



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년11월23일  
(11) 등록번호 10-2470554  
(24) 등록일자 2022년11월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H04B 10/532 (2013.01) H04B 10/54 (2013.01)  
H04J 14/06 (2006.01) H04L 27/04 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
H04B 10/532 (2020.08)  
H04B 10/54 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2021-0129819  
(22) 출원일자 2021년09월30일  
심사청구일자 2021년09월30일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR102128201 B1  
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
한상국  
서울특별시 서초구 서초중앙로 220, 108동 3001호(반포동, 반포 래미안아이파크)  
현영진  
서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 232호(신촌동)  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
민영준

전체 청구항 수 : 총 13 항

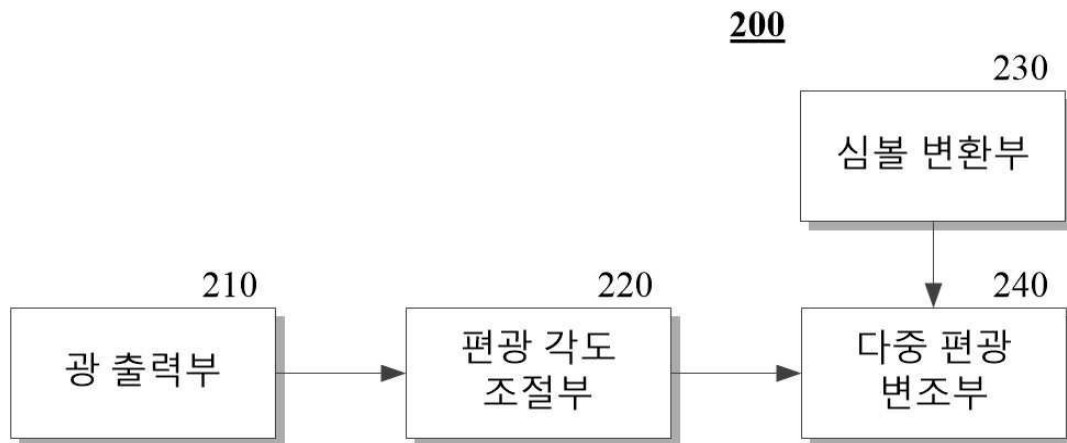
심사관 : 신상길

(54) 발명의 명칭 단일 광변조기를 이용한 다중 세기 편광 변조 광 송신 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 전송할 데이터를 인가받아 지정된 변조 방식에 따라 심볼로 변환하고, 변환된 심볼에 대응하는 변조 제어 신호를 생성하여 출력하는 심볼 변환부, 자체 내장 편광기가 포함되지 않은 단일 MZM을 포함하여 변조 제어 신호에 따라 인가되는 편광을 단일 MZM의 기관의 결정 축에 대응하는 방향인 X축 방향과 X축 방향에 수직인 Y축 방향 각각으로 광 세기 변조하여 송신 광 신호를 생성하는 다중 편광 변조부 및 기지정된 변조 방식에 따라 X축 방향과 Y축 방향 사이의 회전 각도가 결정되고, 결정된 회전 각도에 따라 광 출력부에서 방출된 광을 필터링하여 X축 방향과 Y축 방향 사이의 각도를 갖는 편광을 획득하여 다중 편광 변조부로 출력하는 편광 각도 조절부를 포함하여, 저비용 저전력으로 다중 세기 변조를 수행할 수 있는 광 송신 장치 및 방법을 제공한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

**H04J 14/06** (2013.01)

**H04L 27/04** (2021.01)

(72) 발명자

**박진우**

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 232호(신촌동)

**이정문**

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 232호(신촌동)

(56) 선행기술조사문헌

KR101931957 B1

KR102082581 B1

KR1020160141416 A

KR102229864 B1

Mohmoud Mohamed et al., "Analysis of frequency quadrupling using a single Mach-Zehnder modulator for millimeter-wave generation and distribution over fiber systems," Opt. Express 16, p. 10786 (2008)

Junting Shi et al., "84 GHz millimeter-wave PAM4 signal generation based on one PDM-MZM

modulator and one polarizer without DAC and filters," Opt. Comm., Vol. 505, (2021.09.25)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호

1711126194

과제번호

2019-0-00685-003

부처명

과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명

정보통신기획평가원

연구사업명

정보통신방송연구개발사업

연구과제명

무선광통신 기반 수직 이동통신 네트워크 기술 개발

기 여 율

1/1

과제수행기관명

연세대학교 산학협력단

연구기간

2021.01.01 ~ 2021.12.31

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

전송할 데이터를 인가받아 지정된 변조 방식에 따라 심볼로 변환하고, 변환된 심볼에 대응하는 변조 제어 신호를 생성하여 출력하는 심볼 변환부;

자체 내장 편광기가 포함되지 않은 단일 MZM을 포함하여 변조 제어 신호에 따라 인가되는 편광을 상기 단일 MZM의 기관의 결정 축에 대응하는 방향인 X축 방향과 X축 방향에 수직인 Y축 방향 각각으로 광 세기 변조하여 송신 광 신호를 생성하는 다중 편광 변조부; 및

가지정된 변조 방식에 따라 X축 방향과 Y축 방향 사이의 회전 각도가 결정되고, 결정된 회전 각도에 따라 광 출력부에서 방출된 광을 필터링하여 X축 방향과 Y축 방향 사이의 각도를 갖는 편광을 획득하여 상기 다중 편광 변조부로 출력하는 편광 각도 조절부를 포함하는 광 송신 장치.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 심볼 변환부는

상기 데이터에서 1비트를 상기 Y축 방향으로 할당하고, 나머지 비트를 X축 방향으로 할당하여 Y축 방향에서 OOK 기법에 따라 심볼 변환하고 X축 방향에서 OOK 또는 M-PAM 중 지정된 기법에 따라 심볼 변환하는 광 송신 장치.

#### 청구항 3

제2항에 있어서, 상기 편광 각도 조절부는

상기 다중 편광 변조부에 의해 변조된 상기 송신 광 신호의 X축 방향의 아이 다이어그램과 Y축 방향의 아이 다이어그램의 크기가 동일해지는 편광의 각도로 필터링하는 광 송신 장치.

#### 청구항 4

제3항에 있어서, 상기 편광 각도 조절부는

수학식

$$\frac{1}{M-1} \alpha \cdot (b_{off} - b_{on})_x \approx (1 - \alpha) \cdot (b_{on} - b_{off})_y$$

(여기서 M은 OOK 변조 또는 M-PAM 변조에 따른 X축 방향 심볼수,  $\alpha$ 는 분배 비율,  $(b_{on} - b_{off})_x$ ,  $(b_{on} - b_{off})_y$ 는 각각 편광의 방향에 따른 X축과 Y축 방향 각각에 대한 유효 변조 구간의 크기를 나타낸다)

으로 계산되는 분배 비율( $\alpha$ )에 따라 입사되는 편광의 X축 방향과 Y축 방향 각각의 세기가  $\alpha : 1 - \alpha$ 의 비율로 분배되도록 편광의 각도를 조절하는 광 송신 장치.

#### 청구항 5

제2항에 있어서, 상기 심볼 변환부는

상기 심볼에 대응하는 상기 변조 제어 신호를 상기 단일 MZM에 의해 변조되는 Y축 방향의 광 세기가 최대 광 세기로부터 최소 광 세기까지 감쇄되는데 요구되는 Y축 스윙 전압의 범위로 생성하는 광 송신 장치.

#### 청구항 6

제5항에 있어서, 상기 심볼 변환부는

상기 변조 제어 신호를 상기 단일 MZM에서 X축 방향의 광 세기가 최대 광 세기로부터 최소 광 세기까지 감쇄되는데 요구되는 X축 스윙 전압( $V\pi_x$ )의 3배인 상기 Y축 스윙 전압( $V\pi_y$ ) 범위 중  $0 \leq V(t) \leq V\pi$  와  $2V\pi <$

$V(t) < 3V\pi$  의 범위에서 생성하는 광 송신 장치.

#### 청구항 7

제5항에 있어서, 상기 다중 편광 변조부는

상기 단일 MZM의 바이어스를 X축 스윙 전압( $V\pi_x$ )의 1.5배( $1.5V\pi_x$ )로 설정하는 광 송신 장치.

#### 청구항 8

자체 내장 편광기를 포함하지 않아 기관의 결정 축에 대응하는 방향인 X축 방향과 X축 방향에 수직인 Y축 방향 각각에서 서로 다른 변조 효율로 변조를 수행할 수 있는 단일 MZM을 포함하는 광 송신 방법에 있어서,

전송할 데이터를 인가받아 지정된 변조 방식에 따라 심볼로 변환하고, 변환된 심볼에 대응하는 변조 제어 신호를 생성하는 단계;

기 지정된 변조 방식에 따라 X축 방향과 Y축 방향 사이의 회전 각도가 결정되고, 결정된 회전 각도에 따라 광 출력부에서 방출된 광을 필터링하여 X축 방향과 Y축 방향 사이의 각도를 갖는 편광을 출력하는 단계; 및

상기 단일 MZM을 이용하여 X축 방향과 Y축 방향 각각으로 광 세기 변조하여 송신 광 신호를 생성하는 단계를 포함하는 광 송신 방법.

#### 청구항 9

제8항에 있어서, 상기 편광을 출력하는 단계는

변조된 상기 송신 광 신호에서 X축 방향의 아이 다이어그램과 Y축 방향의 아이 다이어그램의 크기가 동일해지는 편광의 각도로 필터링하는 광 송신 방법.

