

자동으로 공통모드 보상이 가능한 광섬유 센서 시스템

박경섭
제어계측공학과

<요 약>

자동으로 공통모드 보상이 가능한 광섬유 센서 시스템을 구현하였다. 시스템은 변형된 마크-젠더 간섭계, 신호처리 및 데이터 획득회로, 위상조절회로 그리고 공통모드 보상을 수행하는 알고리즘이 내장된 PC로 구성된다. 제안된 간섭계에서는 감지회로와 보상회로로 구성되어 감지회로에서는 우리가 원하는 물리제량을 측정하고 보상회로는 공통모드 보상이 가능하도록 하는 회로이다. 감지회로의 초기 위상이 결정되면 PC에서는 공통모드 보상이 가능한 동작점을 결정하여 그 값을 보상회로의 위상조절회로에 인가하여 공통모드 보상이 가능하게 된다. 모든 실험결과는 이론치와 일치하였다.

Optical Fiber Sensor System which can achieve Common Mode Compensation automatically

Park, Kyung-Sup
Dept. of Control and Instrumentation Engineering

<Abstract>

We implemented an optical fiber sensor system which can achieve common mode compensation automatically. The system consists of modified Mach-Zehnder Interferometer, signal processing and data acquisition circuit phase modulator and personal computer that provide an algorithm for common mode compensation. The modified interferometer consists of sensing circuit and compensating circuit. The sensing circuit measured the measurand and the compensating circuit provide common mode compensation with phase modulator. All experimental results agree with those expected.

I. 서 론

각종 물리량을 정밀 측정하는 광섬유 센서는 기존의 센서에 비해 고감도이고 전자기 간섭 영향이 없으며, 유연성이 좋아 임의의 형태로 제작이 가능하다. 또한 고온, 고압등의 환경에서도 사용이 가능하다는 장점등으로 최근 활발히 연구가 진행되고 있다. [1]

광섬유 센서는 광섬유 자체의 도파광의 변조 방식에 진폭센서, 편광센서, 위상센서로 분류할 수 있는데 특히 구성이 복잡한 편광센서와 저감도의 진폭센서에 비해 간섭계를 사용하는 위상센서는 고감도의 측측을 가능케하고 있다. [2] 그러나 간섭계를 이용한 위상센서는 광원 파장의 변동과 주위 외란(온도, 압력, 진동등)에 의한 출력의 신호대 잡음비(S/N)가 심각한 문제로 대두된다. 이런 문제점을 해결하기 위해 기존의 Mach-Zehnder 간섭계에 새로운 간섭회로를 구성하여 보상할 수 있는 새로운 형태의 간섭계가 제안되었다. [3] 그러나 제안된 간섭계에서는 특정한 동작점에서 간섭계를 동작시켜야 외란을 제거(공통모드보상)할 수 있는데 외부에서 수동으로 조절하기는 실제적으로 불가능하다. 따라서 본 논문은 제안된 간섭계가 자동적으로 공통모드 보상을 가능케 하는 동작점을 유지하는 시스템을 구성하고 제작, 실험하였다.

II. 시스템 구성

1) 간섭계 구성

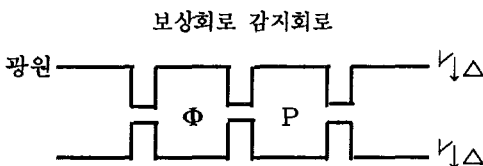


그림 1 공통모드 보상 Mach-Zehnder 간섭계

그림 1은 공통모드 보상을 할 수 있는 제안된 간섭계를 나타낸다. 입력광의 광세기와 출력광의 광의 세기 비인 Transmittance T는

$$T = \frac{1}{2} \{ \cos(P+\Phi) - \cos(P-\Phi) \} \quad (1)$$

$$P = \frac{2\pi}{\lambda} n_e \Delta L_1$$

$$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} n_e \Delta L_2$$

P : 감지회로 두암사이의 위상차

Φ : 보상회로 두암사이의 위상차

n_e : Effective index

$\Delta L_1, \Delta L_2$: 감지회로 및 보상회로 두암사이 길이차

로 주어지며, 이 경우 모든 손실을 무시한 경우이다.

