

MATLAB/SIMULINK와 dSPACE DS1104를 이용한 유도 전동기의 속도 센서리스 벡터제어

이동민¹, 이용석¹, 지준근^{2*}

Speed Sensorless Vector Control of Induction Motor Using MATLAB/SIMULINK and dSPACE DS1104

Dong-Min Lee¹, Yong-Suk Lee¹ and Jun-keun Ji^{2*}

요 약 본 논문에서는 MATLAB/SIMULINK와 dSPACE DS1104를 이용하여 유도 전동기의 속도 센서리스 벡터제어를 구현하였다. 유도 전동기의 속도 센서리스 벡터제어의 운전특성을 개선하기 위하여 전압 모델 자속 추정방식과 전류 모델 자속 추정방식을 혼합한 자속 추정기 알고리즘을 도입하여 정밀도가 높은 개선된 자속 추정방식을 사용하였다. 또한 추정된 자속을 이용하여 회전자 속도를 추정하고 이를 유도전동기의 속도 제어에 사용하였다. 전체 시스템은 직접벡터제어 방식을 기반으로 일반적인 PI 제어를 사용한 속도 제어기, 전류 제어기, 자속 제어기로 구성하였다. MATLAB/SIMULINK를 이용하여 블록다이어그램 방식으로 속도 센서리스 벡터제어 알고리즘을 구현하였고, dSPACE DS1104의 제어보드와 Real-Time-Interface(RTI)를 이용하여 실시간 제어를 수행하였다.

Abstract This paper presents a implementation of speed sensorless vector control of induction motor using MATLAB/SIMULINK and dSPACE DS1104. Proposed flux estimation algorithm, which utilize the combination of the voltage model based on stator equivalent model and the current model based on rotor equivalent model, enables stable estimation of rotor flux. Proposed rotor speed estimation algorithm utilizes the estimated flux. And the estimated rotor speed is used to speed control of induction motor. Overall system consists of speed controller, current controller, and flux controller using the most general PI controller. Speed sensorless vector control algorithm is implemented as block diagrams using MATLAB/SIMULINK. And realtime control is performed by dSPACE DS1104 control board and Real-Time-Interface(RTI).

Key words : Speed Sensorless Vector Control, Induction Motor, MATLAB/SIMULINK, dSPACE

1. 서 론

유도 전동기는 구조가 간단하고 견고하며 가격이 저렴한 장점으로 인해 산업 및 수송 등 여러 분야에서 광범위하게 응용되고 있다. 속도와 토크의 가변이 요구되는 산업응용 및 운송 분야에서 펌프 제어를 실현하기 위해서는 엔코더 등을 이용하여 속도나 위치를 측정하는 것이 일반적이다. 벡터제어에 의해 유도 전동기를 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.

본 논문에서는 자속 추정기를 이용하여 회전자 자속을 추정하고, 추정된 자속으로부터 자속각을 계산하고 회전자 속도를 추정하여 유도 전동기를 구동하는 속도 센서리스 벡터제어를 구현하였다. 일반적으로 자속을 추정하기 위하여 사용되는 전압 모델과 전류 모델의 단점인 순수 적분 문제와 전동기 정수 문제를 보완하기 위하여 전압 모델과 전류 모델을 결합한 혼합형 자속 추정기를 구성하고 이로부터 자속각 정보와 속도 정보를 얻어 벡터제어를

이 논문은 2006년도 차세대BIT무선부품지역혁신센터연구비의 지원에 의하여 연구되었음

¹ 순천향대학교 대학원 전기통신시스템공학과, 석사과정

² 순천향대학교 전기통신시스템공학과, 교수

*교신저자: 지준근(jkji@sch.ac.kr)

수행할 수 있도록 속도 센서리스 벡터제어를 구성하였고, 제안된 시스템의 타당성을 컴퓨터 시뮬레이션 및 실험을 통하여 입증하였다.

2. 유도 전동기의 D-Q 모델링[1]

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

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

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

유도 전동기 회전자 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 유도 전동기에서는 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 회전자 쇄교 자속은 다음과 같이 표현된다.

