

DSP를 이용한 실린더형 진동 자이로스코프 제어기 설계

김모세*, 이학성*, 홍성경**

*세종대학교 전자공학과, **세종대학교 항공우주공학과

Design of Cylindrical Vibratory Gyroscope Controller by DSP

Kim Mose*, Hak-Sung Lee* and Sung-Kyung Hong**

*Dept. of Electronic Engineering, Sejong University

**Dept. of Aerospace Engineering, Sejong University

Abstract

본 논문에서는 DSP를 이용하여 운동하는 물체의 회전량을 측정하는 실린더형 진동 자이로스코프(이하 자이로) 제어기를 개발하였다.

진동 자이로를 구동하기 위해서는 정밀 진동제어와 신호 처리와 같은 고급 제어 기술이 필요하다. 정밀 진동제어는 진동 자이로를 구동하기 위해 필요한 핵심 기술로써 기존의 PLL(phase-locked loop)방식은 외부 환경에 민감하여 구현이 까다로울 뿐만 아니라 자이로 개개의 고유 진동수가 다르기 때문에 대량 생산에 어려움이 있었다. 또한 자이로 출력 신호로부터 회전량을 검출하기 위해서는 진폭과 방향성 검출의 본 회로뿐만 아니라 잡음 제거와 신호 증폭, 온도 보상과 같은 전처리 과정도 필요하다.

본 논문에서는 DSP를 통해 정밀 진동제어와 잡음 제거, 방향성 검출 등의 기능들을 구현하였으며 증폭과 진폭(회전량) 검출은 아날로그 회로를 이용하였다. 또한 외부와의 인터페이스를 위해 D/A 회로를 설계하였고 이들을 실험을 통해 검증하였다.

1. 서 론

자이로스코프는 운동하는 물체의 회전량(각속도)을 측정하는 관성 센서로써 항공기나 인공위성, 군사 분야 등과 같은 특수 분야에서부터 자동차 네비게이션 시스템, 디지털 캠코더, 마우스에 이르기까지 광범위한 산업 분야에서 사용하고 있다. 현재 자이로는 항공기나 군용(軍用)기기 등에 사용되는 피어버움틱 자이로

나 링레이저 자이로 같은 고성능/고가의 자이로로부터 캠코더의 떨림 보정용으로 쓰이는 저사양/저가의 MEMS 방식의 자이로까지 수요와 성능, 가격에 따라 여러 종류가 개발되어 있으며 현재도 연구, 개발 중에 있다[1].

초소형 정밀 자이로의 경우 외국에서는 정부 차원에서 주력할 만큼 고부가가치 상품으로 인식되고 있으며 많은 연구가 진행되고 있다. 반면 국내에서는 관련 연구는 물론 관련 기술들이 충분히 확보되지 않고 있어 제품 개발에 어려움이 있을 뿐만 아니라 수요의 경우 수입에 의존하고 있는 실정이다.

실린더형 진동 자이로(Cylindrical Vibratory Gyroscope)는 여타의 자이로와 비교해 볼 때 가격과 성능 면에서 중간 위치에 해당하고 있으며 무인 항공기나 자동차, 로봇 등과 같이 성능뿐만 아니라 가격이나 크기 같은 상업적인 측면도 동시에 고려해야 하는 산업 분야에 적극 활용할 수 있도록 저가, 소형, 경량화에 적합한 형태라고 할 수 있다. 실린더형 진동 자이로를 구동시키기 위해서는 자이로가 가지는 고유 진동수(또는 공진 주파수)로 전자기파를 발생시켜야 하며 출력 신호의 경우 잡음 제거, 증폭과 같은 전처리(pre-processing) 과정과 회전량 및 회전 방향을 검출할 수 있는 비교 회로가 필요하다. 또한 온도 변화에 의해 발생하는 편향 오차를 보상해 주는 보상 회로도 필요한 요소 중에 하나이다[2].

본 논문에서는 소형 경량화에 부합될 수 있으며 향후 소프트웨어적으로 성능 향상이 가능할 수 있도록 TI사의 DSP(TMS320LF2403A)를 이용하여 실린더형 진동 자이로를 구동시키기 위한 전자 회로와 알고리즘을 개발하였으며 이를 실험을 통해 검증하였다.

2. 실린더형 진동 자이로의 원리

1) 본 논문은 산업 자원부 항공우주기술개발사업에서 지원받았습니다.

실린더형 진동 자이로의 구조는 그림 1과 같이 페라이트 코어, 가진 코일, 센싱 코일 그리고 외피의 실린더로 구성되어 있다.