#### 청구항 10

제9항에 있어서, 상기 편광을 출력하는 단계는

수학적식

$$\frac{1}{M-1} \alpha \cdot (b_{off} - b_{on})_x \approx (1 - \alpha) \cdot (b_{on} - b_{off})_y$$

(여기서 M은 OOK 변조 또는 M-PAM 변조에 따른 X축 방향 심볼수,  $\alpha$ 는 분배 비율,  $(b_{on} - b_{off})_x$ ,  $(b_{on} - b_{off})_y$ 는 각각 편광의 방향에 따른 X축과 Y축 방향 각각에 대한 유효 변조 구간의 크기를 나타낸다)

으로 계산되는 분배 비율( $\alpha$ )에 따라 입사되는 편광의 X축 방향과 Y축 방향 각각의 세기가  $\alpha : 1 - \alpha$ 의 비율로 분배되도록 편광의 각도를 조절하는 광 송신 방법.

#### 청구항 11

제8항에 있어서, 상기 변조 제어 신호를 생성하는 단계는

상기 데이터에서 1비트를 상기 Y축 방향으로 할당하고, 나머지 비트를 X축 방향으로 할당하여 Y축 방향에서 OOK 기법에 따라 심볼 변환하고 X축 방향에서 OOK 또는 M-PAM 중 지정된 기법에 따라 심볼 변환하는 단계; 및

상기 단일 MZM에 의해 변조되는 Y축 방향의 광 세기가 최대 광 세기로부터 최소 광 세기까지 감쇄되는데 요구되는 Y축 스윙 전압의 범위로 상기 심볼에 대응하는 상기 변조 제어 신호를 출력하는 단계를 포함하는 광 송신 방법.

#### 청구항 12

제11항에 있어서, 상기 변조 제어 신호를 출력하는 단계는

상기 변조 제어 신호를 상기 단일 MZM에서 X축 방향의 광 세기가 최대 광 세기로부터 최소 광 세기까지 감쇄되는데 요구되는 X축 스윙 전압( $V\pi_x$ )의 3배인 상기 Y축 스윙 전압( $V\pi_y$ ) 범위 중  $0 \leq V(t) \leq V\pi$  와  $2V\pi <$

$V(t) < 3V_{\pi}$  의 범위에서 생성하는 광 송신 방법.

### 청구항 13

제8항에 있어서, 상기 단일 MZM는

X축 스윙 전압( $V_{\pi_x}$ )의 1.5배( $1.5V_{\pi_x}$ )로 바이어스가 설정되는 광 송신 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 광 송신 장치 및 방법에 관한 것으로, 단일 광변조기를 이용하여 다중 세기 편광 변조를 수행하는 광 송신 장치 및 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 5G 가 대중화됨에 따라 기존에 비해 대량의 트래픽이 발생하고 있으며, 이로 인한 광 가입자망의 폭증하는 데이터 트래픽을 따라잡기 위해 광전송 시스템에서는 전송용량을 최대한 확보하려는 다양한 변조기법이 연구되고 있다.

[0003] 이중 편광을 이용한 편광 분할 다중화(Polarization Division Multiplexing: 이하 PDM) 기법은 송신 장치가 광 출력부에서 방출되는 광을 2개의 편광으로 분배하고, 분배된 2개의 편광을 개별적으로 세기 변조하여 결합하여 수신 장치로 전송할 송신 광 신호를 생성함으로써 주파수 효율을 2배로 높이는 방식으로 주목받아 왔다.

[0004] 도 1은 기존의 PDM 기법을 이용하는 광 송신 장치의 일 예를 나타낸다.

[0005] 도 1을 참조하면, PDM 기법을 이용하는 광 송신 장치는 광 출력부(110), 편광 분배기(120), 심볼 변환부(130), 광 변조부(140) 및 편광 결합기(150)를 포함한다.

[0006] 광 출력부(110)는 미리 지정된 파장과 파형의 광을 생성하여 방출하고, 편광 분배기(120)는 광 출력부(110)에서 방출된 광을 인가받아 지정된 방향으로 고정된 2개의 편광(X, Y)으로 분리한다. 심볼 변환부(130)는 데이터를 인가받아 기지정된 방식으로 맵핑하여 심볼로 변환하고, 변환된 심볼에 따라 광 변조부(140)의 제1 및 제2 광 변조부(141, 142)를 각각 제어하기 위한 제1 및 제2 제어 신호를 출력한다. 광 변조부(140)는 제1 및 제2 광 변조부(141, 142)를 포함한다. 제1 및 제2 광 변조부(141, 142)는 각각 2개의 편광(X, Y) 중 대응하는 편광을 인가받아 세기 변조한다. 여기서 제1 및 제2 광 변조부(141, 142) 각각은 마흐젠더 변조기(Mach-Zehnder Modulator: 이하 MZM)로 구현될 수 있다. 편광 결합기(150)는 광 변조부(140)의 제1 및 제2 광 변조부(141, 142) 각각에서 독립적으로 세기 변조된 2개의 편광( $X_t$ ,  $Y_t$ )를 결합하여 송신 광 신호를 생성하고, 생성된 송신 광 신호를 광 수신 장치로 출력한다.

[0007] 상기한 바와 같이, 기존의 PDM 기법에서는 광 출력부에서 방출된 광을 2개의 편광으로 분리하고, 2개의 광 변조기를 이용하여 분리된 2개의 편광을 개별적으로 세기 변조한 후 다시 결합하여 송신 광 신호를 생성하므로 다수의 구성 요소를 필요로 한다. 특히 2개의 MZM을 필요로 하여 비용이 높아지고 구성이 복잡해지게 된다. 이로 인해 PDM 기법은 대부분의 광 통신에서 현재까지 실제로 적용되지 않고 있다는 문제가 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 한국 등록 특허 제10-2273666호 (2021.06.30 등록)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0009] 본 발명의 목적은 단일 광 변조기를 이용하여 저비용으로 다중 세기 편광 변조를 수행할 수 있는 광 송신 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

[0010] 본 발명의 다른 목적은 저전력으로 데이터를 전송할 수 있는 광 송신 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

### 과제의 해결 수단

[0011] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 광 송신 장치는 전송할 데이터를 인가받아 지정된 변조 방식에 따라 심볼로 변환하고, 변환된 심볼에 대응하는 변조 제어 신호를 생성하여 출력하는 심볼 변환부; 자체 내장 편광기가 포함되지 않은 단일 MZM을 포함하여 변조 제어 신호에 따라 인가되는 편광을 상기 단일 MZM의 기관의 결정 축에 대응하는 방향인 X축 방향과 X축 방향에 수직인 Y축 방향 각각으로 광 세기 변조하여 송신 광 신호를 생성하는 다중 편광 변조부; 및 기지정된 변조 방식에 따라 X축 방향과 Y축 방향 사이의 회전 각도가 결정되고, 결정된 회전 각도에 따라 광 출력부에서 방출된 광을 필터링하여 X축 방향과 Y축 방향 사이의 각도를 갖는 편광을 획득하여 상기 다중 편광 변조부로 출력하는 편광 각도 조절부를 포함한다.

[0012] 상기 심볼 변환부는 상기 데이터에서 1비트를 상기 Y축 방향으로 할당하고, 나머지 비트를 X축 방향으로 할당하여 Y축 방향에서 OOK 기법에 따라 심볼 변환하고 X축 방향에서 OOK 또는 M-PAM 중 지정된 기법에 따라 심볼 변환할 수 있다.

[0013] 상기 편광 각도 조절부는 상기 다중 편광 변조부에 의해 변조된 상기 송신 광 신호의 X축 방향의 아이 다이어그램과 Y축 방향의 아이 다이어그램의 크기가 동일해지는 편광의 각도로 필터링할 수 있다.

[0014] 상기 편광 각도 조절부는 수학식

$$\frac{1}{M-1} \alpha \cdot (b_{off} - b_{on})_x \approx (1 - \alpha) \cdot (b_{on} - b_{off})_y$$

[0015] (여기서 M은 OOK 변조 또는 M-PAM 변조에 따른 X축 방향 심볼수,  $\alpha$ 는 분배 비율,  $(b_{on} - b_{off})_x$ ,  $(b_{on} - b_{off})_y$ 는 각각 편광의 방향에 따른 X축과 Y축 방향 각각에 대한 유효 변조 구간의 크기를 나타낸다)으로 계산되는 분배 비율( $\alpha$ )에 따라 입사되는 편광의 X축 방향과 Y축 방향 각각의 세기가  $\alpha : 1 - \alpha$ 의 비율로 분배되도록 편광의 각도를 조절

[0017] 상기 심볼 변환부는 상기 심볼에 대응하는 상기 변조 제어 신호를 상기 단일 MZM에 의해 변조되는 Y축 방향의 광 세기가 최대 광 세기로부터 최소 광 세기까지 감쇄되는데 요구되는 Y축 스윙 전압의 범위로 생성할 수 있다.

[0018] 상기 심볼 변환부는 상기 변조 제어 신호를 상기 단일 MZM에서 X축 방향의 광 세기가 최대 광 세기로부터 최소 광 세기까지 감쇄되는데 요구되는 X축 스윙 전압( $V\pi_x$ )의 3배인 상기 Y축 스윙 전압( $V\pi_y$ ) 범위 중  $0 \leq V(t) \leq V\pi$  와  $2V\pi < V(t) < 3V\pi$ 의 범위에서 생성할 수 있다.

