



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년06월29일  
(11) 등록번호 10-2127326  
(24) 등록일자 2020년06월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G02B 26/06 (2006.01) G02B 26/02 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G02B 26/06 (2013.01)  
G02B 26/02 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2018-0163034  
(22) 출원일자 2018년12월17일  
심사청구일자 2018년12월17일  
(65) 공개번호 10-2020-0074531  
(43) 공개일자 2020년06월25일  
(56) 선행기술조사문헌  
JP2018112611 A  
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자  
국방과학연구소  
대전광역시 유성구 북유성대로488번길 160 (수남동)  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
오경환  
서울특별시 서대문구 연세로 50, 과학관 241호(신촌동, 연세대학교)  
송상권  
서울특별시 서대문구 연세로 50, 과학관 237호(신촌동, 연세대학교)  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
특허법인 무한

전체 청구항 수 : 총 12 항

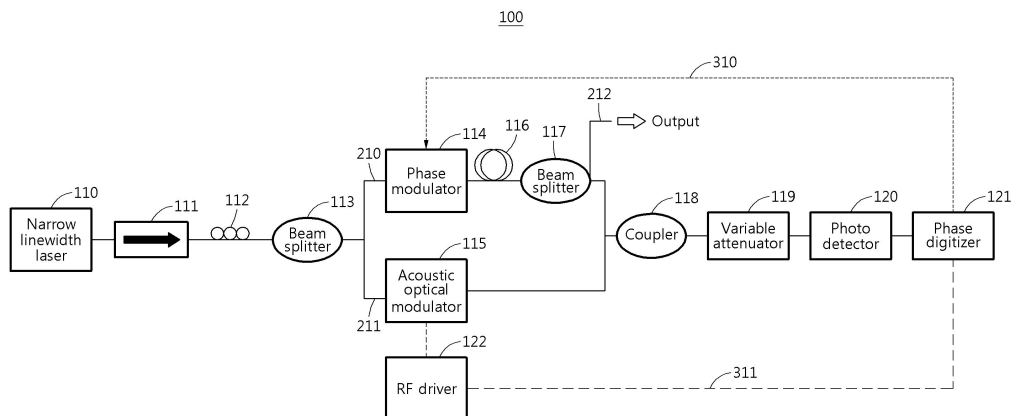
심사관 : 김희진

(54) 발명의 명칭 광 증폭기의 위상 잡음 보정 방법 및 시스템

(57) 요약

광 증폭기의 위상 잡음 보정 방법 및 시스템이 개시된다. 위상 잡음 보정 시스템은 연속파 광 신호를 발생시키는 광원; 상기 발생된 연속파 광 신호를 측정 광 신호 및 기준 광 신호로 분리하는 빔 스플리터; 상기 측정 광 신호의 위상을 변조하는 광전 위상 변조기; 상기 위상이 변조된 측정 광 신호를 증폭하는 증폭기; 상기 기준 광 신호를 주파수 천이시키는 음향 광 변조기; 상기 증폭된 측정 광 신호와 주파수 천이된 기준 광 신호가 결합된 간섭 광 신호를 검출하는 광 검출기; 및 상기 검출된 간섭 광 신호에서 측정된 위상 잡음을 보정하기 위하여 상기 광전 위상 변조기를 제어하기 위한 제어 신호를 생성하는 위상 디지털라이저를 포함할 수 있다.

대표도



(72) 발명자

**정애리**

서울특별시 서대문구 연세로 50, 과학관 237호(신  
촌동, 연세대학교)

**홍성진**

서울특별시 서대문구 연세로 50, 과학관 237호(신  
촌동, 연세대학교)

(56) 선행기술조사문헌

JP6226431 B2

KR101401283 B1

JP2013152243 A

JP2016148522 A\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

연속파 광 신호를 발생시키는 광원;

상기 발생된 연속파 광 신호를 측정 광 신호 및 기준 광 신호로 분리하는 빔 스플리터;

상기 측정 광 신호의 위상을 변조하는 광전 위상 변조기;

상기 위상이 변조된 측정 광 신호를 증폭하는 증폭기;

상기 기준 광 신호를 주파수 천이시키는 음향 광 변조기;

