



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2007년10월15일
(11) 등록번호 10-0766478
(24) 등록일자 2007년10월05일

(51) Int. Cl.

G01J 4/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2006-0002183
(22) 출원일자 2006년01월09일
심사청구일자 2006년01월09일
(65) 공개번호 10-2007-0074255
공개일자 2007년07월12일

(56) 선행기술조사문헌
KR1020020009318 A
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
신서용

경기도 용인시 구성읍 언남리 496 하마비마을동일 하이빌2차203-1301

(72) 발명자
신서용

경기도 용인시 구성읍 언남리 496 하마비마을동일 하이빌2차203-1301

정현수

경기 수원시 장안구 연무동 219-24

(74) 대리인
허진석

전체 청구항 수 : 총 3 항

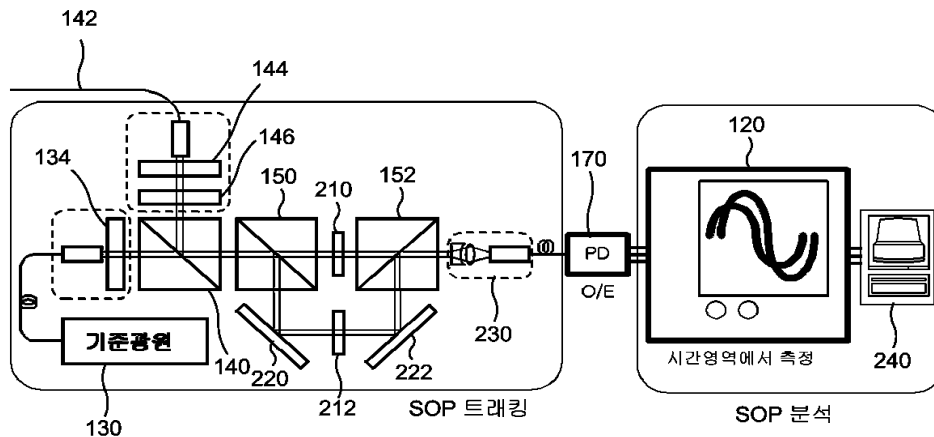
심사관 : 우귀애

(54) 실시간 편광상태 검출장치

(57) 요약

실시간으로 편광상태(SOP)를 검출할 수 있는 장치에 대해 개시한다. 본 발명의 장치는, 수신광신호와 SOP를 이미 알고 있는 기준광신호를 중첩시킨 후 이를 수평 선형편광과 수직 선형편광으로 분리하고, 중첩에 의해 발생한 비트신호를 시간 영역에서 측정함으로써 편광 측정이 실시간으로 이루어지도록 한 것이다. 또한, 본 발명의 장치는, 벡터의 내적 및 외적 특성을 활용하여 매우 간단하게 SOP 측정의 오차를 보정할 수 있게 해준다. 따라서, 본 발명에 따르면, SOP의 측정에 소요되는 시간을 획기적으로 단축시킬 수 있다.

대표도 - 도6



(56) 선행기술조사문헌
US20050213094 A1
EP 0393967 A2

특허청구의 범위

청구항 1

진폭 E_{OLx} 및 위상 ϵ_{Lx} 을 갖는 수평 선형편광 성분과 진폭 E_{OLy} 및 위상 ϵ_{Ly} 를 갖는 수직 선형편광 성분이 동일한 각주파수 ω_L 로 진행하며 이미 알려진 SOP를 가지는 기준광신호를 발생시키는 기준광원과;

진폭 E_{OSx} 및 위상 ϵ_{Sx} 을 갖는 수평 선형편광 성분과 진폭 E_{OSy} 및 위상 ϵ_{Sy} 를 갖는 수직 선형편광 성분이 동일한 각주파수 ω_S 로 진행되는 것으로 표현되는 수신광신호와, 상기 기준광신호가 서로 같은 경로를 가지게 하여 상기 수신광신호와 기준광신호의 수평 선형편광 성분과 수직 선형편광 성분끼리 각각 중첩시키는 광분리기와;

상기 광분리기로부터 나온 광을 중첩된 수평 선형편광 성분과 중첩된 수직 선형편광 성분으로 각각 분리시키는 편광 분리기와;

수학식 1로 표현되는 상기 중첩된 수평 선형편광 성분의 강도 I_x 와 상기 중첩된 수직 선형편광 성분의 강도 I_y 를 검출하는 광검출기와;

[수학식 1]

$$I_x = E_{OSx}^2 + E_{OLx}^2 + 2E_{OSx}E_{OLx} \cos[(\omega_S - \omega_L)t + (\epsilon_{Sx} - \epsilon_{Lx})]$$

$$I_y = E_{OSy}^2 + E_{OLy}^2 + 2E_{OSy}E_{OLy} \cos[(\omega_S - \omega_L)t + (\epsilon_{Sy} - \epsilon_{Ly})]$$

상기 I_x 로부터의 수평성분 비트신호와 상기 I_y 로부터의 수직성분 비트신호를 따로 검출하여 시간 영역에서 동시에 관찰하기 위한 오실로스코프와;

상기 오실로스코프에서의 측정으로 얻어지는 상기 수평성분 비트신호의 측정 진폭 V_x 와 수직성분 비트신호의 측정 진폭 V_y 사이에 수학식 2의 비례관계가 성립하는 사실과, 상기 수평성분 비트신호와 수직성분 비트신호 사이의 위상차 $\Delta \epsilon$ 이 상기 수신광신호의 상대적인 위상차와 수학식 3의 관계를 만족시키는 사실과, 상기 기준광신호의 SOP를 이미 알고 있을 때 상기 기준광신호의 수평 선형편광성분과 수직 선형편광성분 간의 진폭비율 $\beta = E_{OLx}/E_{OLy}$ 과 위상차 $\Delta \epsilon_L = \epsilon_{Lx} - \epsilon_{Ly}$ 를 알 수 있다는 사실을 이용하여 수학식

4와 같이 수신광신호의 존스 벡터 J_S 를 계산하고, 이를 변환시켜 수학식 5와 같이 스투스 값을 구해내는 연산장치,

[수학식 2]

$$\alpha = \frac{V_y}{V_x} = \frac{E_{OSy}E_{OLy}}{E_{OSx}E_{OLx}}$$

[수학식 3]

$$\varepsilon_{Sx} - \varepsilon_{Sy} = \Delta\varepsilon + \Delta\varepsilon_L$$

