

개회로 광섬유 자이로스코프용 신호처리기의 안정화 A digital signal processor with a stabilizer for open-loop fiber optic gyroscope

김도익, 양광진, 예윤해*
(주)OE Solutions, 경희대학교 전자정보학부*

Abstract

A signal processor for the open-loop fiber optic gyroscope(FOG) is equipped with a stabilizer to reduce the error due to drift of fiber phase modulator (FPM). The stabilizer is designed to be operated to maintain the ratio of amplitude and phase between harmonics in the FOG signal. When FPM stabilizer is used, the temperature drift of FOG is reduced to less than 0.5 deg/hr in change of 20°C.

서론

광섬유 자이로스코프(FOG)에서 광섬유 위상변조기(FPM)용 안정화기를 개선된 디지털 위상추적 신호처리기^[1](ADPT) 신호처리기에 적용하여 그 특성을 시험하였다. PZT에 광섬유를 감아 제작한 광섬유 FPM은 저가로 제작될 수 있으나 대역폭이 좁아 주로 개회로 신호처리에 사용되며, 주위온도에 따라 위상변조 진폭과 위상이 변화하는 단점이 있는 소자로 안정도가 높은 FOG 신호처리를 위해서는 위상변조 안정화기(stabilizer)가 필요하다. 위상 변조 안정화기는 정현파로 위상변조를 할 때 FOG의 광검출기의 출력에서의 발생하는 고조파 성분의 진폭과 위상이 일정하게 유지하도록 설계된 2개의 피드백 제어루프로 구성된다.

구성 및 이론

그림1은 개회로 FOG용 ADPT신호처리기 구성도로 FOG로부터 광검출기 출력은 디지털 값으로 변환하여 이후의 모든 신호처리과정은 디지털로 처리하는 방식으로 아날로그회로의 단점인 굽셈기의 대역폭의 제한과 적분기의 오프셋, 드리프트 현상을 제거할 수 있는 장점이 있다. 신호처리기 자체의 위상잡음 0.4 $\mu\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$, 오프셋 -0.18 μrad 으로 측정되었으며 이는 각각 0.1 deg/hr/Hz^{1/2}와 -0.044 deg/hr의 회전율에 해당한다. 정현파로 위상변조 된 FOG 신호는 다음과 같으며^[2],

$$I_D(t) = \frac{I_0}{2} [1 + \cos(\phi_m \cos \omega_m t + \Delta\phi_R)]$$

$$= \frac{I_0}{2} [1 + [J_0(\phi_m) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}(\phi_m) \cos 2n\omega_m t] \cos \Delta\phi_R - [2 \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n-1}(\phi_m) \sin(2n-1)\omega_m t] \sin \Delta\phi_R] \quad (1)$$

여기서, ϕ_m 은 위상변조의 진폭, $\Delta\phi_R$ 은 회전에 의해 발생하는 Sagnac위상차이다. 각 고조파성분의 진폭은 디지털화 된 광검출기 신호와 검출하고자하는 주파수의 정현파를 곱하고 적분하여 얻은 DC 값으로 추출한다. 본 실험에서는 간단한 하드웨어 구현을 위해 정현파의 곱셈 대신에 구형파의 곱셈으로 고조파 성분의 진폭을 추출하는 방법을 사용하였으며 약 0.52 % 오차로 측정이 가능하다. 회전율이 0 rad 근처에서는 대부분이 짝수 고조파 성분이므로 위상변조 진폭 안정화에 제 2고조파와 제 4고조파를 사용하며 2.77rad의 위상변조진폭에서 제 2고조파와 제 4고조파의 비율은 약 4.6이 되며 이 비율이 유지되도록 위상변조진폭을 조절한다. 고조파의 위상변화는 디지털화 된 광검출기 출력의 MSB와 주파수가 $2\omega_m$ 인 구형파와 곱하고 적분하여 광검출기의 위상변화를 검출하여 위상변조신호의 위상을 조정하여 제어하는 방법을 사용하였다.

