네트워크에 의한 전동기 구동용 센서의 시간지연 보상

안정렬*, 전태원*, 이홍희*, 김홍근**, 노의철***
울산대학교 전기전자정보시스템공학부*, 경북대학교 전자전기공학부**,
부경대학교 전기제어공학부***

Compensation for Time Delay of Sensors for Driving Motors by Networks

J.R. Ahn*, T.W. Chun*, H.H. Lee*, H.G. Kim**, E.C. Nho***
Dept. of Electrical Eng., Univ. of Ulsan*, Dept. of Electrical Eng., Univ. of Kyungpook**,
Dept. of Electrical Eng., Univ. of Pukyong***

ABSTRACT

In this paper, the PWM inverter-motor drive system including sensor is controlled through the network. The algorithm to compensate for the time delay of ac current and ac voltage sensors due to the network is proposed. The delay time of sensors is kept nearly constant, using the synchronous signal and timers. The error between the real and estimated ac signals can be reduced by using two slopes for estimating the value of ac signals. The proposed algorithms are verified with the simulation studies and experiments,

key words : Network, time delay, CAN, estimated signals

1. 서 론

최근에 자동화 시스템에서는 컴퓨터를 이용하여 분산된 공정을 자동화하고 이들을 수직, 수평적으로 통합하여 전체 공정을 일관되게 관리함으로써 생산성을 향상시키고 비용을 절감시키는 동시에 자동화 공정의 설계, 구축 및 유지관리에 유연성과 신뢰도를 극대화시키는 효과를 거두고 있다. 그리하여 모든 공정의 통합화를 추구하는 분산제어 및 자동화시스템에서 네트워킹기술은 가장 핵심이 되는 기술로 부각되고 있다.[1][2]

공장 자동화 설비의 자동화셀 중 대표적인 엑추에이터인 PWM인버터-전동기 구동시스템이다. 그런데 다수의 전동기를 네트워크를 통하여 제어 및 동작상태를 감시하는 연구와 다중 인버터에서 각 셀 단위로 네트워크기능을 포함시켜 제어하는 연구등이 발표되었으나[3][4], 전동기 구동시스템의 네트워크 제어기술에 대한 연구는 상당히 미흡 실정이다.

본 논문에서는 인버터-전동기 구동시스템의 신뢰성 향상과 유지 보수의 비용 및 시간을 줄이기 위하여 시스템 전체를 네트워킹하는 방식을 제시하였다. 즉 인버터에 더불어 전동기 전압, 전류, 위치 및 속도 등을 검출하기 위해 각 센서모듈에 네트워크를 이용하여 각 센서 값 및 동작 상태를 전송받아 제어 및 감시하는 시스템을 구축하였다. 그런데 네트워크를 이용하여 전압, 전류, 속도 등 센서 모듈과 전동기 구동시스템을 제어할 경우 네트워크의 특성상 각 메시지의 우선순위로 인하여 데이터 전송 시 네트워크에 의한 시간지연이 발생하여 시스템의 제어성능이 떨어지게 된다. 전동기 속도 및 위치값은 시정수가 상당히 크므로 이 시간지연에 거의 영향을 받지 않으나, 교류 전압 및 전류값은 이 네트워크 전송 시간지연에 상당히 영향을 받게 된다.

따라서 본 논문에서는 네트워크를 통하여 전송받은 각종 센서 값 중 특히 교류전압 및 전류의 시간지연을 예측하여 보상하는 기법을 제시하였다. 제안된 시스템을 구현하고 실험을 통해 그 타당성을 입증해 보였다.

2. 네트워크 구성

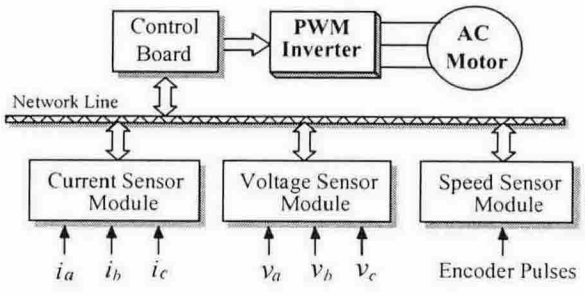

그림 1 네트워크 구성도
Fig. 1 Network configuration

그림 1은 인버터 전동기 구동장치의 네트워크 구성도이다. 이 네트워크는 3상전류 및 직류링크 전류 측정용 노드, 3상 전압 및 직류링크전압을 측정용 노드와 엔코더 출력펄스로 속도 및 위치 검출용 노드 등 3개의 센서용 노드와 이 값으로 전동기 속도 또는 위치제어를 수행하는 제어 노드로 구성된다. 본 논문에서는 이 제어용 네트워크로 전송속도가 1Mbps인 CAN을 사용하며, 16비트 DSP인 TMS320LF2406를 사용한다.[5]

