

論文2003-40SD-4-9

# 진동형 각속도 검출 센서를 위한 애널로그 신호처리 ASIC의 구현 (Implementation of Analog Signal Processing ASIC for Vibratory Angular Velocity Detection Sensor)

金 晴 月 \* , 李 秉 烈 \*\* , 李 尚 禹 \*\* , 崔 俊 赫 \*\*

(Cheong-Worl Kim, Byeung-Leul Lee, Sang-Woo Lee,  
and Joon-Hyock Choi)

## 요 약

본 논문은 진동형 각속도 검출 센서로부터 각속도 신호를 검출하는 애널로그 신호처리 ASIC의 구현에 관한 것이다. 각속도 검출 센서의 출력은 구조적으로 콘덴서의 용량변화로 나타나므로 이를 검출하기 위하여 전하 증폭기를 이용하였으며, 센서의 구동에 필요한 자체발진회로는 각속도 검출 센서의 공진 특성을 이용한 정현파 발진회로로 구현하였다. 특히 센서의 제조 공정으로 인한 특성 변화나 온도 변화와 같은 외부 요인에 의한 자체발진특성의 열화를 방지하기 위하여 자동이득조절회로를 사용하였다. 진동형 각속도 검출 센서의 동작특성에 의하여 진폭변조 형태로 나타나는 각속도 신호를 검출하기 위하여 동기검파회로를 사용하였다. 동기검파회로에서는 반송파의 크기에 따라 검파신호의 크기가 달라지는 현상을 방지하기 위하여 스위칭 방식의 곱셈회로를 사용하였다. 설계된 칩은 0.5 $\mu$ m CMOS 공정으로 구현하였으며, 1.2mm  $\times$  1mm의 칩 크기로 제작되었다. 실험 결과 3V의 전원전압에서 3.6mA의 전류를 소비하였으며, 칩과 각속도 센서를 결합한 정상동작상태에서 직류에서 50Hz까지 잡음 스펙트럼 밀도는  $-95 \text{ dBrms}/\sqrt{\text{Hz}}$ 에서  $-100 \text{ dBrms}/\sqrt{\text{Hz}}$  사이에 존재하였다.

## Abstract

This paper presents the implementation of an analog signal-processing ASIC to detect an angular velocity signal from a vibratory angular velocity detection sensor. The output of the sensor to be appeared as the variation of the capacitance value in the structure of the sensor was detected using charge amplifiers and a self oscillation circuit for driving the sensor was implemented with a sinusoidal self-oscillation circuit using the resonance characteristics of the sensor. Specially an automatic gain control circuit was utilized to prevent the deterioration of self-oscillation characteristics due to the external elements such as the characteristic variation of the sensor process and the temperature variation. The angular velocity signal, amplitude-modulated in the operation characteristics of the sensor, was demodulated using a synchronous detection circuit. A switching multiplication circuit was used in the synchronous detection circuit to prevent the magnitude variation of detected signal caused by the amplitude variation of the carrier signal. The ASIC was designed and implemented using 0.5 $\mu$ m CMOS process. The chip size was 1.2mm  $\times$  1mm. In the experiment under the supply voltage of 3V, the ASIC consumed the supply current of 3.6mA and noise spectrum density from dc to 50Hz was in the range of  $-95 \text{ dBrms}/\sqrt{\text{Hz}}$  and  $-100 \text{ dBrms}/\sqrt{\text{Hz}}$  when the ASIC, coupled with the sensor, was in normal operation.

**Keywords** : Angular Velocity, Detection, Sensor, Analog, ASIC

\* 正會員, 安東大學校 師範大學 電氣電子工學教育科  
(Department of Electrical and Electronics Engineering  
Education, College of Education, Andong National  
University)

\*\* 正會員, 三星綜合技術院 MEMS Lab  
(Samsung Advanced Institute of Technology)  
接受日字:2002年10月25日, 수정완료일:2003年3月28日

## I. 서 론

반도체 칩의 집적도를 급속히 증가시키고 있는 반도체 가공기술의 발전은 MEMS(Micro Electro Mechanical System)라는 새로운 기술 분야를 낳고 있다<sup>[1]</sup>. 반도체의 미세 가공기술을 이용하여 초소형 기계를 제작하는 MEMS 기술은 전자회로와 미소기계를 동일한 칩 내에 집적할 수 있게 함으로써 반도체 칩이 단순히 회로소자로서의 역할을 넘어서 칩 외부의 물리적인 요소를 감지하고 조작할 수 있는 system-on-a-chip 형태로 발전이 가능하게 하고 있다. 아직 초기단계이지만 MEMS 제품으로는 압력 센서, 가스 센서, 가속도 센서 및 각속도 센서 등이 실용화되고 있으며, 이외에도 의료용이나 광통신 및 산업기계용 등으로 활발한 연구가 진행되고 있다<sup>[2-4]</sup>.