[수학식 4]

$$J_s = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{1+(\alpha\beta)^2}} \exp(i\varepsilon_{Sx}) \\ \frac{\alpha\beta}{\sqrt{1+(\alpha\beta)^2}} \exp(i\varepsilon_{Sy}) \end{bmatrix}$$

[수학식 5]

$$S_1 = \frac{1 - (\alpha\beta)^2}{1 + (\alpha\beta)^2}$$

$$S_2 = \frac{2\alpha\beta}{1 + (\alpha\beta)^2} \cos(\Delta\varepsilon + \Delta\varepsilon_L)$$

$$S_3 = \frac{-2\alpha\beta}{1 + (\alpha\beta)^2} \sin(\Delta\varepsilon + \Delta\varepsilon_L)$$

를 구비하는 실시간 편광상태 검출장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 기준광원이, 광원과 상기 광원의 다음에 편광축을 45도로 놓은 선형편광기로 이루어지며;

상기 편광분리기와 상기 광검출기의 사이에, 상기 중첩된 수평 선형편광성분과 중첩된 수직 선형 편광성분이 하나씩 번갈아가며 통과하도록 해주는 광게이트들과, 상기 광게이트를 통과한 상기 중첩된 수평 선형편광성분과 중첩된 수직 선형 편광성분이 동일한 광경로를 거치도록 해주는 제2 편광분리기;

를 구비함으로써 하나의 광검출기를 사용할 수 있도록 한 것을 특징으로 하는 실시간 편광상태 검출장치.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

SOP 오차보정이 필요할 경우를 위해, 상기 수신광신호와 광분리기 사이에 선택적으로 삽입가능한 선형편광기를 더 설치하는 것을 특징으로 하는 실시간 편광상태 검출장치.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

종래기술의 문헌 정보

<10> 참고문헌 1: Hiroki Ooi, Yuichi Akiyama, and George Ishikawa, "Automatic Polarization-mode Dispersion compensation in 40-Gbit/s Transmission," Optical Fiber Communication Conference 1999. Technical Digest

of OFC' 99, Vol. 2, pp. 86-88, 1999.

- <11> 참고문헌 2: S. Shin, I. Yeo, H. Song, J. Park, Y. Park, B. Jo, "Real-time Endless Polarization Tracking and Control system for PMD Compensation," Optical Fiber Communication Conference and Exhibit, 2001. OFC 2001, Vol. 2, pp. TuP7-1-TuP7-3, 2001.
- <12> 참고문헌 3: S. Betti, G. DeMarchis, and E. Iannone, "Coherent Optical Communications Systems," John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- <13> 참고문헌 4: Hongsuk Song, Hyunsoo Jung, and Seoyong Shin, "Simple and Fast SOP Tracking Algorithm Employing Three-Point Measurement Technique," International Symposium on Contemporary Photonics Technology 2002. Technical Digest of CPT2002, F2, pp. 125-126, 2002.
- <14> 참고문헌 5: 송홍석, 정현수, 신서용, "편광모드분산 보상을 위한 세 점 측정방식의 편광상태 추적 알고리즘", 한국통신학회논문지, 제 27권(2B), pp. 177-183, 2002.

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <15> 본 발명은 편광상태 검출장치에 관한 것으로, 특히 귀환루프의 적용 없이 실시간으로 편광상태를 검출할 수 있는 장치에 관한 것이다.
- <16> 광신호의 편광상태(SOP : State Of Polarization) 측정은 광부품의 특성 평가나 광통신 시스템의 성능 향상에 있어서 중요한 요인 중의 하나이다. 한 예로서, 수신광신호의 SOP를 적절히 변화시켜 편광유지광섬유(PMF : Polarization Maintaining Fiber)를 통과하도록 함으로써 편광모드분산(PMD : Polarization Mode Dispersion)을 보상하는 방법에 있어서는, 먼저 수신광신호의 SOP를 알아낼 필요가 있다. 이 경우에, 수신광신호의 SOP 측정장치는 두 가지 사항을 만족하여야 한다. 첫째, 보다 빠르게 SOP를 찾아낼 수 있어야 한다. 이는, 온도변화나 진동과 같은 광섬유 전송선로 주변환경의 변화로 인해 수신광신호의 SOP가 수시로 변할 수 있는데, SOP 변화에 대한 적응성이 떨어지면 PMD 보상장치의 성능이 악화되기 때문이다. 둘째, 정확한 측정이 가능해야 한다. SOP 측정의 오차(error)는 주로 측정장치에 의한 SOP의 변환에 의한 것이다. 측정장치 내부에서의 SOP 변환은 장치를 구성하는 편광의존성 광소자에 의해 발생한다. 부정확한 SOP 측정으로 인해 PMF에 입사하는 SOP가 적합한 상태가 아니면 PMD 보상이 이루어지지 않는 경우가 있을 수 있다.
- <17> 한편, PMF를 이용한 PMD 보상 방법 중, PMF 앞 단에서 1/4 파장판(QWP; Quarter Wave Plate)와 1/2 파장판(HWP; Half Wave Plate)를 모든 각도로 돌려가면서 PMF를 통해 출력되는 바를 모니터링 맵(mapping)으로 작성하고, 이를 참조하여 다시 QWP와 HWP의 각도를 조정하여 SOP를 변환하는 방법이 있다 (참고문헌 1). 이러한 방법은 장치 내부 요인으로 인한 SOP 변환까지도 모니터링 맵에 반영되어 오차를 보정하는 별도의 과정이 필요 없으나, 모니터링 맵을 작성하는데 소요되는 시간으로 인해 수신광신호의 SOP 변화에 대한 적응성이 떨어지는 문제점을 가진다.
- <18> 이에 대해, PMD 보상장치 전단에서 SOP를 추적하여 제어하는 방법은 보다 빠른 SOP 측정으로 수신광신호의 SOP 변화에 대한 적응성을 향상시켰다 (참고문헌 2). 여기에서는, 국부발진신호(기준광신호)를 수신광신호에 중첩시키는 코히어런트 검파 방식을 적용하였다 (참고문헌 3). 기준광신호와 수신광신호 간의 주파수 차이에 의해 비트신호(beat-signal)가 발생하고, 비트신호는 두 광파의 SOP에 따라 파워(power)가 달라진다. 두 광신호의 SOP가 일치할 때 비트신호의 파워는 최대가 된다. 이를 이용하여, 비트신호를 주파수 영역에서 측정하면서 그 파워가 최대가 될 때까지 기준광신호의 SOP를 변화시킴으로써 수신광신호의 SOP를 찾는다. 이때, 비트신호의 측정과 기준광신호의 SOP 변환 사이에 존재하는 귀환(feedback)의 횟수가 적을수록 SOP 추적이 빨라지며, 이를 위해 단 3번의 비트신호의 측정만으로 수신광신호의 SOP를 알아낼 수 있는 알고리즘이 소개된 바 있다 (참고문헌 4, 5). 그런데, 이 방법에서는 SOP 측정 장치에 귀환 루프가 있어서, 여러 번의 귀환을 수행할 때마다 빛(기준광)의 SOP를 바꿔주는 장치를 거쳐야 하며 이로 인해 시간 지연이 발생한다. 이러한 시간 지연은 최소한 수십 msec에서 경우에 따라서는 수 sec에 이르렀다. 결국, 이 방법에서는 근본적으로 귀환 구조를 사용하므로 신속하게 실시간으로 SOP 측정하기 어렵다는 문제점을 갖는다.
- <19> 한편, SOP 측정장치를 구성하는 광소자가 광섬유로 피그테일(pig-tailed)되어 있다면, 광섬유의 편광의존성으로 인해 측정오차가 발생한다. 즉, 단일모드 광섬유(SMF: Single-Mode Fiber)로 입력되는 SOP와 출력되는 SOP 사이에 큰 차이가 발생할 수 있다. SMF가 1m 이하의 짧은 길이라 할지라도 SOP 변화는 피할 수 없다. 이는 광섬유가 가지는 복굴절(Birefringence)에 의해 광신호가 리타던스(retardance)를 겪기 때문이다.