자이로의 동작 원리는 다음과 같다. 가진 코어에 감겨져 있는 코일에 일정 주기의 전류를 흘려주면 전자기력이 발생, 실린더가 진동하게 된다. 이를 가진 모드(excitation mode)라고 한다. 여기에 외부로부터 회전력이 발생하면 진동하는 실린더에 회전력에 비례한 물리적 변형이 발생하게 되고 센싱 코일로부터 전류(또는 전압) 신호를 검출할 수 있다. 즉, 그림 2에서와 같이 수평(또는 수직) 방향인 q_e 로 전자기력을 발생시키면 가진 모드(굵은 실선)가 형성된다. 여기에 대각선 방향인 q_s 에 노드 점이 생성되며 회전력(Ω)이 작용하지 않았을 때의 출력은 0이다. 반면 축을 중심으로 회전력이 인가되면 코리올리 힘에 의해 노드 점이 중심으로 이동한 것(점선)처럼 보이며 이 변위 차에 비례하여 회전량을 검출할 수 있다. 이 모드를 센싱 모드(sensing mode)라고 한다[2], [3], [5].

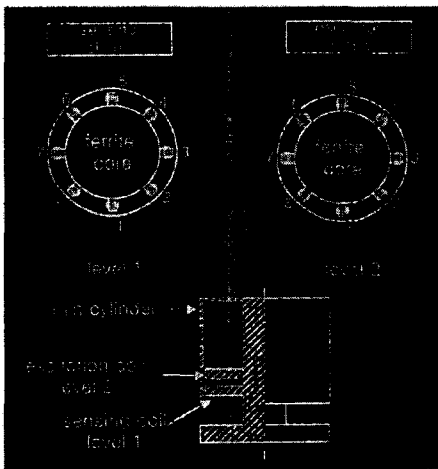


그림 1. 실린더형 진동 자이로 구조

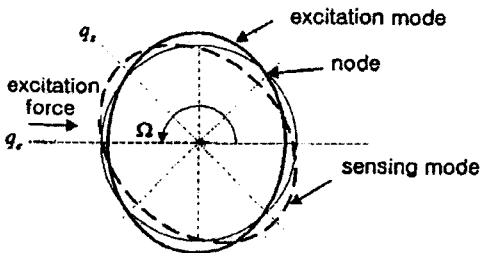


그림 2. 자이로 작동 원리

3. 실린더형 진동 자이로 제어기

실린더형 진동 자이로 제어기는 구조적으로 다음과 같이 구분할 수 있다.

- 자이로 가진부
- 자이로 센싱부
- 외부 인터페이스

진동 자이로를 동작시키기 위해서는 제어기로부터 일정 주기의 펄스 신호를 자이로에 인가해야 하며 센싱 시에는 회전량(각속도)에 비례한 자이로 출력 신호를 아날로그 값으로 처리해야 한다.

TMS320LF2403A(이하 LF2403)는 모터 제어 및 다양한 분야에 사용할 수 있도록 TI (Texas Instruments)사에서 제작한 신형 DSP(Digital Signal Processor)이다.

LF2403의 특징으로는 1) TMS320C2xx DSP 코어 사용, 2) 16bit 고정 소수점 방식, 3) 최대 40MIPS 동작 속도, 4) 저전력 3.3V 구동 전압, 5) 16K-word Flash Memory 내장, 6) 6개의 PWM(Pulse Width Modulation) 발생기, 7) 8개의 10bit ADC 등을 들 수 있다[4].

그림 3은 LF2403을 이용하여 자이로 제어기를 설계한 블록도이다. PWM1~4는 자이로를 가진시키기 위해 할당하였으며 자이로에 충분한 전력을 공급할 수 있도록 DSP와 자이로 사이에 전류 버퍼를 배치하였다. PWM5는 외부(호스트)와 아날로그 레벨로 인터페이스할 수 있도록 D/A 회로를 추가하였다. 또한 자이로 센싱부와 DSP 사이에는 증폭기와 진폭 검출기(peak detector)를 설계하였고 이를 ADC0~3을 통해 입력 받도록 하였다.