3. 네트워크에 의한 센서값 전송방식

3.1 센서 모듈의 동기화 및 데이터 통신방법

본 논문에서 사용한 CAN은 최대 1Mbps를 지원하므로 1비트 전송 시 1μs의 시간지연이 발생하게 되며, 전송하는 데이터 비트 수만큼 시간지연이 발생하게 된다. 또한 각 센서 모듈은 독립적으로 동작하므로 통신지연 시간을 정확히 알 수 없으므로, 각 센서 값의 시간지연에 따른 보상기법을 적용하기가 상당히 힘들다.

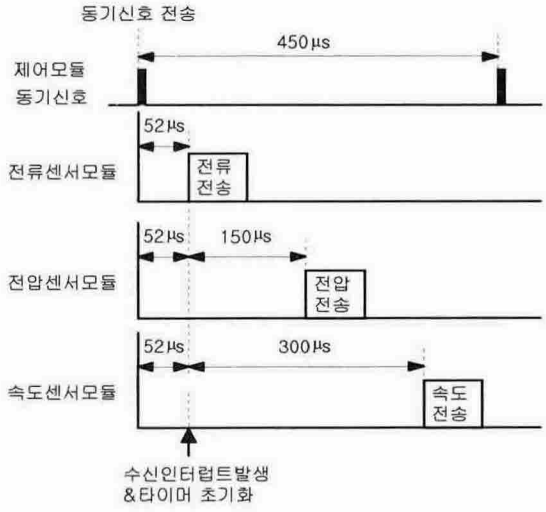

그림 2 각 센서값의 전송 방법
Fig. 2 Method of data transmission for sensors

따라서 본 논문에서는 통신지연 시간을 예측할 수 있는 방법과 각 센서 값의 시간지연에 따른 보상기법을 기술한다. 그림 2는 동기신호와 전류, 전압 및 속도 및 위치 센서모듈에서 값을 전송시키는 방법을 보인 것이다. 제어모듈에서 네트워크로 3개 센서모듈에 동시에 450μs 마다 동기신호를 보내면, 3개의 센서 모듈에서는 거의 동시에 주 제어기로부터 동기신호를 전송 받는다. 이때 약 52μs 후에 수신 인터럽트가 발생하면 DSP내의 타이머값을 초기화 시킨다. 동기신호를 받으면 전류센서 모듈에서는 바로 측정한 전류값을 전송한다. 동기신호를 받은 후 150μs에는 전압센서 모듈에서 전압 값을 300μs에서는 속도 및 위치 정보를 각각 순번 적으로 제어모듈로 전송한다.

3.2 제어모듈 데이터 통신방법

제어 모듈에서는 각 센서모듈에 동시에 450μs 마다 동기신호를 보낸다. 그림 3(a)는 전류수신 모드로 전류센서 모듈에서 CAN 네트워크를 통해 제어모듈로 전류를 수신 받는 그림이다. 수신한 전류를 이용하여 다음 샘플링시간에서 사용할 전류값을 예측하게 하고, 제어루프를 수행하게 된다. 그림 3(b)는 전압수신 모드로 전압센서모듈에서 제어모듈로 전압을 수신 받는 그림이다. 전압값을 전송받아 이 전압을 이용하여 다음 샘플링시간에서 사용할 전압값을 예측하게 하고 제어루프를 수행한다.