<20> 편광의존성이 있는 광소자는, 도 1과 같이, 복굴절 축 FA(Fast Axis)와 SA(Slow Axis)가 서로 수직인 하나의 리타더(retarder)로 간주할 수 있다. 복굴절 각도 φ 의 리타더로 입사하는 SOP의 존스 벡터 $J_{in} = J_x \text{ in } \mathbf{a}_x + J_y \text{ in } \mathbf{a}_y$ 가 FA와 SA로 벡터 분리되어 복굴절 축을 따라 진행할 때, FA와 SA의 위상지연(retardation)의 상대적인 차이인 리타던스 D 를 겪는다. 따라서, 입력 존스 벡터는 φ 와 D 에 의해 다음과 같이 출력 존스 벡터 $J_{out} = J_x \text{ out } \mathbf{a}_x + J_y \text{ out } \mathbf{a}_y$ 로 변환된다.

$$J_{x \text{ out}} = \exp(iD/2)(J_{x \text{ in}} \sin \varphi + J_{y \text{ in}} \cos \varphi) \sin \varphi + \exp(-iD/2)(J_{x \text{ in}} \cos \varphi - J_{y \text{ in}} \sin \varphi) \cos \varphi$$

$$J_{y \text{ out}} = \exp(iD/2)(J_{x \text{ in}} \sin \varphi + J_{y \text{ in}} \cos \varphi) \cos \varphi - \exp(-iD/2)(J_{x \text{ in}} \cos \varphi - J_{y \text{ in}} \sin \varphi) \sin \varphi$$

<21>

<22> FA와 SA의 굴절률차가 10^{-7} 인 전형적인 SMF일 경우, SOP가 스톡스 벡터 [1,1,0]인 파장 1550nm의 광파가 1m 길이의 광섬유를 통과하고 φ 가 45도라고 가정하면 출력 스톡스 벡터는 [0.9190, 0, 0.3944]로 변환된다. 이러한 SOP 측정장치 내부의 편광의존성 광소자로 인한 SOP의 변화는 곧바로 심각한 측정오차를 초래한다. 이러한 측정오차를 보정하기 위한 종래의 오차보정의 원리는 다음과 같다.

<23> 일반적으로, φ 와 D 는 광소자 주변상황에 따라 다르다. 광섬유의 경우, 외부로부터의 압착(stress), 주변 온도, 구부러짐(곡률반경을 가지고 휘어있는 경우) 등에 따라 복굴절 특성이 모두 다르다. 특히, 리타던스는 파장에 의존하기 때문에 입력광의 파장에 따라서도 D 의 값이 다르다. 주변상황에 따라 광소자의 복굴절 특성이 모두 다르기 때문에, SOP 측정 전에 반드시 오차보정을 해야 하며 측정 과정 중에서도 수시로 오차보정을 해줄 필요가 있다. 그러나, 편광의존성 광소자의 SOP 입, 출력 특성을 통해 오차보정을 하려할 때마다 φ 와 D 를 알아내는 것은 매우 힘든 일이다. 즉, 광학장치의 복굴절 각도 φ 와 리타던스 D 를 측정하여 오차보정을 행하는 종래의 방법에 비해 더욱 간편한 오차보정의 방법이 요구된다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<24> 따라서, 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는, 귀환 루프가 배제되어 기준광의 SOP를 바꾸어줄 필요가 없이 피드 포워드(Feed-Forward) 측정에 의해 SOP를 측정함으로써 측정시간을 획기적으로 단축시킬 수 있는 실시간 편광상태 검출장치를 제공하는 것이다.

<25> 본 발명이 이루고자 하는 다른 기술적 과제는, 광학장치의 복굴절 각도와 리타던스를 측정하여 SOP 측정의 오차를 보정하는 종래 방식에 비해 더욱 간편한 오차보정을 할 수 있는 실시간 편광상태 검출장치를 제공하는 것이다.

발명의 구성 및 작용

<26> 상기한 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명의 실시간 편광상태 검출장치는: 수신광신호와 SOP를 이미 알고 있는 기준광신호를 서로 중첩시킨 후 이를 수평 선형편광과 수직 선형편광으로 분리하고, 중첩에 의해 발생한 비트신호를 시간 영역에서 측정함으로써 편광 측정이 실시간으로 이루어지도록 하는 것을 특징으로 한다.

<27> 이 때, 선형편광기를 사용하여 기준광신호가 45도 선형 편광이 되는 것이 바람직하며, 수신광신호와 기준광신호가 중첩된 후 이것이 수평 선형편광과 수직 선형편광으로 분리되더라도 하나의 광검출기에 의해 그 강도가 검출되도록 하는 것도 바람직하다.

<28> 또한, SOP 오차보정을 위한 소자가 본 발명의 장치에 더 구비되는 것이 더욱 바람직하다.

<29> 이하, 첨부도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 설명한다. 도면에서 동일 참조번호는 동일 구성요소를 나타내며 이에 대한 중복적인 설명은 생략한다.