MEMS 기술을 이용한 각속도 센서는 여러 가지 방법으로 구현되고 있으며, 구현 방법에 따라 신호를 감지하고 처리하는 방법이 달라진다<sup>[6-10]</sup>. 그 중에서도 진동형 각속도 검출 센서는 두 개의 다른 진동모드(mode)로 진동하고 있는 물체사이에는 회전운동에 의하여 에너지 이동이 발생한다는 원리를 바탕으로 하고 있다. 이 때 회전운동에 의하여 유기되는 힘을 콜리올리스 힘(Coriolis force)이라고 하고, 콜리올리스 힘에 의하여 진동모드가 다른 두 물체사이에서 변위차가 발생하게 된다. 이러한 변위차는 두 물체사이의 콘덴서 용량변화로 측정할 수가 있다<sup>[7]</sup>. 변위차를 감지하는 방법으로는 트랜스레지스턴스(transresistance) 증폭기를 이용하거나<sup>[11,12]</sup> 전하증폭기를 이용한다<sup>[7-9]</sup>.

지금까지는 전자식 각속도 센서로는 압전소자를 이용한 진동형 각속도 센서가<sup>[14]</sup> 주로 사용되고 있으나, 최근에는 0.2°/sec의 각속도 해상도를 가지며 ±100°/sec의 각속도 범위를 측정할 수 있는 MEMS형 각속도 센서가<sup>[12]</sup> 신호처리 ASIC을 내장하여 발표되었다. 발표된 각속도 센서는 일반 대기압에서 동작할 수 있다는 장점은 있으나 각속도 해상도가 낮아서 자동차와 같이 움직임이 큰 응용분야에만 적용할 수 있는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 각속도 센서를 진공 패키지(package)내에서 동작시켜 0.01°/sec의 각속도 해상도로 ±100°/sec의 각속도 범위를 측정할 수 있는 MEMS형 각속도 센서가 발표되었다<sup>[7]</sup>.

본 논문은 진공 패키지 내에서 동작하는 진동형 각속도 센서로부터 각속도 성분을 검출하여 전기적 신호로 바꾸어 주는 애널로그 신호처리 ASIC의 구현에 관한 것이다. 제작된 ASIC에서는 변위차를 검출하기 위하여 전하증폭기를 사용하였고, 스위칭방식의 곱셈회로를 이용한 동기검파방식으로 각속도 신호를 얻었다. 특히 진동형 각속도 센서를 구동하는 자체발진회로에 AGC(Automatic Gain Control)기능을 추가함으로써 각속도 센서가 주변 온도나 진공 패키지의 진공도 차이와 같은 외부 영향으로 인하여 자체발진신호의 크기가 변화하는 것을 최소화시켰다.

본 논문의 II장에서는 진동형 각속도 검출 센서의 동작원리에 대하여 기술하였고, III장에서는 각속도를 검출하는 ASIC에 대한 블록도와 주요 회로에 대한 등가회로가 주어졌다. 제작된 ASIC의 실험 결과는 IV장에 주어졌고, V장에서는 결론 및 향후의 연구 방향에 대하여 기술하였다.

## II. 진동형 각속도 검출 센서의 동작원리

진동형 각속도 센서의 동작은 <그림 1>과 같이 기계적으로 모델링할 수 있다<sup>[7]</sup>. <그림 1>에서 y-축 방향으로 일정한 주파수를 가지고 인가되는 힘  $F_{ey}$ 에 의하여 관성물체  $m$ 은 y-축 방향으로 진동이 일어나게 된다. 이 때 x-축 방향으로 각속도  $\Omega_x$ 가 인가되면 z-축 방향으로 콜리올리스 힘이 유기되고, 그 힘의 크기는 식 (1)과 같이 주어진다<sup>[7]</sup>.

$$F_{cz} = 2m\Omega_x \times V_y \quad (1)$$

식 (1)에서  $V_y$ 는 y-축 방향으로 진동하는 관성물체

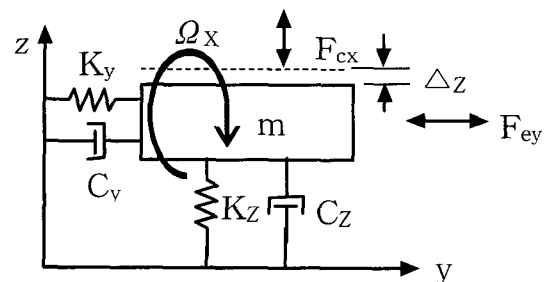


그림 1. 진동형 각속도 검출 센서의 기계적인 모델링  
Fig. 1. Mechanical modelling of the vibratory angular velocity detection sensor.

m의 속도를 나타낸다. 유기된 콜리올리스 힘으로 인하여 관성물체 m은 z-축 방향으로  $\Delta z$ 만큼 이동하게 되고, 이러한 움직임으로 발생하는 변위차는 관성물체와 기판사이에 용량변화로 측정할 수 있다.

<그림 1>에서  $K_y$ 와  $K_z$ 는 각각 y-축 방향과 z-축 방향으로 관성물체 m을 지탱하는 스프링의 상수를 나타내고,  $C_y$ 와  $C_z$ 는 관성 물체가 움직일 때 해당 축 방향으로 공기저항에 의한 댐핑(damping) 계수를 나타낸다.