상기 증폭된 측정 광 신호와 주파수 천이된 기준 광 신호가 결합된 간섭 광 신호를 검출하는 광 검출기; 및

상기 검출된 간섭 광 신호에서 측정된 위상 잡음을 보정하기 위하여 상기 광전 위상 변조기를 제어하기 위한 제어 신호를 생성하는 위상 디지털라이저

를 포함하고,

상기 위상 디지털라이저는,

상기 기준 광 신호와 간섭 광 신호 간의 계산된 위상차가 일정 범위 내에 존재하는 지 여부에 기초하여 상기 기준 광 신호와 간섭 광 신호 간의 위상차를 최종 결정하고,

상기 최종 결정된 기준 광 신호와 간섭 광 신호 간의 위상차에 기초하여 상기 광전 위상 변조기를 제어하기 위한 전기 신호의 양을 계산함으로써 제어 신호를 생성하는 위상 잡음 보정 시스템.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 위상 디지털라이저는,

상기 간섭 광 신호의 데이터를 디지털화하고, 상기 디지털화된 데이터를 주파수 변환함으로써 상기 간섭 광 신호와 기준 광 신호 사이의 위상차를 측정하며, 상기 측정된 위상차에 기초하여 상기 간섭 광 신호에서 발생된 위상 잡음을 검출하는 위상 잡음 보정 시스템.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 위상 디지털라이저는,

상기 간섭 광 신호와 기준 광 신호 사이의 위상차가 일정 범위 내에 존재하도록 상기 광전 위상 변조기를 제어하기 위한 전기 신호를 생성하는 위상 잡음 보정 시스템.

#### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 광전 위상 변조기는,

상기 위상 디지털라이저를 통해 수신된 전기 신호를 이용하여 상기 측정 광 신호의 위상을 변조하는 위상 잡음 보정 시스템.

#### 청구항 5

제2항에 있어서,

상기 위상 디지털이저는,

상기 간섭 광 신호와 기준 광 신호 사이의 위상차가 일정 기준 이하가 될 때까지 반복적으로 상기 광전 위상 변조기를 제어하는 위상 잡음 보정 시스템.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 위상 잡음 보정 시스템은,

광 섬유 기반의 마흐젠더 간섭계로 구성되는 위상 잡음 보정 시스템.

#### 청구항 7

위상 잡음 보정 시스템이 수행하는 위상 잡음 보정 방법에 있어서,

광원을 통해 연속파 광 신호를 발생시키는 단계;

빔 스플리터를 통해 상기 발생된 연속파 광 신호를 측정 광 신호 및 기준 광 신호로 분리하는 단계;

광전 위상 변조기를 통해 상기 측정 광 신호의 위상을 변조하는 단계;

증폭기를 통해 상기 위상이 변조된 측정 광 신호를 증폭하는 단계;

음향 광 변조기를 통해 상기 기준 광 신호를 주파수 천이 시키는 단계;

광 검출기를 통해 상기 증폭된 측정 광 신호와 주파수 천이된 기준 광 신호가 결합된 간섭 광 신호를 검출하는 단계; 및

위상 디지털이저를 통해 상기 검출된 간섭 광 신호에서 측정된 위상 잡음을 보정하기 위하여 상기 광전 위상 변조기를 제어하기 위한 제어 신호를 생성하는 단계

를 포함하고,

상기 제어 신호를 생성하는 단계는,

상기 기준 광 신호와 간섭 광 신호 간의 계산된 위상차가 일정 범위 내에 존재하는 지 여부에 기초하여 상기 기준 광 신호와 간섭 광 신호 간의 위상차를 최종 결정하는 단계 및

상기 최종 결정된 기준 광 신호와 간섭 광 신호 간의 위상차에 기초하여 상기 광전 위상 변조기를 제어하기 위한 전기 신호의 양을 계산함으로써 제어 신호를 생성하는 단계

를 포함하는 위상 잡음 보정 방법.

#### 청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제어 신호를 생성하는 단계는,

상기 간섭 광 신호의 데이터를 디지털화하고, 상기 디지털화된 데이터를 주파수 변환함으로써 상기 간섭 광 신호와 기준 광 신호 사이의 위상차를 측정하며, 상기 측정된 위상차에 기초하여 상기 간섭 광 신호에서 발생된 위상 잡음을 검출하는 위상 잡음 보정 방법.

#### 청구항 9

제8항에 있어서,

상기 제어 신호를 생성하는 단계는,

상기 간섭 광 신호와 기준 광 신호 사이의 위상차가 일정 범위 내에 존재하도록 상기 광전 위상 변조기를 제어하기 위한 전기 신호를 생성하는 위상 잡음 보정 방법.

