

MEMS 각속도계를 위한 AGC 및 전하증폭기

박경진*, 강성목**, 김호성**
 중앙대학교*

Automatic Gain Control and Charge Amp for MEMS Gyroscope

Kyoung-Jin Park*, Seong-Mook Kang**, Ho-Seong Kim**
 Chung-Ang University*

Abstract - MEMS 각속도계에서 일정한 크기와 주파수를 가지는 진동을 주기 위한 공진기 회로는 각속도계의 성능에 가장 큰 영향을 미친다. 특히 공진기 회로에서 기계구조물의 미세한 진동에 의해 발생하는 수 pico-coulomb의 전하를 증폭하는 전하증폭기와 feedback된 신호를 안정된 크기로 만들어 주는 AGC(Automatic Gain Control) 회로의 정밀도가 MEMS 각속도계의 정밀도를 결정짓는다. 본 논문에서는 전하증폭기의 실제적인 회로의 등가 회로 출력 공식을 실험을 통하여 확인하였고, 입력 신호의 주파수가 MEMS 각속도계의 설계 공진 주파수인 30 kHz일 때 0.15 pC 단위까지 측정 가능함을 확인하였다. AGC회로의 경우 simulation을 통하여 동작을 확인하였고, 실제 AGC 회로를 제작하여 실험한 결과, 오실로스코프로 확인하기 어려울 정도로 안정된 출력을 얻었다.

1. 서 론

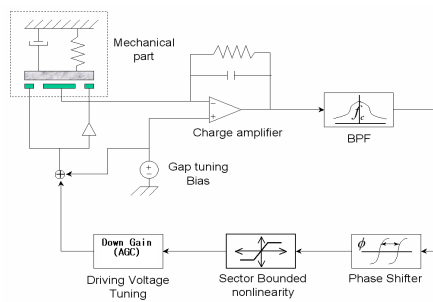
MEMS 각속도계는 MEMS 공정을 이용한 물체가 회전하는 속도(각속도)를 측정하는 센서이다. 이는 자동차 에어백, 정밀 유도 미사일 등에 장착되어 미세한 변위가 발생하는 것을 감지하게 된다. 최근에는 캠코더나 디지털 카메라에 장착되어 고화질의 영상을 얻는데 사용되고 있다. 응용분야 또한 군사·자동차·휴대기기 등 다양하여 그 시장성도 매우 밝다.

본 연구에서는 MEMS 각속도계의 고정밀화를 위해서 전하 증폭기와 AGC 회로를 설계하고 실제 board를 제작하여 실험하였다.

2. 본 론

2.1 MEMS 각속도계 공진기 회로

MEMS 각속도계의 기계구조물이 일정한 변위와 고정된 주파수 30 kHz로 공진하려면 수 nanometer의 진동 변위를 전기적인 신호로 변환하고 feedback 시키는 공진기 회로가 필요하다. 이러한 공진기 전체의 블록 선도를 그림 1에 나타내었다. 공진기 회로의 정밀도를 결정짓는 블록인 전하증폭기와 AGC의 회로를 각각 설계하고 simulation과 실제 실험을 통하여 얻은 결과를 본 논문에서 나타내었다.



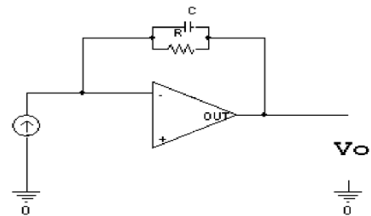
〈그림 1〉 공진기 전체의 블록 선도

2.2 전하 증폭기(Charge Amplifier)

전하 증폭기와 transimpedance Amplifier의 modified 회로는 그림 2에 나타낸 것처럼 그 구조가 동일하다. 이상적인 전하 증폭기 회로의 feedback part는 커패시터로만 이루어져 있지만 실제 회로에서는 DC path가 있어야 op-amp의 동작이 가능하므로 저항을 병렬로 연결해야 한다. 반면 이상적인 transimpedance Amplifier 회로의 feedback 회로는 저항으로만 이루어져 있지만 실제 회로에서는 고조파 성분을 제거하기

위해 커패시터를 병렬로 연결한다.

전하 증폭기와 transimpedance amplifier의 차이점은 feedback 회로에서 커패시터와 저항의 임피던스를 비교해보면 알 수 있다. 즉, $|1/\omega C| \ll |R|$ 인 경우 전하 증폭기로 동작하고, $|1/\omega C| \gg |R|$ 인 경우 transimpedance amplifier로 동작한다. 이것은 feedback 회로에서 병렬로 연결된 커패시터와 저항 중 어느 것이 출력 전압에 영향을 미치는 가를 의미한다.