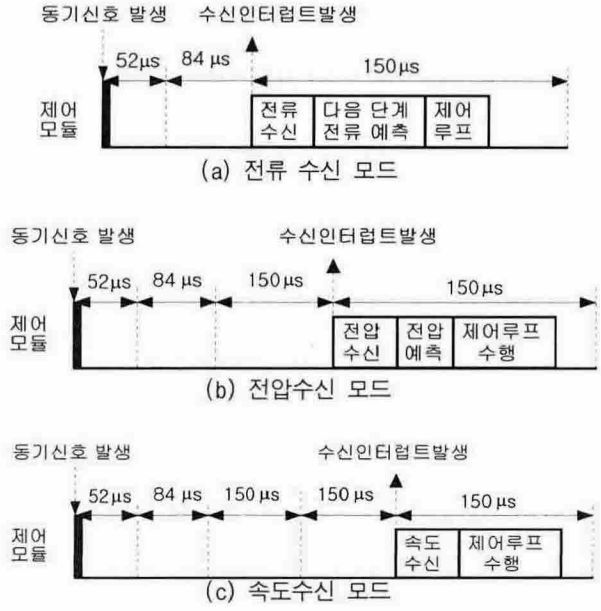

그림 3 제어모듈의 데이터 통신 방법
Fig. 3 Method of data communication for control module

그림 3(c)는 속도수신 모드로 속도센서모듈에서 CAN 네트워크를 통해 제어모듈로 속도 및 위치를 수신 받는 그림이다. 수신 인터럽트가 발생하면 속도를 수신하고, 수신한 속도와 앞에서 예측한 전류와 전압을 이용하여 제어루프를 수행하게 된다.

4. 시간지연 보상기법

샘플링시간 150μs의 3배인 450μs 구간에서 한 샘플링시간에서만 실제 전류 또는 전압 값을 사용할 수 있다. 따라서 나머지 2개 샘플링 시간에서는 예측한 전류 또는 전압 값을 사용하여야 한다. 이 전류 및 전압을 예측하는 방법으로는 전 단계에서 측정된 센서 값의 변화량 즉 기울기를 구해

다음 샘플링 시간에서의 값을 예측한다. 이때 전압 및 전류 예측 오차를 감소시키기 위하여 2개의 기울기를 사용하는 방법을 제시하였다..

기울기를 하나만 이용하여 센서 값을 예측할 시 실제 센서 값과 예측한 센서 값 사이에 오차가 많이 발생하게 되며, 실제전류와 예측한 전류사이의 오차를 감소시키기 위하여 그림 4와 같이 2개의 기울기를 사용한다.

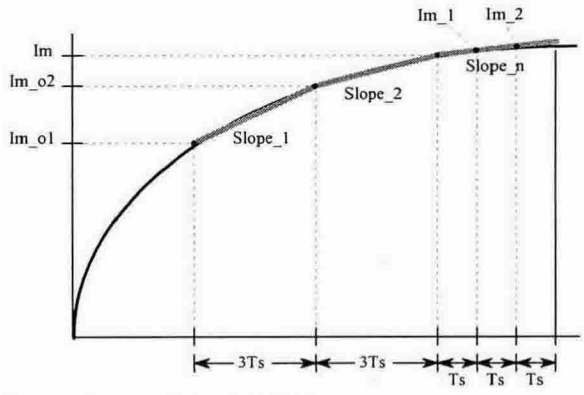

그림 4 두개 기울기 사용기법
Fig. 4 Estimation method using two slopes

두개의 기울기의 각 기울기는 다음 식과 같이 현재 측정한 전류값 I_m에 그 전에서 측정한 전류값 I_{m_o2}과 그 전의 전에 측정한 전류값 I_{m_o1}으로 계산할 수 있다.

$$Slope_1 = \frac{I_{m_o2} - I_{m_o1}}{3T_s} \quad (1)$$

$$Slope_2 = \frac{I_m - I_{m_o2}}{3T_s} \quad (2)$$

이 두개의 기울기로 다음 식과 같이 전류를 예측하기 위한 새로운 기울기를 계산한다. 두 개의 기울기중 어떤 기울기가 더 큰지, 두개의 기울기가 양인지 음인지 등을 판단하여 새로운 기울기를 계산한다.

$$Slope_n = Slope_2\left(a \xleftarrow{\frac{Slope_1 \pm Slope_2}{Slope_2}} + b\right) \quad (3)$$

