

순시 속도 추정에 의한 유도 전동기의 저속 운전

권봉현^o 현동석
한양대학교 전기공학과

Low Speed Control of Induction Machine by Instantaneous Speed Estimation

Bong-Hyun KWON Dong-Seok HYUN
Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University

Abstract

This paper proposes a control method of induction machine at a low speed range. When an encoder is used for speed detection, we usually obtain speed information from the increased pulse number. At low speed range, however, we can get only average speed between encoder pulses and it makes speed controller unstable. By using a disturbance observer and torque current, it is possible to estimate accurate speed information. The simulation and experiment show that the stable speed control is performed at a low speed with proposed algorithm.

1. 서론

산업의 여러 분야에서 자동화의 진전과 함께, 구동기로서의 전동기의 사용 범위는 급격히 증가하고 있다. 이 중에서도 정밀한 위치, 속도 및 토크 제어를 원하는 분야가 많고, 이를 만족시키기 위해서 전동기의 정확한 속도 정보를 구할 필요가 있다. 일반적으로 제어기는 엔코더에서 발생하는 펄스 형태의 위치 출력을 속도 제어기의 제어 주기마다 받아들여 이 위치 정보를 미분하여 속도 정보를 취하여 제어를 행하게 된다. 그러나, 여기서 구한 속도 정보는 샘플링 구간의 속도 평균치에 불과한 것으로 정확한 속도라고 볼 수는 없다. 특히, 저속 영역인 경우 엔코더의 펄스 간격이 속도 제어기의 샘플링 구간보다 길어지는 현상이 생기게 되고, 이 정보를 기초로 한 속도 제어기는 불안정하게 되며 빠른 속도 응답을 기대할 수 없게 된다. 따라서 속도 제어기의 제어 범위가 제한을 가지게 되며, 위치 제어가 요구되는 디지털 서보인 경우에는 정확하고 빠른 위치 제어 특성을 나타낼 수 없게 된다. 최근에는 낮은 정밀도의 엔코더를 사용하면서도 상태 관측기를 사용하여 극저속 영역에서의 속도를 추정하는 방법들이 발표되고 있다[1]-[7].

본 논문에서는 엔코더를 사용하여 속도 측정시, 저속 영역에서의 측정 지연에 의하여 발생하는 문제점을 검토하고, 이를 해결하기 위하여 부하 토크 관측기를

사용하여 정확한 속도 추정을 하여 안정된 속도 제어기를 구성하는 방법을 제시한다.

2. 외란 토크 관측기

백터 제어되는 유도 전동기의 토크 발생은 직류기의 모델과 같이 단순화 시킬 수 있으며, 이산 시간계로 나타낸 전동기 각속도의 상태 방정식은 다음과 같다.

$$\omega_m(i+1) = \omega_m(i) + \frac{T_s}{J} \cdot \{\tau_e(i) - \tau_d(i)\} \quad (1)$$

여기서 ω_m : 전동기 각속도
 τ_e : 전동기의 발생 토크
 τ_d : 부하 토크
 J : 등가 부하 모멘트
 T_s : 속도 샘플링 주기

를 각각 의미한다.

또 부하 토크의 변화가 단위 샘플링 주기에 비해 느리다고 보면 다음 식과 같다.

$$\tau_d(i+1) = \tau_d(i) \quad (2)$$

식 (1), (2)는 가관측인 시스템이므로 관측기를 구성하여 τ_d 를 추정할 수 있다. 이산 시간계에 있어서의 고티나스(Gopinath)의 최소 차원 관측기를 식 (3), (4)와 같이 구성할 수 있으며, 그림 1에 이 관측기의 블록도를 나타내었다.

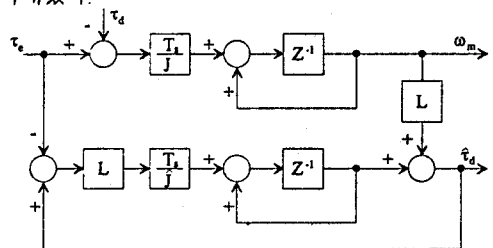


그림 1 관측기의 블록도

$$Z(i+1) = Z(i) + L \cdot \frac{T_s}{J} \cdot \{\hat{\tau}_d(i) - \tau_e(i)\} \quad (3)$$

$$\hat{\tau}_d(i) = Z(i) + L \omega_m(i) \quad (4)$$

3. 순시 속도의 추정

매우 낮은 속도에서의 엔코더 펄스와 제어기의 샘플링 주기사이의 관계를 그림 2에 나타내었다.