#### 청구항 10

제9항에 있어서,

상기 측정 광 신호의 위상을 변조하는 단계는,

상기 위상 디지털라이저를 통해 수신된 전기 신호를 이용하여 상기 측정 광 신호의 위상을 변조하는 위상 잡음 보정 방법.

#### 청구항 11

제8항에 있어서,

상기 제어 신호를 생성하는 단계는,

상기 간섭 광 신호와 기준 광 신호 사이의 위상차가 일정 기준 이하가 될 때까지 반복적으로 상기 광전 위상 변조기를 제어하는 위상 잡음 보정 방법.

#### 청구항 12

제7항에 있어서,

상기 위상 잡음 보정 시스템은,

광 섬유 기반의 마흐젠더 간섭계로 구성되는 위상 잡음 보정 방법.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 광 증폭기의 위상 잡음 보정 방법 및 시스템에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 광 섬유 기반의 마흐젠더 간섭계(Mach-Zehnder interferometer)와 위상 천이 방식을 이용한 광 증폭기의 위상 잡음 측정 및 보정 방법에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 광섬유 레이저(Fiber Laser)는 의료용, 군사용, 산업용, 통신용 등으로 광범위하게 응용 및 개발되어왔다. 특히 군사용, 산업용, 통신용 광섬유 레이저 개발 시 고출력의 광섬유 레이저를 제작하기 위한 출력 증가 연구가 활발히 진행되고 있으며 필수적이다. 광섬유 레이저의 출력 증가 방법으로는 전기 광 증폭기와 광섬유 증폭기, 빔 결합기 등이 사용되는데, 광섬유 증폭기를 사용할 경우 시스템 구성이 간단하고 증폭 효율이 높은 장점이 있다.

[0003] 그러나 광 증폭을 수행할 시 광섬유 증폭기를 구성하는 소자들에서 위상잡음이 발생하거나 외부온도 및 전자기기 등 기타 외부적인 요인에 의해서 위상잡음이 발생할 수 있다. 이는 고출력 레이저를 위한 결맞음 빔 결합의 위상 잠금을 방해하거나, 고출력 레이저를 통해 출력되는 광 신호의 품질을 저하시키는 문제점이 있다. 이러한 점에서 광 증폭을 수행할 시 발생하는 위상잡음을 측정하고 제거하려는 노력이 필요하다.

[0004] 광 신호의 위상 잡음 측정 및 잠금 방식으로는 회절 위상 현미경(Diffraction phase microscopy) 방식, 위상 컨트라스트(phase-contrast) 방식, 위상 천이(phase-shifting) 방식, 푸리에 위상 현미경(Fourier phase microscopy) 방식, 광간섭 위상 현미경(optical coherence phase microscopy) 방식, 디지털 홀로그래피(digital holography) 방식 등이 사용되어왔다.

[0005] 대부분의 위상 잡음 측정 장치의 원리는 신호분할기를 이용하여 기준 신호와 측정 신호로 나눈 후 합성하는 간섭계를 구성한 후 신호 검출기를 이용하여 합성 신호의 위상 차를 측정하는 방식을 특징으로 한다. 기존의 위상 잡음 측정 장치는 부분 또는 전체 시스템에서 광 도파로를 이용하지 않은 상태로, 빛이 자유공간에서 도파되기 때문에 각각의 광 부품들이 진동에 매우 취약하며, 광섬유로만 구성된 시스템에 비해 콤팩트하지 않는 단점이 있다. 또한 기존의 위상 잡음 측정 장치는 빔 분할과 빔 합성 시 광 정렬 오차가 발생하여 위상 잡음을 정확하게 측정 및 제거하는데 어려운 점이 있다.

#### 발명의 내용

## 해결하려는 과제

- [0006] 본 발명은 위상 잡음을 측정하기 위한 시스템 전체를 광섬유로 구성된 마흐젠더 간섭계와 위상 천이 방식을 이용함으로써 광 정렬 오차가 발생하지 않으므로 광 증폭기를 포함한 광 부품에서 발생된 위상 잡음을 정확하게 측정하는 시스템 및 방법을 제공할 수 있다.
- [0007] 또한, 본 발명은 위상 잡음을 측정하기 위한 시스템을 구성하는 광 부품들이 진동에 취약한 단점을 보완하고, 전체 시스템을 단순화하여 비용을 절감할 수 있는 시스템 및 방법을 제공할 수 있다.

