 속도추정 알고리즘이 제안되었다.[1]-[5]

본 논문에서는 자속 추정기를 이용하여 회전자 자속을 추정하고, 추정된 자속으로부터 자속각을 계산하여 유도전동기를 구동하는 속도 센서리스 벡터제어를 구현하였다. 자속을 연산하기 위하여 사용되는 전압 모델과 전류 모델의 단점인 순수 적분과 전동기 정수 문제를 보완하기 위하여 전압 모델과 전류 모델을 결합한 자속 추정기를 구성하고, 이로부터 자속각 정보와 속도 정보를 얻어 벡터제어를 수행할 수 있도록 속도 센서리스 벡터제어기를 구성하였다. 제안된 방법은 0.3kW 3상 유도전동기 구동시스템에 적용한 실험을 통하여 성능을 확인하였다.

2. 유도전동기 D-Q 모델링

유도전동기 고정자 및 회전자 전압 방정식을 기준 좌표계 이론을 도입하여 d-q 변수로 정리하면 다음과 같은 임의의 속도 ω 로 회전하는 d-q 축에서 표시된 유도전동기의 고정자 전압 방정식을 구할 수 있다.

$$v_{ds}^{\omega} = R_s i_{ds}^{\omega} + p \lambda_{ds}^{\omega} - \omega \lambda_{qs}^{\omega} \quad (1)$$

$$v_{qs}^{\omega} = R_s i_{qs}^{\omega} + p \lambda_{qs}^{\omega} + \omega \lambda_{ds}^{\omega} \quad (2)$$

유도전동기 회전자의 d-q 전압 방정식을 역시 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$v_{dr}^{\omega} = R_r i_{dr}^{\omega} + p \lambda_{dr}^{\omega} - (\omega - \omega_r) \lambda_{qr}^{\omega} \quad (3)$$

$$v_{qr}^{\omega} = R_r i_{qr}^{\omega} + p \lambda_{qr}^{\omega} + (\omega - \omega_r) \lambda_{dr}^{\omega} \quad (4)$$

농형 유도전동기에서는 회전자가 단락환(End Ring)에 의해 단락(Short)되어 있으므로, $v_{dr}^{\omega} = v_{qr}^{\omega} = v_{nr}^{\omega} = 0$ 이 성립한다. 또한 고정자의 쇄교 자속은 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$\lambda_{ds}^{\omega} = L_s i_{ds}^{\omega} + L_m i_{dr}^{\omega} \quad (5)$$

$$\lambda_{qs}^{\omega} = L_s i_{qs}^{\omega} + L_m i_{qr}^{\omega} \quad (6)$$

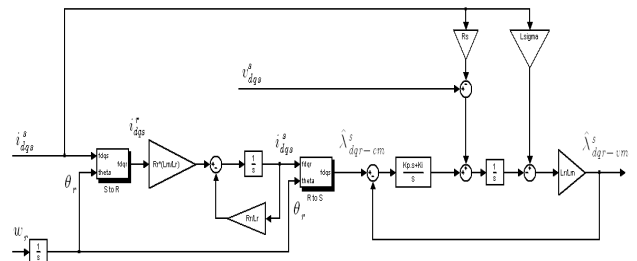
비슷하게 회전자의 쇄교 자속은 다음과 같이 표현된다.

$$\lambda_{dr}^{\omega} = L_m i_{ds}^{\omega} + L_r i_{dr}^{\omega} \quad (7)$$

3.1 회전자 자속 추정기

3.1.1 전압 모델과 전류 모델을 함께 사용한 자속 추정기

일반적으로 역기전력이 큰 고속 영역에서는 고정자 전압을 적분하여 구한 전압 모델을 전동기 제정수의 변동에 강인하여 자속 추정에 유리하고, 역기전력이 작은 저속 영역에서는 회전자 회로를 이용한 전류 모델이 측정신호의 오차에 강인하여 추정 특성이 우수하다. 그러므로 저속에서는 전류 모델을 사용하고 고속에서는 전압 모델을 사용하여 자속을 추정하는 것이 바람직하다.[1],[2] 그림 1은 전압 모델과 전류 모델을 함께 사용하는 자속 추정기의 블록이다.