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

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

3. 속도 센서리스 벡터제어

유도 전동기의 벡터제어 및 속도제어를 위해서는 엔코더 등을 이용하여 속도나 위치를 측정하는 것이 일반적이다. 벡터제어에 의한 유도 전동기 구동은 속도와 자속각

정보를 얻기 위해 일반적으로 속도센서를 사용한다. 그러나 속도 센서를 사용할 경우 센서의 추가설치가 필요하기 때문에 열악한 환경에서 신뢰성을 감소시키고 시스템의 가격을 상승 시킨다. 따라서 본 절에서는 속도 및 위치센서를 사용하지 않는 속도 센서리스 벡터제어 방법에 대하여 설명한다.

3.1 회전자 자속 추정기

속도 센서리스 벡터제어를 위해서는 자속 정보가 필요하다. 직접벡터제어는 고정자 슬롯에 홀 소자나 검색 코일 등과 같은 기계적인 자속 센서를 이용하여 자속을 얻는 직접 측정법과 전압 전류와 속도 정보 등을 이용하여 자속을 추정하는 자속 추정법이 있다. 일반적으로 직접 측정법은 기계적으로 취급하기 어렵고, 비용이 증가하며, 노이즈에 취약하다. 또한 전동기 속도에 따라 변하는 슬롯에 의한 고조파 문제가 있어 일반적으로 사용되지 않는다. 회전자 자속을 추정하는 방법은 고정자에 인가되는 전압과 전류 값으로부터 계산되어 질 수도 있고 또한 회전자 전압 방정식으로부터 계산될 수도 있다. 회전자 자속을 계산하기 위해서 고정자 전압 방정식을 이용하는 방법을 전압 모델법이라 하고, 회전자를 농형으로 가정하면 회전자 전압은 0이므로 전압 방정식은 회전자 전류에 관한 방정식이 되고, 이렇게 구하여진 전류 방정식을 이용한 방법을 전류 모델법이라고 부른다.[2][3]

3.1.1 전압 모델 자속 추정기

여기에서는 전압과 전류를 이용해 자속을 추정하는 방법에 대해서 설명한다. 정지 좌표계($\omega = 0$)에서 유도 전동기의 고정자 전압 방정식은 다음과 같다.

$$v_{dqs}^s = R_s i_{dqs}^s + p\lambda_{dqs}^s \quad (9)$$

유도전동기의 자속은 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{\lambda}_{dqs}^s = L_s i_{dqs}^s + L_m i_{dqr}^s \quad (10)$$

$$\hat{\lambda}_{dqr}^s = L_m i_{dqs}^s + L_r i_{dqr}^s \quad (11)$$

식 (9)로부터 고정자 자속은 식 (12)와 같이 얻어진다.

$$\hat{\lambda}_{dqs}^s = \int (v_{dqs}^s - R_s i_{dqs}^s) dt \quad (12)$$

이 때 회전자 자속은 식 (10), (11)로부터 식 (13)과 같이 구해진다.

$$\hat{\lambda}_{dqs}^s = \frac{L_r}{L_m} (\hat{\lambda}_{dqs}^s - \sigma L_s i_{dqs}^s) \quad (13)$$

식 (13)으로부터 회전자 자속각은 식 (14)와 같이 구할 수 있다.

$$\theta_e = \tan^{-1} \frac{\hat{\lambda}_{qr}^s}{\hat{\lambda}_{dr}^s} \quad (14)$$

이 방법은 역기전력이 작은 저속 영역에서는 고정자 임피던스에 의한 전압 강하 및 잡음의 영향으로 추정값이 정확하지 않고, 또한 적분시 측정 변수들의 오프셋(Offset) 때문에 적분기가 포화되기 쉽다. 따라서 순수 적분 대신 1차 저역 통과 필터를 사용하여 주로 영속 또는 극저속이 아닌, 역기전력의 크기가 측정 잡음에 비해 충분히 큰 저속 이상의 속도 운전 영역에서 사용한다.