〈그림 2〉 실제적인 Charge Amplifier와 Transimpedance Amplifier의 기본 회로

2.2.1 MEMS 각속도계에서 전하 증폭기의 등가 회로

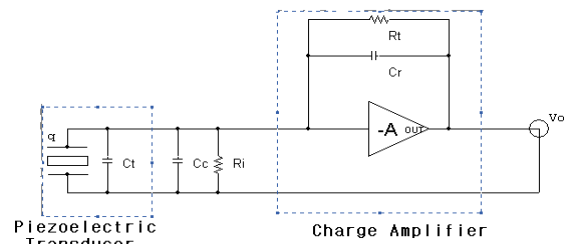
MEMS 각속도계의 기계구조물을 piezoelectric transducer로 가정하고, 그 출력이 전하증폭기에 연결된 시스템의 등가 회로를 그림 3에 나타내었다. 등가 회로의 출력전압 공식은 다음과 같다.[1]

$$V_o = \frac{-q}{C_r} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{AC_r}(C_r + C_t + C_c)} \quad (1)$$

이 식에서 A가 매우 크고 C_r 이 C_c 와 C_t 의 합 보다 매우 크다고 가정하면, piezoelectric transducer에서 발생하는 전하가 일정할 경우 V_o 은 C_r 의 역수에 비례하는 근사식을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$V_o = -q \times \frac{1}{C_r} \quad (2)$$

- C_t : transducer capacitance
- C_c : cable capacitance
- C_r : range (or feedback) capacitance
- R_t : time constant resistance
- R_i : insulation resistance
- V_o : output voltage
- q : charge generated by the transducer
- A : open loop gain



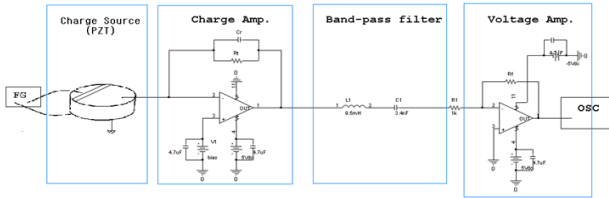
〈그림 3〉 전하 증폭기의 등가 회로

2.2.2 전하 증폭기 실험 결과

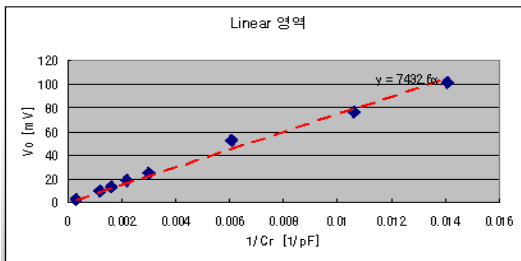
등가회로에서 charge source로 piezoelectric transducer(PZT)를 사용하였고 잡음을 제거하기 위해 band-pass filter를 사용하였으며, 출력을 증폭하기 위해 voltage amplifier를 추가하였다. 실험에서 PZT로 들어가는 입력 V_{ex} 는 100 mV_{pp} , 30kHz 이고 C_r 을 변화 시키면서 전하 증폭기 등가 회로의 근사식을 확인 하였다. PZT의 특성상 일정한 전압을 가할 경우 일정한 전하량이 출력되므로, 시스템의 출력 전압 식 2는 q를 기울기로 가지고 $1/C_r$ 이 변수가 되는 직선 방정식이 된다. 그러므로 그림 5에서 나타난 선형 구간의 기울기는 PZT에서 발생하는 전하량이다. 계산 결과 $V_{ex}=100\text{ mV}_{pp}$, 30kHz 일 때, q는 약 7.43 pC 이 발생하였다고 할 수 있다. V_{ex} 의 크기와 PZT에서 발생하는 전하량 q는 비례하므로 실제 실험 환경에서 신뢰할 수 있는 V_o 가 출력되게 하는 V_{ex} 의 최소값인 2 mV_{pp} 를 인가 할 경우, 약 1/50 값인 $q=0.15\text{ [pC]}$ 이 발생된다고 볼 수 있다.

기계 구조물은 커패시터 양단에 bias 전압 V_{bias} 가 걸려있고 커패시터의 면적 S를 가지고 평행한 두 금속판의 사이 거리 d가 변하는 가변 커패시터로 모델링할 수 있는데 그 거리의 변화에 따라 전하량도 변하게 되어있고, 이를 수식화하면 다음과 같다. 그러므로 V_{bias} 가 2V일 경우 실험 결과 측정 가능한 최소의 전하량이 $q=0.15\text{ [pC]}$ 이므로 $\Delta C=75\text{ [fF]}$ 이다. 면적 S와 유전율 ϵ 이 주어지면, 식 3을 이용하여 변위 Δd 도 구할 수 있다. [3]