진동형 각속도 센서의 동작방식에 나타나는 것처럼 신호처리 ASIC에는 용량변화로 나타나는 변위차를 감지할 수 있는 전하증폭기, 기판과 수평방향으로 관성물체를 고유진동주파수로 자체발진시킬 수 있는 공진형 발진회로와 구동회로 및 식 (1)에 나타나는 바와 같이 각속도 신호와 진동 신호의 곱으로 나타나는 진폭변조 형태의 변위차 신호로부터 각속도를 검출하는 동기검파회로가 필요하다.

### III. ASIC 설계

진동형 각속도 센서의 신호처리 ASIC은 <그림 2>에 주어진 것처럼 크게 자체발진회로와 각속도 검출회로로 나누어진다.

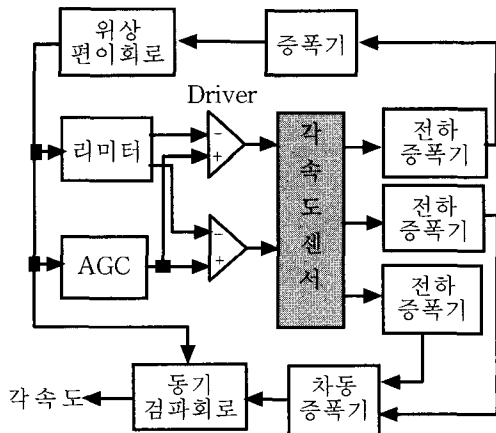


그림 2. 진동형 각속도 검출 센서의 신호처리 ASIC의 블록 구성도

Fig. 2. Signal processing ASIC block diagram of the vibratory angular velocity detection sensor.

자체발진회로는 진공 속의 각속도 센서가 높은 선택도(high-Q)를 가지는 특성을 이용하여<sup>[7,8]</sup> 센서의 구조물을 고유진동주파수로 정현파 발진을 일으키는 역할

을 하며, 전하증폭기, 위상편이회로, 리미터, AGC회로 및 구동회로 등으로 구성된다.

각속도 검출회로는 외부 잡음에 의한 영향을 최소화시키기 위하여 차동의 진폭변조 형태로 나타나는 변위차를 검출하고 이를 검파하여 각속도 신호를 추출하는 역할을 하며, 두 개의 전하증폭기와 차동증폭기 및 동기검파회로 등으로 구성된다.

#### 1. 자체발진회로

진동형 각속도 검출 센서는 각속도 신호가 없을 때에도 항상 지면과 수평방향으로 센서 구조체의 고유주파수로 진동을 한다. 이러한 진동은 전하증폭기와 구동회로가 센서에 연결되어 구성되는 폐루프(closed loop)와 센서의 높은 선택도로 인하여 형성되는 정현파발진회로에 의하여 발생된다. 센서의 고유진동주파수에서 자체발진이 일어나도록 증폭기와 위상편이회로로 폐루프의 이득과 위상을 조정한다.

전하증폭기는 <그림 3>에 등가회로를 주어진 회로로 사용하였다. <그림 3>에서  $C_S$ 는 각속도 센서의 구조체에 의하여 형성되는 콘덴서 용량을 나타내고,  $\Delta C_S$ 는 회전운동으로 구조체에 발생하는 변위차를 콘덴서 용량변화를 나타낸 것이다.

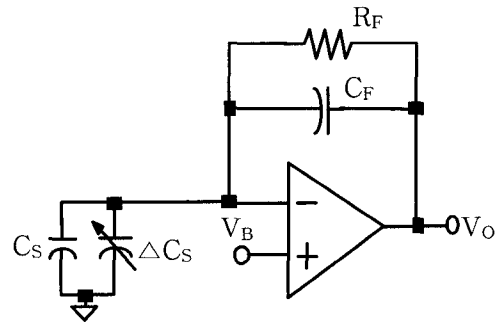


그림 3. 전하 증폭기의 등가회로

Fig. 3. Equivalent circuit of the charge amplifier.

전하증폭기의 게환저항  $R_F$ 가  $1/\omega C_F$  보다 충분히 크다고 가정하면, 전하 증폭기의 출력신호는 식 (2)와 같이 주어진다.

$$V_O = \frac{C_S + \Delta C_S}{C_F} V_B \quad (2)$$

식 (2)에 나타난 바와 같이 주어진 각속도 센서에 대

하여 전하증폭기의 출력 신호는 콘덴서  $C_F$ 와 바이어스 전압  $V_B$ 에 의하여 결정된다.

전하증폭기의 캐패시터  $C_F$ 와 캐패시터 저항  $R_F$ 는 각각  $2pF$ 와  $300M\Omega$ 를 사용하였으며, 바이어스 전압  $V_B$ 는  $0V$ 에서 전원전압까지 조정할 수 있도록 레일-투-레일 (rail-to-rail) 입출력 연산증폭기를 사용하여 센서의 구조체 특성변화로 인한 감도를 보상할 수 있도록 하였다.