또한 외란 V에 대한 T의 변화는

$$\frac{dT}{dV} = \frac{\partial T}{\partial P} \frac{dP}{dV} + \frac{\partial T}{\partial \Phi} \frac{d\Phi}{dV} \quad (2)$$

$$\frac{dT}{dV} = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{dn_e}{dV} \left(\frac{\partial T}{\partial P} \Delta L_1 + \frac{\partial T}{\partial \Phi} \Delta L_2 \right) \quad (3)$$

여기서 $\frac{dT}{dV} = 0$ 이 되기위해 식(3)을 이용하면

$$\frac{\partial T}{\partial P} \Delta L_1 + \frac{\partial T}{\partial \Phi} \Delta L_2 = 0 \quad (4)$$

이 된다.

위 식의 양변에 $\frac{2\pi}{\lambda} n_e$ 를 취하면 결국

$$\frac{\partial T}{dP} P + \frac{\partial T}{\partial \Phi} \Phi = 0 \quad (5)$$

와 같은 조건을 얻을 수 있으며, 마찬가지로 광원의 파장의 변화에 대해 같은 조건식 ($dT/d\lambda=0$)을 얻을 수 있다. 즉 식(5)의 조건이 만족되면 광원의 파장 변동 및 주위 환경의 외란에 의한 출력 변화를 자체적으로 보상시키므로 안정한 출력값을 얻을 수 있다.

시스템은 크게 간섭계와 신호처리부로 구성되며, 그림 2는 감지회로와 보상회로로 구성된 간섭계와 공통모드 보상을 위한 PC로 구성된 전체 시스템을 나타낸다.

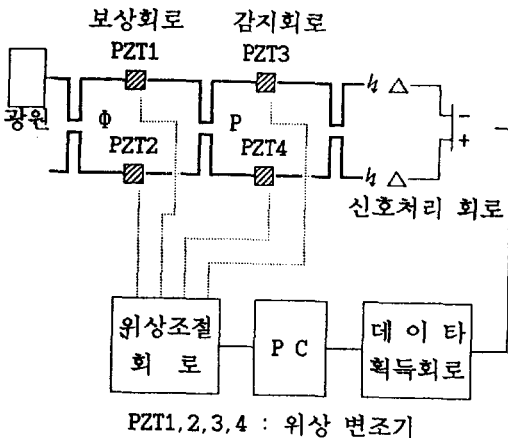


그림 2 전 시스템 블럭다이아그램

PZT1, PZT3은 감지회로와 보상회로에 동일한 위상변화(가상외란)에 대한 출력의 변화를 관측하기 위해 사용된다. 그리고 PZT2, PZT4는 외란에 대한 보상을 위해 P와 Φ 의 위상을 조절하기 위해 사용된다.

2) 신호처리, 데이터 획득회로 및 위상 조절회로

간섭기 두 암의 위상차는 출력단에서 광

도(Intensity)의 변화로 나타나며 PIN PD에 의해 광의 세기를 전류로 바꾼다. 그 신호는 Trns Amp.를 통하여 전압신호로 전환하여 효과적인 출력을 얻기 위해 간섭계 두 출력은 차동 증폭기를 거쳐 시스템의 출력으로 이용한다.