3.1.2 전류 모델 자속 추정기

영속 또는 저속 운전 영역에서는 회전자 속도와 고정자 전류로부터 자속을 연산하는 방법이 유용하다. 동기 좌표계($\omega = \omega_e$)에서의 회전자 전압 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$0 = R_r i_{dr}^e + p \lambda_{dr}^e - \omega_{sl} \lambda_{qr}^e \quad (15)$$

$$0 = R_r i_{qr}^e + p \lambda_{qr}^e + \omega_{sl} \lambda_{dr}^e \quad (16)$$

윗식에서 p는 미분연산자이고, $\omega_{sl} = \omega_e - \omega_r$ 이다. 또한 회전자의 쇄교 자속은 다음과 같이 표현된다.

$$\lambda_{dr}^e = L_m i_{ds}^e + L_r i_{dr}^e \quad (17)$$

$$\lambda_{qr}^e = L_m i_{qs}^e + L_r i_{qr}^e \quad (18)$$

회전자의 전압 방정식 (15), (16)과 쇄교 자속식 (17), (18)을 정지좌표계($\omega = 0$)로 바꾸어 식 (19)와 (20)을 유도할 수 있다.

$$0 = R_r i_{dqr}^s + p \hat{\lambda}_{dqr}^s - j \omega_r \hat{\lambda}_{dqr}^s \quad (19)$$

$$\hat{\lambda}_{dqr}^s = L_m i_{dqs}^s + L_r i_{dqr}^s \quad (20)$$

식 (20)을 (19)에 대입하여 전류 모델식을 얻을 수 있다.

$$p \hat{\lambda}_{dqr}^s = - \left(\frac{R_r}{L_r} - j \omega_r \right) \hat{\lambda}_{dqr}^s + R_r \frac{L_m}{L_r} i_{dqs}^s \quad (21)$$

회전자 전류 모델에 의해 회전자 자속을 구하는 방법은 순수 적분기를 사용하지 않으므로 전압 모델에서와 같은 적분기 포화 문제는 없으나 회전자 자속을 구하기 위하여 회전자 저항이 포함된 회전자 시정수를 사용하기 때문에 이 값이 정확하지 않거나 변하면 자속 추정기에 이로 인한 오차가 발생하게 된다. 또한 회전자 속도 정보를 필요로 하므로 센서리스 운전의 경우 속도 추정 정밀도의 영향을 받는다.

3.1.3 전압 모델과 전류 모델을 함께 사용한 자속 추정기

일반적으로 역기전력이 큰 고속 영역에서는 고정자 전압을 적분하여 구한 전압 모델이 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.[2]

그림 1은 전압 모델과 전류 모델을 함께 사용하는 자속 추정기의 블록도이다.

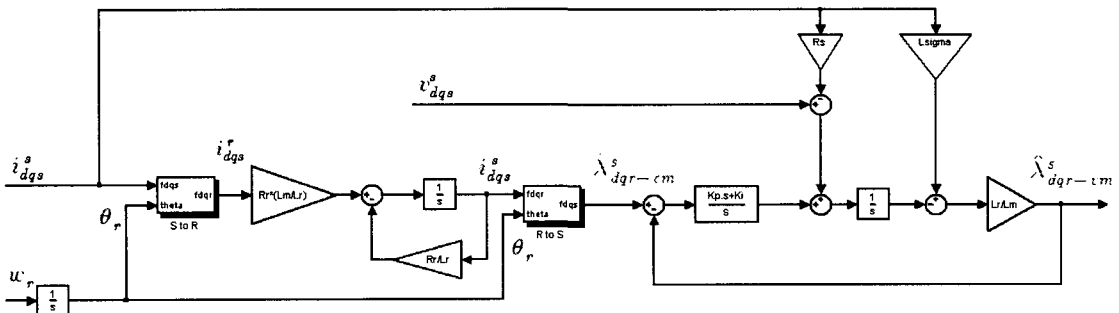


그림 1. 전압모델과 전류 모델을 혼합한 회전자 자속 추정기

3.2 회전자 속도 추정기

회전자 자속이 구해지면 회전자 자속각을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{\theta}_e = \tan^{-1} \left(\frac{\hat{\lambda}_{qr}^s}{\hat{\lambda}_{dr}^s} \right) \quad (22)$$

