

상용 Single Chip Solution 을 이용한 정전용량형 변위 센서 신호 처리 모듈 개발

김종안*, 김재완, 엄태봉 (한국표준과학연구원 길이/시간 그룹)

Development of a Signal Conditioning Circuit for Capacitive Displacement Sensors Using a Commercial Single Chip Solution

J.-A. Kim*, J. W. Kim, T. B. Eom (Length/Time Group, KRISS)

ABSTRACT

A signal conditioning circuit for capacitive sensors was developed using a commercial single chip solution. Since capacitive displacement sensors can achieve high resolution and linearity, they have been widely used as precision sensors within the range of several hundred micrometers. However, they inherently have a limitation in low frequency range and some nonlinearity characteristics and so a specially designed signal conditioning circuit is needed to handle these properties. Up to now, several companies already have succeeded in the development of the capacitive sensors system and they are commercially available in the market. In this research, to construct the signal processing circuits more easily and simply, we used a universal LVDT signal conditioner (AD698). Since the AD698 provides one chip solution for a basic signal processing including modulation and demodulation using various internal components, we can build the processing circuits successfully with minimal additional circuits: a compensation circuits for the drift caused by the bias current of OP amplifiers and a fine adjustment circuit for the elimination of nonlinearity. The signal processing circuits shows nonlinearity less than 0.05% in the comparison with a laser interferometer.

Key Words : Capacitive displacement sensor (정전용량형 변위 센서), Laser interferometer (레이저 간섭계) Nanoscanner (나노스캐너)

1. 서론

정전용량형 변위 센서는 수 백 μm 이하의 측정 범위에서 나노미터 수준의 높은 분해능을 얻을 수 있어 정밀 변위 측정을 위해 널리 사용되고 있다. 이러한 변위 센서는 레이저 간섭계에 비해 측정 범위가 제한되는 단점을 가지고 있지만, 구조가 간단하고 크기가 작기 때문에 측정 대상물의 크기와 형상에 제한되지 않고 용이하게 적용될 수 있다. 그러나 정전용량형 변위 센서는 여러 가지 요인으로 인하여 비선형적인 특성을 가지게 되기 때문에, 이를 최소화하기 위한 설계와 보정이 필요하다. 이와 같은 특징으로 인하여 정전용량형 변위 센서는 나노스캐너의 되먹임 제어용 변위 센서, 제한된 측정 범위에서 높은 선형성이 요구되는 정밀 변위 측정 등에 응용되고 있고, 상용화된 제품도 출시되고 있다¹.

본 연구에서는 정전용량형 변위 센서의 측정 원리와 상용 single chip solution 을 이용한 신호 처리 모듈의 구성에 대하여 설명한다. 레이저 간섭계를 이용하여 평가시스템을 구성하고 이를 이용한 실험 결과를 제시한다.

2. 측정 원리

정전용량형 변위 센서는 두 전극 사이에서 형성되는 정전용량의 변화를 전기 신호화하여 변위를 측정한다. 그러나 두 전극 사이의 정전용량 변화는 간극 변화에 반비례하고 낮은 주파수의 간극 변화에는 반응하지 않는 특성을 갖는다. 따라서 정밀한 변위 측정을 위해서는 이와 같은 문제점을 해결할 수 있는 신호 처리 모듈이 필요하다¹.

정전용량형 변위 센서의 신호 처리를 위하여 Fig. 1 과 같이 변조 전압 입력과 OP 앰프를 이용하여 전극 사이의 간극 변화와 변조된 출력 전압의 진폭 변화가 식 (1)과 같은 선형적인 관계를 갖도록 한다².

$$e_o = -\frac{C_f}{C_d} \cdot e_{ex} = -\frac{C_f \cdot e_{ex}}{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot A} \cdot d = K \cdot d \quad (1)$$

식 (1)에서 e_o 는 변조된 출력 전압, C_f 는 기준 정전용량, C_d 는 간극 변화에 따른 가변 정전용량, e_{ex} 는 변조된 입력 전압, ϵ_r , ϵ_0 은 유전율, A 는 전극의 면적 그리고 d 는 전극 사이의 간극을 각각 나

타낸다. 그러나 변조된 출력 전압을 직접 사용할 수 없기 때문에 변조 주파수에 비해 충분히 낮은 cut-off 주파수를 갖는 LF 필터나 정류 회로를 이용하여 출력 전압값의 진폭에 비례한 전압 출력값을 얻을 수 있다.