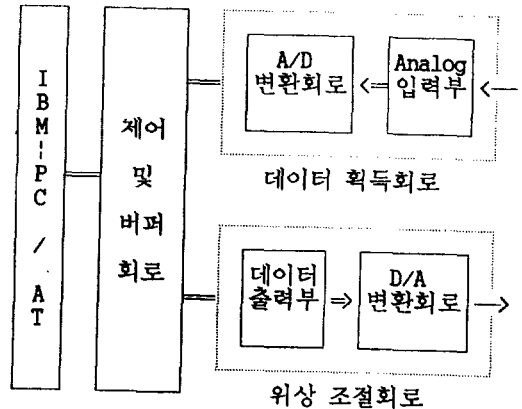


그림 3. 신호처리기 블럭 다이어그램

그림 3은 데이터 획득 회로부와 위상 조절회로부로 구성된 신호처리 블럭 다이어그램으로써 데이터 획득회로부에서 사용한 A/D의 변환시간 8.33mS의 변환시간과 12bit의 Resolution을 가지는 Max 164를 이용하였다. 입력 전압은 -5V~+5V로써 MAX 164의 아날로그 입력은 멀티플렉서인 C-MOS IC 4051을 사용하여 8개의 채널을 가질 수 있도록 하였다. 즉 멀티플렉서 입력단에 S/H(AD684)를 달아 여러 아날로그 값들이 동시에 PC에 보내줄 수 있도록 고려하였다. 변환된 데이터는 IBM-PC에서 사용하지 않고 있는 빈 I/O 어드레스 공간을 사용하며, 인터페이스 회로 i8255의 포트를 이용하여 ADC와 DAC를 제어한다. A/D변환기에서 변환된 데이터는 PC에서 읽어 들어 위상 조절회로로 내 보낼 출력을 결정하게 된다. 위상조절회로는 4개의 D/A변환회로로 구성되며 각각 12bit의 Resolution을 가지며 -12

V~+12까지의 출력을 내 보낸다. DAC의 입력 데이터는 ADC 데이터의 MSB를 반전시켜 넣음으로써 얻을 수 있다. DAC의 입력 전압 데이터와 출력 전압 사이의 관계는 다음과 같다.

BUS 상의 DATA	DAC 입력	출력전압
0000 0111 1111 1111	1111 1111 1111	11.9941
.	.	.
.	.	.
.	.	.
0000 0000 0000 0000	1000 0000 0000	0.0000
.	.	.
.	.	.
.	.	.
1111 1000 0000 0000	0000 0000 0000	-12.0000

표 1. DAC 입력과 출력전압의 관계

PZT에 인가되는 전압과 위상과의 관계는 PZT 특성실험결과 약 8V에서 π 의 위상차를 얻을 수 있었으며 이것은 충분히 한 파장이상의 조절이 가능하다. 4개의 DAC 출력은 각각 PZT1, PZT3는 가상외란 인가용으로, PZT2, PZT4는 외란에 대한 보상 신호로 인가된다.

3) 공통모드 보상 알고리즘

외란에 영향을 받지 않는 동작점의 결정은 PC에 의해 C와 어셈블리 언어로 프로그래밍하여 구현하였다.

그림 4는 전체 프로그램 중 외란에 대한 보상 프로그램부로서 NewError는 P와 Φ 의 동시 위상 변화에 대한 출력의 변화이고, OldError는 이보다 한 단계 전의 NewError로써 이 값들을 서로 비교하여 Φ 에 인가하는 전압을 계속 감소 또는 증가시켜야 할지를 판별하게 된다. 여기서 d는 기타의 잡음으로 인하여 Φ 의 증감을 판별하는 j가 바뀌는 것을 방지하기 위하여 임의로 넣어진 값으로 여기서는 실험적으로 35mV가