<30> [실시간 SOP 측정의 원리]

<31> 도 2는 본 발명의 실시간 편광상태 검출장치의 원리를 설명하기 위한 도면이다. 단색광이고 연속파(continuous wave)인 광파의 SOP는 진폭 E_{0Sx} 및 위상 ϵ_{Sx} 을 갖는 수평 선형편광(linear horizontal polarization) 성분과 진폭 E_{0Sy} 및 위상 ϵ_{Sy} 를 갖는 수직 선형편광(linear vertical polarization) 성분이 동일한 각주파수 ω_S 로 진행되는 것으로 간주할 수 있으므로 이를 수신광신호(142)로 표현하기로 한다. 한편, 기준광원(130)에서 나오는 기준광신호(132)는 진폭 E_{0Lx} 및 위상 ϵ_{Lx} 을 갖는 수평 선형편광 성분과 진폭 E_{0Ly} 및 위상 ϵ_{Ly} 를 갖는 수직 선형편광 성분이 동일한 각주파수 ω_L 로 진행하며 이미 알려진 SOP를 가지도록 한다.

<32> 도 2에서와 같이, 광분리기(140; Beam Splitter)로 수신광신호(142)가 기준광신호(132)와 같은 경로를 가지도록 하고 편광분리기(150; Polarization Beam Splitter; PBS)로 수평 선형편광성분과 수직 선형편광성분으로 나누면, 수신광신호(142)의 수평 선형편광성분은 기준광신호(132)의 수평 선형편광성분과 중첩이 일어나고 수신광신호(142)의 수직 선형편광성분은 기준광신호(132)의 수직 선형편광성분과 중첩이 일어난다. 이러한, 수평 선형편광성분끼리의 중첩된 강도(intensity) I_x 와 수직 선형편광성분끼리의 중첩된 강도 I_y 는 다음 수학적 1과 같다.

$$I_x = E_{0Sx}^2 + E_{0Lx}^2 + 2E_{0Sx}E_{0Lx} \cos[(\omega_S - \omega_L)t + (\epsilon_{Sx} - \epsilon_{Lx})]$$

$$I_y = E_{0Sy}^2 + E_{0Ly}^2 + 2E_{0Sy}E_{0Ly} \cos[(\omega_S - \omega_L)t + (\epsilon_{Sy} - \epsilon_{Ly})]$$

<33>

<34> I_x 와 I_y 를 각각 RF(Radio Frequency) 광검출기(170, 172; PhotoDetector)로 검출하면, 두 광파의 주파수 ω_S 와 ω_L 의 차이 $\omega_B = \omega_S - \omega_L$ 로 인해 발생하는 비트신호(beat signal)인 cos항만이 검출된다. I_x 로부터의 수평성분 비트신호와 I_y 로부터의 수직성분 비트신호를 따로 검출하여 오실로스코프(120)를 이용하여 시간 영역에서 동시에 관찰한다.

<35> 여기서, 두 비트신호는 동일한 주파수 ω_B 를 가지지만, 두 비트신호의 진폭 비율과 위상차는 수신광신호(142)와 기준광신호(132)의 SOP에 따라 다르다. 기준광신호(132)의 SOP를 알고 있다면, 기준광신호(132)의 수평 선형편광성분과 수직 선형편광성분 간의 진폭 비율 $\beta = E_{0Lx}/E_{0Ly}$ 과 위상차 $\Delta \epsilon_L = \epsilon_{Lx} - \epsilon_{Ly}$ 을 알 수 있다. 광검출기(170, 172)로 광/전 변환한 뒤, 오실로스코프(120)로 측정하여 얻어지는 수평성분 비트신호의 측정 진폭 V_x 와 수직성분 비트신호의 측정 진폭 V_y 사이에는 다음 수학적 2와 같은 비례관계가 성립한다.

<36>
$$\alpha = \frac{V_y}{V_x} = \frac{E_{0Sy} E_{0Ly}}{E_{0Sx} E_{0Lx}}$$

<37> 또한, 두 비트신호 간의 위상차 $\Delta \varepsilon$ 는 수신광신호(142)의 상대적인 위상차와 다음 수학식 3과 같은 관계를 가진다.

<38>
$$\varepsilon_{Sx} - \varepsilon_{Sy} = \Delta \varepsilon + \Delta \varepsilon_L$$

<39> 따라서, 얻고자 하는 수신광신호(142)의 존스 벡터(Jones vector)를 다음 수학식 4와 같이 작성할 수 있으며,

<40>
$$J_s = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{1+(\alpha\beta)^2}} \exp(i\varepsilon_{Sx}) \\ \frac{\alpha\beta}{\sqrt{1+(\alpha\beta)^2}} \exp(i\varepsilon_{Sy}) \end{bmatrix}$$

<41> 이를 스톡스 값(Stokes parameters)으로 변환하면 다음 수학식 5와 같다.

<42>
$$S_1 = \frac{1 - (\alpha\beta)^2}{1 + (\alpha\beta)^2}$$

$$S_2 = \frac{2\alpha\beta}{1 + (\alpha\beta)^2} \cos(\Delta \varepsilon + \Delta \varepsilon_L)$$

$$S_3 = \frac{-2\alpha\beta}{1 + (\alpha\beta)^2} \sin(\Delta \varepsilon + \Delta \varepsilon_L)$$

<43> 본 발명의 장치에서, 선형편광기(Linear Polarizer; 미도시)를 사용하여 기준광신호(132)가 45도 선형 편광 되도록 하는 것이 유리하다. 이는, 기준광신호(132)가 수직 선형편광 되거나 수평 선형편광 되어 있으면 수직과 수평 성분 중 하나의 비트신호를 검출할 수 없어, 수신광신호의 SOP를 찾을 수 없는 상황을 피하기 위한 것이다. 또한, 기준광신호(132)의 파워가 수직과 수평 방향으로 동등하게 분배되도록 하기 위한 것이기도 하다.

이 경우에는, $\Delta \varepsilon_L = 0$ 이고, $\beta = 1$ 이 된다.