새로운 기울기를 사용하여 첫째 샘플링시간과 두번째 샘플링시간에서의 예측 전류값은 다음 식과 같이 각각 계산할 수 있다.

$$I_{m_1} = I_m + Ts \times Slope_n \quad (4)$$

$$I_{m_2} = I_m + 2Ts \times Slope_n \quad (5)$$

5. 시뮬레이션 및 실험 결과

5.1 시뮬레이션 결과

본 연구에서 제안한 알고리즘의 타당성을 입증하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 본 알고리즘은 전류와 전압에 똑같이 적용할 수 있으므로 전류한 상만 시뮬레이션 하였다. 그림 5는 단일 기울기를 사용하여 전류를 예측하였을 경우 실제전류와 예측한 전류값, 두 전류의 오차, 기울기의 시뮬레이션 결과이다. 전류오차를 보면 전류의 크기에 따라 바뀌며 특히 전류의 양과 음의 최대치에서 전류오차가 크게 발생된다. 또한 첫번째 샘플링시간에서 예측한 전류의 오차보다, 두 번째 샘플링시간에서의 예측 전류값의 오차가 더 크게 나타남을 알 수 있다.

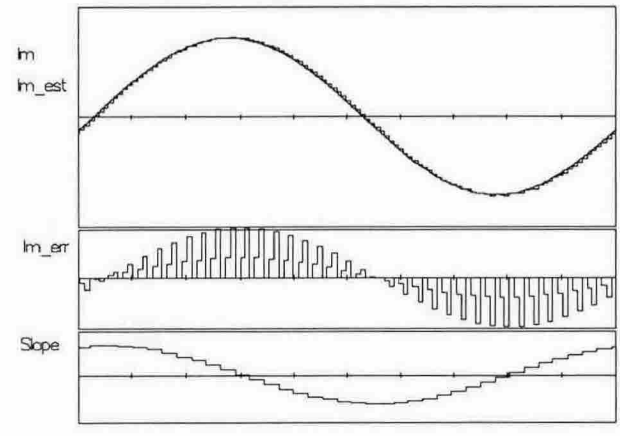

그림 5 단일 기울기 사용 시 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation results using single slope

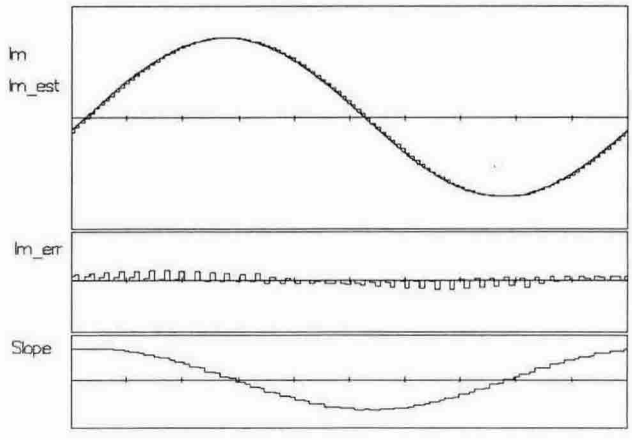

그림 6 두개 기울기 사용 시 시뮬레이션 결과
Fig. 6 Simulation results using two slopes

그림 6은 두개의 기울기를 사용하여 전류를 예측하였을 경우 시뮬레이션 결과이다. 그림 6과 비교하면 전류오차가 상당히 감소되었으며 특히 두 번째 샘플링시간에서의 예측 전류값의 오차가 크게 감소되었다.

5.2 실험결과

그림 7은 제어모듈에서 전송하는 동기신호와 각 센서모듈에서 타이머 파형을 보인 것이다.

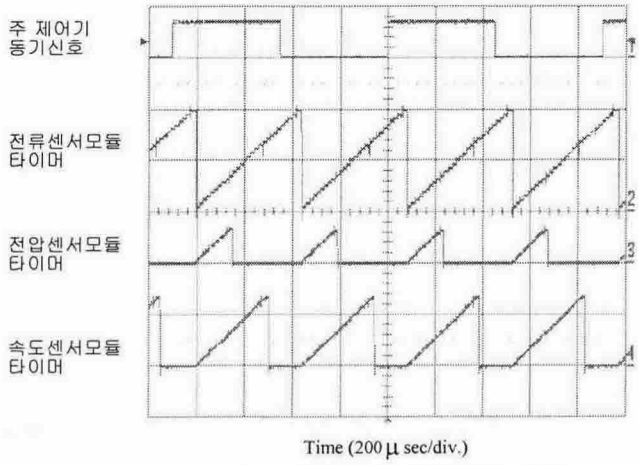

그림 7 동기신호에 따른 센서 모듈의 타이머 파형
Fig. 7 Timer of sensor module with synchronous signal.