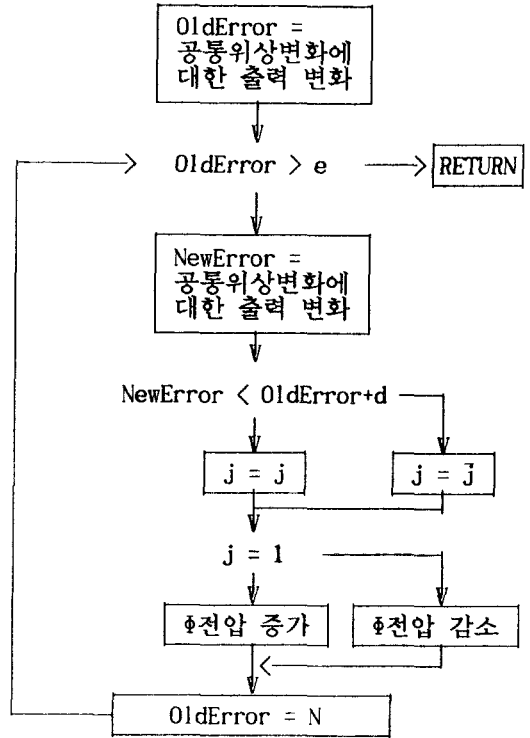


그림 4. 공통모드 보상 알고리즘

량 주었다. 이와 같이하여 한 번의 루프를 반복할 때마다 F에 인가하는 전압을 7mV 씩 증가 또는 감소시키고 있으며, P와 Φ 에 대한 동시 위상 변화에 대한 출력의 변화량이 e값 이하가 될 때 이 루프를 벗어나게 된다. 여기서는 전기적인 잡음량등을 고려하여 e의 값을 70mV로 하였다.

III. 실험 결과 및 검토

실험에서 사용된 광원은 He-Ne 레이저를 이용하였으며 Newport사 F506B(삽입손실 0.8dB)의 광섬유 방향성 결합기를 이용하여 광섬유 간섭계를 구성하였다. 또한 위상 변조기 PZT(Vernitron사 16-16062)에 광섬유를 12회 감아 위상변조를 하였다.

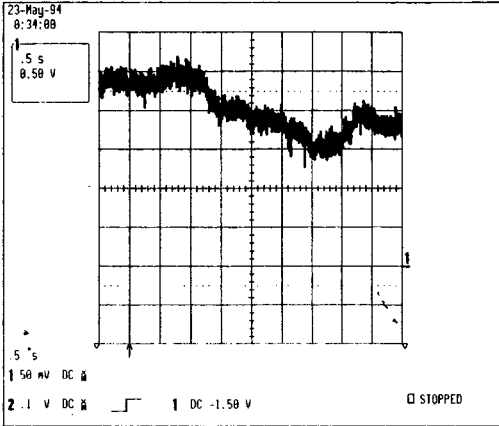


그림 5. 외란에 의한 출력변화

그림 5는 보상신호가 없을 때 주위 외란에 의한 출력의 변화를 나타내며, 외란에 대한 출력의 심한 흔들림을 알 수 있다.

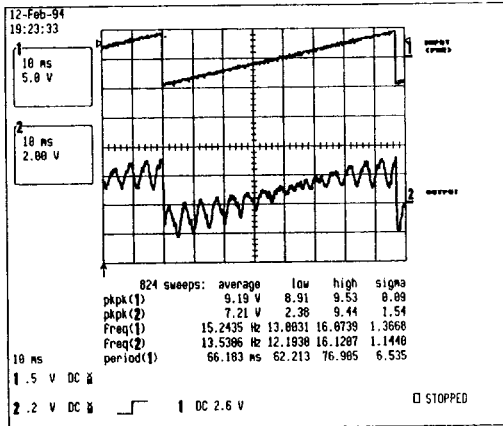
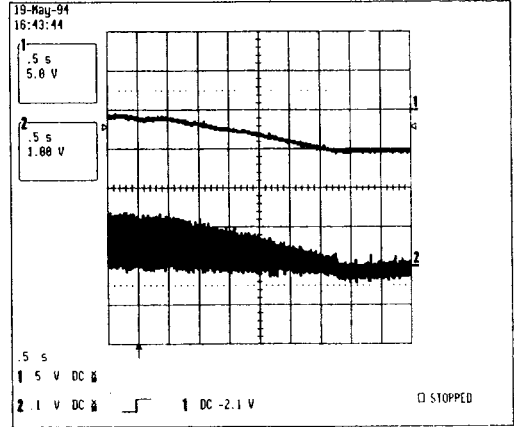