<44> [본 발명의 장치에서의 SOP 측정에 대한 오차보정]

<45> 어떠한 복굴절 매질의 SOP 입, 출력을 푸앵카레 구(Poincare sphere)로 표현하면, SOP 입, 출력 사이에 일정한 변환관계가 있음을 알 수 있다. 도 3a 및 도 3b는 회전하는 선형편광기를 통해 여러 가지 선형편광이 리타더에 입력될 때 선형편광기의 회전각도에 따른 출력 SOP의 궤적을 푸앵카레 구의 적도선상에 나타낸 도면이다. 이때, 리타더는 φ 와 D 가 일정하다고 가정한다(SMF의 경우, 외부로부터의 압착이나 온도, 곡률반경의 변화가 없는 경우임). 만약, 매질이 복굴절을 가지지 않았다면 선형편광기의 회전각도에 따른 출력 SOP의 궤적이 도 3b에 도시한 바와 같이 푸앵카레 구의 적도선상에 나타난다. 그러나, 선형 SOP가 복굴절 매질을 통과한 출력 SOP의 궤적은 푸앵카레 구의 적도면이 회전이동한 형태의 원으로 형성된다. 이는, 임의의 복굴절 매질을 통과한 임의의 입력 SOP는 푸앵카레 구상에서 회전이동한 형태로 출력된다는 것을 보여주는 것이다.

<46> 이러한 복굴절 매질에 대한 SOP 입, 출력의 회전이동 관계를 이용하면 쉽게 출력 SOP에 대한 입력 SOP를 알아낼 수 있다. 푸앵카레 구를 알맞게 회전이동하여 출력 SOP를 읽어 들이면 입력 SOP가 되므로, 먼저, 푸앵카레 구의

좌표축, 즉, 도 3b에서의 스톡스 벡터 S_1, S_2, S_3 가 어디로 회전이동하였는지 알아내야 한다. 복굴절 매질에 수평 선형편광을 입력하였을 때의 측정된 출력 SOP는 뿌앵카레 구에서의 스톡스 벡터 S_1 이 회전이동한 벡터 S'_1 이 되고, 마찬가지로, 45도 선형편광 입력에 대한 출력 SOP가 좌표축 S_2 가 회전이동한 S'_2 가 된다. 좌표축 S'_1, S'_2, S'_3 는 상호간에 직교의 관계를 가지므로, 좌표축 S_3 가 회전이동한 S'_3 은 벡터 S'_1 에서 벡터 S'_2 으로의 외적(cross product)으로 쉽게 구하여진다. 임의의 입력 SOP에 대한 출력 스톡스 벡터에 미리 구해놓은 S'_1, S'_2, S'_3 를 각각 내적(dot product)한 값이 그 출력 SOP에 대한 입력 SOP의 스톡스 값이 된다. 이것은 왜곡되어 출력된 SOP의 원래의 값을 복원하여 오차를 보정한 것이다.

<47> 따라서, 오차보정이 요구될 때마다 입력측에 선형편광기를 삽입하여 수평 선형편광과 45도선형편광에 대한 출력 SOP를 측정하는 것으로 보정의 과정은 완료된다. 이것은 φ 와 D 를 알지 못하더라도 쉽고 간편하게 오차를 보정할 수 있는 방법이다.

<48> [본 발명의 장치에서의 SOP 측정에 대한 오차보정의 검증]

<49> 이러한, 상기 보정을 통하여 입력 SOP를 찾는 과정을 검증하기 위해 도 2의 실시간 SOP 측정장치를 도 4와 같이 모델링 하였다. 장치가 입력 SOP를 왜곡시킨다면, 그 요인이 어떠한 것이든 간에, 장치에 의한 SOP 변화의 원인, 즉, 측정오차의 원인을 하나의 리타더로 등가(equivalence)하여 놓을 수 있다. 그러나, 도 4에서는 수신광신호 S 와 기준광신호 L 이 서로 다른 리타더를 통과하는 것으로 모델링 해놓았다. 이는, 수신광신호와 기준광신호의 파장이 달라 동일한 리타더를 통과할지라도 S 와 L 이 겪는 리타던스 D 가 다르기 때문이다. 때문에, 리타던스 D_1, D_2 는 임의의 값으로 서로 다르게 설정하고 복굴절 축의 각도 φ 는 임의의 값으로 같게 설정해 주었다.

<50> 선형편광기 P1의 편광축을 45도로 놓아 기준광신호의 SOP를 45도선형편광이 되도록 하였다. 일반적으로, 수신광신호의 파워는 기준광신호의 파워에 비하여 미약한 신호이다. 그래서, 수신광신호의 크기를 기준광신호 보다 3dB 작게 설정하여 검증을 수행하였다.

<51> 검증의 순서로서, 먼저, 오차보정을 위해 수신광신호의 입력단에 선형편광기 P2만을 삽입하였다. 위에서 설명한 바와 같이, P2를 조정하여 수평 선형편광으로 입력하였을 때의 출력의 SOP S'_1 과, 45도 선형편광으로 입력된 SOP에 대한 출력 SOP S'_2 를 얻고, S'_1 의 S'_2 로의 외적으로 S'_3 를 구하였다. 다음으로, 측정된 값과 입력되는 SOP를 비교해보는 검증을 위해, P2의 편광축을 일정하게 고정시켜 놓고 QWP가 삽입되어 회전한다고 가정하였다. P2의 편광축과 QWP의 FA 사이의 각도로부터 QWP를 빠져 나오는 빛의 SOP를 계산할 수 있다. QWP를 빠져 나오는 빛의 SOP가 측정장치(혹은, 등가 시스템)로 입력되는 SOP가 된다. 출력 SOP, 즉, 장치의 오차로 인하여 왜곡되어 측정된 SOP의 스톡스 값은 이미 구해진 S'_1, S'_2, S'_3 에 각각 내적하여 입력 SOP의 스톡스 값을 추출하도록 하였다. 출력 스톡스 벡터를 S'_1 에 내적하여 입력 SOP의 스톡스 값 S_1 을 얻고, 마찬가지로, S_2 와 S_3 는 출력 스톡스 벡터를 각각 S'_2 와 S'_3 에 내적하여 얻어진다.

<52> 이상과 같은 순서로 실행한 검증의 결과를, 도 5에서, QWP의 회전 각도에 따른 스톡스 값 S_1, S_2, S_3 의 변화로 보이고 있다. 실선은 등가 시스템으로 입력되는 SOP이고, 점선은 등가 시스템을 통과하여 출력된 SOP를 나타낸다. 'O' 표시는 보정 과정을 거쳐 입력 SOP를 추정한 값으로, 입력 SOP와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

<53> [본 발명의 실시예에 따른 실시간 편광상태 검출장치와 이에 의한 측정]

<54> 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 실시간 편광상태 검출장치의 구성도이다. 도 6에 도시된 편광상태 검출장치는 도 2에 도시된 것에 비하여, 다음과 같은 점이 다름을 알 수 있다.

<55> 1. 기준광원의 다음 단에 선형편광기(134)를 더 설치하여 기준광신호의 SOP를 미리 알 수 있도록 할 뿐 아니라 수신광신호(142)의 SOP 측정에 적합하게 미리 기준광신호의 SOP를 결정할 수 있도록 하였다.