## 과제의 해결 수단

- [0008] 본 발명의 일실시예에 따른 위상 잡음 보정 시스템은 연속파 광 신호를 발생시키는 광원; 상기 발생된 연속파 광 신호를 측정 광 신호 및 기준 광 신호로 분리하는 빔 스플리터; 상기 측정 광 신호의 위상을 변조하는 광전 위상 변조기; 상기 위상이 변조된 측정 광 신호를 증폭하는 증폭기; 상기 기준 광 신호를 주파수 천이시키는 음향 광 변조기; 상기 증폭된 측정 광 신호와 주파수 천이된 기준 광 신호가 결합된 간섭 광 신호를 검출하는 광 검출기; 및 상기 검출된 간섭 광 신호에서 측정된 위상 잡음을 보정하기 위하여 상기 광전 위상 변조기를 제어하기 위한 제어 신호를 생성하는 위상 디지털라이저를 포함할 수 있다.
- [0009] 상기 위상 디지털라이저는 상기 간섭 광 신호의 데이터를 디지털화하고, 상기 디지털화된 데이터를 주파수 변환함으로써 상기 간섭 광 신호와 기준 광 신호 사이의 위상차를 측정하며, 상기 측정된 위상차에 기초하여 상기 간섭 광 신호에서 발생된 위상 잡음을 검출할 수 있다.
- [0010] 상기 위상 디지털라이저는 상기 간섭 광 신호와 기준 광 신호 사이의 위상차가 일정 범위 내에 존재하도록 상기 광전 위상 변조기를 제어하기 위한 전기 신호를 생성할 수 있다.
- [0011] 상기 광전 위상 변조기는 상기 위상 디지털라이저를 통해 수신된 전기 신호를 이용하여 상기 측정 광 신호의 위상을 변조할 수 있다.
- [0012] 상기 위상 디지털라이저는 상기 간섭 광 신호와 기준 광 신호 사이의 위상차가 일정 기준 이하가 될 때까지 반복적으로 상기 광전 위상 변조기를 제어할 수 있다.
- [0013] 상기 위상 잡음 보정 시스템은 광 섬유 기반의 마흐젠더 간섭계로 구성될 수 있다.
- [0014] 본 발명의 일실시예에 따른 위상 잡음 보정 시스템이 수행하는 위상 잡음 보정 방법은 광원을 통해 연속파 광 신호를 발생시키는 단계; 빔 스플리터를 통해 상기 발생된 연속파 광 신호를 측정 광 신호 및 기준 광 신호로 분리하는 단계; 광전 위상 변조기를 통해 상기 측정 광 신호의 위상을 변조하는 단계; 증폭기를 통해 상기 위상이 변조된 측정 광 신호를 증폭하는 단계; 음향 광 변조기를 통해 상기 기준 광 신호를 주파수 천이시키는 단계; 광 검출기를 통해 상기 증폭된 측정 광 신호와 주파수 천이된 기준 광 신호가 결합된 간섭 광 신호를 검출하는 단계; 및 위상 디지털라이저를 통해 상기 검출된 간섭 광 신호에서 측정된 위상 잡음을 보정하기 위하여 상기 광전 위상 변조기를 제어하기 위한 제어 신호를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0015] 상기 제어 신호를 생성하는 단계는 상기 간섭 광 신호의 데이터를 디지털화하고, 상기 디지털화된 데이터를 주파수 변환함으로써 상기 간섭 광 신호와 기준 광 신호 사이의 위상차를 측정하며, 상기 측정된 위상차에 기초하여 상기 간섭 광 신호에서 발생된 위상 잡음을 검출할 수 있다.
- [0016] 상기 제어 신호를 생성하는 단계는 상기 간섭 광 신호와 기준 광 신호 사이의 위상차가 일정 범위 내에 존재하도록 상기 광전 위상 변조기를 제어하기 위한 전기 신호를 생성할 수 있다.
- [0017] 상기 측정 광 신호의 위상을 변조하는 단계는 상기 위상 디지털라이저를 통해 수신된 전기 신호를 이용하여 상기 측정 광 신호의 위상을 변조할 수 있다.
- [0018] 상기 제어 신호를 생성하는 단계는 상기 간섭 광 신호와 기준 광 신호 사이의 위상차가 일정 기준 이하가 될 때까지 반복적으로 상기 광전 위상 변조기를 제어할 수 있다.
- [0019] 상기 위상 잡음 보정 시스템은 광 섬유 기반의 마흐젠더 간섭계로 구성될 수 있다.