[0019] 상기 다중 편광 변조부는 상기 단일 MZM의 바이어스를 X축 스윙 전압( $V\pi_x$ )의 1.5배( $1.5V\pi_x$ )로 설정할 수 있다.

[0020] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 광 송신 방법은 자체 내장 편광기를 포함하지 않아 기관의 결정 축에 대응하는 방향인 X축 방향과 X축 방향에 수직인 Y축 방향 각각에서 서로 다른 변조 효율로 변조를 수행할 수 있는 단일 MZM을 포함하는 광 송신 방법에 있어서, 전송할 데이터를 인가받아 지정된 변조 방식에 따라 심볼로 변환하고, 변환된 심볼에 대응하는 변조 제어 신호를 생성하는 단계; 기지정된 변조 방식에 따라 X축 방향과 Y축 방향 사이의 회전 각도가 결정되고, 결정된 회전 각도에 따라 광 출력부에서 방출된 광을 필터링하여 X축 방향과 Y축 방향 사이의 각도를 갖는 편광을 출력하는 단계; 및 상기 단일 MZM을 이용하여 X축 방향과 Y축 방향 각각으로 광 세기 변조하여 송신 광 신호를 생성하는 단계를 포함한다.

### 발명의 효과

[0021] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 광 송신 장치 및 방법은 분할된 2개의 편광에 대해 하나의 광 변조기를 이용하여 다중 세기 변조할 수 있으므로, 저비용으로 구현 가능하고 전력 소비를 저감할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 기존의 PDM 기법을 이용하는 광 송신 장치의 일 예를 나타낸다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 광 송신 장치의 개략적 구조를 나타낸다.

도 3은 기존의 MZM의 구조와 변조 특성을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 실시예에 따른 MZM의 구조를 나타낸다.

도 5는 본 실시예에 따른 광 송신 장치의 변조 방식을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 본 실시예에 따른 광 송신 장치의 다중 변조 방식을 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 편광 각도 조절부의 회전 각도에 따른 변조된 편광의 세기 변화를 나타낸다.

도 8은 편광의 변조 세기를 최적화하기 위한 조건을 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 본 실시예에 따른 광 송신 장치의 전력 소모와 오류율을 설명하기 위한 도면이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 광 송신 방법을 나타낸다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시예에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.
- [0024] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명함으로써, 본 발명을 상세히 설명한다. 그러나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재임을 나타낸다.
- [0025] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라, 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "블록" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0026] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 광 송신 장치의 개략적 구조를 나타낸다.
- [0027] 도 2를 참조하면, 본 실시예에 따른 광 송신 장치는 광 출력부(210), 편광 각도 조절부(220), 심볼 변환부(230) 및 다중 편광 변조부(240)를 포함한다.
- [0028] 광 출력부(210)는 미리 지정된 파장과 파형의 광을 생성하여 방출한다. 일 예로 광 출력부(210)는 연속파(continuous wave) 모드의 광을 생성하여 방출할 수 있으며, 레이저 다이오드(laser diode) 등으로 구현될 수 있다.
- [0029] 편광 각도 조절부(220)는 광 출력부(210)에서 방출된 광을 인가받고, 전기장 벡터(또는 자기장 벡터)의 진동 방향이 지정된 방향으로 고정된 편광을 출력한다. 즉 편광 각도 조절부(220)는 광 출력부(210)에서 방출된 광에서 기지정된 각도 방향의 편광만이 출력되도록 필터링하는 편광 필터로 구현될 수 있다. 이때 편광 각도 조절부(220)는 광 송신 장치의 변조 방식에 따라 회전 각도가 변경될 수 있다. 본 실시예에 따른 광 송신 장치는 편광 각도 조절부(220)에서 지정된 각도로 출력되는 편광을 X축 방향 및 Y축 방향 각각에서 변조를 수행할 수 있다. 이에 편광 각도 조절부(220)는 X축 방향 및 Y축 방향 각각에서 변조에 의한 편광의 변화가 나타날 수 있도록 X축 방향과 Y축 방향 사이의 각도를 갖는 편광을 출력하기 위해 회전 각도가 조절될 수 있다. 이때, 편광 각도 조절부(220)는 광 수신 장치가 수신한 광의 Y축 방향의 아이 다이어그램(Eye diagram)과 X축 방향의 아이 다이어그램의 크기가 가능한 균일해지도록 회전 각도가 설정될 수 있다. 또한 본 실시예에 따른 광 송신 장치는 X축 방향에 대해 M-PAM(Pulse-Amplitude Modulation) 변조를 수행하고, Y축 방향에 대해서는 OOK(On-Off Keying) 변조를 수행할 수 있다. 이 경우에도 편광 각도 조절부(220)는 OOK 변조된 Y축 방향의 아이 다이어그램과 M-PAM 변조된 X축 방향에서의 아이 다이어그램의 크기가 가능한 균일해지도록 회전 각도가 설정되어 조절될 수 있다.
- [0030] 편광 각도 조절부(220)는 변조 방식이 미리 지정된 경우에 지정된 변조 방식에 따른 회전 각도로 미리 회전되어 고정될 수 있으나, 경우에 따라서는 변조 방식에 따라 심볼 변환부(230)로부터 전송되는 회전 각도 제어 신호에 따라 회전하여 편광 방향을 조절하도록 구성될 수 있다.
- [0031] 편광 각도 조절부(220)의 회전 각도를 설정하는 방식에 대한 상세한 설명은 후술하도록 한다.
- [0032] 심볼 변환부(230)는 광 수신 장치로 전송할 데이터를 인가받고, 인가된 데이터를 지정된 변조 방식에 따라 맵핑하여 심볼로 변환하고, 변환된 심볼에 따라 변조 제어 신호를 생성하여 다중 편광 변조부(240)로 전송한다. 그



리고 심볼 변환부(230)는 지정된 변조 방식에 따라 편광 각도 조절부(220)에서 출력되는 편광의 각도를 조절 회전 각도 제어 신호를 생성하여 편광 각도 조절부(220)로 인가할 수도 있다.

[0033] 다중 편광 변조부(240)는 단일 MZM으로 구현되며, 심볼 변환부(230)에서 인가되는 변조 제어 신호에 따라 편광 각도 조절부(220)에서 지정된 각도로 인가되는 편광의 X축 방향 및 Y축 방향으로의 세기 변조를 수행한다. 즉 기존의 PDM 기법이 분리된 2개의 편광에 대해 각각 세기 변조를 수행하는데 반해, 본 실시예에 따른 다중 편광 변조부(240)는 단일 편광에 대해 X축 방향뿐만 아니라 Y축 방향으로의 세기 변조를 수행할 수 있다. 이때 다중 편광 변조부(240)는 상기한 바와 같이, X축 방향에 대해서는 OOK 변조 또는 M-PAM 변조를 수행하고, Y축 방향에 대해서는 OOK 변조를 수행할 수 있다.

[0034] 본 실시예의 다중 편광 변조부(240)가 단일 MZM을 이용하여 X축과 Y축 방향에 대해 다중 세기 변조를 수행할 수 있는 원리에 대해서는 후술하도록 한다.

[0035] 도 3은 기존의 MZM의 구조와 변조 특성을 설명하기 위한 도면이다.

[0036] 도 3에 도시된 바와 같이, 기존의 MZM은 기관(310)의 상부에 배치되는 도파로(Waveguide)(320), 전극(330, 340) 및 내장 편광기(350)를 포함한다. 여기서 도파로(320)는 광이 입력되면 인가된 광이 분할된 후 재결합될 수 있도록 제1 및 제2 분기 경로(321, 322)가 형성된다. 도 3의 (a)에서는 (b)의 단면도를 나타내기 위해 MZM의 절반 길이까지만 도시하였으나, MZM의 나머지 영역에서의 도파로(320) 구조는 (a)에 대칭되는 구조를 갖는다. 따라서 (a)의 분기되기 이전 도파로(320)로 입사된 광은 제1 및 제2 분기 경로(321, 322)에서 분할되고, 이후 다시 재결합되어 출력된다. 즉 도파로(320)는 간섭계 형태로 구성된다.

[0037] 기관(310)은 일반적으로 리튬 나이오베이트(Lithium Niobate: 이하 LiNbO<sub>3</sub>)으로 형성된다. 리튬 나이오베이트는 외부에서 걸어준 전기장의 크기에 따라 매질의 굴절율이 변화하는 전기 광학 효과(electro-optic effect)를 갖는 물질이다. 리튬 나이오베이트로 형성된 기관(310)은 전기장(E-Field)이 인가되면 굴절율이 변화하여 도파로(320)를 지나는 광의 위상을 조절한다.

[0038] 전극(330, 340) 중 제1 전극(330)은 일 예로 도파로(320)에서 제1 및 제2 분기 경로(321, 322) 사이에 배치될 수 있으며, 제2 전극(340)은 제1 및 제2 분기 경로(321, 322)의 외측단에 배치될 수 있다. 제1 전극(330)에는 도파로(320)를 경유하는 광의 위상을 제어하기 위한 입력 전압( $v(t)$ )이 인가되고, 제2 전극(340)은 접지 전압에 연결될 수 있다.

