

Multiprocessor based current control of brushless motor

° Chang Kyu Yoo, Young Kil Koh, Kwang Won Lee

Ajou University

Astract

For the current control of brushless motor, it is possible to generate the reference current waveforms by a microcomputer. But, with a single microprocessor, those reference current waveforms are not produced in smooth shapes because of computation speed.

To solve this problem an attempt has been made in this paper to use two processors, where the additional processor is to transform the current space vectors. This approach does not increase the complexity of the design considerably compared to the case of using a single processor.

1. 서 론

지금까지 제어용 전동기로는 간단한 전기자 제어 방법만으로도 우수한 제어특성을 갖는 직류전동기가 주류를 이루고 있었으나 정류자의 보수, 유지가 문제점이었다. 최근들어 PWM 인버터와 마이크로 컴퓨터 기술이 발전하면서 제어용 전동기가 점점 교류 전동기로 대체되고 있다. 교류 전동기중 브러시리스 전동기는 직류 전동기와 똑같은 제어특성을 갖고 있으며 구동방법도 비교적 간단한 편이어서 서어보 시스템에 사용하기 편리하다.

브러시리스 전동기를 직류전동기와 똑같은 특성을 갖게 제어하기 위해서는 고정자 권선의 각 상의 전류를 회전자 자속에 평행한 성분과 이에 수직인 성분, 즉 직축성분과 횡축성분으로 분해한 다음 횡축성분을 조절하면 된다. 이를 하기 위해서는 회전자 위치를 검출하여 기준 전류파형을 만들어야 하고 이때 실제전류가 기준 전류파형의 교류모양을 따라가게 하기위해 PWM 인버터가 사용된다[1].

전류제어를 위한 PWM방식은 여러가지가 있는데 그중 가장 널리 사용되는 방식이 정현파 PWM방식이다. 이 방식은 하드웨어 구성이 간단한 데 비해 순간 순간의 전동기 전류는 제어할 수 없다. 최근 회로 소자의 속도가 발라짐에 따라 순간 순간의 스위칭 상태를 결정하여 주는 전류제어 PWM이 가능하게 되었으며 이 방식은 크게 hysteresis제어와 예측제어로 나눌 수 있다. hysteresis제어는 스위칭 출력이 전류 오차의 hysteresis에 의해 결정되는 것으로 구조가 간단하고 응답이 빠르나 스위칭 주파수가 필요이상으로 올라가는 단점이 있다[2]. 예측제어[3]는 스위칭 출력이 결정되었을 때 전류오차를 미리 계산, 비교함으로써 최적의 스위칭 출력을 찾아내는 방법인데 계산량이 많아 on-line으로는 실현이 어렵다. 최근에 이들의 문제점을 보완하면서도 간단한 제어 알고리즘으로 최적의 스위칭 출력을

찾아낼 수 있는 최적 전류 제어방식이 발표되었다[6].

마이크로 프로세서로 전류제어 PWM을 실현하려 할때 기존 전류파형까지는 마이크로 프로세서를 사용하여 디지털처리하여 만드는 것이 편리한데 계산 속도가 문제가 되어 파형 모양이 계단 모양으로 거칠어질 수가 있다. 이 문제를 해결하기 위해서 여러가지 방법[4] - (1) 바른 속도의 마이크로 프로세서를 사용하는 방법, (2) APU (arithmetic processing units) 를 사용하는 방법, (3) 복수의 프로세서를 사용하는 방법 [5] - 을 생각할 수 있다. 그러나 현재의 마이크로 프로세서 하나만으로는 전동기가 고속으로 회전할때 기존전류의 좌표 변환까지 처리하기 어려우며, APU의 사용은 여러 종류의 CPU와 APU의 조합들에 대해서 아직 컴파일러가 제대로 공급되고 있지 않은 것이 문제이다. 복수의 프로세서를 사용할 때는 프로세서들 사이의 동기화와 데이터 교류, 실시간에서의 디버깅등에 어려움이 있다.

본 연구에서는 복수의 프로세서를 사용하는 방법으로 계산량을 분배시켜 좀 더 나은 기준 전류파형을 만들어낼 수 있으면서도 프로세서 사이의 동기를 시키지 않는 설계를 하여 하드웨어나 소프트웨어가 하나의 프로세서를 사용할 때에 비해 그다지 복잡해지지 않도록 하였다.

2. 제어 시스템 구성

전동기의 고정자 권선이 3상 Y결선되어 있고 인버터는 그림 1과같이 3상 브리지로 되어

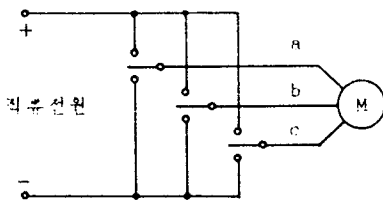


그림 1. 인버터

있다고 할 때 전동기 전류와 속도를 귀환하여 전류 제어를 할 수 있는 그림 2와 같은 계통을 생각하자.