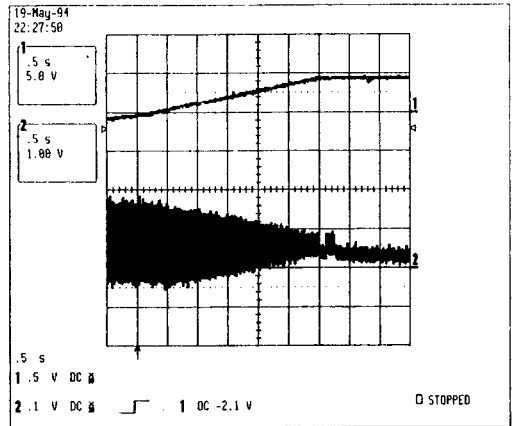
그림 6. 위상차 P의 변화에 대한 출력변화

그림 6은 위상 변조기 PZT1, PZT3에 가상 외란 정현파 200 Hz, 1.8V_{pp}를 인가한 후 PZT2에 톱니파 전압을 인가한 후 출력의 변화를 측정하였다. 그림에서 외란에 의한 출력의 변화가 없는 점이 존재하며 시스템이 외란에 의한 출력의 변화를 제거(공통모드 보상)가 가능함을 알 수 있다.

그림 7, (a)는 보상회로에 보상하지 않았을 경우 외란은 1.5V로서 Φ 를 감소시키므로써 외란을 제거하여 안정한 동작점으로 가는 것을 보여주며, (b)는 Φ 를 증가시키



(a)



(b)

그림 7. 공통모드 보상회로의 출력

므로써 안정한 동작점으로 가는 것을 나타낸다. 이와 같이 외란에 대한 영향을 효과적으로 제거(공통모드 보상)하여 안정한 출력을 얻을 수 있었다.

위 시스템이 실제 응용될 경우 계측량은 감지회로의 위상차 P에 영향을 주어 동작점(공통모드 보상점)으로부터 이탈하게 되며 이를 보상하기 위해 다시 인가 해주는 F의 변화량이 계측량에 해당된다.

IV. 결 론

외란에 의한 출력변화를 제거하기 위해 Mach-Zehnder 간섭계에 외란을 자체적으로 제거하기 위한 보상회로를 첨가하여 자동적으로 외란을 제거할 수 있는 P와 Φ 의 동작점을 결정하는 신호처리 및 회로 및 알고리즘을 구현하였다.

위상변조를 위해 광섬유를 12회 감은 PZT 실린더를 보상회로 및 감지회로에 각각 설치하여 PZT1과 PZT3는 가상 외란을 위해 사용하였으며 PZT2와 PZT4는 안정한 동작점으로 가기 위해 이용되었다. 공통 모드 보상신호의 발생은 C와 어셈블리 프로그램으로 적절한 동작점을 결정한 후 PC로부터 보상회로의 위상변조기로 전압을 인가하여 외란의 영향을 제거하였다. 실험 결과 약 1.5V의 출력의 외란에 대해 효과적으로 외란을 제거하여 안정한 동작점으로 가는 것을 확인하였다.

후 기

본 연구는 1991년도 한국과학재단의 목 적기초 연구비(과제번호 91-01-00-14) 지원에 의하여 수행된 연구결과의 일부이며 동재단 관계자 여러분들께 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] A. N. Chester et al., "Optical Fiber Sensors", Martinus Nijhoff Publishers, 1987.
- [2] 박경섭 "공통모드 보상을 할수 있는 광섬유 압력센서에 관한 연구" 대한전자공학회 한국통신학회 부산 경남지부 추계 합동학술 발표회 논문집, pp. 6, 1993.
- [3] A. B. Buckman, "General Sensitivity Enhancement and Common-Mode Compensation Principle for Interferometric Fiber-Optic Sensors", IEEE J. Lightwave Tech., Vol. 8, pp. 1456, 1990.
- [4] A. B. Buckman, D. G. Pritichet, K. Park, "Sensitivity-enhanced, Common mode Compensated Mach-Zehnder fiber-optic Sensor Circuit with electro-optic feedback", Opt. Lett., Vol. 14, pp. 986, 1989.
- [5] A. B. Buckman, "Analysis of a Novel Optical Fiber interferometer with Common Mode Compensation", IEEE J. Lightwave Tech., Vol. 2, pp. 151, 1989.
- [6] D. A. Jackson, et al., "Elimination of drift in a single-mode Optical fiber Interferometer using a piezoelectrically stretched coiled fiber", Appl. Opt., Vol. 19, pp. 2926, 1980.