## 발명의 효과

- [0020] 본 발명은 위상 잡음을 측정하기 위한 시스템 전체를 광섬유로 구성된 마흐젠더 간섭계와 위상 천이 방식을 이

용함으로써 광 정렬 오차가 발생하지 않으므로 광 증폭기를 포함한 광 부품에서 발생된 위상 잡음을 정확하게 측정할 수 있다.

[0021] 또한, 본 발명은 기존의 위상 잡음을 측정하기 위한 시스템을 구성하는 광 부품들이 진동에 취약한 단점을 보완하고, 전체 시스템을 단순화하여 비용을 절감할 수 있다.

[0022] 또한, 본 발명은 광전 위상 변조기와 위상 디지털라이저 사이에 능동형 피드백 회로를 구성하여 광 증폭기 등의 광 부품에서 발생된 위상 잡음을 측정함과 동시에 위상 잠금이 가능한 위상 잡음 보정 시스템을 제공할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 위상 잡음 보정 시스템을 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 광섬유 증폭기의 구성을 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 제어 신호를 생성하기 위한 알고리즘을 도시한 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 실시예들을 상세하게 설명한다. 그러나, 실시예들에는 다양한 변경이 가해질 수 있어서 특허출원의 권리 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 실시예들에 대한 모든 변경, 균등물 내지 대체물이 권리 범위에 포함되는 것으로 이해되어야 한다.

[0025] 실시예에서 사용한 용어는 단지 설명을 목적으로 사용된 것으로, 한정하려는 의도로 해석되어서는 안된다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0026] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 실시예가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0027] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일한 참조부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 실시예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 실시예의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0028] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 위상 잡음 보정 시스템을 도시한 도면이다.

[0029] 본 발명은 광섬유 기반의 마흐젠더 간섭계와 위상 천이 방식을 이용한 위상 잡음 보정 시스템(100)을 제공할 수 있다. 도 1을 참고하면, 위상 잡음 보정 시스템(100)은 광섬유 레이저 광원(110), 광 아이솔레이터(Optical isolator)(111), 편광 제어기(112), 빔 스플리터(Beam splitter)(113, 117), 광전 위상 변조기(114), 광섬유 증폭기(116), 음향 광 변조기(115), RF 드라이버(122), 빔 커플러(Beam coupler)(118), 가변 광 감쇠기(119), 광 검출기(120), 위상 디지털라이저(Phase digitizer)(121)를 포함할 수 있다.

[0030] 먼저, 광 신호는 광섬유 레이저 광원(110)을 통해 발생될 수 있다. 이때, 광섬유 레이저 광원(110)을 통해 발생되는 광 신호는 연속파 광 신호이면서 좁은 선폭을 가질 수 있다.

[0031] 광 아이솔레이터(111)는 광섬유 레이저 광원(110)에서 발생된 광 신호 중 역방향으로 진행되는 광 신호를 차단하여 광섬유 레이저 광원(110)을 보호할 수 있다.

[0032] 광섬유 레이저 광원(110)을 통해 발생된 광 신호는 편광 제어기(112)를 통해 편광 상태가 제어됨으로써 위상 잡음 보정 시스템(100)이 최적화될 수 있다.

[0033] 이후 편광 상태가 제어된 광 신호는 빔 스플리터(113)를 통해 측정 광 신호 및 기준 광 신호로 분할될 수 있다. 이때, 분할된 광 신호 중 측정 광 신호는 제1 광 경로(210)를 따라 전파되고, 기준 광 신호는 제2 광 경로(211)를 따라 전파될 수 있다. 즉, 제1 광 경로(210)는 측정 광 경로이고, 제2 광 경로(211)는 기준 광 경로일 수

있다.

[0034] 제1 광 경로(210)는 광전 위상 변조기(114), 광섬유 증폭기(116) 및 빔 스플리터(117)를 포함할 수 있다. 이때, 제1 광 경로(210)를 따라 전파되는 측정 광 신호는 광전 위상 변조기(114)를 통해 위상이 조절될 수 있다.