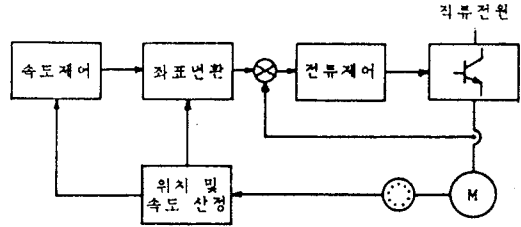


그림 2. 브러시리스 전동기의 제어 블록도

전동기 고정자의 전압 전류 방정식은

$$L \frac{d\mathbf{i}}{dt} + \mathbf{R}\mathbf{i} + \mathbf{e} = \mathbf{v}(m) \quad (1)$$

L : 상당 누설 inductance

R : 상당 권선 저항

e : 역기전력 벡터

v : 인버터 출력전압 벡터

이 되고 고정자 권선에 공급되는 인버터 출력 전압벡터 $\mathbf{v}(m)$ 은 각 상 스위치들의 조합으로 그림 3와 같이 $m=0,1,2,\dots,7$ 의 8가지 상태가 존재할 수 있다.

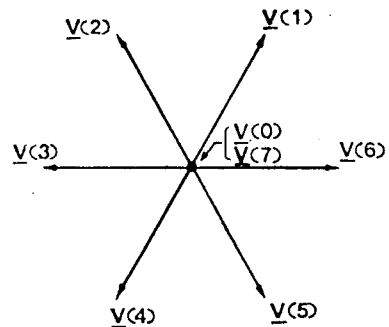


그림 3. 인버터 출력전압 벡터

식 (1)로 표현되는 고정자 전류가 기준전류를 잘 따라가게 하기 위하여 인버터를 스위칭하여야 할 순간마다 가능한 8개의 전압 벡터중 가장 좋은 것을 택하는 것이 문제인데 최적 전류 제어방법[6]으로 전압벡터를 고르기로 하면 전류제어기는 그림 4와 같이 된다.

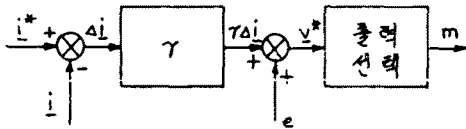


그림 4. 최적 전류 제어기

그림 4에서 기준 전류 벡터 i^* 는 마이크로 프로세서로 계산하여야 하는 데 계산빈도를 높일수록 전류파형이 좋아지는 것은 당연하다. 그러나 인코더 펄스로 부터 전동기의 속도를 계산하고 속도제어 loop계산으로 부터 평균분 전류를 얻는 데 상당한 처리 시간이 소요되므로 좌표변환하는데 소용되는 여유시간이 그리 많지 않다. 특히 회전속도가 빠르고 극수가 많은 경우에는 더 심각하다. 이 문제를 해결하기 위하여 회전자 위치 검출과 좌표변환만을 담당하는 프로세서를 별도로 갖는 그림 5와 같은 제어 시스템을 구성하였다.

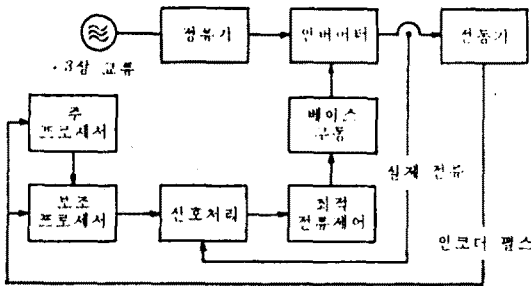


그림 5. 제어기 전체의 블록도

인버터에는 3상 BJT모듈을 사용하고 전원은 3상 교류를 정류하여 사용한다. 구동대상 전동기 제원은 다음과 같다.

정격 출력	200W
정격 속도	2000r/min
정격 전류	4.2A
극수	8
전기자 저항	0.95Ω
전기자 인덕턴스	2.3mH
인코더 펄스	2000pulse/rev

3. 제어기 설계

시스템의 최종 스위칭출력 결정까지 전체를 디지털로 처리하는 경우는 실제 전류검출에 따른 A/D 변환기가 필요하고 프로세서 속도 또한 문제가 된다. 그러므로 기준 전류를 만드는 것까지는 프로세서로 디지털 처리하였고 최적 전류 제어부분은 비교기와 논리회로만으로 구성하였다.