[0039] 상기한 구성의 MZM은 제1 전극(330)으로 인가되는 입력 전압( $v(t)$ )에 따라 제1 및 제2 분기 경로(321, 322)에서 분기된 광의 위상이 변화한다. 만일 제1 전극(330)으로 입력 전압( $v(t)$ )이 인가되지 않으면, 즉 0V로 인가되면, 제1 및 제2 분기 경로(321, 322)에서 분기된 광의 위상이 변화하지 않아, 재결합시 보강 간섭을 발생시켜 도파로(320)에 입사된 광과 유사한 세기의 광을 출력한다. 반면, 제1 전극(330)으로 일정 범위의 입력 전압( $v(t)$ )이 인가되면, (b)에 도시된 바와 같이, 기관(310) 내에는 제1 전극(330)과 2개의 제2 전극(340) 사이에 리튬 나이오베이트의 결정축(Crystal Axis) 방향과 결정축의 반대 방향으로의 전기장이 각각 형성되어 제1 및 제2 분기 경로(321, 322)를 통과하는 광의 위상이 서로 상이하게 변화하게 된다. 이에 재결합시 상쇄 간섭을 발생시킴으로써 출력되는 광의 세기가 약해진다.

[0040] 이때, 제1 및 제2 분기 경로(321, 322)를 통과하는 광의 위상이 180도 차이를 가져 광이 세기가 0이 되도록 하는 전압을 스위칭 전압( $V_{\pi}$ )이라 한다. 그리고 입력 전압( $v(t)$ )이 스위칭 전압( $V_{\pi}$ )을 초과하는 경우, 다시 상쇄 간섭이 점차 감소하여 출력되는 광의 세기가 점차로 증가하게 된다. 즉 스위칭 전압( $V_{\pi}$ ) 크기의 구간 단위로 출력되는 광의 세기가 반복적으로 증감하게 된다.

[0041] 다만 이와 같은 리튬 나이오베이트 기반 MZM은 복굴절 특성을 갖고 있어, 편광 방향에 따라 변조 효율이 다르게 나타난다. MZM은 기관(310)을 구성하는 리튬 나이오베이트의 결정축(Crystal Axis) 방향으로의 전압-광 변조 효율이 다른 축 방향에 비해 대략 3배 정도 우수하다. 이에 기존의 MZM은 효율을 극대화하고, 다른 축 방향으로 입력된 광 성분에 의해 의도한 바와 다르게 변조되어 상쇄되어 제거되어야 할 광 성분이 남게 되는 문제를 방지하기 위해, 도 5의 (a)와 같이 내장 편광기(Polarizer)(350)가 구비된 형태로 제공되고 있다. 즉 기존의 MZM은 기관(310)의 결정축 방향에 대응하는 방향의 편광만이 도파로(320) 내에 인가되도록 필터링하는 내장 편광기(350)가 도파로(320)의 입력단에 배치된다. 이로 인해, 지정된 방향의 편광에 대해서만 변조를 수행하도록 구성된다.

[0042] 그러나 본 실시예에서는 도 2의 다중 편광 변조부(240)가 내장 편광기(350)를 구비하지 않는 MZM으로 구현되어, 기관(310)의 결정축 방향에 대응하는 방향뿐만 아니라 다른 방향으로도 동시에 변조를 수행할 수 있도록 구성된



다.

- [0043] 도 4는 본 실시예에 따른 MZM의 구조를 나타내고, 도 5는 본 실시예에 따른 광 송신 장치의 변조 방식을 설명하기 위한 도면이다.
- [0044] 도 4를 참조하면, 본 실시예에 따른 다중 편광 변조부(240)를 구성하는 MZM은 도 3에 도시된 기존의 MZM과 마찬가지로 기관(410)의 상부에 배치되는 도파로(420) 및 전극(미도시)을 포함하고, 도파로(420)는 기관(410) 상부에서 제1 및 제2 분기 경로(421, 422)에 따라 분기 및 결합되는 형태로 형성된다. 다만 다중 편광 변조부(240)를 구성하는 MZM은 내장 편광기(350)를 포함하지 않는다. 즉 본 실시예에 따른 다중 편광 변조부(240)는 내장 편광기(350)가 제거된 MZM으로 구현되며, 제거된 내장 편광기(350)의 기능을 편광 각도 조절부(220)가 대체하여 수행한다.
- [0045] 다만 내장 편광기(350)는 상기한 바와 같이, 기관(310)의 결정축 방향에 대응하는 방향의 편광이 도파로(320)로 인가되도록 하지만, 본 실시예의 편광 각도 조절부(220)는 기관(410)의 결정축 방향과 상이한 방향의 편광이 도파로(420)로 인가되도록 한다. 이하에서는 기관(410)의 결정축 방향에 대응하는 편광 방향을 X축 방향이라고 하며, 편광 각도 조절부(220)는 X축 방향과 이에 수직인 Y축 방향의 사이 각도 방향을 갖는 편광을 MZM의 도파로(420)로 출력한다.
- [0046] 도 5의 (a)는 다중 편광 변조부(240)의 입력 전압( $V(t)$ )에 대비한 출력 광의 세기 변화를 나타낸다. 도 5의 (a)에서 파란색 선은 입력 전압( $V(t)$ )에 따른 편광의 X축 방향의 광 세기 변화를 나타내고, 빨간색 선은 입력 전압( $V(t)$ )에 따른 편광의 Y축 방향의 광 세기 변화를 나타낸다.
- [0047] 상기한 바와 같이, 리튬 나이오베이트 기반 MZM에서는 Y 방향에 대비하여 X축 방향에서 전압-광 변조 효율이 3배 정도 우수하다. 이에 도 5의 (a)에 도시된 바와 같이, 동일한 입력 전압( $V(t)$ )이 인가되더라도 편광의 X축 방향의 광 세기 변화와 Y축 방향의 광 세기 변화는 서로 상이하게 나타나게 된다.
- [0048] (a)에서는 설명의 편의를 위하여, X축 방향의 변환 효율이 Y축 방향보다 정확하게 3배 높은 것으로 가정하여 도시하였다. 즉 광이 Y축 방향에서 최대 광 세기로부터 최소 광 세기까지 감쇄되는데 요구되는 Y축 스윙 전압( $V_{\pi_y}$ )은 X축 방향에서 요구되는 X축 스윙 전압( $V_{\pi_x}$ )의 3배인 것으로 가정하였다. 여기서는 광 세가 0 ~ 1 사이의 범위로 정규화된 것으로 가정하여, 최대 광 세기가 1이고 최소 광 세기가 0인 것으로 도시하였다.
- [0049] 그리고 입력 전압( $V(t)$ )이 X축 스윙 전압( $V_{\pi_x}$ )을 초과하여 입력되면, 입력 전압( $V(t)$ )이 증가하는 동안 X축 방향에서의 광 세기는 증감을 반복하게 된다. Y축 스윙 전압( $V_{\pi_y}$ )이 X축 스윙 전압( $V_{\pi_x}$ )의 3배이므로, 도 5의 (a)와 같이 Y축 스윙 전압( $V_{\pi_y}$ ) 구간 내에는 3번의 X축 스윙 전압( $V_{\pi_x}$ ) 구간이 포함되고, 이로 인해 Y축 스윙 전압( $V_{\pi_y}$ ) 구간동안 Y축 방향 광 세기는 최대광 세기로부터 최소 광세기까지 점차 감쇄되는데 반해, X축 방향 광 세기는 최대광 세기로부터 최소 광세기까지 감쇄된 뒤 최대 광 세기까지 증가한 뒤 다시 최소 광세기까지 감쇄된다.
- [0050] 한편 (a)에 도시된 바와 같이, 입력 전압( $V(t)$ )에 따른 X 방향 및 Y 방향에서의 광 세기 변화는 코사인 곡선 형태로 나타나므로, MZM은 0 ~ 1 사이의 최소 및 최대 광 세기 구간 범위에서 변환 오차를 고려하여 가급적 선형 특성을 나타내는 구간(여기서는 일 예로 0.1 ~ 0.9)을 광 세기 범위를 유효 변조 구간으로 활용할 수 있다. 이 경우,  $1.5 V_{\pi_x}(= 0.5 V_{\pi_y})$  바이어스로 하는 MZM의 Y축 스윙 전압( $V_{\pi_y}$ ) 구간 내에는 입력 전압( $V(t)$ )이 대략  $0.7 \sim 2.3V_{\pi}$  범위인 Y축 방향의 유효 변조 구간( $Y_{S_{dist}}$ )과 입력 전압( $V(t)$ )이 대략  $0.2 \sim 0.8V_{\pi}$  범위와 대략  $2.2 \sim 2.8V_{\pi}$  범위의 2개의 X축 방향의 유효 변조 구간( $X_{S_{dist}}$ )이 포함된다.
- [0051] 이는 (b)와 같이 Y축 스윙 전압( $V_{\pi_y}$ ) 구간을 적어도 4개의 서로 다른 구간으로 구분할 수 있음을 의미한다. 즉 본 실시예에 따른 광 송신 장치가 X축 방향 및 Y축 방향 각각에 대해 OOK 변조를 수행하고, 0.5를 심볼을 판별하기 위한 심볼 판별값으로 하여 X축 방향과 Y축 방향 광 세기를 각각 판단하는 경우, Y축 방향의 유효 변조 구간( $Y_{S_{dist}}$ )이 Y축 방향의 광 세기에 따른 비트가 1인지 0인지 판단하기 위한 2개의 구간이 우선 구분되고, Y축 방향을 기준으로 구분된 2개의 구간 각각에서 X축 방향의 광 세기에 따른 비트가 1인지 0인지 판단하기 위한 구간이 다시 구분될 수 있다.
- [0052] 그러므로 본 실시예에 따른 광 송신 장치가 X축 방향 및 Y축 방향 각각에 대해 OOK 변조를 수행하는 경우, 0.5를 심볼 판별값으로 하여 X축 방향과 Y축 방향 광 세기를 각각 판단하게 되면, 4가지 광 세기 조합이 생성될 수

있다. 4가지 조합은 입력 전압( $V(t)$ )에 따라 X축 및 Y축 광 세기( $X, Y$ )가 모두 1인 경우(1, 1), X축 광세기가 0이고 Y축 광세기가 1인 경우(0, 1), X축 광세기가 1이고 Y축 광세기가 0인 경우(1, 0) 및 입력 전압( $V(t)$ )에 따라 X축 및 Y축 광 세기( $X, Y$ )가 모두 0인 경우(0, 0)로 구분될 수 있다.