이렇게 구하여진 자속각은 벡터제어를 위한 좌표축의 변환에 사용된다. 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.

$$\hat{\omega}_e = \frac{d\hat{\theta}_e}{dt} = \frac{\hat{\lambda}_{dr}^s \dot{\hat{\lambda}}_{qr}^s - \hat{\lambda}_{qr}^s \dot{\hat{\lambda}}_{dr}^s}{\hat{\lambda}_{dr}^{s2} + \hat{\lambda}_{qr}^{s2}} \quad (23)$$

식 (23)에서 미분을 이산 시간으로 표현하면

$$\dot{\hat{\lambda}}_{dr}^s = \frac{\hat{\lambda}_{dr}^s(k) - \hat{\lambda}_{dr}^s(k-1)}{T_{samp}} \quad (24)$$

$$\dot{\hat{\lambda}}_{qr}^s = \frac{\hat{\lambda}_{qr}^s(k) - \hat{\lambda}_{qr}^s(k-1)}{T_{samp}} \quad (25)$$

이고, 식 (24), (25)를 식 (23)에 대입하면 식 (26)을 구할 수 있다.

$$\hat{\omega}_e(k) = \frac{\hat{\lambda}_{dr}^s(k-1)\hat{\lambda}_{qr}^s(k) - \hat{\lambda}_{qr}^s(k-1)\hat{\lambda}_{dr}^s(k)}{T_{samp}(\hat{\lambda}_{dr}^{s2} + \hat{\lambda}_{qr}^{s2})} \quad (26)$$

따라서, 회전자 각속도 $\hat{\omega}_r$ 은 식 (27)과 같다.

$$\hat{\omega}_r(k) = \hat{\omega}_e(k) - \hat{\omega}_{sl} \quad (27)$$

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

4. 시뮬레이션

4.1 전체 시스템 구성

자속 추정기와 속도 추정기를 포함한 유도 전동기의 속도 센서리스 벡터제어 시스템을 그림 3과 같이 구성하였다.

자속 추정기의 입력은 고정자의 전압와 전류이다. 고정자 전류는 전류센서를 이용하여 직접 측정하였고, 직접 벡터제어 방식을 기반으로 하였으며, 일반적인 PI 제어를 사용한 속도 제어기, 전류 제어기, 자속 제어기로 구성하였다.