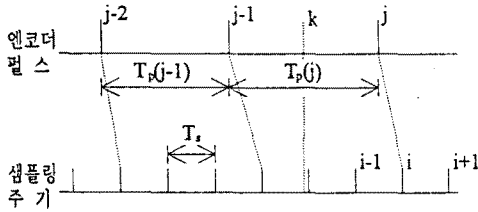


그림 2 저속시의 엔코더 펄스와 샘플링 주기

그림 2에서 i 번째 속도 샘플링에서 측정된 속도 정보는 그 시점의 실제 속도가 아니고 $T_p(i)$ 구간의 평균 속도이다. 여기서 $T_p(i)$ 의 중심점을 다시 가상의 샘플링점 k 라고 하면, i 번째 샘플링의 속도 정보는 가상 샘플링점 k 에서의 순시 속도라고 볼 수 있다. 결국 i 번째 샘플링점에서의 순시 속도는 최대 $T_p(i)/2 + T_s$ 만큼 지연된 정보임을 알 수 있다. i 번째 샘플링 점에서의 순시 속도는 다음과 같은 방법으로 구할 수 있다.

i 번째 샘플링 점에서의 순시 속도는 가상 샘플링 점 k 에서의 속도 정보를 기준으로하여 $T_p(i)/2$ 시간 동안 전동기에 가해진 토크와 관측기에 의해 추정된 외란 토크와의 차이, 즉 가속 토크의 값으로 부터 계산해낼 수 있다.

$$\hat{\omega}_m(i) = \hat{\omega}_m(i) + \frac{1}{J} \int_{i-T_p/2}^i (\tau_e - \hat{\tau}_d) dt \quad (5)$$

또 엔코더로부터 정보를 얻을 수 없는 $i+1, i+2, \dots, i+n$ 번째의 샘플링 시점에서의 속도도 같은 방법으로 구할 수 있다.

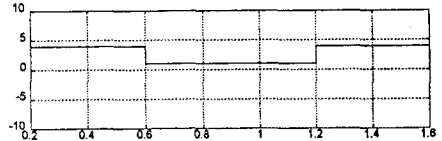
$$\hat{\omega}_m(i+n) = \hat{\omega}_m(i) + \frac{T_s}{J} \sum_{l=1}^n \{\tau_e(i+l-1) - \hat{\tau}_d(i+l-1)\} \quad (6)$$

표 1 유도 전동기의 상수

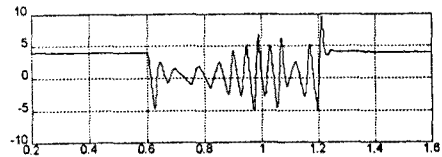
정격출력	3 [Hp]	R_r	1.28 [Ω]
정격전압	220 [V]	L_s	108 [mH]
정격전류	8 [A]	L_r	108 [mH]
극수	4	L_m	105 [mH]
R_s	1.26 [Ω]	J	0.075 [kg m ²]

4. 시뮬레이션 및 실험 결과

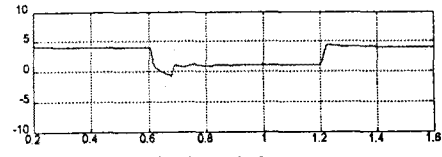
제안한 알고리즘을 유도 전동기의 벡터 제어 시스템을 대상으로 하여 시뮬레이션 및 실험을 행하였다. 시뮬레이션 및 실험에서는 표 1과 같은 상수를 갖는 유도 전동기를 대상으로 하였고, 속도 추정을 위해 4096 [ppr]의 엔코더 펄스를 사용하였다. 속도 제어기의 샘플링 구간은 1 [msec]로, 부하 토크 관측기의 이득 L 은 -7.5로 하였다.



(a) 지령 속도 (5 RPM/div)

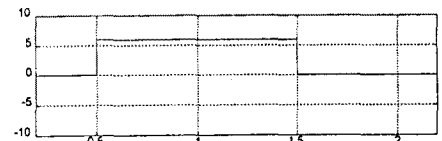


(b) 엔코더 펄스에 의한 제어시 (5 RPM/div)

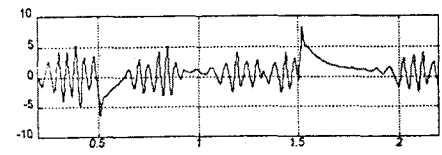


(c) 속도 추정 제어시 (5 RPM/div)

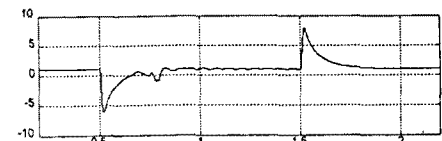
그림 3 속도 제어 특성



(a) 부하 (5 N.M/div)