〈그림 1〉 전압, 전류 모델을 혼합한 회전자 자속 추정기

3.2 회전자 속도 추정기

회전자 자속이 구해지면 회전자 자속각을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{\theta}_e = \tan^{-1} \left(\frac{\hat{\lambda}_{qr}^s}{\hat{\lambda}_{dr}^s} \right) \quad (9)$$

이렇게 구하여진 자속각은 벡터제어를 위한 좌표축의 변환에 사용된다. 또한 속도 센서가 없으므로 속도제어를 위해서는 속도를 추정하여야 한다. 속도 추정은 기존 간접벡터제어에서 자속각을 구하기 위해 사용되는 슬립 각속도를 이용한다. 이 방식은 자속 추정기로부터 자속이 추정되면 추정된 자속을 이용하여 자속각을 구하고, 구한 자속각을 이용하여 동기 각속도를 구하여 슬립 각속도를 빼어서 전동기의 속도를 추정하는 방법이다.[4],[5] 동기 각속도 $\hat{\omega}_e$ 는 $\hat{\theta}_e$ 를 미분하면 다음과 같이 된다.

$$\hat{\omega}_e = \frac{d\hat{\theta}_e}{dt} = \frac{\hat{\lambda}_{dr}^s \dot{\hat{\lambda}}_{qr}^s - \hat{\lambda}_{qr}^s \dot{\hat{\lambda}}_{dr}^s}{\hat{\lambda}_{dr}^{s2} + \hat{\lambda}_{qr}^{s2}} \quad (10)$$

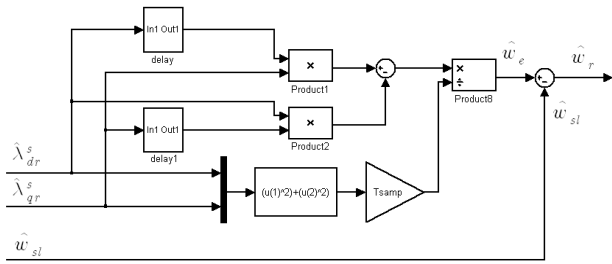
식 (10)에서 미분을 이산 시간으로 표현하면 식 (11)을 구할 수 있다.

$$\hat{\omega}_e(k) = \frac{\hat{\lambda}_{dr}^s(k-1) \dot{\hat{\lambda}}_{qr}^s(k) - \hat{\lambda}_{qr}^s(k-1) \dot{\hat{\lambda}}_{dr}^s(k)}{T_{samp}(\hat{\lambda}_{dr}^{s2} + \hat{\lambda}_{qr}^{s2})} \quad (11)$$

따라서, 회전자 각속도 $\hat{\omega}_r$ 은 식 (12)와 같다.

$$\hat{\omega}_r(k) = \hat{\omega}_e(k) - \hat{\omega}_{sl} \quad (12)$$

회전자 속도 추정기의 블록도는 그림 2와 같다. 이렇게 구하여진 속도 정보는 속도 제어기에 사용되며, 동시에 회전자 자속 추정기의 전류 모델에도 사용된다.

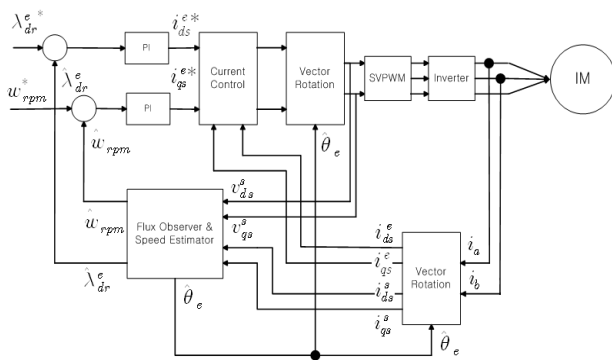


<그림 2> 회전자 속도 추정기

4. 실험 결과

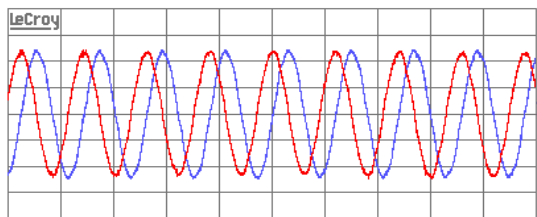
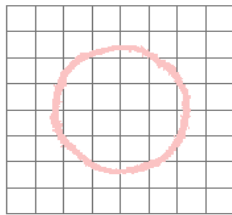
4.1 전체 시스템 구성

그림 3은 유도전동기 속도 센서리스 벡터제어를 수행하기 위한 전체 시스템구성도이다. 고정자 전류는 전류센서를 이용하여 직접 측정하였고, 직접 벡터제어 방식을 기반으로 하였으며, 일반적인 PI 제어기를 사용한 속도 제어기, 전류 제어기, 자속 제어기로 구성하였다.



