

개선된 자속추정 방식에 의한 유도전동기의 속도 센서리스 제어

서영수 김영춘 조문택 김진택
 *명지대학교 **국립천안공업전문대 ***대원공업대학

Improved Flux Estimation Method for Speed Sensorless Control of Induction

Young-Su Seo Moon-Taek Joe Young-Chun Kim Jin-Taek Kim
 Myongji University Chonan Technical College Daewon Technical College

Abstract - The rotor speed flux information most important in the speed sensorless vector control. So in the paper used current-voltage model for flux information in a induction motor. Voltage realized low pass filter instead of integrator, current model realized used of current equation. And current-voltage model estimated flux composed of PI control. For compensation of estimated flux error compensation algorithm using exactly, rapidly flux obtained for compensation of estimated flux. Proposed control system used TMS320C31 DSP high speed processing. The effectiveness of proposed method is verified by simulation and experimental results. This method shows highly characteristic speed estimation flux estimation and stable, robust character of load regulation.

1. 서 론

최근 벡터제어 이론을 적용한 인버터 구동 유도전동기 시스템이 고성능 동력원으로 산업현장에서 널리 보급되고 있으며, 유도전동기의 벡터제어이론을 구현하는데 있어서 마이크로 프로세서의 응용기술과 전력용반도체 소자의 급속한 발달로 인해 고성능의 가변속 구동에 있어서 회전자 속도의 정보를 정확하게 검출할 수 있는 속도 센서가 필요하게 된다. 하지만 속도센서를 부착하는 것은 여러 가지면에서 단점을 가진다. 우선 유도전동기가 가지는 본래의 강인함을 약화시키고, 추가적인 센서의 부착으로 가격이 상승한다. 하지만 무엇보다도 속도센서에 제어의 신뢰도가 달려 있기 때문에 전체적인 시스템의 신뢰도는 떨어지게 된다. 더욱이 속도검출 센서를 부착할 수 없는 특수한 상황이나 시스템의 간소화, 범용화를 위하여 속도검출센서를 가지지 않는 속도센서리스 유도전동기 벡터제어에 관한 폭넓은 연구가 진행되어져 왔다.

따라서 본 논문에서는 유도전동기의 정확한 회전자 자속 정보를 얻기 위하여 순수 적분기 대신 저역통과 필터로 구현한 전압모델과 회전자 전류 방정식을 이용한 전류모델을 PI제어기로 구성하여 회전자 자속을 추정하였으며, 추정된 자속의 오차를 보상하기 위해 패루프 자속 오차 보상을 적용하여 정확하고 빠르게 회전자 자속을 추정하였다. 또한 추정된 자속을 이용하여 회전자 속도 추정기로서 빠른 회전자 속도정보를 알아내었다.

제안한 시스템의 성능을 알아보기 위해 5[HP]의 3상 동형 유도전동기에 적용하여 시뮬레이션과 실험을 통하여 부하변동에 대하여 안정적이고 강인한 특성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 자속추정 알고리즘

2.1.1 전류-전압 모델 자속 추정기

전류모델 자속 추정기는 전동기 모델링으로부터 고정자 전류와 회전자 속도를 이용하여 구성할 수 있으며 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$p \lambda_{qr}^s = R_r \frac{L_m}{L_r} i_{qs}^s - \frac{R_r}{L_r} \lambda_{qr}^s \tag{1}$$

$$p \lambda_{dr}^s = R_r \frac{L_m}{L_r} i_{ds}^s - \frac{R_r}{L_r} \lambda_{dr}^s$$

이 식을 회전자 기준 좌표로 변환하여 주파수 영역에서 나타내면 다음 식(2)와 같이 나타낸다.

$$\frac{\lambda_{qdr}^r(s)}{i_{qds}^r(s)} = \frac{L_m / \hat{\tau}_r}{s + 1 / \hat{\tau}_r} \tag{2}$$

전류모델 자속추정기의 정확도는 전동기의 회전자 시정수 $\hat{\tau}_r$ 의 변동에 매우 민감하므로 전류모델만 이용하여 자속을 추정할 경우는 정확한 전동기 상수의 추정이 요구된다.

