

USB 통신을 이용한 PC기반 초음파 모터 구동용 디지털 다중 제어기 개발

이화춘*, 김동옥*, 윤철호**, 박성준*, 오금곤***, 김영동***
전남대학교*, 한국생산기술연구원**, 조선대학교***

Development of PC based Digital Multi-Controller of Ultrasonic Motor Using USB Interface

Hwa-Chun Lee*, Dong-Ok Kim*, Cheol-Ho Yoon**, Sung-Jun Park*, Geum-Kon Oh***, Young-Dong Kim***
Chonnam Nat'l Univ. *, Korea Institute of Industrial Technology**, Chosun Univ.***

Abstract

본 논문에서는 FPGA를 사용하여 진행파형 초음파 모터의 2상 입력 전원 전압의 주파수, 위상차, 진폭 및 2상간의 전압차 조절이 가능하고, 8대의 초음파 모터를 동시에 제어할 수 있는 8채널 USB통신 PC기반 초음파 모터 디지털 제어기를 제안한다. 제안한 제어기는 FPGA를 이용한 디지털 논리에 의해 출력을 발생하기 때문에 PC로부터 직접 제어 명령을 입력 받아 각각의 파라미터를 실시간으로 조절할 수 있을 뿐만 아니라, 둘 이상의 파라미터를 동시에 조절이 가능하다. 또한, PC와의 인터페이스는 USB통신 방식을 채택하여 제어 명령의 전달속도 향상 및 플러그 앤 플러그 방식을 통해 데스크 탑 컴퓨터는 물론 휴대용 컴퓨터나 PDA와 같은 다양한 플랫폼에서 사용할 수 있도록 설계하였다. 또한, 초음파 모터의 속도 및 위치를 계측하기 위해 사용된 로터리 엔코더 카운터 회로를 FPGA회로에 내장시켜 카운터를 위한 별도의 회로 구성이나 장비 구입의 필요성을 배제하였다. 따라서, 생산 단가 및 부피를 현저히 감소시켰다.

1. 서 론

산업 현장 등에서 초음파를 이용한 각종 장치의 소형화 및 경량화에 대한 다양한 시도가 보고되고 있다. 특히 MEMS나 나노 기술에 대한 발전은 초정밀 초소형 초음파 장치의 현실화를 가능하게 했다. 이러한 초음파 응용분야 중 각종 로봇, 가상현실 분야의 역감 장치, 소형 디지털 기기, 시계, 카메라 등 소형 정밀기기의 액츄에이터로서 초정밀 소형화 추세에 부응하는 초음파모터가 각광 받고 있다. 본 논문에서는 초음파 모터의 각종 제어 파라미터에 대한 동작 특성을 이론적 근거를 토대로 FPGA를 사용해 초음파 모터 제어용 디지털 다중 제어기 (USM-DMC)를 설계 제작하였고, PC와의 인터페이스는 USB방식을 도입하였다. 따라서 본 제어기를 이용해서 초음파 모터의 속도 및 토크 제어를 행할 경우, 주파수, 위상차, 전압의 단일 파라미터 입력에 대한 속도 및 토크 특성을 검출할 수 있을 뿐만 아니라 위상차-주파수, 위상차-전압, 주파수-전압, 주파수-위상차-전압 등 둘 이상의 다중 파라미터에 대한 특성 검출이 가능하다. 또한 각 상의 듀티비를 독립적으로 조절할 수 있도록 설계하여 별도의 회로를 추가할 필요 없이 전압차 제어가 가능하다는 장점을 지닌

다. 따라서 본 USM-DMC의 성능을 증명하기 위해 각 파라미터 조절에 따른 파형을 측정하고, 실제의 진행파형 초음파 모터를 이용하여 각 파라미터에 대한 무부하 속도 특성을 측정하였다.