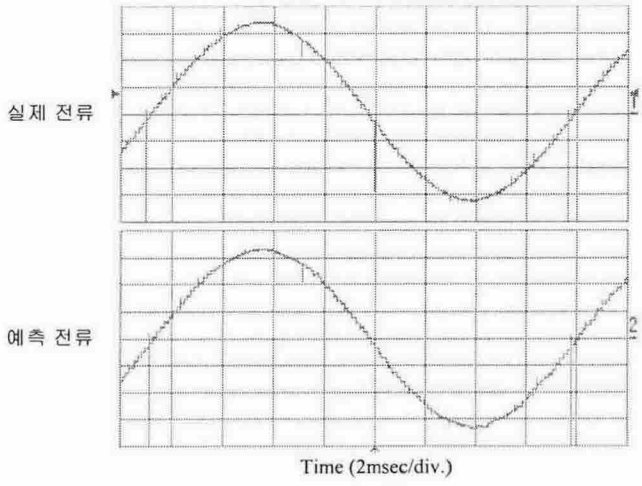

그림 8 두개의 기울기 사용 시 실험결과
Fig. 8 Simulation results using the method of two slopes

제어모듈에서 450μs마다 동기신호와 각 센서 모듈에서는 이 동기 신호에 의해 약 52μs후에 각 센서의 타이머를 초기화됨을 알 수 있다. 전류센서 모듈은 동기신호를 받은 후 바로 측정한 전류값을 전송한다. 그리고 전압 센서 모듈은 150μs에 타이머 주기 인터럽트가 발생되며 측정한 전압 데이터를 전송하며, 속도 센서 모듈은 타이머 초기화 후 300μs에 타이머 주기 인터럽트가 발생되며 이때 속도 및 위치 정보를 전송한다.

그림 8은 두개의 기울기를 사용하였을 경우 실제 전류와 예측한 전류 파형을 보인 것이다. 예측한 전류와 실제 전류가 거의 비슷함을 알 수 있다.

6. 결 론

본 논문은 인버터-전동기 구동장치에서 인버터를 포함한 전류, 전류 및 속도센서를 모두 네트워크로 제어하는 방법을 사용하였다. 동기신호와 각 센서의 타이머를 사용하여 각 센서의 전송지연시간을 일정하게 유지시키는 기법을 제시하였다. 또한 두개의 기울기를 사용하는 기법을 사용하여 예측한 전류의 오차를 상당히 감소시켰다. 시뮬레이션 및 실험을 통하여 제시한 알고리즘의 타당성을 확인하였다. 향후 이 기법을 벡터제어 유도전동기 구동시스템에 적용할 예정이다.

본 연구는 산업자원부 지정 울산대학교 네트워크 기반 지동화 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

[1] 박홍성, 권욱현, "산업용 네트워크와 그 응용", ICASE Magazine, 제2권, 4호, Jule, 1996, pp. 4-18.

[2] I.A. Janet, W.J. Wiseman, R.D. Michelli, A.L. Walker, and S.M. Scoggins, "Using Control Networks for Distributed Robotic Systems", in Conf, Rec. on Robotics, Vol. 2, 1999, pp. 1138-1143.

[3] 전태원, 최명규, 김동식, 김홍근, 노희철, "LonWorks 네트워크를 이용한 야드 크레인 구동용 전동기 위치 제어", 전기학회논문지, 50권 1호, 2001, pp.37-43

[4] 정의헌 외, "CAN 네트워크를 이용한 단일 프로세서에 의한 복수 인버터 구현에 관한 연구." 전력전자학회 논문지 제9권 제1호, 2004, pp.50-57 .

[5] Texas Inc., *TMS320LF/LC240xA DSP Controllers Reference Guide*, Texas Ins., 2001.