위상편이회로는 <그림 4>에 주어진 등가회로처럼 위상지연회로 구성되어 있으며, 이득을 일정하게 유지하면서 특정 주파수의 신호를  $0$ 도에서  $180$ 도까지 위상을 이동시킬 수 있다.

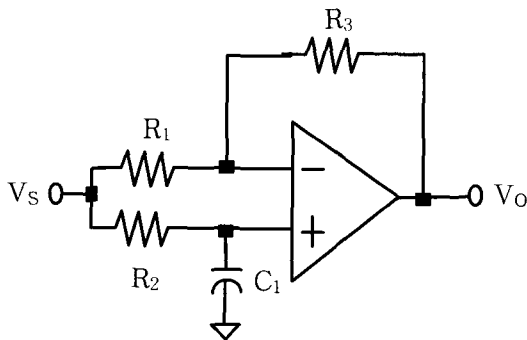


그림 4. 위상편이회로의 등가회로  
Fig. 4. Equivalent circuit of the phase shift circuit.

<그림 4>에서  $R_1$ 과  $R_3$ 는 같은 값을 가지며, 입력 신호와 출력 신호의 위상차는

$$\theta_a = 2 \times \tan^{-1}(2\pi f C_1 R_2) \quad (3)$$

으로 주어진다<sup>13)</sup>.

리미터와 구동회로는 AGC의 출력전압이 구동신호의 직류전압 값을 쉽게 변화시킬 수 있도록 출력신호가 전류로 나타나는 비교회로와 OTA(Operational Transresistance Amplifier)로 구성하였으며, 그 등가회로는 <그림 5>에 주어져 있다.

<그림 5>에서 입력 신호  $V_S$ 는 비교기 CP에서 입력 신호 직류 오프셋(offset) 전압  $V_{BIAS}$ 와 비교되고 그 결과가 차동전류 형태로 비교기 CP의 출력이 나타난다. 차동전류는 연산증폭기와 저항으로 구성된 OTA에 의하여 센서의 구동신호로 바뀌어진다. 본 논문에서는 OTA를 구성하는 연산증폭기는 입력 신호의 CMR(Common Mode Range)를 증가시키기 위하여 레일-투-

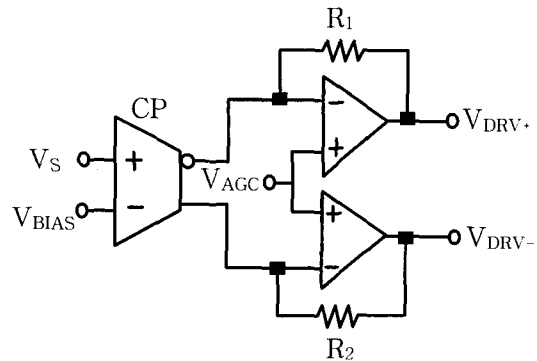


그림 5. 리미터와 구동회로의 등가회로  
Fig. 5. Equivalent circuit of the limiter and driving circuits.

-레일 입출력 연산증폭기로 구현하였고, 구동신호의 크기가  $1V_{p-p}$ 가 되도록 설계하였다.

AGC 회로는 가속도 센서에 인가되는 구동신호의 직류 오프셋 전압을 조정하여 가속도 센서의 진동판과 기판의 간격을 변화시킴으로써 자체발진회로에서 증폭기의 출력신호 크기가 일정하게 유지하도록 한다. AGC의 등가회로는 <그림 6>에 주어져 있다.

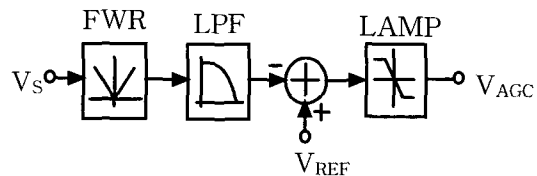


그림 6. AGC회로의 등가회로  
Fig. 6. Equivalent circuit of the AGC.

<그림 6>에서 위상편이회로의 출력 신호  $V_S$ 가 전파정류회로 FWR와 저역통과필터 LPF를 통과하면서 직류전압으로 바뀌고, 기준 신호  $V_{REF}$ 와 비교되어 그 차이 신호가 리미터 증폭기 LAMP에서 증폭되어 AGC의 출력 신호가 된다. 구현된 AGC 회로에서는 리미터 증폭기의 상한값과 하한값은 각각  $2.2V$ 와  $0.5V$ 이며, 기준 신호의 크기와 AGC의 비례 증폭도는 각각  $1V$ 와  $20$ 배로 설계하였다.

## 2. 가속도 검출회로

적용된 진동형 가속도 센서는 구조적으로 센서를 구동하는 신호성분이 가속도 센서의 출력에 피드스루(feedthrough) 신호로 나타난다. 이러한 피드스루 신호

를 상쇄시키고 외부 잡음의 영향을 최소화하기 위하여 각속도 센서의 출력은 차동형으로 구성되어 있다. 따라서 각속도 검출회로에는 두 개의 전하증폭기가 사용되었으며, 전하증폭기의 계환 콘덴서 CF는 각각 1pF로 설계하였다.