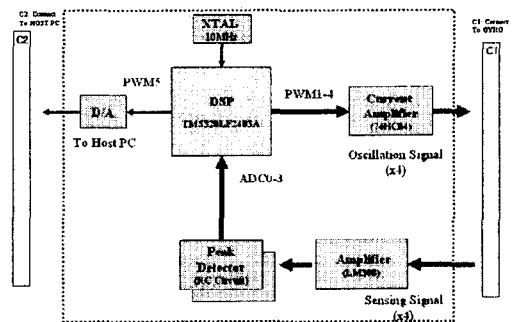


그림 3. 실린더형 진동 자이로 제어기

3.1 자이로 가진부

진동 자이로를 동작시키기 위해서는 가진 코일에 일정 주기의 전력을 공급해야 하며, 이때의 주기는 자이로의 공진 주파수와 일치해야 한다. 만일 입력 신호의 주기가 공진 주파수에서 벗어나게 되면 센싱 코일에서 출력 신호를 검출할 수 없다. 자이로가 정상적으로 동작하기 위한 입력 신호의 유효 주파수 범위는 공진 주파수에서 $\pm 0.5\text{Hz}$ 이내이다. LF2403에서는 타이머1를 통해 PWM 신호의 주기와 듀티비를 결정할 수 있으며, 주기의 경우 최소 0.5Hz 단위로 조절할 수 있다. 그림 4는 PWM 주파수를 1Hz 단위씩 변화 시켜가며 센싱한 실험으로 공진 주파수(3419Hz)에서 피크 값을 가지는 것을 확인 할 수 있었으며 그 외에서는 센싱 값이 확연히 차이 남을 알 수 있다.

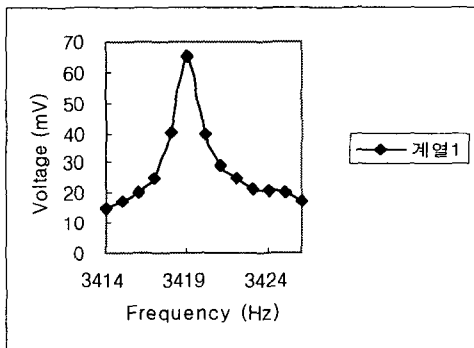


그림 4. 주파수 변화에 따른 센싱 값의 변화

3.2 자이로 센싱부

센싱부는 증폭기와 진폭 검출기의 두 부분으로 구성되어 있다. 센싱 코일에서 검출되는 출력 신호는 수 mV에서 수십 mV 정도 밖에 안 되기 때문에 LF2403이 처리하기 위해서는 ADC의 허용 범위인 0~3.3V 이내로 증폭시켜야 한다. 그림 5는 이에 대한 회로도이다.

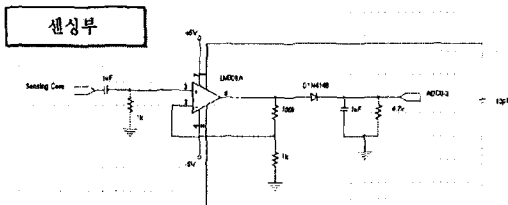


그림 5. 자이로 센싱부

출력 신호는 이상적으로 회전량에 비례한 진폭을 갖

는 주기 신호이며 그림 6과 7은 증폭 회로에 대한 실험 결과이다. 그림 6은 비회전시의 센싱 값을 증폭기를 통해 100배 증폭한 결과로써 오실로스코프의 스케일을 100:1로 맞췄을 때의 결과이다. 그림 7은 외부로부터 회전력이 발생했을 때의 결과로써 진폭 값이 증가됨을 알 수 있다.

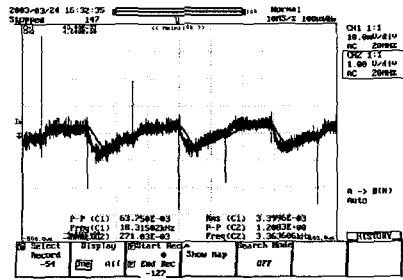


그림 6. 비회전시의 센싱 값

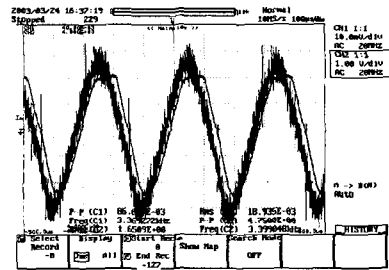


그림 7. 회전력이 인가되었을 때의 센싱 값

그림 8은 증폭된 파형의 진폭을 검출한 결과이며 DC 값으로 나타난다. 여기서 DC 값이 실제 파형의 진폭과 다른 것을 볼 수 있는데, 이는 회로 중의 다이오드에 의한 영향이다.

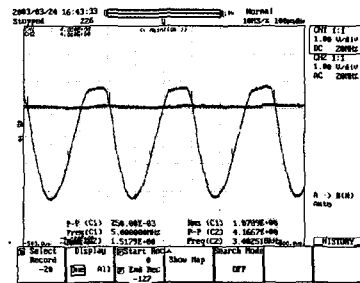


그림 8. 진폭 검출 결과

DSP에서는 이 DC 값을 통해 회전량을 계산할 수 있으며 정밀한 계산을 위해 DC에 포함된 리플 성분을 제거할 수 있는 평균(average) 필터를 포함시켰다.