각 상의 기준전류 i_a, i_b, i_c 는

$$i_a = |i_a| \times \sin \theta$$

$$i_b = |i_b| \times \sin(\theta - 120^\circ)$$

$$i_c = |i_c| \times \sin(\theta + 120^\circ)$$

로 표시되므로 이를 구하기 위해서 각 상의 기준전류 절대값을 계산한 후, θ 값을 전동기 회전에 맞추어 인코더 펄스로 고정하면서 삼각함수계산과 승산을 하면 된다. 그러나 이 계산에는 많은 시간이 소비될 것이므로 기준전류 절대값과 θ 값을 주사로 하여 계산결과를 미리 표로 작성해두고 필요할 때마다 표를 참조하였다. θ 값 한 step은 인코더 펄스를 고려하여 360° 를 250등분한 1.44° 로 한다.

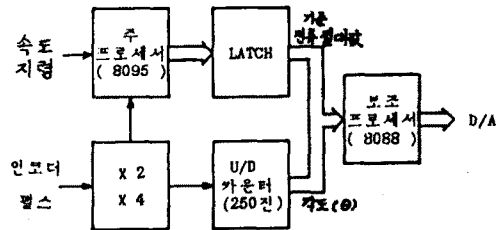


그림 6. 프로세서 부분의 블록도

이 모든 것을 프로세서로 처리하려면 거의 모든 일을 인터럽트에 의존하여야 한다. 그런데 실험 대상 전동기 극수가 8극이고 인코더 펄스는 2000p/rev이므로 정격 속도로 회전한다고 했을 때 θ 값 고정 인터럽트의 발생주기만 따져도 $(250 \times 4 \times 2000 + 60)^{-1} = 30 \mu s$ 이다. 그러므로 하나의 프로세서로는 이런 발생주기에서 θ 값이 바뀔 때마다 기준전류를 출력할 수는 없으며 따라서

기준 전류파형이 거칠어질 수밖에 없다. 이를 해결할 수 있는 방법으로 그림 6과 같은 블록을 생각한다.

주 프로세서에서는 인코더 펄스들 2배와 4배로 증배한 펄스를 이용하여 저속, 중속, 고속에 따라 조금씩 다른 방법으로 현재 속도를 산출하고 속도지령을 A/D 변환하여 입어서 기준전류 절대값을 계산, 출력하는 일만을 일정한 주기로 반복하게 된다. 보조 프로세서에서는 주 프로세서에서 계산한 기준전류 절대값과 인코더 펄스로 계속 고정되고 있는 각도고정용 카운터값(θ)을 읽고, 이 값들로 표에서 각 상에 맞는 기준전류파형 데이터를 찾아 D/A 변환기에 출력하는 일을 반복하여 수행한다.

주 프로세서로는 고속 입출력, A/D 변환기, PWM 출력 등 여러 편리한 기능들을 갖추고 있는 16bit microcomputer 인 Intel 8095를 채택하였다. 보조 프로세서로는 간단한 입출력 기능만 있으면 되고 또 상용화하는 것이 목적이 아니므로 IBM PC/XT를 인터페이스하여 사용하였다. 독립된 장치로 만들려면 personal computer 대신 8086이나 8088 chip을 사용하면 된다. 기준전류가 계산되면 비교기와 필요한 논리회로로서 전류제어기 부분은 설계할 수 있다.

4. 결 론

브러시리스 전동기를 하나의 프로세서를 사용하여 최적 전류제어방식으로 구동시킬 때에 문제가 되는 각 상의 기준 전류파형을 두개의 프로세서를 사용하여 만드는 방법을 구상하였다. 이 방법은 하나의 프로세서를 사용하는 것에 비해서 하드웨어와 소프트웨어 부담이 많이 추가되지 않으며 계산량의 분담으로 기준 전류파형의 고조파 성분을 훨씬 줄일 수 있을 것으로 기대되고 주 프로세서의 부담을 줄여 줌으로써 속도제어 loop의 샘플링 주파수도 높일

수있는 이점이 있다

6. 참고 문헌

- [1] Bose, B. K., *Power electronics and ac drives*, Prentice-Hall, New Jersey, 1986.
- [2] Brod, D.M., and Novotny, D.W., "Current control of VSI-PWM inverters," *Conf. Rec. IEEE/IAS 418-425*, 1984.
- [3] Holtz, J., and Stadtfeld, S., "A predictive controller for the stator current vector of ac machines fed from a switched voltage source," *Rec. IPEC-Tokyo, 1665-1975*, 1983.
- [4] Erich, S., "Fast hybrid controller with microcomputer in an adaptive inverter drive application," *Conf. Rec. BTG-Fachberichte Microelectronics in Power Elec. and Elec. Drives 95-102*, 1982.
- [5] Kajita, M., Susono, M., "Multi-processor based control system for quick response induction motor drive," *Conf. Rec. IEEE/IAS 605-611*, 1984.
- [6] Lee, K.W., and Park, S.B., "Novel current-control method for PWM inverters," *Electronics Letters*, 23, 1125-1127, 1987.