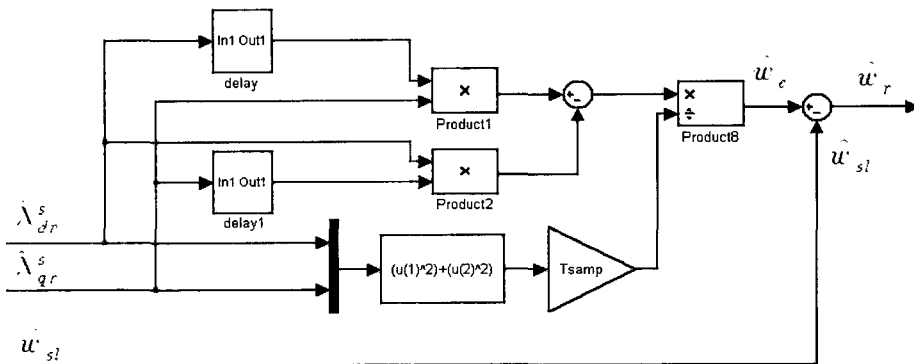


그림 2. 회전자 속도 추정기

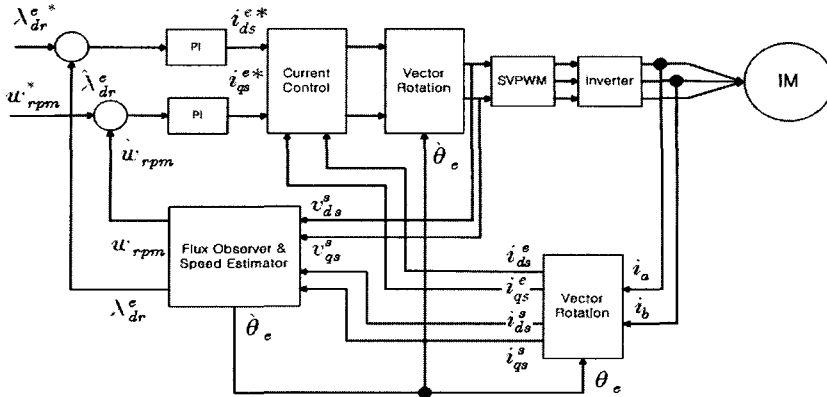


그림 3. 유도전동기의 속도 센서리스 벡터제어 시스템 구성도

4.2 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 전압, 전류 혼합 모델 자속 추정기와 추정된 자속을 사용하는 속도 추정기의 유용성과 성능을 알아보기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에 사용된 유도 전동기의 정격은 0.3[kW], 380[V], 60[Hz], 4극이다. 표 1은 유도 전동기의 상수를 나타내고 있다.

표 1. 유도 전동기 상수

정격 용량	0.3[kW]	R_s	26.6 [Ω]
정격 전압	380[V]	R_r	13.78 [Ω]
정격 전류	1.0[A]	L_m	627.0[mH]
극 수	4	L_{ls}, L_{lr}	248.95[mH]

그림 4는 전압, 전류 혼합 모델을 사용한 회전자 자속 추정기의 시뮬레이션 결과이다. $t=0.2[sec]$ 에서 기준 속도를 1000[rpm]으로 계단 입력을 주었을 때, 자속 추정기의 응답이다. 추정된 회전자 자속은 실제 회전자 자속을 정확히 추정하는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 제안한 방법에 의한 속도 센서리스 제어결과를 나타내고 있다. $t=0.2[sec]$ 에서 기준 속도를 1000[rpm]으로 계단 입력을 주었을 때, 속도 응답을 나타낸다. ω_{rpm} 은 실제 속도를 나타내고, $\hat{\omega}_{rpm}$ 은 추정된 속도를 나타낸다.

속도 추정시 초기 추정오차가 발생하지만, 속도 추정기가 실제 속도를 정확히 추종하고 있음을 확인할 수 있고, 추정된 속도 신호로 속도제어 수행시, 약 0.2[sec]에 정상 상태에 도달하는 것을 볼 수 있다. 여기서 자속은 0.2 [Wb]/div 이고, 자속각은 1[rad]/div이며, 속도는 200 [rpm]/div이다. 그림 4와 5의 x축은 50[ms]/div 이다.