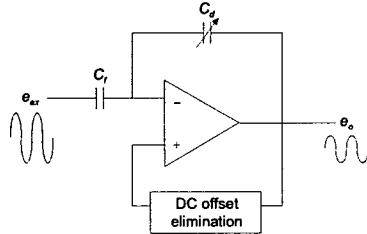


Fig. 1 Schematic diagram of a signal conditioning circuit using an OP amplifier and a modulated sine wave

AD698을 이용하면 Fig. 1의 OP 앰프 부를 제외한 신호 처리 과정을 용이하게 구현할 수 있다. 이 chip은 LVDT 센서의 신호 처리를 위하여 개발된 것이지만 정전용량형 변위 센서의 신호 처리에도 적용될 수 있다. 20 kHz까지의 변조 신호를 넣을 수 있고 신호 처리의 비선형성은 0.05%이다³. 따라서 이를 이용하면 몇 개의 수동 소자만을 첨가하여 정전용량형 변위 센서의 신호 처리 모듈을 제작할 수 있다. 최종 출력단에서는 여러 가지 요인에 의해 발생하는 비선형성을 제거하기 위해, AD633을 이용하여 구성된 3차 다항식 보정 회로를 추가하였다.

3. 실험

제작된 신호 처리 모듈의 성능을 평가하기 위하여 Fig. 2와 같이 레이저 간섭계를 이용한 평가 시스템을 구성하였다. 레이저 간섭계로는 RENISHAW사의 RLE10를 이용하였고 sine/cosine 신호에 비선형성 보정 방법을 적용하여 비선형성이 제거된 변위값으로 변환하였다. 정전용량형 변위 센서를 1축 나노스캐너에 장착하고 0.1 Hz 삼각파를 인가하여 신호 처리 모듈의 출력값과 레이저 간섭계로 얻어진 변위값을 비교하였다 (Fig. 3).

실험 결과에서 보면 제작된 신호 처리 모듈을 이용하여 매우 높은 선형성을 갖는 변위 측정이 가능함을 알 수 있었고, 비선형성은 0.05% 이하로 나타났다. 그러나 출력 신호의 잡음 크기는 ± 20 nm 수준으로 다소 높게 나타났다. 이는 신호 처리 모듈에서 사용된 변조 신호의 교류 성분이 충분히 제거되지 못하고 출력되었기 때문이다. 교류 성분을 제거하기 위한 필터의 컷오프 주파수 선택을 위해서는 신호 모듈의 bandwidth와 잡음 레벨의 크기 간의 타협이 이루어져야 한다. 따라서 신호 모듈

의 bandwidth를 희생하지 않으면서 잡음 레벨을 줄이려면 변조 주파수를 증가시키는 것이 필요하다. 향후에는 이러한 부분에 대한 추가적인 연구를 진행할 예정이다.

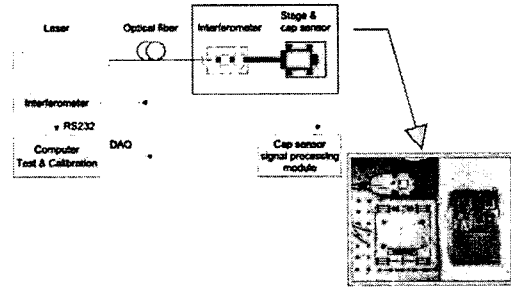


Fig. 2 Experimental setup for the evaluation of signal conditioning circuit using a laser interferometer

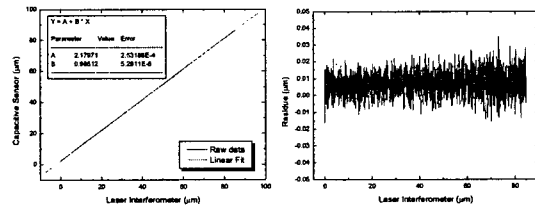


Fig. 3 Experimental results of signal conditioning circuit (linear fitting and residue)

4. 결론

본 연구에서는 상용 single chip solution을 이용하여 정전용량형 변위 센서의 신호 처리 모듈을 개발하였다. 레이저 간섭계와의 비교 실험에서 신호 처리 모듈의 비선형성이 0.05% 이하가 됨을 알 수 있었다. 향후에는 변조 주파수를 증가시켜 신호 처리 모듈의 성능을 향상시키는 연구를 수행할 것이다.

후기

본 연구는 산자부 나노핵심기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Hicks, T. R. and Atherton P. D., "The NanoPositioning Book," Queensgate Instruments Ltd., 1997.
- Doebelin E. O., "Measurement Systems: Application and Design," McGraw Hill, 1990.
- Analog Devices, "AD698: Universal LVDT Signal Conditioner," 1995.