두 개의 전하증폭기의 출력은 차동증폭기에서 피드스루 잡음과 외부 잡음이 상쇄되고 10배 증폭되어 동기검파회로에 인가된다. 본 논문에서는 피드스루 잡음과 외부잡음을 최소화하기 위하여 높은 동상신호제거비를 가지도록 차동증폭기의 회로를 설계하고, 부품의 미스매치(mismatch)가 최소가 되도록 레이아웃(layout)을 설계하였다.

센서의 구동신호를 반송파로 하고 각속도 신호를 변조파로 하여 진폭변조형태로 나타나는 차동증폭기의 출력은 <그림 7>에 주어진 동기검파회로를 통하여 각속도 신호성분으로 바뀌어진다.

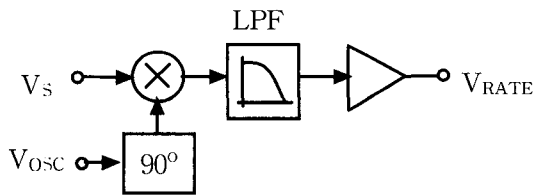


그림 7. 동기검파회로의 등가회로  
Fig. 7. Equivalent circuit of the synchronous detection circuits.

<그림 7>에서 곱셈회로는 길버트(Gilbert) 구조를 이용한 스위칭방식의 곱셈회로로 구현하였다. 설계된 곱셈회로의 스위칭 입력에 위상을 90도 편이시킨 자체발진신호 VOSC를 인가함으로써 반송파 신호의 크기 변화에 따라 검파된 각속도 신호의 크기가 변화하는 것을 방지하였다.

동기검파회로에서 2차 저역통과필터 LPF의 차단주파수는 100Hz, 스위칭 곱셈회로의 이득은  $\pi/2$ 가 되도록 회로를 설계하였다.

#### IV. 실험 결과

본 논문의 ASIC은 0.5 $\mu$ m CMOS 공정을 사용하여 설계 제작하였다. 칩의 크기는 약 1.2mm  $\times$  1mm의 면적을 가지며, 입출력 단자의 보호회로의 부품들을 제외하면 핵심 회로부분은 639개의 MOS 트랜지스터와 2개의

바이폴라 트랜지스터, 86개의 저항 및 63개의 콘덴서로 구현되었다. 사용 가능한 전원전압 범위는 2.7V ~ 3.3V이며, 전원전압으로 3V로 인가한 경우에 3.6mA의 전류를 소모하였다. 제작된 ASIC의 사진과 주요 특성은 <그림 8>과 <표 1>에 각각 주어져 있다.

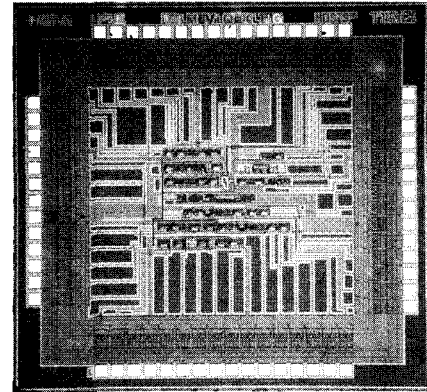


그림 8. 제작된 ASIC의 칩 사진  
Fig. 8. Chip photograph of the ASIC.

표 1. 제작된 ASIC의 전기적 특성  
Table 1. Electrical characteristics of the ASIC.

주요 기능	특성
전원전압	2.7 ~ 3.3 V
소비전류	3.6 mA
잡음밀도	$\leq -95 \text{ dBrms}/\sqrt{\text{Hz}}$
PSRR	$\geq 60 \text{ dB}$
최대출력신호	$2V_{P-P}$
기준출력전압	1.35 V
구동신호	$1V_{P-P}$
위상조정범위	$0^\circ \sim 180^\circ$
AGC 출력전압	0.5 ~ 2.2 V
전하증폭기의 입력신호 CMR	0 ~ 전원전압
동기검파이득	1

진동형 각속도 검출 센서와 제작된 ASIC을 <그림 9>와 같이 하이브리드(hybrid) 형태로 결합하고, 이를 각속도발생장치(rate table)에 부착하여 그 특성을 평가 하였다.

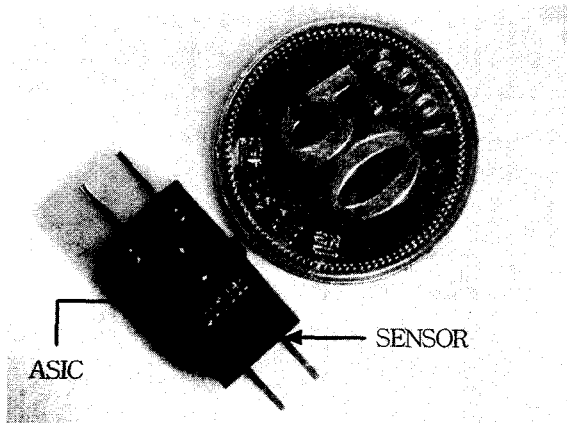


그림 9. 각속도 센서 모듈  
Fig. 9. Angular velocity sensor module.