2. USM-DMC의 설계

2.1 제어기

설계 제작한 USM-DMC는 그림 1과 같이 크게 컨트롤러와 드라이버로 구성된다. 컨트롤러는 8채널의 초음파 모터 구동 신호를 출력하고 로터리 엔코더 출력 신호를 카운트한다. 드라이버는 2단 트랜지스터 스위칭 회로와 펄스 트랜스를 거쳐서 초음파모터 구동 전압인 100Vpp로 승압하는 인버터로서 동작한다.

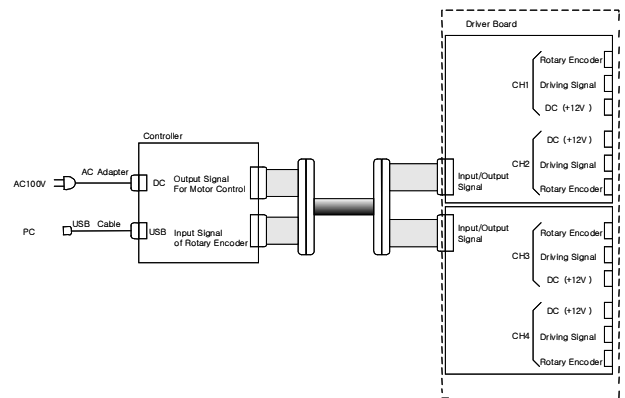


그림 1 USM-DMC구성도
Fig. 1 Composition of USM-DMC

2.2 컨트롤러

그림 2는 초음파 모터 컨트롤러의 블럭도를 나타내고 있다. 컨트롤러의 FPGA에서는 PC에서 설정한 주파수, Duty비, 위상차에 의해 1 채널 당 A+, A-, B+, B-의 4 신호의 스위칭 신호를 출력하고, 발생된 신호는 버퍼를 거쳐 드라이버에 입력된다. 그림 3에 나타난 바와 같이 입력된 A+, A-, B+, B- 신호는 모터 드라이버 단에서 초음파 모터를 구동하기 위한 정현파 신호인 A상 출력(PH_A)과 B상 출력(PH_B)으로 변환되어 초음파 모터에 입력된다. 로터리 엔코더는 1 채널 당 A상, B상의 신호가 출력되고, 모터 드라이버의 커넥터를 거쳐 전용 케이블을

통해 직접 컨트롤러에 전달된다. 컨트롤러에서는 로터리 엔코더에서 발생한 위치 및 속도신호를 5V로 풀업(10kΩ)하여 버퍼를 통해 FPGA에 입력한 후 USB통신을 통해 PC에 전송한다.