<56> 2. 오차보정을 위해 수신광신호(142)의 입력단에 선형편광기(144)와 1/4 파장판(146)을 더 설치하였다.

- <57> 3. 하나의 광검출기(170)를 이용하여도 SOP 검출이 가능하도록, 제1 편광분리기(150)와 제2 편광분리기(152)를 사용하고, 하나씩 번갈아가며 온/오프 기능을 수행하는 광게이트(210, 212)을 제1 편광분리기(150)와 제2 편광분리기(152) 사이에 설치하였으며, 분리된 특정 편광성분의 광경로를 바꾸어주기 위해 제1 미러(220)와 제2 미러(222)를 사용하였다.
- <58> 4. 광검출기(170)에 의한 광강도 검출이 용이하도록 광검출기(170)의 앞단에 콜리메이터(230)를 더 설치하였다.
- <59> 5. 오실로스코프에서의 측정으로 얻어지는 신호들을 연산처리하여 오차보정된 수신광신호의 SOP를 알아내는 연산장치로서 컴퓨터(240)을 더 설치하였다.
- <60> 이와 같이 구성된 도 6의 실시간 편광상태 검출장치를 이용하여 수신광신호(142)의 SOP를 검출한 과정을 아래에 설명한다.
- <61> 우선, 기준광신호용 선형편광기(134)를 사용하여 기준광신호의 SOP를 45도 선형편광이 되도록 하였다. 측정이 이루어지기 전 오차보정을 위해서는 수신광신호용 선형편광기(144)만을 사용하고, 그 이후에 SOP 측정을 위해서는 수신광신호용 선형편광기(144)를 고정하고 1/4 파장판(150)을 회전시켰다.
- <62> 수신광신호(142)의 파장은 1550nm이고, 기준광신호의 광원의 파장을, 도 7에서와 같이, 비트 주파수가 $\omega_B/2\pi = 490\text{MHz}$ 가 되도록 조정하였다. 광검출기(170)는 25GHz의 대역폭을 갖는 RF PD(포토디텍터)를 사용하였다. 제1 편광분리기(150)은 중첩되어 비팅(beat)된 수신광신호와 기준광신호의 수평 및 수직 편광성분을 분리하는 역할을 하며, 1x1 스위치인 제1 및 제2 광게이트(210, 212)는 하나씩 번갈아가며 온/오프 기능을 수행하여 수평 편광성분의 비트신호와 수직 편광성분의 비트신호를 각각 따로 검출하게 해준다. 제1 미러(220)와 제2 미러(222)는 제1 편광분리기(150)에 의해 분리된 편광성분들 중의 어느 하나를 제2 편광분리기(152)를 통해 하나의 광경로로 가도록 반사시키는 역할을 한다. 광검출기(170)에 의해 검출된 비트신호들은 오실로스코프(120)를 사용하여, 도 8과 같이, 시간 영역에서 측정하였다. 이러한 측정결과는 컴퓨터(240)에 의해 SOP를 연산해 내는데 사용된다. 도 8을 참조하면, 두 개의 커브들이 있음을 알 수 있는데, 그 중의 하나는 수평편광성분들간의 비팅된 결과이며 다른 하나는 수직편광성분들간의 비팅된 결과이다. 본원발명에서 이용되는 것은 이 결과들의 절대적인 값이 아니라 이 두 비팅신호 간의 진폭 차이와 위상 차이이다.
- <63> 도 6의 장치를 통해 측정 및 오차보정을 거친 SOP와 1/4 파장판(146)의 회전각도로부터 계산된 SOP(입력 SOP)를 나타낸 것이 도 9이다. 입력 SOP는 실선으로 나타내었다. 측정은 1/4 파장판(146)을 0도서 360도까지 10도 간격으로 회전시키면서 행하였다. 1/4 파장판(146)의 360도 회전이 완료되면, 오차의 가장 큰 원인이 되는 광검출기(170) 전단의 광섬유를 다시 위치하고 고정시켜, 오차보정의 과정부터 다시 측정하였다. 이것을 10회 반복하고, 그 평균치를 도 9에 '+'로 표시하였다. 도 9를 참조하면, 상당히 정확한 측정이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

발명의 효과

- <64> 상기한 본 발명에 따르면, 전자 장치들이 ω_B 에서 충분히 동작하는 대역폭과 속도를 가지고 있다면, SOP를 실시간으로 측정할 수 있다. 즉, 본 발명의 편광상태 검출장치의 동작속도는 순전히 전자 장치의 동작속도에 의존하며, 수 μsec 안에서의 측정이 가능하다. 또한, 여타의 기계적 요소나 귀환 구조 없이 직접적으로 광신호를 검출하며, 수신되는 신호를 분기하는 것에 있어서 기존의 공간 분배방식과 같이 전체 파워를 나누는 것이 아닌, 수직성분과 수평성분으로 나누어 검출하기 때문에 검출감도를 더욱 향상시킬 수 있다.
- <65> 또한, 단순하고 빠른 SOP 측정시의 오차보정이 적용되므로 측정의 정확성을 향상시킨다.

도면의 간단한 설명

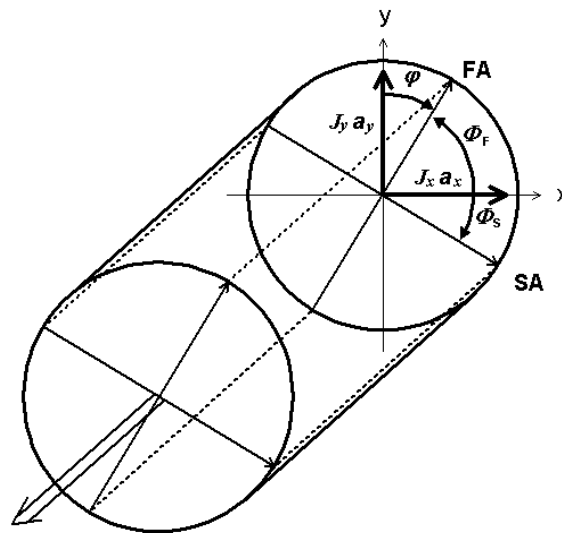
- <1> 도 1은 리타던스(retardance)를 통한 광신호의 편광상태(SOP : State Of Polarization)의 변환을 설명하기 위한 도면;
- <2> 도 2는 본 발명의 실시간 편광상태 검출장치의 원리를 설명하기 위한 도면;
- <3> 도 3a 및 도 3b는 회전하는 선형편광기를 통해 여러 가지 선형편광이 리타더에 입력될 때 선형편광기의 회전각도에 따른 출력 SOP의 궤적을 뿌앵카레 구의 적도선상에 나타낸 도면;
- <4> 도 4는 본 발명의 실시간 편광상태 검출장치에서의 오차보정을 검증하기 위해 도 2의 검출장치를 등가 모델링한