각속도 센서가 정상동작을 하는 상태에서 잡음 특성을 측정하기 위하여 10deg/sec의 각속도를 0.2초 주기로 인가하고, ASIC 최종출력단자에서 측정한 잡음 스펙트럼이 <그림 10>에 주어져 있다.

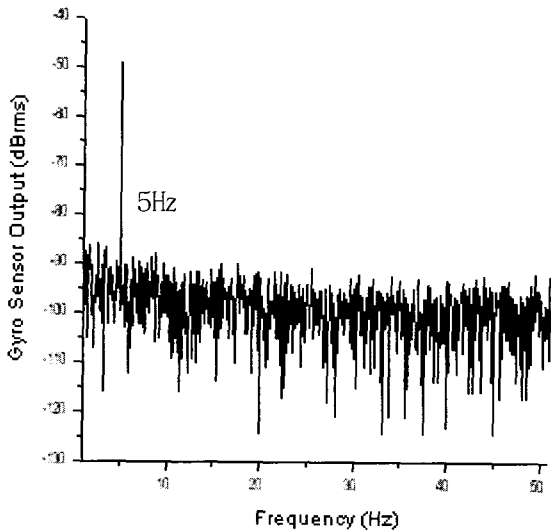


그림 10. 센서와 결합된 ASIC 출력의 잡음 스펙트럼  
Fig. 10. Noise spectrum in the output of the ASIC coupled with the sensor.

<그림 10>에 나타난 것처럼 제작된 각속도의 주파수가 50Hz 이내에서는 센서와 결합된 ASIC의 잡음 스펙트럼의 밀도는  $-95 \text{ dBrms}/\sqrt{\text{Hz}}$ 에서  $-100 \text{ dBrms}/\sqrt{\text{Hz}}$  사이에 나타났으며, 잡음은 주로 MOS 트랜지스터의 1/f 잡음에 기인하였다.

각속도가 진동형 각속도 검출 센서에 인가되면 진폭 변조 형태로 나타나는 구조체의 변위차는 전하증폭기

의 출력신호로 확인할 수 있다. <그림 11>은 7815.8Hz로 진동하는 진동형 각속도 센서에 50deg/sec의 각속도를 0.1초 주기로 인가하였을 때 각속도 검출회로에서 전하증폭기의 출력신호를 진폭 스펙트럼으로 나타낸 것이다.

<그림 11>은 전형적인 진폭변조 신호의 진폭 스펙트럼을 나타내고 있다. 그림의 중앙에 7815.8Hz의 성분은

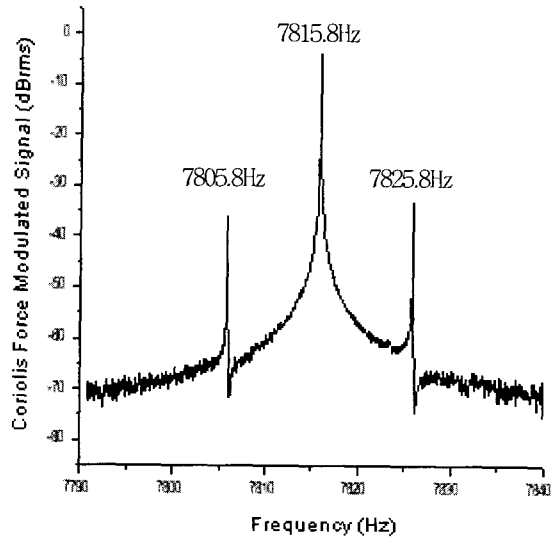


그림 11. 전하증폭기의 출력에 나타나는 진폭변조된 각속도 신호의 진폭 스펙트럼  
Fig. 11. Amplitude spectrum of the amplitude-modulated angular velocity signal in the output of the charge amplifier.