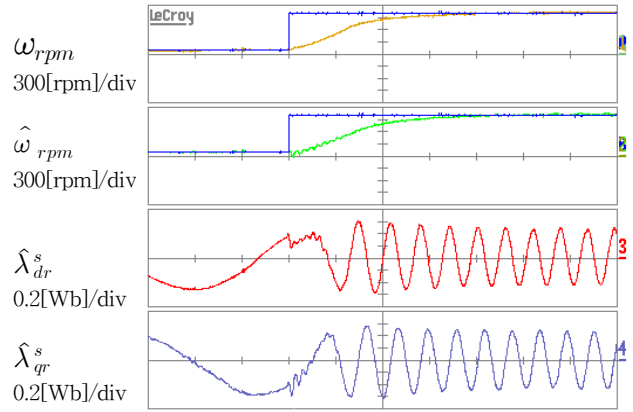
<그림 3> 속도 센서리스 벡터제어 시스템 구성도

그림 4는 제안한 방법의 속도 센서리스 제어 결과이다. 무부하 상태에서 속도는 500[rpm]이며, 정지 2상에서의 회전자 자속의 추정이 안정되어 있으며 d축과 q축의 위상이 정확히 90°임을 확인할 수 있다.

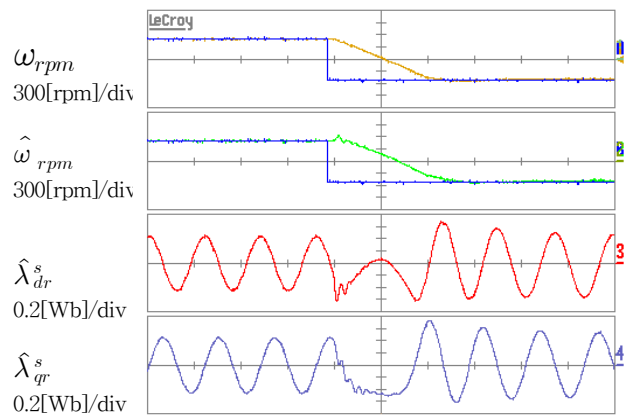


<그림 4> 회전자 자속 궤적
(Flux : 0.2[Wb]/1div, Time : 50[ms]/div)

그림 5는 무부하 상태에서 기준 속도를 100[rpm]에서 1000[rpm]으로 기준속도 변화시 실제 속도와 추정 속도, 추정된 회전자 자속 파형이고, 그림 6은 정역 운전시의 속도 센서리스 제어 결과를 나타내고 있다.



<그림 5> 기준속도 변화시(100[rpm]⇒1000[rpm]) 속도 및 자속 추정특성(50[ms]/div)



<그림 6> 정역 속도지령(500[rpm]⇒-500[rpm])에 대한 속도 및 자속 추정특성(50[ms]/div)

5. 결 론

본 논문에서는 유도전동기 속도 센서리스 벡터제어에 관하여 연구하였다. 전압, 전류 혼합 모델을 사용한 회전자 자속 추정기를 이용하여 유도전동기의 회전자 자속 기준 벡터제어를 수행하였으며, 추정된 자속으로부터 회전자 속도를 추정하여 유도전동기 속도 센서리스 벡터제어를 수행하였다. 제안된 시스템은 0.3[KW] 유도전동기에 적용하여 실험을 통하여 타당성을 검증하였다. 실험 결과로부터 회전자 자속이 안정적으로 추정되는 것을 확인할 수 있었으며, 추정된 속도 신호로 속도 센서리스 벡터제어 결과 안정된 속도 응답을 얻을 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 설승기, "전기기기제어론," BRAIN KOREA, pp. 129-384.
- [2] Patrick L. Jansen and Robert D. Lorenz, "A Physically Insightful Approach to the Design and Accuracy Assessment of Flux Observers for Field Oriented Induction Machine Drives", *IEEE Trans. Ind. Appl.* vol. 30, no. 1, Jan./Feb. 1994.
- [3] 김경서, 조병국, "자속추정기를 이용한 유도전동기 센서리스 벡터제어," 대한전기학회 논문집, vol. 52B, no. 2, pp. 87-92, Feb. 2003.
- [4] L. Ben-Brahim and A. Kawamura, "A Fully Digitized Field-Oriented Controlled Induction Motor Drive Using Only Current Sensors", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 39, no. 3, pp. 241-249, June 1992.
- [5] Myong-Ho Shin, Dong-Seok Hyun, Soon-Bong Cho and Song-Yul Choe, "An Improved Stator Flux Estimation for Speed Sensorless Stator Flux Orientation Control of Induction Motors," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 15, no. 2, pp. 312-318, Mar. 2000.
- [6] 지준근, 이동민, "dSPACE 시스템에 의한 유도전동기 구동 시스템의 벡터제어," 한국산학기술학회 춘계학술발표논문집, pp. 284-287, 2006.
- [7] 지준근, 이동민, "MATLAB/SIMULINK와 dSPACE DS1104를 이용한 유도전동기의 간접벡터제어," 대한전기학회회계학술대회논문집, pp. 1022-1023, 2006.