것을 나타낸 도면;

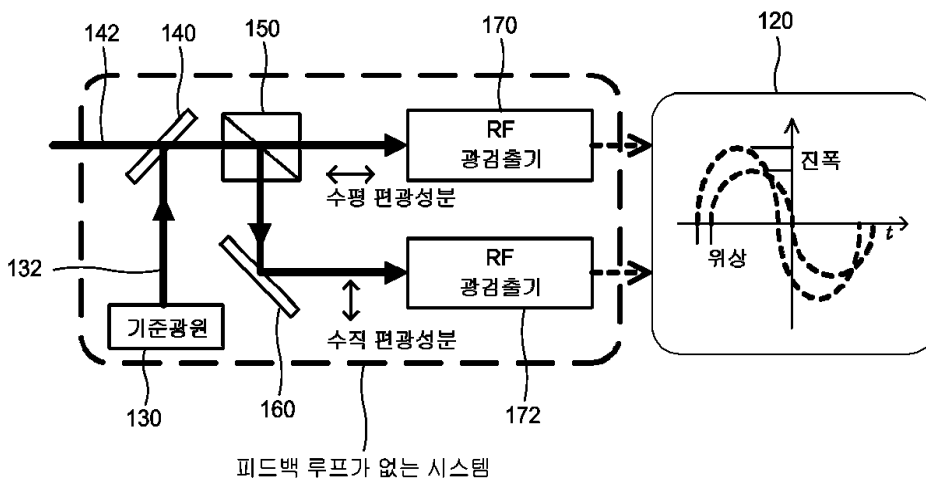
- <5> 도 5는 본 발명의 장치에서의 SOP 측정에 대한 오차보정의 검증을 나타낸 그래프;
- <6> 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 실시간 편광상태 검출장치의 구성도;
- <7> 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 실시간 편광상태 검출장치를 이용한 편광상태 검출시에 주파수 영역에서 측정된 비트 주파수를 나타낸 그래프;
- <8> 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 실시간 편광상태 검출장치를 이용한 편광상태 검출시에 시간 영역에서 측정된 비트신호를 나타낸 그래프; 및
- <9> 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 실시간 편광상태 검출장치를 이용하여 편광상태를 검출한 결과를 나타낸 그래프이다.