전압모델 자속 추정기는 유도전동기의 모델링으로부터 전압방정식을 이용하여 고정자 자속을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\lambda_{ds}^s = \int (v_{ds}^s - R_s i_{ds}^s) dt$$

$$\lambda_{qs}^s = \int (v_{qs}^s - R_s i_{qs}^s) dt \tag{3}$$

식 (3)은 고정자 전압과 전류값을 이용하여 고정자 자속값을 추정하는 방식이다.

$$\lambda_{dr-v}^s = \frac{L_r}{L_m} (\lambda_{ds-F}^s - \sigma i_{ds}^s)$$

$$\lambda_{qr-v}^s = \frac{L_r}{L_m} (\lambda_{qs-F}^s - \sigma i_{qs}^s) \tag{4}$$

전압모델 자속 추정기에 있어서는 고정자 자속을 구하는데 필요한 고정자 전압의 적분항이 저주파 통과 필터(Low Pass Filter)로 하였다.

이러한 방법은 순수 적분기 대신 저주파 통과 필터를 사용하여 주로 고속 운전 영역에서 사용한다.

그러므로 본 논문에서는 그림 1과 같이 전압모델과 전류모델을 PI제어기로 구성하여 운전주파수가 낮을 때에는 전류모델에서 연산된 자속성분이 제어를 통과하여 우세하게 작용하며, 운전주파수가 높을 때에는 전압모델로부터 연산된 자속 성분이 우세하여 자속 추정기의 출력을 결정하게 된다.

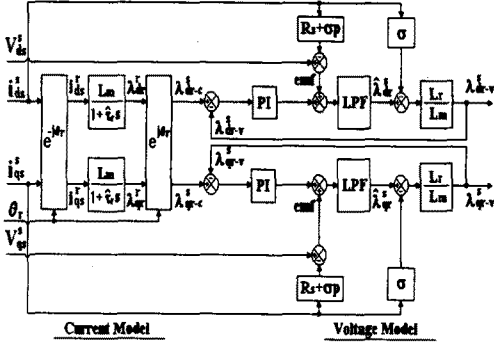


그림 1. 전류·전압 모델 자속추정기

2.1.2 페루프 자속 오차 보상기

회전자 자속과 역기전력의 직교성을 이용하여 전류·전압모델의 출력값인 λ_{dr-r}^s 과 역기전력과의 직교성을 이용하여 페루프 자속 오차 보상기의 피드백 요소인 λ_{dr-r}^s 를 보상해줌으로써 보다 정확한 자속 추정을 실현하였다.

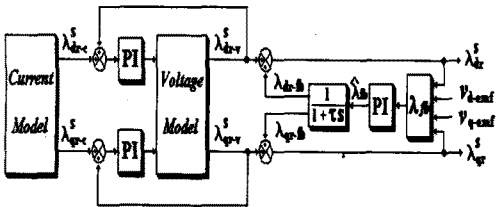


그림 2. 페루프 자속 오차 보상기

2.2 속도 연산기

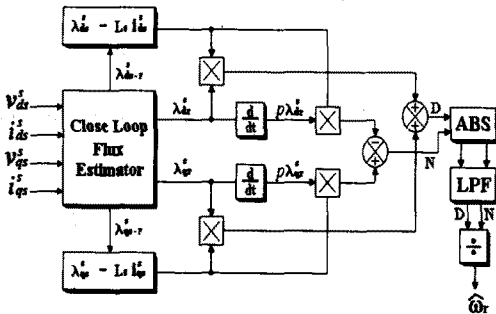


그림 3. 회전자 속도 연산기

그림 3은 회전자 속도 추정기의 구성도를 나타내었으며, 유도전동기의 속도 센서리스 벡터제어 시스템의 구동을 위해 고정자 전류와 페루프 자속 오차 보상기에서 추정된 자속값을 이용하여 회전자 속도 정보를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\hat{\omega}_r = \frac{(\lambda_{dr}^s - L_s i_{dr}^s) \frac{d\lambda_{qr}^s}{dt} - (\lambda_{qr}^s - L_s i_{qr}^s) \frac{d\lambda_{dr}^s}{dt}}{(\lambda_{dr}^s - L_s i_{dr}^s) \lambda_{qr}^s + (\lambda_{qr}^s - L_s i_{qr}^s) \lambda_{dr}^s} \quad (5)$$

2.3 컴퓨터 시뮬레이션.