[0053] 그리고 X축 방향과 Y축 방향 각각에서 변조에 따른 아이 다이어그램은 유효 변조 구간( $X_{s\_dist}, Y_{s\_dist}$ )의 X축 방향과 Y축 방향 광 세기로 나타나게 되므로, (c) 및 (d)와 같이 나타나게 된다.

[0054] 도 5에서는 광 송신 장치가 X축 방향 및 Y축 방향 각각에 대해 OOK 변조를 수행하는 경우에 대해 도시하였으나, 본 실시예에 따른 광 송신 장치는 Y축 방향에 대해서는 OOK 변조를 수행하되 X축 방향에 대해서는 M-PAM 변조를 수행할 수도 있다.

[0055] 도 6은 본 실시예에 따른 광 송신 장치의 다중 변조 방식을 설명하기 위한 도면이다.

[0056] 도 6에서는 일 예로 Y축 방향에서는 OOK 변조를 수행하고, X축 방향에 대해 4-PAM 변조를 수행하는 경우를 도시하였다. 도 6에서 (a)와 (b)는 X축 방향과 Y축 방향의 MZM 변환 곡선과 심볼 맵핑을 나타내고, (c)와 (d)는 광 수신 장치가 수신한 광 신호의 X축 방향 및 Y축 방향의 아이 다이어그램을 나타낸다.

[0057] 도 6의 (a)에 도시된 바와 같이,  $1.5V_{\pi_x}(=0.5V_{\pi_y})$ 를 바이어스 설정하고, 바이어스보다 낮은 전압 범위, 즉 Y축 방향의 광 세기에 따른 비트가 1로 판정되는 범위에서의 X축 방향 유효 변조 구간( $X_{s\_dist}$ )과 바이어스보다 높은 전압 범위에서의 X축 방향 유효 변조 구간( $X_{s\_dist}$ )을 각각 광 세기 편차가 균일해지도록 4개의 구간으로 구분할 수 있다. 이 경우, (c)와 같이 X축 방향에서 4-PAM 변조에 따른 균일한 크기의 아이 다이어그램이 획득될 수 있다.

[0058] 한편, X축 방향에서의 심볼을 구분하기 위한 입력 전압( $V(t)$ )에 따라 Y축 방향의 광 세기를 구분하면, (d)와 같이 나타나게 된다. 이때 X축 방향에서의 광 세기와 Y축 방향에서의 광 세기를 동시에 구분할 수 있어야 하므로, Y축 방향에서의 아이 다이어그램은 (d)에서 가운데 가장 작은 사각형으로 볼 수 있다.

[0059] (c) 및 (d)에서 점선은 서로 다른 심볼을 구분하기 위한 다수의 심볼 판별값을 나타낸다.

[0060] 도 7은 편광 각도 조절부의 회전 각도에 따른 변조된 편광의 세기 변화를 나타내고, 도 8은 편광의 변조 세기를 최적화하기 위한 조건을 설명하기 위한 도면이다.

[0061] 도 5 및 도 6에서는 편광 각도 조절부(220)에서 필터링되어 다중 편광 변조부(240), 즉 MZM에 입사되는 편광이 X축 방향과 Y축 방향에서의 세기가 균등하게 입사되는 경우를 가정하여 도시하였다. 즉 편광이 X축과 Y축의 사이 45도 방향으로 입사되는 경우를 가정하였다.

[0062] 그러나 만일 편광 각도 조절부(220)의 회전 각도가 조절되어 편광이 45도 미만의 각도를 가지게 되면, 도 7의 (a)에 도시된 바와 같이, X축 방향의 최대 광 세기가 증가하여, (b)와 같이 X축 방향에서의 아이 다이어그램의 크기도 증가한다.

[0063] 그에 반해, (c)에 도시된 바와 같이, Y축 방향의 최대 광 세기는 감소하게 되므로, (d)와 같이 Y축 방향의 아이 다이어그램의 크기 또한 감소하게 된다.

[0064] 그리고 편광이 45도를 초과하는 각도를 가지게 되는 경우에는 반대로, X축 방향에서의 아이 다이어그램의 크기가 감소하고, Y축 방향의 아이 다이어그램의 크기가 증가하게 된다.

[0065] 따라서 광 수신 장치가 X축 방향과 Y축 방향 모두에서 변조된 신호를 정확하게 검출할 수 있도록 하기 위해서는 X축 방향과 Y축 방향의 아이 다이어그램의 크기가 가능한 균등해야 한다. 이에 X축 방향과 Y축 방향의 아이 다이어그램의 크기가 균등해질 수 있도록 편광 각도 조절부(220)의 회전 각도를 조절해야 한다.

[0066] 본 발명에서는 비트 에러율(Bit Error Rate: 이하 BER)에 기반하여, 편광 각도 조절부(220)의 회전 각도를 조절한다.

[0067] N(여기서 N은 자연수) 비트의 데이터를 X축 방향에서 N-1 비트 및 Y축 방향에서 1비트의 비율로 다중 변조하여 전송하는 경우( $X : Y = N-1 : N$ )를 가정할 때, 전체 BER( $BER_{total}$ )은 수학식 1과 같이 계산될 수 있다.

## 수학식 1

$$BER_{total} = \frac{Errorbits_x + Errorbits_y}{total\ bits} = \frac{SER_x + SER_y}{N}$$

[0068]

[0069] 여기서 total bits는 전체 전송 데이터의 비트수를 나타내고, Errorbits<sub>x</sub>는 와 Errorbits<sub>y</sub>는 각각 X축 방향과 Y축 방향 변조되어 전송된 데이터의 오류 비트수를 나타내며, SER<sub>x</sub> 와 SER<sub>y</sub> 는 각각 X축 방향과 Y축 방향 변조에 서의 심볼 에러율(Symbol Error Rate: 이하 SER)을 나타낸다.

[0070] 그리고 일반적인 M-PAM 변조에서 SER은 수학식 2로 계산된다.

## 수학식 2

$$SER_{MPAM} = \frac{M-1}{M} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{6\gamma_s}{M^2-1}} \right)$$

[0071]

[0072] 여기서 M은 M-PAM 변조의 차수,  $\gamma_s$ 는 평균 심볼 전력 잡음비(average symbol power noise ratio)로서  $\gamma_s = \frac{\overline{E_s}}{N_0}$ 고,  $\overline{E_s}$ 는 평균 심볼 에너지(Average Symbol Energy)이며,  $N_0$ 는 잡음 전력(Noise Power)이다. 그리고  $\operatorname{erfc}(\cdot)$ 는 보상 오차 함수(Complementary Error Function)로서,  $\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2} dt$ 로 계산된다.

[0073] 평균 심볼 전력 잡음비( $\gamma_s$ )가  $\gamma_s = \frac{\overline{E_s}}{N_0}$ 이므로, 수학식 2는 수학식 3과 같이 평균 심볼 에너지( $\overline{E_s}$ )와 잡음 전력( $N_0$ )으로 표현될 수 있다.

## 수학식 3

$$SER_{MPAM} = \frac{M-1}{M} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{6\overline{E_s}/N_0}{M^2-1}} \right)$$

[0074]

[0075] 또한 평균 심볼 에너지( $\overline{E_s}$ )와 출력 광 신호의 최대 및 최소 세기로서 유효 변조 구간에서의 최대 광 세기( $b_{on}$ )와 최소 광 세기( $b_{off}$ ) 사이의 관계는 수학식 4와 같다.

## 수학식 4

$$b_{on} - b_{off} = 2(M-1) \cdot \sqrt{\frac{3\overline{E_s}}{M^2-1}}$$

[0076]

[0077] 수학식 4의 평균 심볼 에너지( $\overline{E_s}$ )와 유효 변조 구간의 크기( $b_{on} - b_{off}$ ) 사이의 관계에 따라 수학식 3은 수학식 5와 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 5

$$SER_{MPAM} = \frac{M-1}{M} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{2} \cdot \frac{b_{on} - b_{off}}{\sqrt{N_0 \cdot 2 \cdot (M-1)}} \right)$$

[0078]

[0079]

즉 도 7에 도시된 바와 같이, 편광 각도 조절부(220)에 의한 편광의 방향에 따른 X축과 Y축 방향 각각에 대한 유효 변조 구간의 크기 $((b_{on} - b_{off})_x, (b_{on} - b_{off})_y)$ 에 대응하는 아이 다이어그램의 크기에 따라 BER이 결정된다.