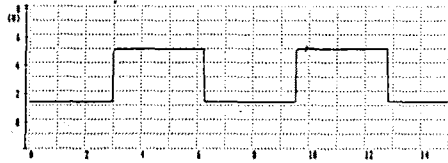


(b) 엔코더 펄스에 의한 제어시 (5 RPM/div)

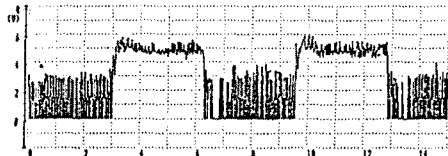


(c) 속도 추정 제어시 (5 RPM/div)

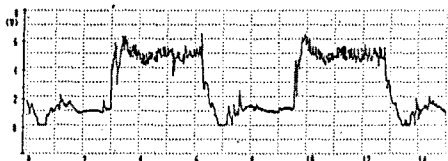
그림 4 부하 특성



(a) 지령 속도 (0.75 RPM/div)

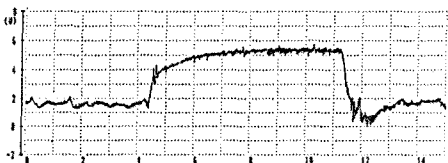


(b) 엔코더 펄스에 의한 제어시 (0.75 RPM/div)

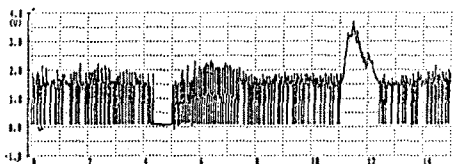


(c) 속도 추정에 의한 제어시 (0.75 RPM/div)

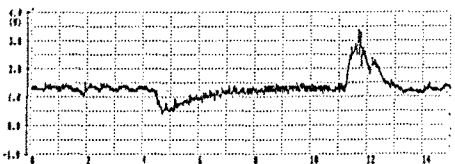
그림 5 속도 제어 특성



(a) 토오크분 전류 (1 A/div)



(b) 엔코더 펄스에 의한 제어시 (0.75 RPM/div)



(c) 속도 추정에 의한 제어시 (0.75 RPM/div)

그림 6 부하 특성

그림 3은 속도 지령의 변화에 대한 속도 제어 특성을, 그림 4는 1 [RPM] 운전시의 부하 특성을 보여준다.

시뮬레이션에서 가한 조건에 의하여 실 시스템에 대하여 실험을 하였다. 그림 5는 속도 지령의 변화에 따른 속도 제어 특성이며, 그림 6은 1 [RPM]으로 운전시 부하를 인가한 경우의 속도 제어 특성이다. 실험 결과에서도 시뮬레이션에서와 마찬가지로 제안된 알고리즘에서 안정된 속도 제어 특성을 나타냄을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문은 속도 정보의 부족으로 인해 발생하는 전동기의 저속에서의 속도 제어의 문제점을 해결하기 위한 순시 속도 추정 방법을 제시 하였다.

제안된 방법은 상태 관측기를 구성하여 전동기에 가해진 부하 토오크를 추정, 속도의 순시치를 구하여 제어하는 것이다. 이 방법을 사용하여 시뮬레이션 및 실험을 행한 결과 1 [RPM] 정도의 저속에서도 원하는 속도 및 부하 특성을 얻을 수 있었다.

6. 참고문헌

- [1] J. P. Rogon, D. Roze, De Sheng Zhu, "A Simple Speed Observer for Digitally Controlled Motor Drives at Low Speed," IAS'88, pp. 369-374, 1988.
- [2] R. D. Lorenz, K. V. Patten, "High Resolution Velocity Estimation for All Digital, AC Servo Drives," IECON'88, pp. 363-368, 1988.
- [3] K. Fujita, K. Sado, "Instantaneous Speed Detection With Parameter Identification for AC Servo Systems," IECON'90, pp. 632-638, 1990.
- [4] Y. Dote, H. Kobayashi, J. Hujikawa, A. Syitno, "Disturbance Observer-Based Robust and Fast Speed Controller for Induction Motors," IECON'90, pp. 653-662, 1990.
- [5] M. Iwasaki, "Robust Speed Control of IM with Torque Feedforward Control," IECON'91, pp. 627-632, 1991.
- [6] Konno, Y.Hori, "Instantaneous Speed Observer with Improved Disturbance Rejection Performance based on Higher Order Dynamics," T.IEE Japan, Vol. 112-D, No. 6, 1992.
- [7] Kubo, M. Watanebe, F. Kozawa, K. Kawasaki, "Disturbance Torque Compensated Speed Observer for Digital Servo Drives," IECON'90, pp. 1182-1187, 1990.