[0035] 그리고 광전 위상 변조기(114)를 통과한 측정 광 신호는 광섬유 증폭기(116)를 통해 증폭될 수 있는데, 증폭 시 위상 잡음이 발생할 수 있다. 여기서, 광섬유 증폭기(116)는 필요에 의하여 추가되거나 본 발명의 실시예에 포함되어 있지 않은 광 부품으로 대체될 수 있다.

[0036] 광섬유 증폭기(116)에 의해 증폭된 측정 광 신호는 빔 스플리터(117)를 통해 출력 광 경로(212)와 제1 광 경로(210)로 분할되어 전파될 수 있다.

[0037] 한편, 제2 광 경로(211)는 음향 광 변조기(115)를 포함할 수 있다. 이때, 제2 광 경로(211)를 따라 전파되는 기준 광 신호는 음향 광 변조기(115)를 통해 주파수가 일정 주파수만큼 주파수 천이할 수 있다. 예를 들어, 제2 광 경로(211)를 따라 전파되는 기준 광 신호의 주파수는 음향 광 변조기(115)에 의해 기준 대비 80 MHz만큼 주파수 천이될 수 있다. 이때, 음향 광 변조기(115)는 제어 경로(311)를 통해 수신된 RF 드라이버(122)의 제어 신호에 기초하여 기준 광 신호를 일정 주파수만큼 주파수 천이할 수 있다.

[0038] 제1 광 경로(210)를 통해 전파되면서 광섬유 증폭기(116)에 의해 증폭된 측정 광 신호와 제2 광 경로(211)를 통해 전파되면서 음향 광 변조기(115)에 의해 주파수 천이된 기준 광 신호는 빔 커플러(118)를 통해 간섭 광 신호로 결합되어 출력될 수 있다.

[0039] 이때, 빔 커플러(118)를 통해 출력된 간섭 광 신호의 세기는 하기의 식 1을 통해 나타낼 수 있다.

[0040] <식 1>

$$I_{Het}(t) = \frac{E_{sig}^2}{2} \{ \cos(2\omega_{sig}t + 2\phi_{sig}) + 1 \} + \frac{E_{LO}^2}{2} \{ \cos(2\omega_{LO}t + 2\phi_{LO}) + 1 \} + E_{sig}E_{LO} \{ \cos((\omega_{sig} + \omega_{LO})t + \phi_{sig} + \phi_{LO}) + \cos((\omega_{sig} - \omega_{LO})t + \phi_{sig} - \phi_{LO}) \}$$

[0042] 여기서  $E_{sig}$  는 광섬유 증폭기(116)를 통해 증폭된 측정 광 신호,  $E_{LO}$  는 음향 광 변조기(115)를 통해 일

정 주파수만큼 주파수 천이된 기준 광 신호,  $\omega_{sig}$  는 광섬유 증폭기(116)를 통해 증폭된 측정 광 신호

( $E_{sig}$ )의 각주파수(Angular frequency),  $\omega_{LO}$  는 음향 광 변조기(115)를 통해 일정 주파수만큼 주파수 천이

된 기준 광 신호( $E_{LO}$ )의 각주파수이다.

[0043] 빔 커플러(118)에 의해 출력된 간섭 광 신호에 의해 광 검출기(120)가 고장나는 것을 보호하기 위하여 간섭 광 신호는 가변 광 감쇠기(119)를 통해 출력이 조절될 수 있다.

[0044] 그리고 가변 광 감쇠기(119)를 통해 출력이 조절된 간섭 광 신호는 광 검출기(120)를 통해 검출될 수 있다.

[0045] 위상 디지털라이저(121)는 광 검출기(120)를 통해 검출된 간섭 광 신호를 디지털화 할 수 있다. 그리고 위상 디지털라이저(121)는 간섭 광 신호의 위상을 검출하기 위해 디지털화된 데이터를 푸리에 변환하여 최대 주파수 항의 복소 값을 계산할 수 있다. 이후 위상 디지털라이저(121)는 계산된 값에 기초하여 간섭 광 신호와 기준 광 신호 간의 위상차를 측정할 수 있다.

[0046] 이때, 간섭 광 신호와 기준 광 신호의 위상차는 하기의 식 2를 통해 나타낼 수 있다.