본 연구에서 제안된 속도 연산기를 이용하여 속도 제어 알고리즘의 타당성을 시뮬레이션을 통하여 알아 보았다. 시뮬레이션에 이용한 유도전동기는 4극, 5(HP), 220[V], 60(Hz)이며, 정격속도는 1750(rpm)이다.

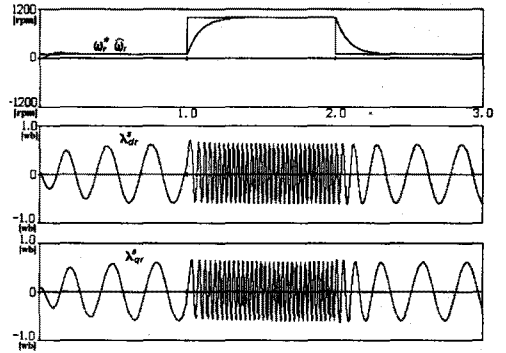


그림 4. 기준속도 변화에 대한 속도 응답과 자속파형 (무부하시, 200 → 1000 → 200[rpm])

그림 4는 기준속도 변화에 대한 시스템의 속도응답을 알아보기 위한 시뮬레이션으로, 전동기를 무부하 상태에서 기준속도 200[rpm]으로 스텝 기동하고, 1000[rpm], 200[rpm]으로 스텝적으로 기준속도가 변화할 때의 추정된 회전자 d축 및 q축의 자속 파형을 나타낸다.

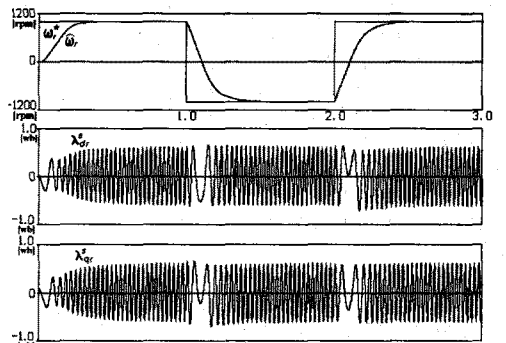


그림 5. 정·역 운전시의 속도 응답과 자속파형 (무부하시, +1000 → -1000 → +1000[rpm])

그림 5는 기준속도의 정·역 운전시의 시스템의 속도 응답특성을 알아보기 위한 시뮬레이션으로, 전동기를 무부하 상태에서 기준속도 +1000[rpm]으로 스텝 기동하고, -1000[rpm], 다시 +1000[rpm]으로 정·역으로 변화할 때의 추정된 회전자 d축 및 q축의 자속 파형을 나타낸다.

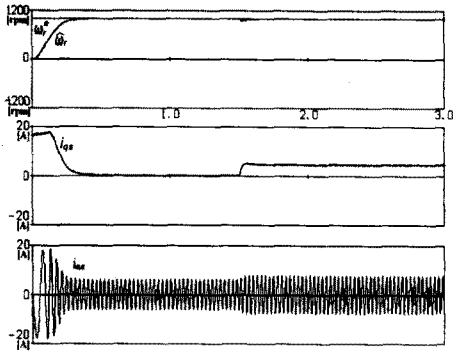
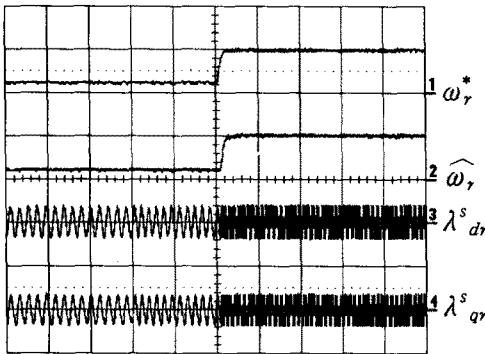


그림 6. 시스템 구동시의 부하의 응답 특성
(정격의 0 → 1/3 부하, 1000[rpm])

그림 6은 무부하 상태에서 기준속도 1000[rpm]으로 랩 기동시 $t = 1.5[\text{sec}]$ 에서 1/3 부하를 인가하였을 경우 부하 변동에 대한 과도응답 특성을 살펴보기 위한 시뮬레이션으로 회전자 추정속도 $\hat{\omega}_r$, 토크분 전류 i_{ds} , 고정자 전류 i_{qs} 의 응답특성을 시뮬레이션한 결과 파형을 나타낸다.