3.3 외부 인터페이스

외부 인터페이스 부분은 자이로가 검출한 회전량과 회전 방향을 외부에 전달해 주는 역할을 하며 아날로그 신호로써 전달한다. PWM과 LPF 필터를 이용하여 구현하였다.

4. 실험

앞서 제안한 개념들과 실험 결과를 토대로 DSP 제어를 구현하였으며 이를 검증하기 위해 레이트 테이블을 이용하여 실험하였다. 그림 9는 실험에 이용한 실험 제어기와 레이트 테이블의 사진이다.

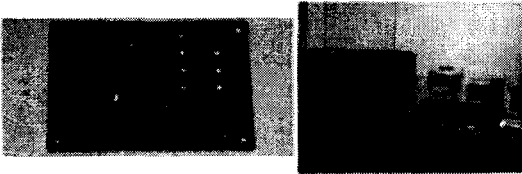


그림 9. DSP 제어기

4.1 회전량 검출

회전량 검출 실험은 자이로 시스템을 레이트 테이블로 회전 속도를 변화시켜가며 수행하였다. 0~100 deg/sec까지는 10 deg/sec 단위로 증가시키며 측정하였고 200 deg/sec까지는 50 deg/sec 단위로 측정하였다. 실험 결과는 그림 10과 같으며 200 deg/sec까지 선형적으로 증가됨을 확인 할 수 있다. 초기에 0.5V 값은 실제 노드 점에서 발생하는 offset 값이다.

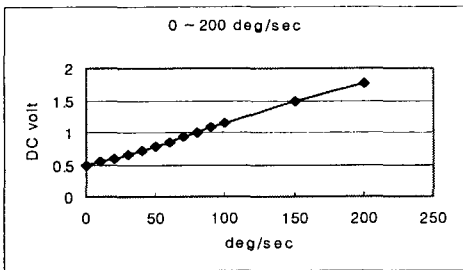


그림 10. 회전량 검출 데이터

4.2 공진 주파수 탐색 실험

자이로 제어기에서 공진 주파수를 찾기 위해 그림 11

의 알고리즘을 이용하였다. 초기에 정의된 주파수 (base-frequency)에서 1Hz 씩 변화해가며 $\pm 100\text{Hz}$ 사이를 탐색한 후 그 중에서 가장 큰 ADC 값을 갖는 주파수를 저장(MAX)하도록 함으로써 공진 주파수를 찾을 수 있었다.

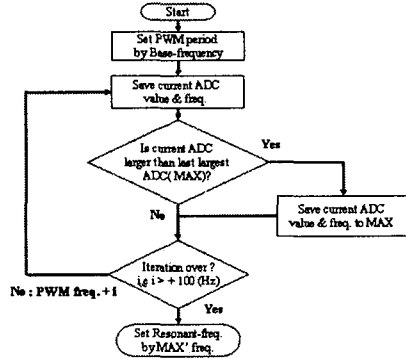


그림 11. 공진 주파수 탐색 알고리즘

5. 결 론

본 논문에서는 소형, 경량화 및 대량 생산에 적합할 수 있도록 DSP를 이용한 실린더형 진동 자이로 제어기를 개발하였다. 자이로를 정밀 제어하기 위해 실린더를 PWM 기능을 통해 공진시켰으며 출력 신호는 아날로그와 디지털 회로를 적절히 조합함으로써 처리하였다. 레이트 테이블을 통한 실험으로 회전량이 선형적으로 변화됨을 확인하였고 공진 주파수를 찾는 알고리즘도 구현하였다. 방향성 검출과 온도 보상 알고리즘은 추후 연구 과제로 계획 중에 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이상훈, 김용권, "전자력을 이용한 평면 진동형 자이로스코프의 제작", 대한전기학회 추계학술대회, pp.195-197, 1993.11
- [2] 이정영, 홍성경, "전자기력을 이용한 실린더형 진동 자이로스코프연구", Journal of Control, Automation and Systems Engineering, 1995. 9.
- [3] Philip W. Loveday, "Analysis And Compensation of Imperfection Effects In Piezoelectric Vibratory Gyroscopes"
- [4] TI, "TMS320LF/LC240xA DSP Controllers references Guide", 2002.
- [5] 권혁성, 이학성, "전자기력을 이용한 실린더형 진동 자이로스코프의 모델링", 대한전자공학회 국제 예정