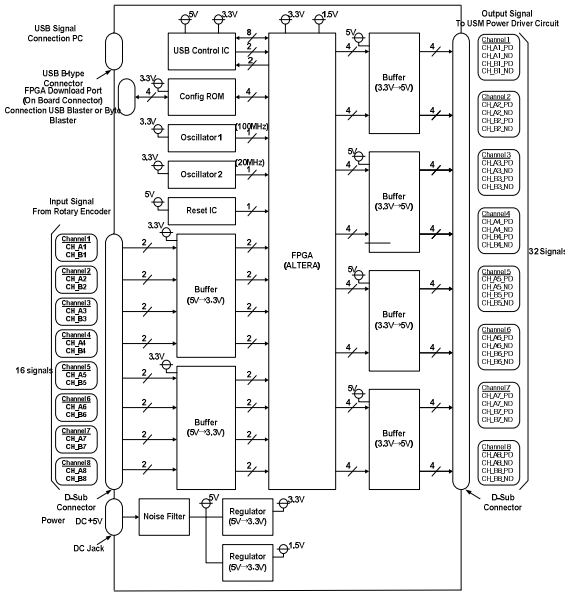


그림 2 컨트롤러의 블럭도
Fig. 2 Diagram of Controller

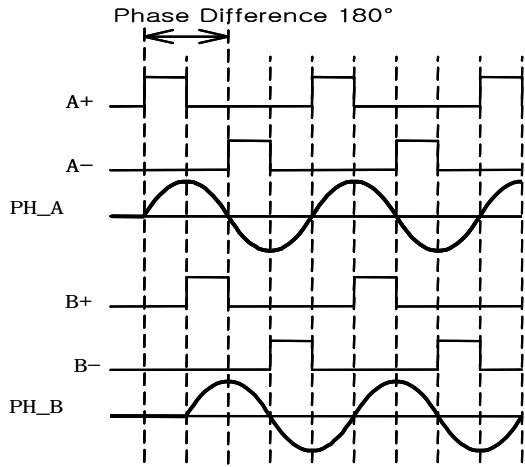


그림 3 초음파 모터 구동 신호 개략도
Fig. 3 Driving signal of USM

컨트롤러와 PC간의 인터페이스는 USB2.0 Full Speed 방식으로 접속하며, 통신 명령은 기능별로 4종류가 있다. 컨트롤러가 스스로 동작하는 모드는 없으며, PC로부터 동작 명령이 송신되면 그 내용에 따라 작동한다. S명령은 PC에서 컨트롤러로 초음파 모터 출력 신호를 송신하고, 컨트롤러로부터 로터리 엔코더 데이터를 반송시키는 명령이며 ON, OF, RR명령은 PC에서 컨트롤러 측에 전송되는 명령으로서 컨트롤러에서 데이터를 반송하지 않는다. S명령은 초음파 모터 구동용 신호의 파라미터인 주파수, Duty(A상), Duty(B상), 위상차(A상을 기준으로 한 B상의 위상)의 4 종류의 정보를 포함하고 있다. 이 때 각 파라미터의 설정치는 식 (2-1), (2-2), (2-3), (2-4)에 의해 결정된다.

$$Frequency\ set\ value = \frac{1}{10 \times Freq} \times 10^6 \quad (2-1)$$

$$DUTYA\ set\ value = \frac{Freq\ set\ value}{100} \times DUTY\ A \quad (2-2)$$

$$DUTY\ B\ set\ value = \frac{Freq\ set\ value}{100} \times DUTY\ B \quad (2-3)$$

$$Phase\ set\ value = \frac{Freq\ set\ value}{360} \times Phase \quad (2-4)$$

여기서 Freq는 설정할 주파수, DUTY A는 설정할 A상의 Duty비, DutyB는 설정할 B상의 Duty비, Phase는 A+를 기준으로 한 B+의 위상차이다. PC로부터 컨트롤러 측으로 S 명령이 송신될 때는 CH1로부터 CH 8 까지 동시에 컨트롤러로 송신된다. 컨트롤러 측에서 설정치를 수신하면 이를 레지스터에 보존한 후 이 크기에 따른 초음파 모터 구동용 신호를 발생시키며, 로터리 엔코더의 차분을 계산해 PC로 송신한다.

2.3 드라이버

초음파 모터를 구동하는 신호 파형은 정현파 신호가 이상적이다. 정현파 신호가 아니면 초음파 모터에서 소음이 발생할 수 있으며 최대의 출력을 낼 수가 없다. 따라서 앞 절의 FPGA를 이용한 회로에서 얻은 구형파를 정현파 신호로 전환해야 한다. 구동 정현파(100Vpp, 40kHz)를 0~5V의 디지털 신호로부터 얻기 위해서는 2단 트랜지스터 스위칭 증폭회로와 펄스 트랜스를 사용한다. 한 상의 정현파를 만들기 위해 서로의 위상이 180°다른 2개의 구형파를 트랜지스터로 스위칭하여 12V로 만든 후에 이를 펄스 트랜스에서 전압증폭과 함께 정현파로 파형을 변환 시킨다. 구형파의 듀티비는 25%가 적당하나 펄스 트랜스의 특성의 차이와 모터 각각의 특성에 의한 파형 변화가 생긴다. 따라서 듀티비의 조정이 가능하도록 11bit 데이터를 PC로부터 입력 받아 미세 조정 가능하도록 설계했다. 이때, 모터를 연결하지 않으면 펄스 트랜스의 출력 파형은 정현파가 발생하지 않으나 모터를 연결하면 트랜스의 자기 인덕턴스와 초음파 모터의 커패시턴스 성분에 의한 공진현상에 의해서 정현파로 정형된다. 그림 4는 전압 변환 회로도이다. 앞에서 언급한 바와 같이 전압 변환 회로 즉, 전원 공급 장치에서는 디지털 회로에서 만든 두 개의 5Vpp의 펄스를 2단 트랜지스터 스위칭 증폭회로와 펄스 변압기를 통해서 100Vpp로 증폭하여 초음파 모터의 A상과 B상에 각각 공급하고 있다. 이 때 초음파 모터의 전원 전압으로는 DC 12V를 사용한다.