$$\frac{\Delta q}{V_{bias}} = \Delta C = \epsilon \frac{S}{\Delta d} \quad (3)$$



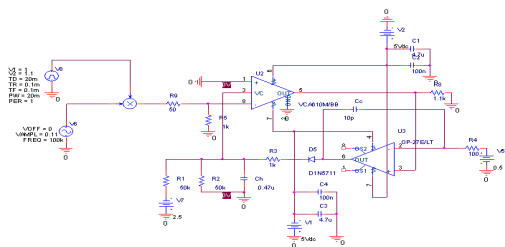
<그림 4> 전하 증폭기의 실험 환경



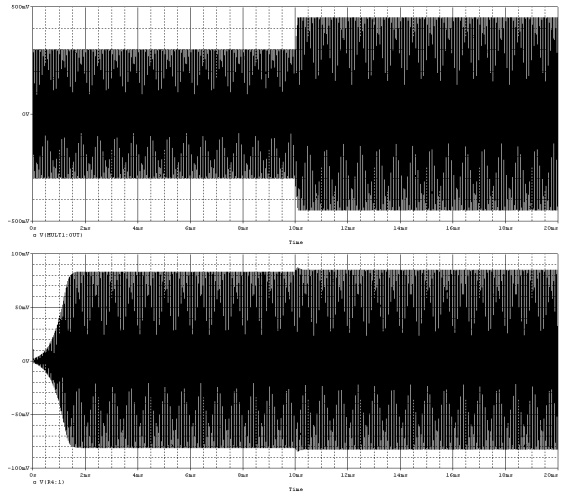
<그림 5> Linear 영역

2.3 AGC(Automatic Gain Control) 설계와 실험 결과

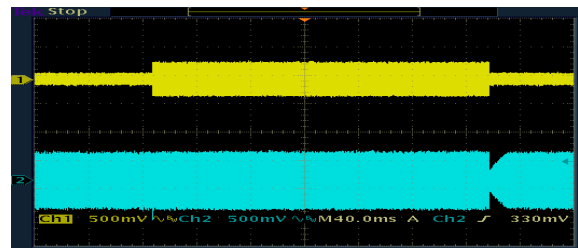
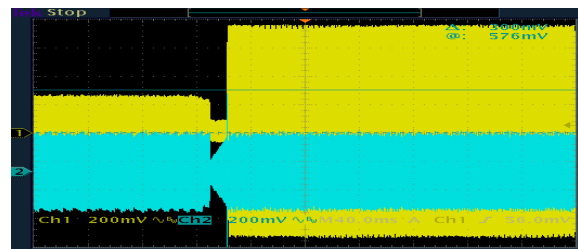
그림 6과 같이 PSpice에서 AGC 회로를 설계하고 simulation한 결과(그림 7) 입력이 10% 변할 경우 출력이 0.5% 변화였다. 그러나 이 결과는 고정밀 각속도계에 적용하기에는 부족하는데 이는 PSpice의 library에 고성능 op-amp가 포함되어 있지 않아 일반적인 op-amp를 사용했기 때문이다. 실제 실험에서는 VCA와 op-amp로는 TI(Texas Instruments)사의 VCA810와 OPA820를 사용하여 AGC board를 제작하여 실험한 결과 오실로스코프로 확인하기 어려울 정도로 안정된 출력을 얻었다.(그림 8) [4]



<그림 6> AGC 회로도



<그림 7> AGC simulation 입력파형(상)과 출력파형(하)



<그림 8> 입력(0.5→1.5[V_{pp}])(상) / 0.25→0.5[V_{pp}])(하)

3. 결 론

본 논문에서는 MEMS 각속도계의 정밀도를 결정짓는 전하 증폭기의 특성을 알아보고 등가 회로를 설계하여 직접 실험하였다. 그 결과 최소 측정 가능한 최소 전하량은 0.15 [pC] 이었고, V_{bias} 가 2V일 경우 계산 할 수 있는 Capacitance의 변화 최소 단위는 75 [fF] 이었다. 이를 통해 각속도계의 기계구조물의 변위를 정밀하게 구할 수 있다. 또한 AGC 회로를 설계하고 simulation 결과보다 실제 실험에서 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 향후 정밀도의 개선을 위해서 실험 board를 PCB로 제작하여 노이즈를 줄인다면 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청 지정 국방MEMS특화연구센터의 지원으로 수행되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] Kistler Instrument Corporation, "The Piezoelectric Effect, Theory, Design and Usage", GlobalSpec.com Technical Library
- [2] OCEANA SENSOR Technologies, "Building a Charge Amplifier", 1998
- [3] David K. Cheng, "Field and Wave Electromagnetics Ch. 3"
- [4] Texas instruments, "VCA810 datasheet application information", 2003