[0080]

여기서 편광 각도 조절부(220)가 회전 각도를 조절하여 편광의 세기가 X축 방향으로 분배 비율( $\alpha$ )만큼 할당되도록 한 경우를 가정하면, Y축 방향에서의 편광 세기는  $1-\alpha$ 만큼 할당된다. 즉 도 8에 도시된 바와 같이, X축 방향과 Y축 방향에서의 유효 변조 구간 $((b_{on} - b_{off})_x, (b_{on} - b_{off})_y)$ 의 크기 비는  $\alpha : 1-\alpha$ 가 되어 서로 상대적인 크기를 갖게 된다.

[0081]

도 5에서와 같이 X축 방향에서의 출력 광 신호의 최대 및 최소 세기 $((b_{on})_x, (b_{off})_x)$ 가 각각 0.9 및 0.1인 경우, X축 방향의 유효 변조 구간의 크기 $((b_{on} - b_{off})_x)$ 는 0.8로 계산될 수 있다.

[0082]

그리고 한편, Y축 방향에서는 X축 방향에서 최소 세기 $((b_{off})_x)$ 가 되는 전압 $(V(t))$ 에 대응하는 광 세기로부터 최대 세기 $((b_{off})_x)$ 될 때까지의 광 세기 구간이 유효 변조 구간 $((b_{on} - b_{off})_y)$ 으로, 유효 변조 구간이다.

[0083]

따라서 Y축 방향에서 출력 광 신호의 최대 세기 $((b_{off})_y)$ 와 최소 세기 $((b_{off})_y)$ 에 대응하는 입력 전압 $(V(t))$ 을 각각  $V_1$  및  $V_2$ 라 할 때,  $V_1$  과  $V_2$  는 각각 수학식 6 및 7에 따라 계산될 수 있다.

### 수학식 6

$$\frac{V_1}{V_\pi} = \cos^{-1}(b_{off} - b_{on})_x$$

[0084]

### 수학식 7

$$\frac{V_2}{V_\pi} = 2\pi + \cos^{-1}(b_{on} - b_{off})_x$$

[0085]

[0086]

따라서 Y축 방향의 유효 변조 구간의 크기 $((b_{on} - b_{off})_y)$ 는 수학식 8에 따라 계산될 수 있다.

### 수학식 8

$$(b_{on} - b_{off})_y = \frac{1}{2} \left( \cos \frac{\cos^{-1}(b_{off} - b_{on})_x}{3} - \cos \frac{2\pi + \cos^{-1}(b_{off} - b_{on})_x}{3} \right)$$

[0087]

[0088]

상기와 같이, X축 방향에서의 출력 광 신호의 최대 및 최소 세기 $((b_{on})_x, (b_{off})_x)$ 가 각각 0.9 및 0.1인 경우,  $((b_{on} - b_{off})_x)$ 는 0.8이고,  $((b_{off} - b_{on})_x)$ 은 -0.8 이므로, 수학식 6의 Y축 방향의 유효 변조 구간의 크기 $((b_{on} - b_{off})_y)$ 는 0.67288로 계산될 수 있다.

[0089] 한편 수학식 1의 전체 BER(BER<sub>total</sub>)은 수학식 9와 같이 계산될 수 있다.

### 수학식 9

$$BER_{total} = \frac{SER_x + SER_y}{N} = \frac{1}{N} \left( \frac{M-1}{M} \operatorname{erfc} \left( \alpha \sqrt{\frac{6\gamma_{sx}}{M^2-1}} \right) + \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( (1-\alpha) \sqrt{2\gamma_{sy}} \right) \right)$$

$$= \frac{1}{N} \left( \frac{M-1}{M} \operatorname{erfc} \left( \alpha \cdot \beta \frac{(b_{on} - b_{off})_x}{\sqrt{2N_0}} \right) + \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( (1-\alpha) \cdot \beta \frac{(b_{on} - b_{off})_y}{\sqrt{2N_0}} \right) \right)$$

[0090]

[0091] 여기서  $\beta$ 는 정규화된 유효 변조 구간의 크기( $b_{on} - b_{off}$ )에 따른 비례상수이다. 즉 정규화된 유효 변조 구간의 크기(여기서는  $0.9 - 0.1 = 0.8$ )가 실제 출력 광 신호의 유효 변조 구간의 크기( $b_{on} - b_{off}$ )가 되도록 하는 비례 상수이다.

[0092] 수학식 9로부터 전체 BER(BER<sub>total</sub>)이 최소가 되도록 하는 분배 비율( $\alpha$ )을 탐색해야 함을 알 수 있으며, 전체 BER(BER<sub>total</sub>)이 최소가 되도록 하는 분배 비율( $\alpha$ )은 수학식 10의 근사식으로부터 계산될 수 있다.

### 수학식 10

$$\frac{1}{M-1} \alpha \cdot (b_{off} - b_{on})_x \approx (1-\alpha) \cdot (b_{on} - b_{off})_y$$

[0093]

[0094] 수학식 10에 따른 결과는 도 8에 도시된 바와 같이, 서로 상대적으로 크기가 변화하는 X축 방향과 Y축 방향 각 각에서 1비트의 데이터를 결정하기 위한 아이 다이어그램의 크기가 동일해질 때 전체 BER(BER<sub>total</sub>)이 최소가 되어 전송 효율이 최대가 됨을 알 수 있다. 이는 단일 편광에 대해 X축 방향과 Y축 방향으로의 다중 변조시에 X축 방향의 아이 다이어그램의 크기와 Y축 방향의 아이 다이어그램의 크기가 서로 트레이드 오프 관계임을 고려할 때 자명하다.

[0095] 즉 본 실시예에 따른 광 송신 장치는 수학식 10에 따라 분배 비율( $\alpha$ )이 계산되면, 다중 편광 변조부(240)로 입사되는 편광의 X축 방향과 Y축 방향 각각의 세기가  $\alpha : 1-\alpha$ 의 비율로 분배되도록 편광 각도 조절부(220)의 회전 각도( $\theta$ )를 조절한다. 이때, 본 실시예의 다중 편광 변조부(240)의 변조 제어 신호(V(t))의 범위는 일반적인 MZM의  $0 \leq V(t) \leq V\pi$ 가 아니라  $0 \leq V(t) \leq 3V\pi$ 이며,  $V\pi < V(t) < 2V\pi$  구간은 이용하지 않으므로, 심볼 변환부(230)는  $0 \leq V(t) \leq V\pi$ 와  $2V\pi < V(t) < 3V\pi$ 인 범위에서 변조 제어 신호(V(t))를 출력하여 심볼 맵핑을 수행할 수 있다.

[0096] 도 9는 본 실시예에 따른 광 송신 장치의 전력 소모와 오류율을 설명하기 위한 도면이다.

[0097] 도 9에서 (a) 내지 (c)는 각각 기존의 기법에 따라 편광에 대해 단일 방향으로 PAM4, PAM8 및 PAM16 변조를 수행한 경우와 본 실시예에 따라 단일 편광에 대해 X축과 Y축 방향으로 OOK-OOK, PAM4-OOK, PAM8-OOK 변조를 함께 수행한 경우의 광 전력에 따른 BER 비율을 나타낸다. 도 9에 도시된 바와 같이, 편광에 대해 단일 축 방향의 PAM 변조를 수행하는 경우에 비해, 본 실시예와 같이 X축과 Y축 방향으로의 변조를 함께 수행하는 경우, 동일한 BER에 대해 더 적은 전력 소모를 소모함을 알 수 있다. 이는 다른 말로 동일한 전력에서 더 적은 BER을 갖는 광 통신 시스템을 구축할 수 있음을 의미한다.

[0098] 결과적으로 본 실시예에 따른 광 송신 장치는 상기한 바와 같이 내장 편광기를 포함하지 않는 단일 MZM의 변조 특성을 이용하여, 전송하고자 하는 데이터의 적어도 1비트를 Y축 방향에서 광 세기 변조하고 나머지 비트를 X축 방향에서 광 세기 변조함으로써 X축과 Y축 양측 방향으로 변조를 수행할 수 있다. 따라서 매우 적은 구성 요소로 구현될 수 있으므로 저비용으로 매우 효율적인 광 세기 변조를 수행할 수 있을 뿐만 아니라 저전력을 소모하



여 데이터를 전송할 수 있다.

[0099] 그리고 상기한 바와 같이, 본 실시예에 따른 광 송신 장치는 단일 MZM을 이용하여 X축 방향과 Y축 방향 사이의 방향을 갖는 단일 편광에 대해 X축 방향 및 Y축 방향으로 함께 변조를 수행하여 송신 광 신호를 전송하는 경우, 광 수신 장치는 도 1에 도시된 바와 같이 X축 편광과 Y축 편광을 각각 변조하는 광 송신 장치에서 전송되는 송신 광 신호를 수신하는 경우와 동일하게 구성되어 송신 광 신호에 포함된 데이터를 복원할 수 있다. 이는 X축 편광과 Y축 편광을 개별 변조하고 결합된 송신 광 신호와 X축 방향과 Y축 방향 사이의 각도를 갖는 편광에 X축 및 Y축 각각으로의 변조를 수행한 송신 광 신호에서 변조에 따른 데이터의 정보는 동일한 방식으로 포함되기 때문이다.

[0100] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 광 송신 방법을 나타낸다.