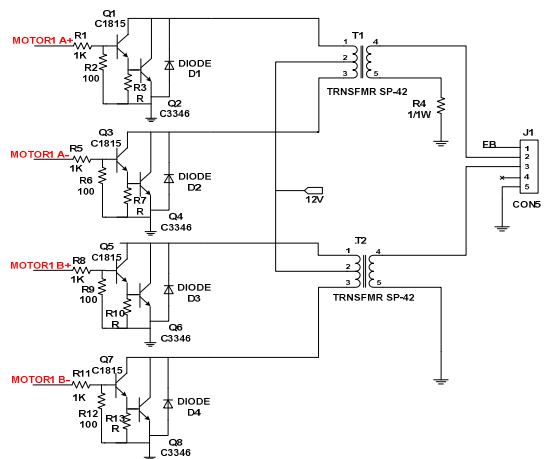


그림 4 전압 변환 회로도
Fig. 4 Voltage conversion circuit

3. 파라미터에 따른 무부하 속도 특성

본 연구의 실험은 앞 장에서 설계했던 USM-DMC를 이용하여, 기존 제어기에서는 구현이 어려웠던 실시간 위상차-주파수 다중 파라미터 조절을 실현한 후 초음파 모터의 속도를 측정한다. 그림5는 주파수 조절에 따른 속도 특성 곡선이다. 위 실험으로 공진 주파수를 찾는데 있어서 높은 주파수에서 낮은 주파수로 찾는 방식이 보다 효율적임을 알 수 있었다.

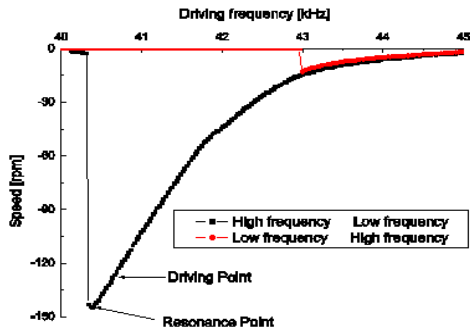


그림 5 주파수 조절에 따른 속도 특성
Fig. 5 The speed characteristic of frequency adjusting

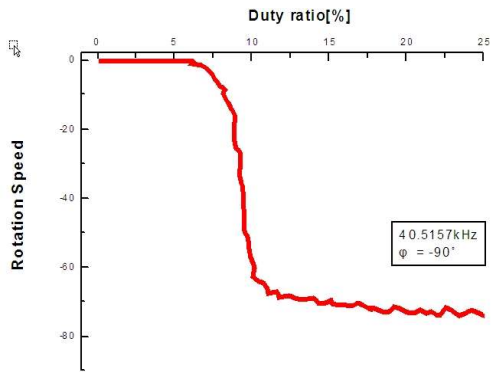


그림 6 전압-속도 그래프
Fig. 6 Voltage-velocity graph

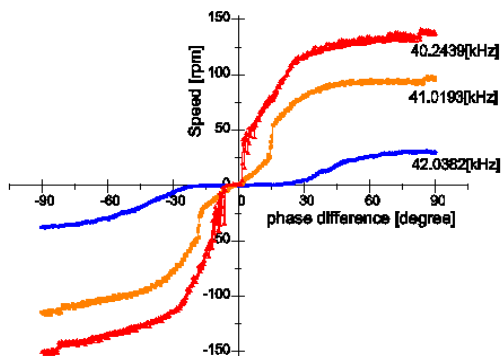


그림 7 위상차에 따른 속도 특성
Fig. 7 The speed characteristics of an old type of USM with respect to phase-difference without adjusting the frequency