도면

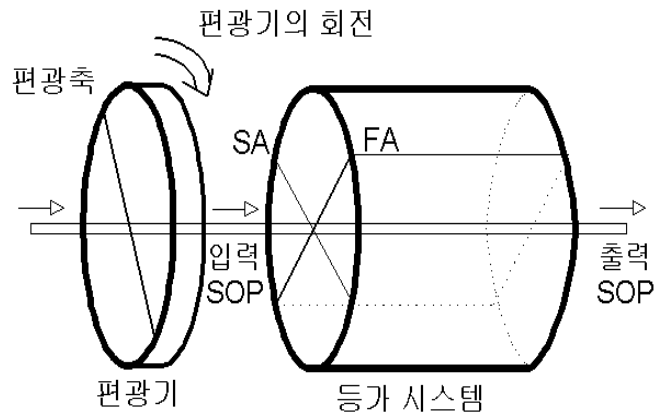
도면1



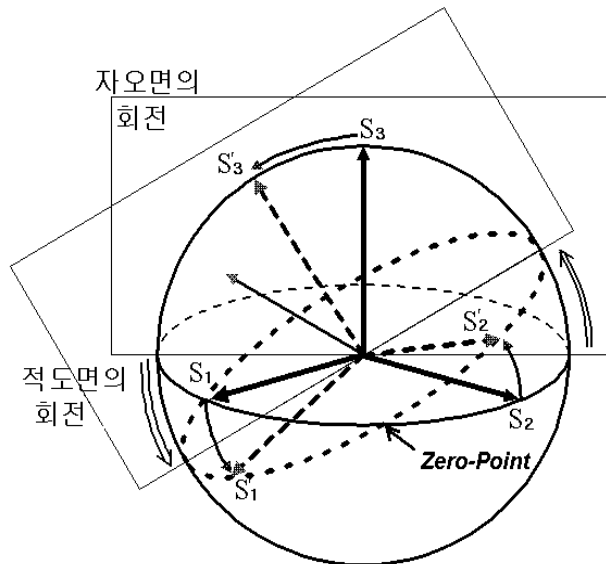
도면2



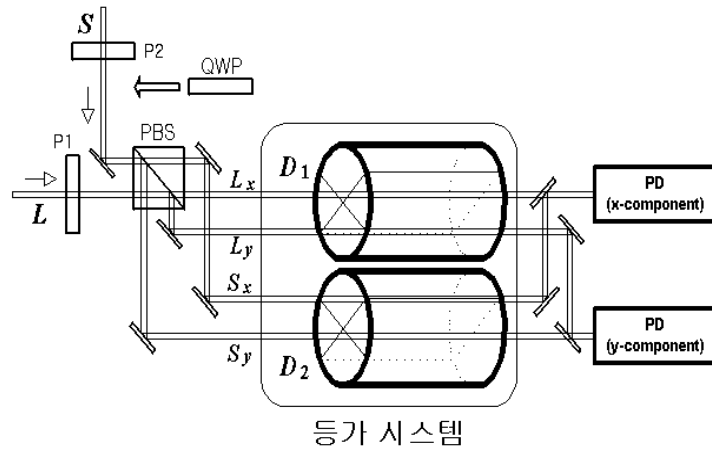
도면3a



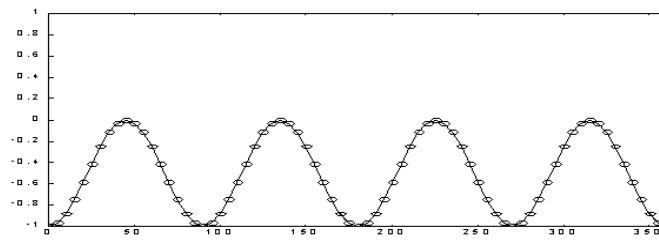
도면3b



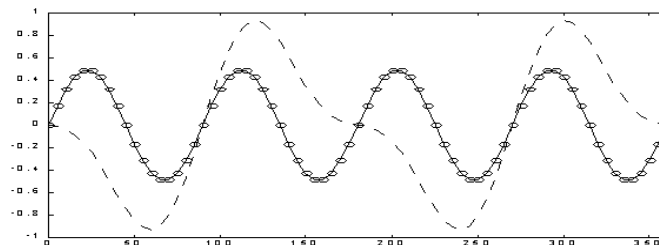
도면4



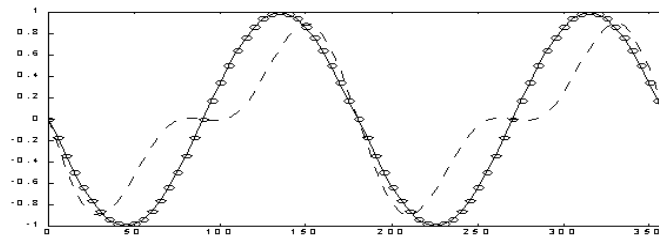
도면5



S_1

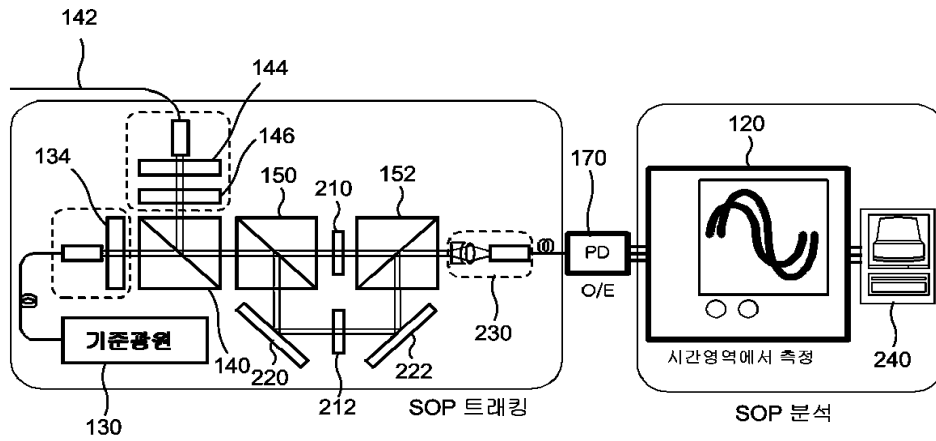


S_2

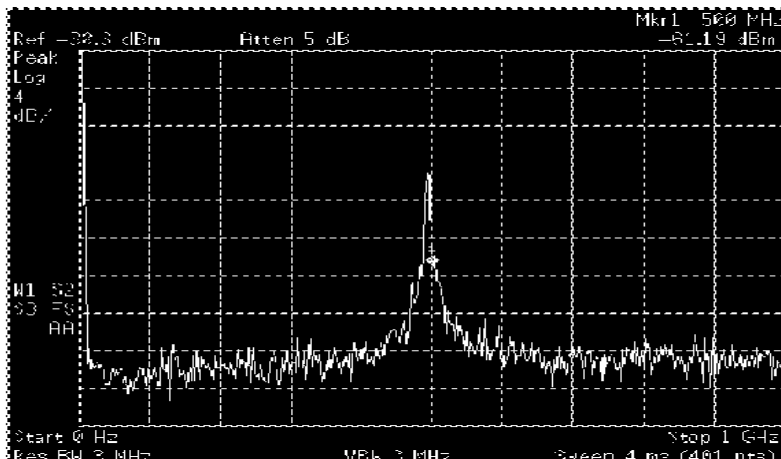


S_3

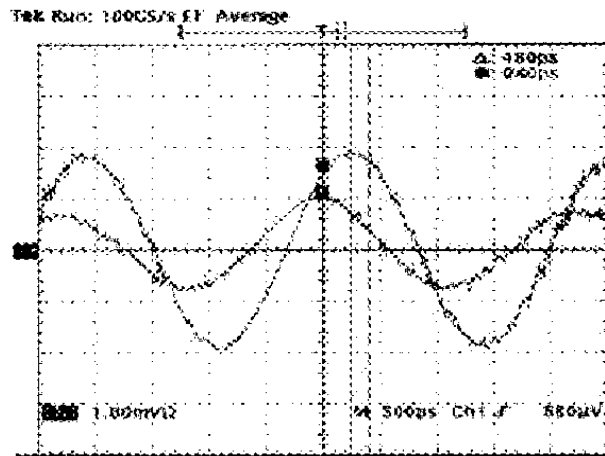
도면6



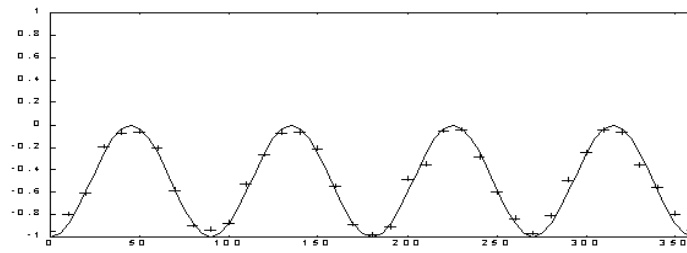
도면7



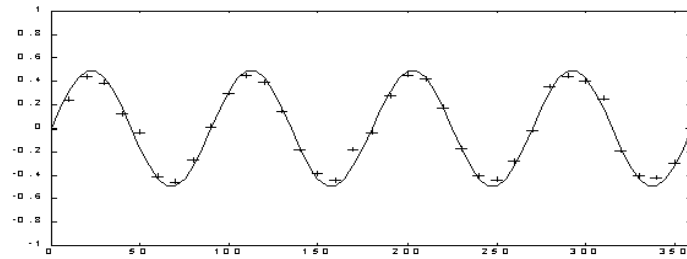
도면8



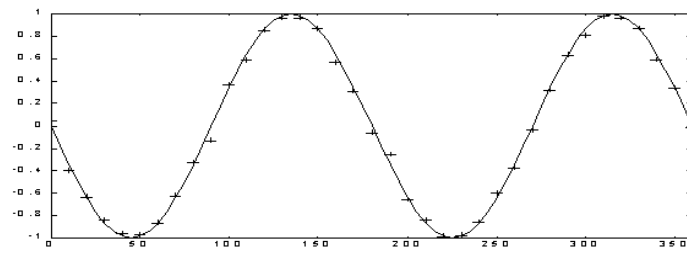
도면9



S_1



S_2



S_3