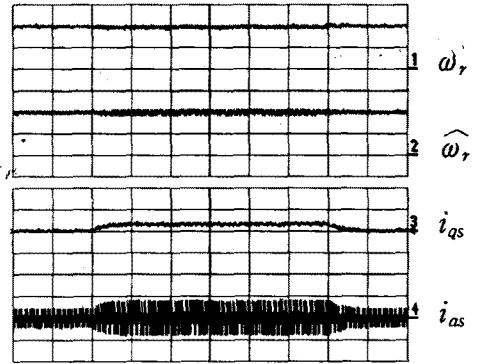
2.4 실험결과 및 검토

본 논문에서는 회전자 자속을 추정하기 위해 전류·전압 모델을 사용하였고, 회전자 자속의 정밀도를 보다 높이기 위해 폐루프 자속 오차 보상기를 적용하여 실험한 결과를 보인다. 회전자도나 자속, 전류 등과 같은 모든 제어변수들의 파형을 실제의 전력회로에서 측정하기 위해 실시간 연산처리가 가능한 TMS320C31 DSP를 CPU 사용하였고, D/A 컨버터 AD7226를 사용하였다.



Speed:200[rpm]/div, Flux:0.3[wb]/div, Time:1[sec]
그림 7. 기준속도 변화에 대한 속도 응답과 자속파형
(무부하시, 200 → 1000[rpm])

그림 7은 무부하 상태에서 기준속도 ω_r^* 을 200[rpm]에서 1000[rpm]으로 가변하였을때 속도연산기에서 추된 회전자 속도 $\hat{\omega}_r$ 과 폐루프 자속 오차 보상기를 통해 추정된 자속 λ_{dr}^s , λ_{qr}^s 을 보여주는 실험파형이다.



Speed:500(rpm)/div, i_{qs} , i_{as} :10(A)/div, Time:1(sec)

그림 8. 시스템 구동시의 부하의 응답 특성
(정격의 0 → 1/3 → 0 부하, 1000[rpm])

그림 8은 그림 6의 시뮬레이션한 파형에 대한 결과 실험파형으로 부하토크를 스텝으로 변동시켰을 때의 과도응답 특성을 나타내는 실험 파형이다. 기준속도는 1000[rpm]으로 일정하게 유지하면서, 무부하에서 1/3 하로 스텝 증가시켰을 때의 속도연산기에 의한 구동 시스템의 부하 특성을 보여주고 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 유도전동기의 속도제어를 위하여 전류·전압 모델 자속추정기를 PI제어기로 구성하여 회전자 자속을 추정하였으며, 이를 회전자 자속과 역기전력의 직교성을 이용한 폐루프 자속 오차 보상기에 적용하여 회전자 자속의 정확도를 한층 높였으며 이를 간접벡터 제어 방식에 적용하여 속도 추정에 사용함으로써 보다 광범위한 속도 영역에서의 구동 특성을 이루고자 하였다.

또한, 복잡한 제어기의 고속 연산 처리를 TMS320C3 DSP를 CPU로 사용하여 제어시스템의 소프트웨어화와 실시간 처리를 도모하였으며, 5HP 농형 3상 유도전동기를 이용하여 실험을 통해 향상되어진 회전자 자속 추정 알고리즘의 타당성을 확인하였다.

(참고 문헌)

- [1] P. L. Jesen et al. "Observer-Based Direct Orientation : Analysis and Comparison of Alternative Method". IEEE Trans. on Ind. 30(4), 945~953, 1994.
- [2] J.HU and B.WU. "New Integration Algo for Estimating Motor Flux Over a Wide S Range". IEEE PESC'97, 1075~1081, 1997.