그림6은 위상은 -90° 로 고정하고, 주파수는 40.5157kHz 때의 무부하시 전압조정 속도특성으로서 속도조절이 가능한 제어 밴드가 비교적 협소하였다. 그림7은 주파수가

40.2439kHz, 41.0193kHz, 42.0382kHz 일 때 위상차에 따른 속도특성이다. 위상차가 -90° 와 90° 일 때 최대 속도가 되었으며, $-90^\circ \sim 0^\circ$ 일 경우에는 초음파 모터는 반시계방향으로 회전하고, 반대로 $90^\circ \sim 0^\circ$ 범위에서는 시계방향으로 회전하였다. 그림8은 위상차와 적절한 주파수를 동시에 제어할 경우의 속도 특성이다. 위 실험을 통해서 그림 7의 주파수 고정 방식보다 선형성이 보다 개선되었음을 확인하였다. 또한 최대 속도, 속도 포화 영역도 어느 정도 개선되었다.

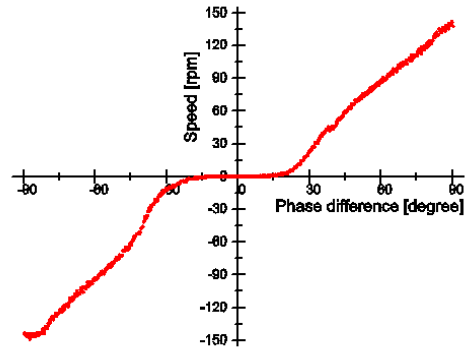


그림 8 위상차와 적절한 구동 주파수에 따른 속도 특성
Fig. 8 The speed characteristics of an old type TUSM according to the phase-difference and suitable driving frequency

3. 결론

본 논문에서는 FPGA를 이용하여 입력 전원 전압의 주파수, 위상차, 진폭 및 2상간의 전압차 조절이 가능하고, 8대의 초음파 모터를 동시에 제어할 수 있는 8채널 USB 통신 초음파 모터 디지털 제어기를 설계 제작했다.

제안한 USM-DMC를 이용하여 초음파 모터를 제어할 경우 주파수, 전압, 위상차 등 단일 파라미터 조절 방식은 물론이고, 위상차-주파수 조절 방식 등 둘 이상의 다중 파라미터를 동시에 조절할 수 있었다. 그리고 높은 분해능을 통한 정밀 제어가 가능하였고, USB 인터페이스 방식의 도입으로 전달 속도, 편리성 등을 개선시켰다. 또한 로터리 엔코더 카운터 회로를 FPGA 회로에 내장시켜 생산 단가 및 제어기의 부피를 현저히 감소시킬 수 있었다.

Reference

- [1] Sashida, T., Kenjo, T., "An Introduction to Ultrasonic Motors", Oxford, Clarendon Press, 1993
- [2] Ueha S., and Tomikawa Y.: Ultrasonic Motors Theory and Applications, No. 29 in Monographs in Electrical and Electronics Engineering, Oxford Science Publications, 1993
- [3] A. Kato, K. Ito, and M. Ito, "Adjustable Compliant Motion of Ultrasonic Motor," Journal of Robotics and Mechatronics Vol. 5, No. 5, 1993.
- [4] T. Hatsuzawa, K. Toyoda and Y. Tanimura, "Speed Control Characteristics and Digital Servo-System of Circular Traveling Wave Motor," Rev. Sci. Instrum, Vol. 57, No 11, pp. 2886-2890, 1986
- [5] 김영동, 오금곤, "초음파 모터의 위상차 제어" 조명전기설비학회지, 66-74, 1996
- [6] T. Senjyu, H. Miyazato, S. Yokoda, and K. Uzeato, "Speed control of ultrasonic motors using neural network," IEEE Trans. Power Electron., vol. 13, pp. 381-387, May 1998.