[0101] 도 2 내지 도 8를 참조하여, 본 실시예의 광 송신 방법은 우선 X축 방향 및 Y축 방향으로의 변조 방식을 결정한다(S11). 여기서 결정되는 변조 방식은 Y축 방향에서는 OOK 가 이용될 수 있으며, X축 방향으로는 OOK 또는 M-PAM으로 결정될 수 있다.

[0102] X축 방향과 Y축 방향에서의 변조 방식이 결정되면, 편광 각도 조절부(220)를 회전시킨다(S12). 이때 편광 각도 조절부(220)는 이후 편광이 결정된 X축 방향과 Y축 방향에서의 변조 방식에 따라 X축 방향과 Y축 방향에서 변조된 광 세기의 아이 다이어그램이 동일해지는 편광의 각도를 갖도록 회전될 수 있다. 즉 편광 각도 조절부(220)는 수학적 8로 계산되는 분배 비율( $\alpha$ )에 따라 편광의 X축 방향과 Y축 방향 각각의 세기가  $\alpha : 1-\alpha$ 의 비율을 갖도록 회전될 수 있다.

[0103] 편광 각도 조절부(220)가 회전하여 지정된 각도의 편광을 획득할 수 있도록 준비가 되면, 광 출력부(210)가 미리 지정된 파장과 파형의 광을 생성하여 방출한다(S13). 광 출력부(210)에서 방출된 광은 편광 각도 조절부(220)에서 필터링되어 지정된 각도의 편광으로 출력된다(S14). 여기서 편광의 각도는 X축 방향과 Y축 방향의 사이 각도를 가진다.

[0104] 이와 함께, 전송하고자 하는 데이터가 인가되면, 인가된 데이터를 지정된 변조 방식에 따른 심볼로 변환한다(S15). 그리고 변환된 심볼에 대응하는 전압 레벨을 변조 제어 신호( $V(t)$ )를 생성하여 내장 편광기(350)가 제거된 단일 MZM(240)으로 출력한다(S16). 이에 단일 MZM(240)은 지정된 각도로 입사된 편광을 변조 제어 신호( $V(t)$ )에 따라 X축 방향 및 Y축 방향에서 함께 변조한다(S17). 여기서는 변조 제어 신호( $V(t)$ )는 단일 MZM(240)의 결정 축 방향에 대응하는 X축 방향에서의 X축 스윙 전압( $V_{\pi_x}$ )의 3배 수준으로 인가될 수 있다. 즉 단일 MZM(240)의 결정 축 방향과 수직 방향의 Y축 방향에서의 Y축 스윙 전압( $V_{\pi_y}$ ) 범위에서 인가될 수 있으며, 이로 인해, X축 방향과 Y축 방향 모두에서 변조가 수행될 수 있다.

[0105] 그리고 X축 방향과 Y축 방향 양측으로 변조된 송신 광 신호를 광 수신 장치로 전송한다(S18).

[0106] 본 발명에 따른 방법은 컴퓨터에서 실행시키기 위한 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 여기서 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 또한 컴퓨터 저장 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함하며, ROM(판독 전용 메모리), RAM(랜덤 액세스 메모리), CD(컴팩트 디스크)-ROM, DVD(디지털 비디오 디스크)-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광데이터 저장장치 등을 포함할 수 있다.

[0107] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.

[0108] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

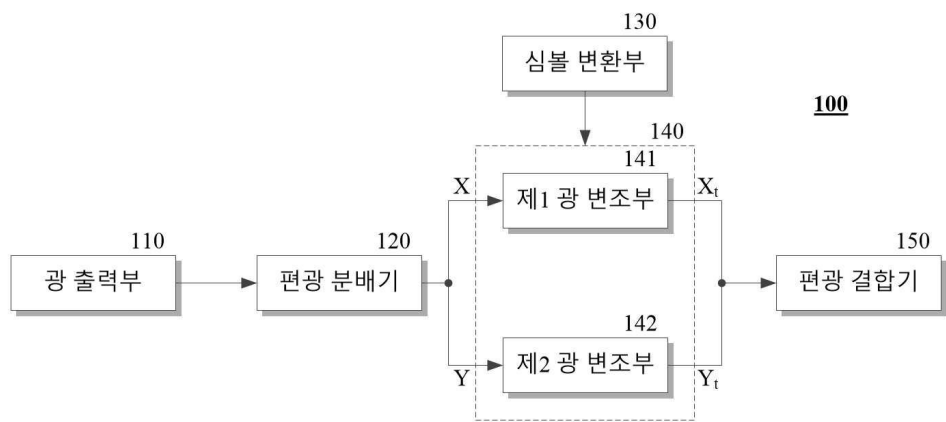
## 부호의 설명

[0109]	210: 광 출력부	220: 편광 각도 조절부
	230: 심볼 변환부	240: 다중 편광 변조부
	410: 기관	420: 도파로
	421: 제1 분기 경로	422: 제2 분기 경로