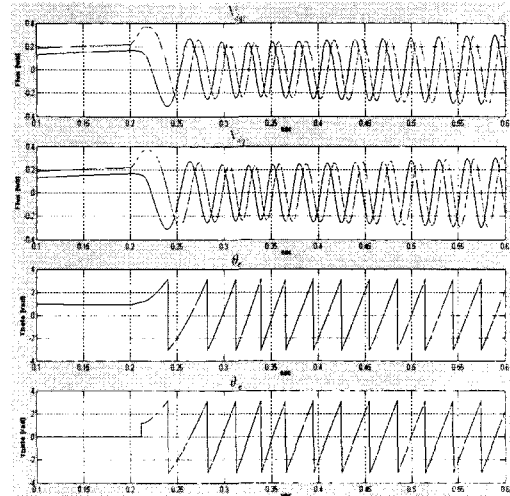


그림 4. 회전자 자속 추정기 시뮬레이션 결과
(a) 실제 d-q 자속 (b) 추정된 d-q 자속
(c) 실제 자속각 (d) 추정된 자속각

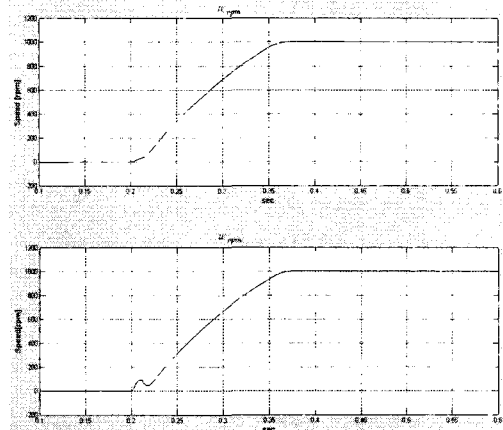


그림 5. 속도 센서리스 벡터제어 결과
(a) 실제 속도 (b) 추정 속도

5. 실험 결과

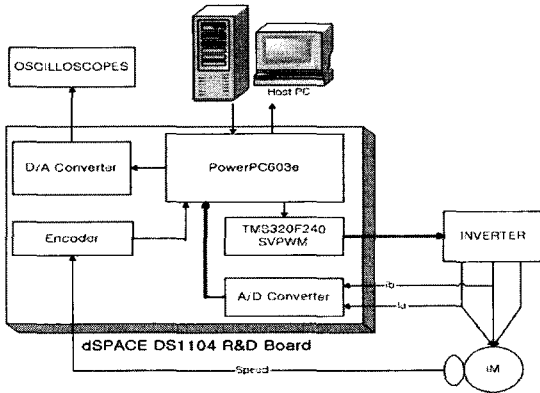


그림 6. 유도 전동기 구동 시스템 전체 구성도

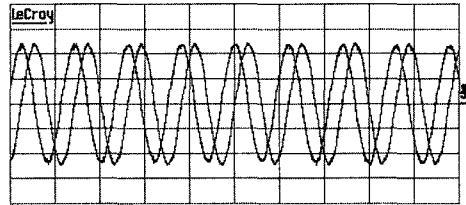
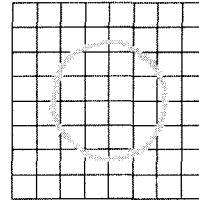


그림 7. 회전자 자속 궤적
(Flux : 0.2[wb]/1div , Time : 50[ms]/div)

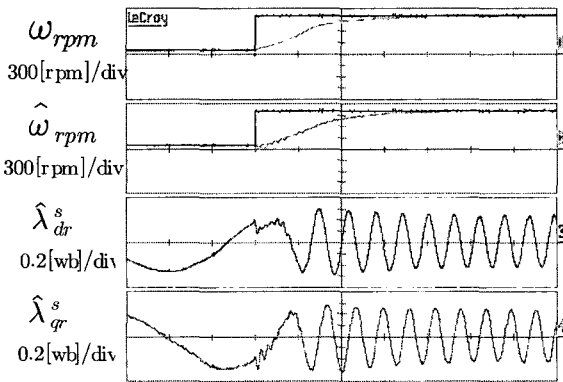


그림 8. 기준속도 변화시(100→1000[rpm]) 속도 및 자속 추정특성(50[ms]/div)

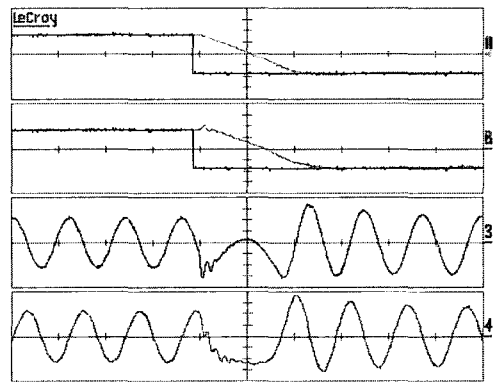


그림 9. 정역 속도지령(500→-500[rpm])에 대한 속도 및 자속 추정특성(50[ms]/div)