실험 및 측정결과

그림2는 위상변조 안정화기를 사용하지 않고 FOG에 약 15°C의 온도변화를 주었을 때 ADPT신호처리기의 출력 값(회전율)의 변화를 측정한 것으로 온도변화의 과도기를 제외하면 출력 값의 drift

는 약 1 deg/hr로 측정되었다. 그림 3에서 위상변조 안정화기를 사용하여 신호처리에서 측정된 두 고조파비율이 4.6으로 유지하고 광검출기의 위상변화를 안정화하여 측정된 것으로 온도변화의 과도기를 제외하면 drift가 현저히 줄어들었다. 위상변조안정기를 사용하지 않은 상태에서 약 20°C의 온도변화를 주고 lock-in amp로 제 2고조파와 제 4고조파의 비율 변화는 약 9.7%로 측정되었으나 위상진폭안정화 회로를 사용한 경우는 약 0.63%로 측정되어 두 고조파의 비율변화가 1/15로 줄어들었다. 그리고, 위상 변조 안정화를 하지 않을 경우 제 2고조파와 제 4고조파의 위상변화는 각각 1.5. 와 3. 로 측정되었으나, 안정화기를 사용하였을 경우 두 고조파의 위상변화를 제거할 수 있었다.

결론

저가의 FPM을 사용한 고해상도·고정밀도의 개회로 FOG 신호처리를 위해서는 FPM 위상변조의 진폭과 위상을 일정하게 유지시키는 안정화기가 필요하며, 본 실험의 위상변조 안정화기로 FPM의 위상변조 진폭과 위상을 제어함으로써 FOG의 온도 드리프트를 최소화 할 수 있었다.

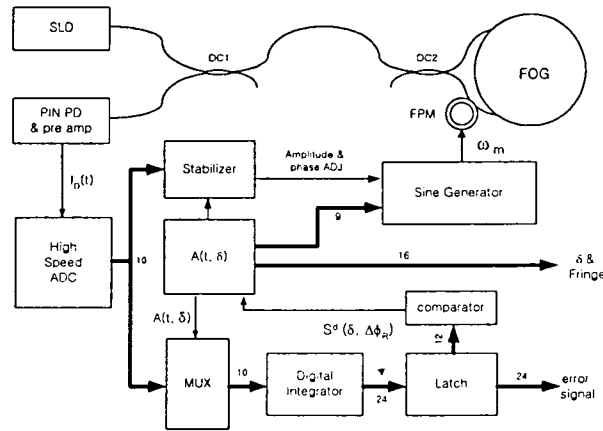


그림 1 위상변조진폭 안정화 회로를 추가한 ADPT 신호처리 구성도

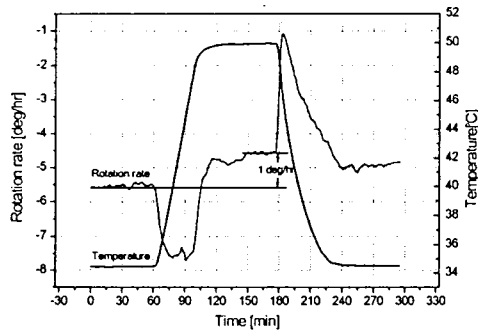


그림 2 위상변조진폭 안정화 사용하지 않을 때 ADPT 신호처리 출력의 온도 drift

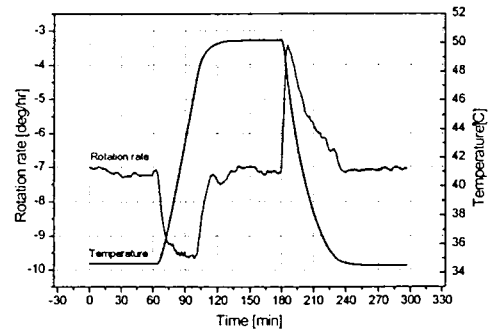


그림 3 위상변조진폭 안정화 사용하였을 때 ADPT 신호처리 출력의 온도 drift

참고문헌

1. Y. Yeh and D. I. Kim, "Close-Loop Signal Processing of the All-fiber Gyroscope", OSA(Optical Society of America) 12th International Conference on Optical Fiber Sensor, 1997.
2. K. Toyama, K. A. Fesler, B. Y. Kim, and H. J Shaw, " Digital Integrating Fiber-Optic Gyroscope with Electronic Phase Tracking", Opt. Lett. 16, pp. 1207-1209 (1991).