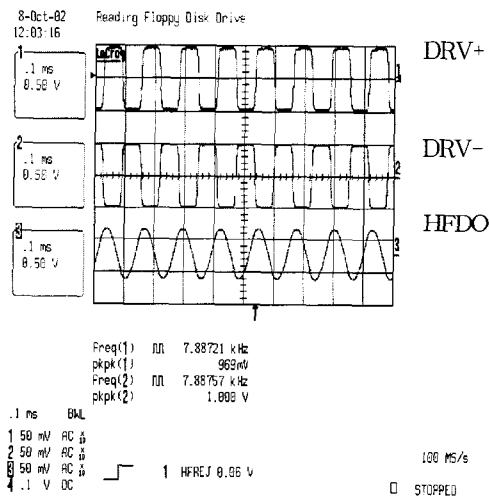
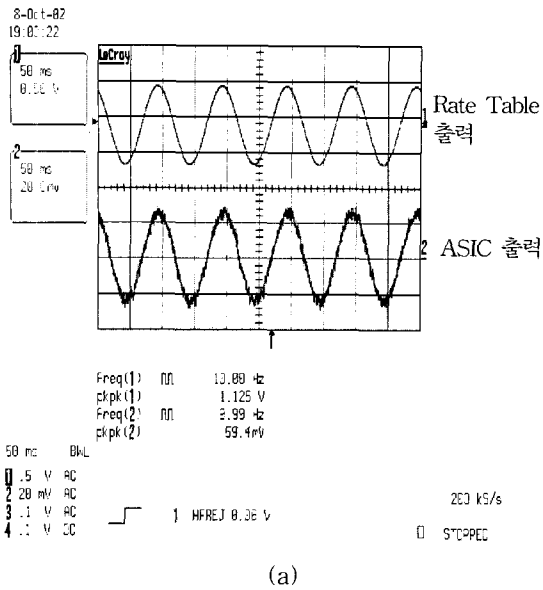
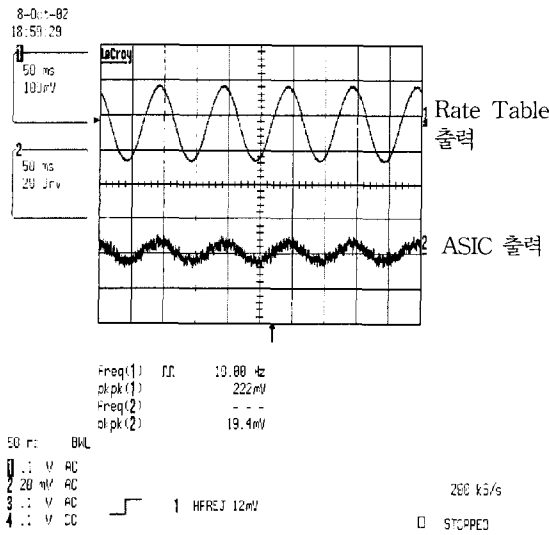


그림 12. 자체발진신호와 센서구동신호  
Fig. 12. Self-oscillation signal and sensor-driving signal.



(a)



(b)

그림 13. ASIC 출력이 나타나는 각속도 신호

- (a) 50deg/sec 각속도를 0.1초 주기로 인가한 경우
- (b) 10deg/sec 각속도를 0.1초 주기로 인가한 경우

Fig. 13. Angular rate signal in the output of the ASIC.

- (a) 50deg/sec angular rate with 0.1sec period is applied.
- (b) 10deg/sec angular rate with 0.1sec period is applied.

반송파에 해당되는 진동형 각속도 센서의 진동신호 성분을 나타내고 있으며, 좌우측에 7805.8Hz와 7825.8Hz 성분은 진폭변조에 의하여 각속도 성분이 주파수가 이

동된 것을 나타내고 있다.

<그림 12>에는 자체발진회로의 주요 신호인 센서 구동신호 DRV+와 DRV- 및 전하증폭기의 출력신호 HFDO가 나타나 있다. <그림 12>에서 전하증폭기의 출력신호와 센서의 구동신호 사이에 약 90도의 위상차는 자체발진을 일으키기 위하여 위상편이회로에서 위상값을 조정된 결과에 기인한다.

각속도 센서에 주기적인 각속도를 인가하여 시간축을 기준으로 측정된 결과가 <그림 13>에 주어져 있다. <그림 13(a)>와 <그림 13(b)>는 각각 50deg/sec의 각속도와 10deg/sec의 각속도를 0.1초 주기로 인가한 경우에 ASIC의 최종 출력을 측정된 것이다. 그림에서 위쪽의 파형은 각속도발생장치의 출력신호를 나타내고 아래쪽의 파형은 각속도 센서 모듈의 최종 출력신호를 나타낸다.

## V. 결 론

본 논문에서는 진동형 각속도 센서에 사용되는 애널로그 신호처리 ASIC을 설계 제작하고 각속도 센서와 결합하여 그 특성을 평가하였다. 0.5μm CMOS 공정으로 제작된 ASIC은 2.7V ~ 3.3V 사이의 전원전압 범위에서 동작이 가능하며, 3.6mA의 전류를 소비하였다. 제작된 ASIC에서는 AGC기능과 스위칭방식의 동기점 파회로를 사용함으로써 센서의 특성 변화가 각속도 검출에 미치는 영향을 최소화시켰다.

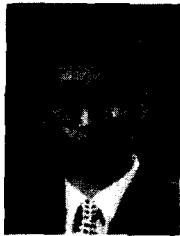
제작된 각속도 센서 모듈은 캡코더의 손떨림방지 기능과 같이 고감도의 각속도 센서가 필요한 분야에서부터 게임기나 자동차 분야까지 여러 분야에 적용될 수 있을 것으로 예상된다.