그림 6은 유도 전동기의 속도 센서리스 벡터제어를 수행하기 위한 전체 시스템 구성도이다. 시스템은 호스트 PC와 dSPACE DS1104 R&D Board를 이용하여 MATLAB/SIMULINK로 알고리즘을 구현하였다. 인버터는 IGBT를 이용한 3상 PWM 인버터이고, 스위칭 주파수는 10[kHz]로 설정하였으며, 전류 제어기는 200[us], 속도 제어기는 1[ms]로 실험을 수행하였다. 4096PPR 엔코더를 사용하여 실제 속도와 추정 속도를 비교하였고, 0.3kW 농형 유도 전동기를 이용하여 자속 추정 및 속도 추정 알고리즘의 타당성을 검증하였다.[6][7]

그림 7은 제안한 방법의 속도 센서리스 제어 결과이다. 무부하 상태에서 속도는 500[rpm]이며, 정지좌표계에서의 회전자 자속의 추정이 안정되어 있으며, d축과 q 축의 위상은 정확히 90° 임을 확인할 수 있다.

그림 8은 무부하 상태에서 기준 속도를 100[rpm]에서 1000[rpm]으로 변화시 실제 속도와 추정 속도, 추정된 회전자 자속 파형이다. 기준 속도 가변시점에서 회전자 자속의 오차가 존재 하지만 25[ms] 후에 기준 자속인 0.44[wb]로 추정하는 것을 확인할 수 있으며, 오버슈트와 정상상태 오차 없이 0.2[sec]의 정착시간을 갖는 속도 응답을 확인할 수 있다. 그림 9는 정역 운전시의 속도 센서리스 제어 결과를 나타내고 있다. 속도지령은 500[rpm]에서 -500[rpm]으로 변경한 경우의 결과이다. 정역 운전시 속도 추정이 안정적으로 되는 것을 확인할 수 있으며, 추정된 속도로 속도 제어시 정상상태 오차와 오버슈트 없이 약 0.15[sec]의 정착시간을 갖는 속도 응답을 확인할 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 유도 전동기의 속도 센서리스 벡터제어에 관하여 연구하였다. 전압모델과 전류모델의 혼합 모델을 사용한 회전자 자속 추정기를 이용하여 유도 전동기의 회전자 자속 기준 벡터제어를 수행하였으며, 추정된 자속으로부터 회전자 속도를 추정하여 유도 전동기 속도 센서리스 벡터제어를 수행하였다. 제안된 알고리즘은 0.3 [kW] 유도 전동기 시스템에 적용하여 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 타당성을 검증하였다.

실험 결과로부터 회전자 자속이 안정적으로 추정되는 것을 확인할 수 있었으며, 추정된 회전자 자속으로부터 구하여진 추정 속도 역시 정확히 실제 속도를 추정하는 것을 볼 수 있었다. 추정된 속도 신호를 사용하여 속도 센서리스 벡터제어 수행 결과 안정된 속도 응답을 얻을 수 있었다. 그러나 영속 및 극저속 영역에 있어서 정밀도 높은 자속 추정방법 등은 앞으로도 계속 연구하여 개선해야 할 과제이다.

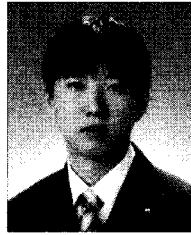
참고문헌

- [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," 대한

전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1022-1023, 2006.

이 동 민(Dong-Min Lee)

[준회원]



- 2005년 2월 : 순천향대학교 정보기술공학부(공학사)
- 2007년 2월 : 순천향대학교 대학원 전기통신시스템공학과(공학석사)

<관심분야>
전력전자, 전기기계, 전력변환, 전동기 제어

이 용 석(Yong-Seok Lee)

[준회원]



- 2006년 2월 : 순천향대학교 정보기술공학부(공학사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 대학원 전기통신시스템공학과 석사과정 재학중

<관심분야>
전력전자, 전기기계, 전력변환, 전동기 제어

지 준 근(Jun-Keun Ji)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울대학교 전기공학과 (공학사)
- 1988년 2월 : 서울대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 서울대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1994년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 전기통신시스템공학과 교수

<관심분야>
전력전자, 전기기계, 전력변환, 전동기 제어, 전원장치, 전력품질제어, 모션제어, 제어응용