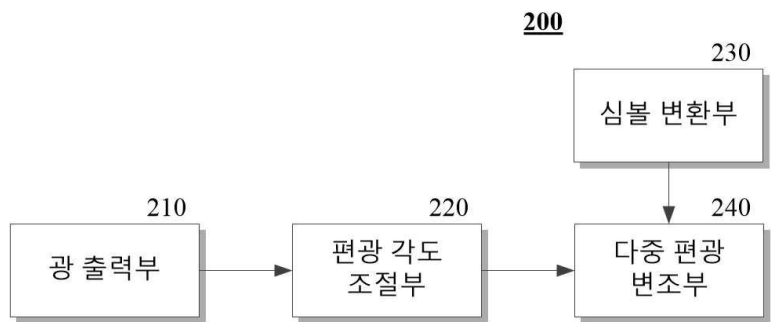


도면

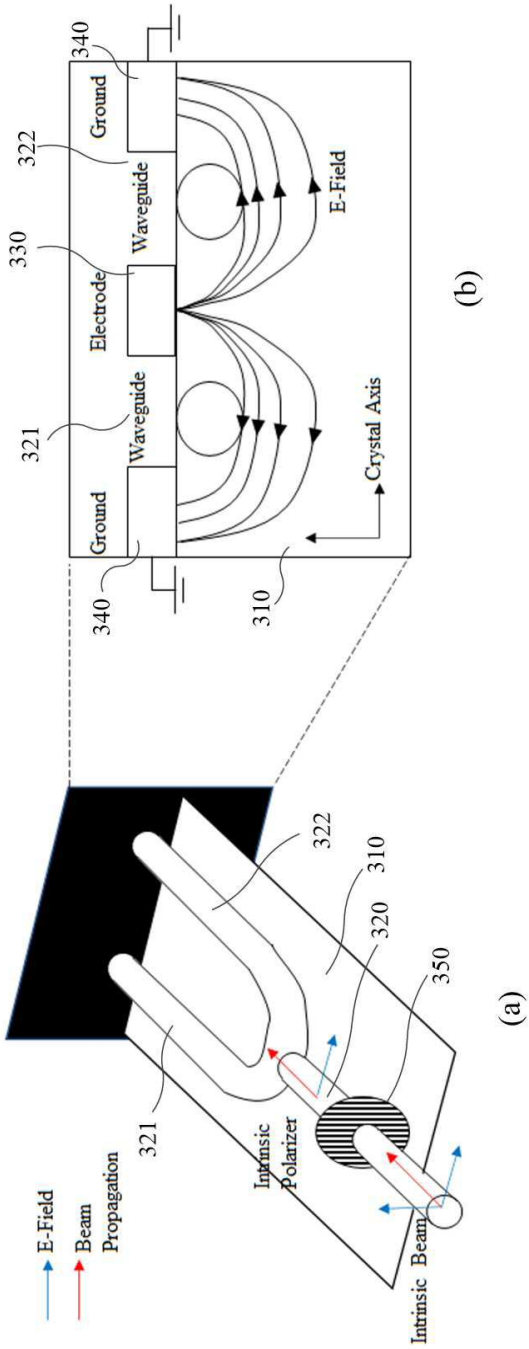
도면1



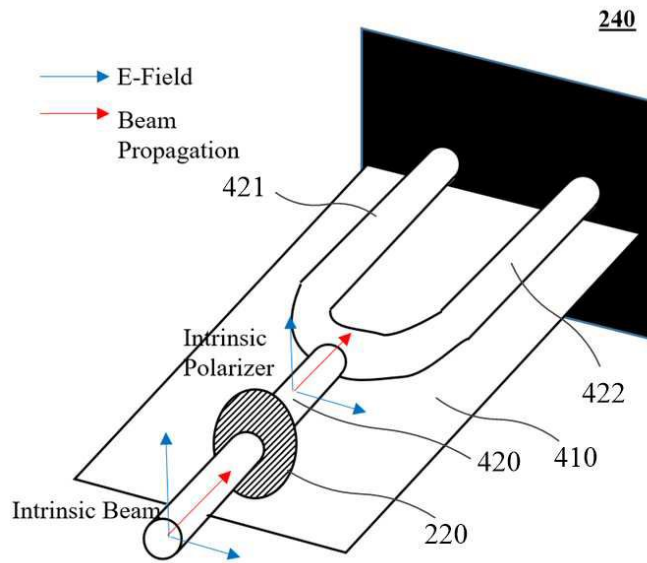
도면2



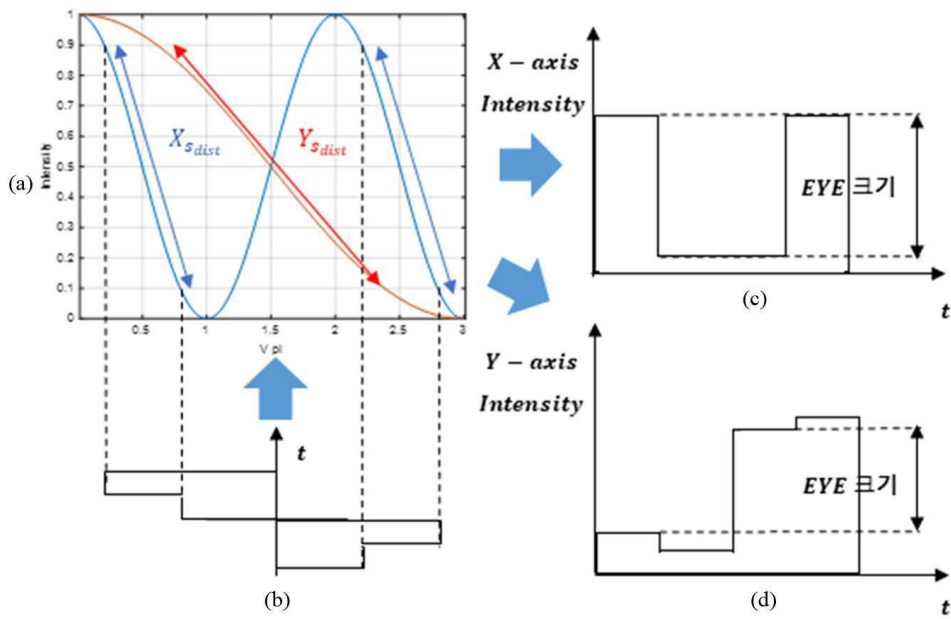
도면3



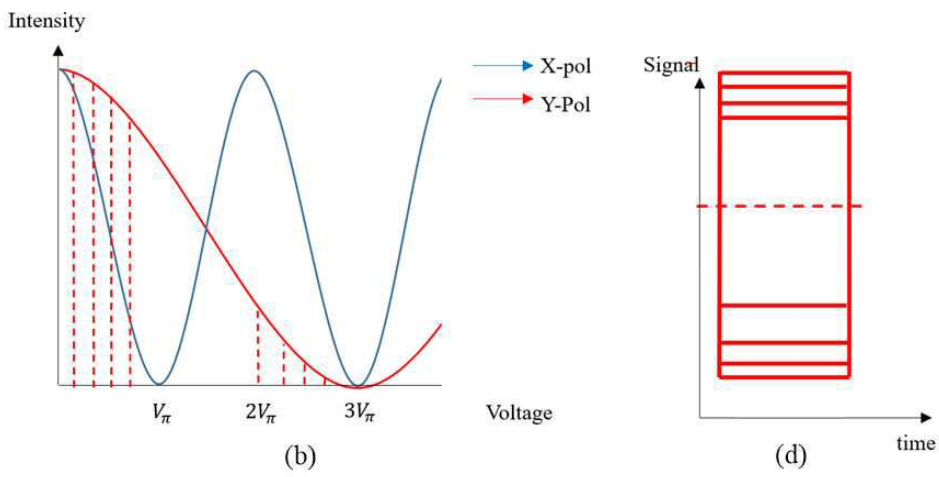
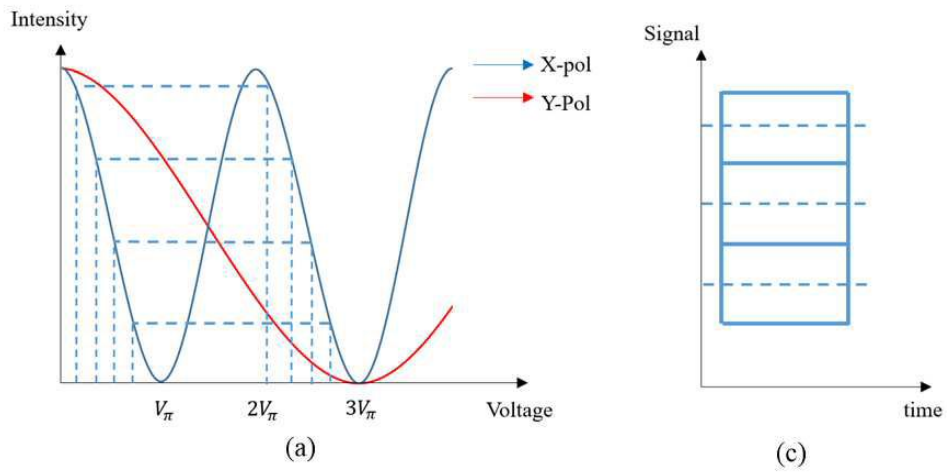
도면4



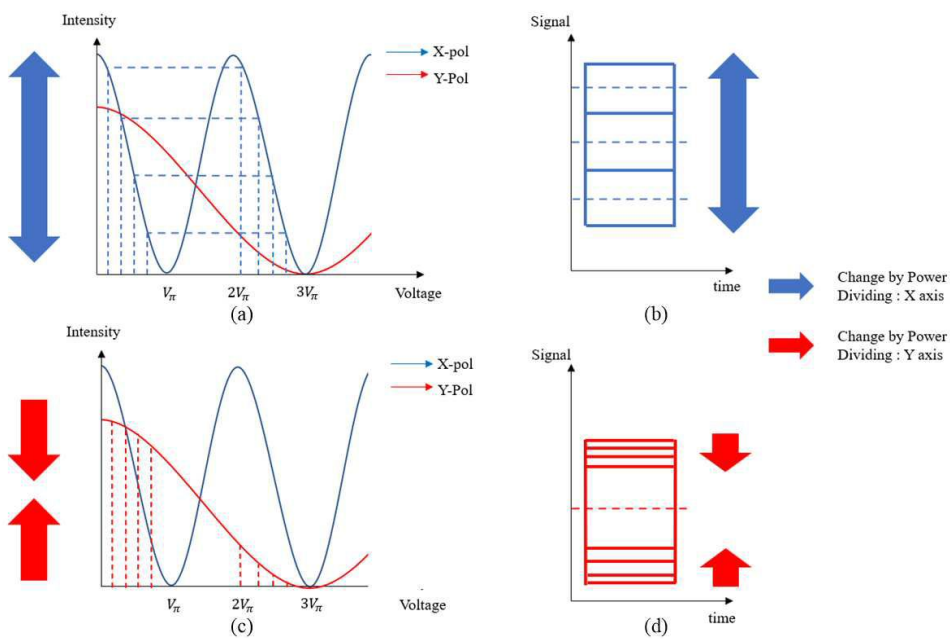
도면5



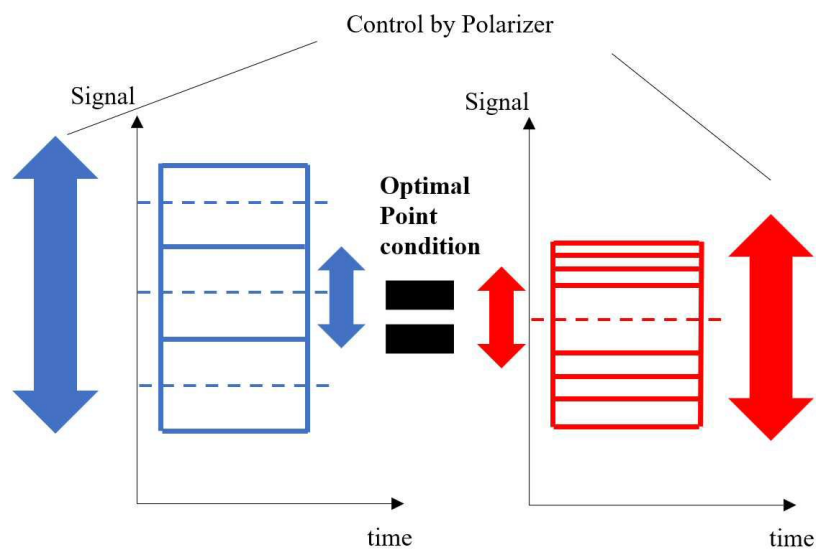
도면6



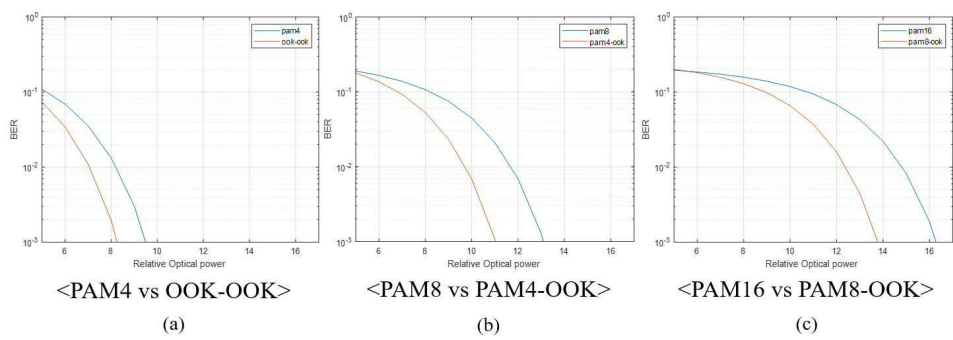
도면7



도면8



도면9



도면10