ASIC의 외부 소자 중에서 전하 증폭기의 궤환 저항은 최소한 수백 MΩ 이상이어야 함으로 ASIC에 내장이 불가능하고, 특히 각속도를 감지하는 부분에서는 저항값의 크기는 감도특성에 영향을 미친다. 이를 개선하기 위해서는 <그림 3>에서 직류 전압을 진폭의 크기가 직류전압의 크기와 같은 수백 KHz의 정현파 신호로 바꾸어줌으로써 콘덴서 CF의 리액턴스가 낮아짐으로 궤환저항 RF는 저항값을 낮출 수 있어 ASIC에 내장시킬 수 있을 뿐만 아니라 MOS 트랜지스터의 1/f 잡음의 영향을 줄일 수 있어 신호대잡음비 특성이 개선될 것으로 예상된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 전국진, "MEMS의 기술 개요와 동향", 전자공학회지, 제28권, 제3호, 19~29쪽, 2001년 3월
- [2] 임근배, 윤대성, "MEMS의 기술과 차세대 생물산업", 전자공학회지, 제28권, 제3호, 43~50쪽, 2001년 3월
- [3] 이종현, "MEMS의 기술과 광통신·부품산업", 전자공학회지, 제28권, 제3호, 51~61쪽, 2001년 3월
- [4] 박효덕, 조남규, "MEMS기술과 차세대 자동차산업", 전자공학회지, 제28권, 제3호, 80~96쪽, 2001년 3월
- [5] 이병렬, "마이크로 관성센서 기술", 전자공학회지, 제28권, 제10호, 39~44쪽, 2001년 10월
- [6] W. A. Clark, "Micromachined Z-axis Vibratory Rate Gyroscope", United States Patent, patent no. 5999233, Nov. 1999.
- [7] K. D Jung, et al., "Reverse Surface Micromachined Silicon Inertial Sensor", Proceedings of the 1st IMS, 19~21 April 2001.
- [8] Y. S Oh, B. L Lee, et al, "A Surface Micromachined tunable vibratory gyroscope", MEMS '97, Nagoya, Japan, pp. 272~277, 1997.
- [9] B. L Lee, et al., "A Novel Resonant Accelerometer: Electrostatic Stiffness Type", International Conference on Solid State Sensors and Actuator(Transducer '99), pp. 1546~1549.
- [10] K. Y Park, H. S Jeong, et al., "Lateral Gyroscope Suspended by Two Gimbals through High Aspect Ratio Etching", Transducer '99, FL, USA, pp. 612~617, 1999.
- [11] C. C. Nguyen and R. T. Howe, "An Integrated CMOS Micromechanical Resonator High-Q Oscillator", IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 34, pp. 440~455, Apr. 1999.
- [12] J. A. Green, S. J. Sherman, et al., "Single-Chip Surface-Micromachined Integrated Gyroscope with 500/hour root Allan Variance", ISSCC 2002, 346~347, 2002.
- [13] R. F. Coughlin and F. F. Driscoll, "Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits", Prentice Hall, pp. 137~139, 2001.
- [14] Murata, "Piezoelectric Vibrating Gyroscopes (GYROSTAR) ENC Series", Murata PDF catalog(S42E3.pdf), 2003.

## 저 자 소 개



金 晴 月(正會員)

1980년 영남대학교 전자공학과 학사. 1983년 한국과학기술원 산업전자공학과 석사. 1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사. 1983년 3월~1987년 2월 금성반도체 연구소 주임연구원. 1990년 1월~1991년 10월 금성일렉트론 중앙연구소 책임연구원. 1991년 11월~1995년 2월 (주)대륙기전 전자기계연구소 연구소장. 1995년 3월~현재 안동대학교 전기전자공학교육과 부교수. <주관심분야 : 애널로그 신호처리 및 집적회로 설계, 마이크로프로세서 응용>



李 秉 烈(正會員)

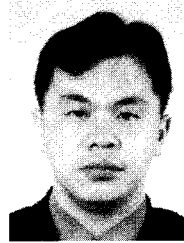
1989년 한양대학교 전자공학과 학사. 1991년 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사. 1991년 2월~현재 삼성종합기술원 MEMS Lab. 전문연구원. <주관심분야 : MEMS Inertial Sensor, 애널로그 회로 설계>





李 尚 禹(正會員)

1993년 서울대학교 제어계측공학과 학사. 1995년 서울대학교 의용생체공학과 석사. 2000년 서울대학교 전기공학부 박사. 2000년 4월~2001년 4월: 서울대학교 반도체 공동연구소 특별 연구원. 2001년 4월~현재: 삼성종합기술원 MEMS Lab. 전문연구원. <주관심분야 : MEMS Inertial Sensor, 애널로그 회로 설계>



崔 俊 赫(正會員)

1992년 고려대학교 전자공학과 학사. 1999년 고려대학교 전자공학과 석사. 1999년 LG전자 DM연구소 연구원. 2000년 8월~현재 삼성종합기술원 MEMS Lab. 연구원. <주관심분야 : MEMS Inertial Sensor, 애널로그 회로 설계>