[0047] <식 2>

$$\Delta\phi = \phi_{ref} - \phi_{Het}$$

- [0049] 여기서  $\phi_{ref}$  는 기준 광 신호의 위상을 나타내고,  $\phi_{Het}$  는 간섭 광 신호의 위상을 나타낸다.
- [0050] 위상 디지털라이저(121)는 간섭 광 신호와 기준 광 신호 간의 위상차를 통해 간섭 광 신호에서 발생된 위상 잡음을 검출할 수 있다. 그리고 위상 디지털라이저(121)는 검출된 위상 잡음을 분석하여 간섭 광 신호의 위상 잡음을 위해 광전 위상 변조기(114)를 제어하기 위한 제어 신호를 생성할 수 있다. 이때, 생성되는 제어 신호는 전기 신호일 수 있으며, 피드백 회로(310)를 이용하여 광전 위상 변조기(114)에 입력될 수 있다.
- [0051] 이때, 측정 광 신호는 피드백 회로(310)를 통해 전달된 제어 신호에 기초하여 광전 위상 변조기(114)를 통해 위상이 변조될 수 있는데 이 중 일부는 빔 스플리터(117)에 의해 분할되어 출력 광 경로(212)를 통해 출력됨으로써 원하는 용도로 사용될 수 있다.
- [0052] 그리고 다른 일부는 다시 빔 커플러(118)를 통해 기준 광 신호와 결합되어 간섭 광 신호로 출력될 수 있다.
- [0053] 이때, 위상 디지털라이저(121)는 빔 커플러(118)를 통해 결합되어 출력된 간섭 광 신호의 위상 잡음을 분석하여 측정 광 신호와 기준 광 신호의 위상차가 일정 기준 이하가 될 때까지 능동적으로, 그리고 반복적으로 피드백 회로(310)를 통해 제어 신호를 광전 위상 변조기(114)에 제공할 수 있다.
- [0054] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 광섬유 증폭기의 구성을 도시한 도면이다.
- [0055] 도 2를 참고하면, 광섬유 증폭기(116)는 본 발명의 실시예에 따라 코어 펌프 광섬유 증폭기 또는 클래드 펌프 광섬유 증폭기로 구성될 수 있다. 예를 들어, 광섬유 증폭기(116)로 코어 펌프 광섬유 증폭기가 사용될 경우 광섬유 증폭기(116)는 단일모드 펌프 광원, 파장 분할 다중방식 펌프 결합기 및 코어 펌프 편광유지 회로류 첨가 광섬유로 구성될 수 있다.
- [0056] 이와는 달리 광섬유 증폭기(116)로 클래드 펌프 광섬유 증폭기가 사용될 경우, 다중모드 펌프 광원, 파장 분할 다중방식 펌프 결합기 및 클래드 펌프 편광유지 회로류 첨가 광섬유로 구성될 수 있다.
- [0057] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 제어 신호를 생성하기 위한 알고리즘을 도시한 도면이다.
- [0058] 도 3을 참고하면, 위상 디지털라이저(121)가 상기의 식 2를 통해 계산된 간섭 광 신호와 기준 광 신호 간의 위상차에 기초하여 광전 위상 변조기(114)를 제어하기 위한 제어 신호를 생성하는 방법을 제공한다.
- [0059] 먼저 단계(s10)에서, 위상 디지털라이저(121)는 광 검출기(120)를 통해 검출된 간섭 광 신호를 식별할 수 있다. 이때, 식별된 간섭 광 신호는 광섬유 증폭기(116)를 통해 증폭된 측정 광 신호와 음향 광 변조기(115)를 통해 일정 주파수만큼 주파수 천이된 기준 광 신호가 결합된 신호일 수 있다.
- [0060] 단계(s20)에서, 위상 디지털라이저(121)는 간섭 광 신호와 기준 광 신호 간의 위상차를 계산할 수 있다.
- [0061] 단계(s30)에서, 위상 디지털라이저(121)는 계산된 위상차가  $\pm\pi$  범위 내에 존재하는지 여부를 판단할 수 있다.
- [0062] 만약 계산된 위상차가  $\pm\pi$  범위 내에 존재하는 것으로 판단되면, 위상 디지털라이저(121)는 단계(s40)에서 위상차를  $\Delta\phi = \phi_{ref} - \phi_{Het}$  로 결정하고, 단계(s50)에서, 결정된 위상차에 기초하여 피드백을 위한 전기 신호의 양을 계산하여 제어 신호를 생성할 수 있다.
- [0063] 이와는 달리 계산된 위상차가  $\pm\pi$  범위 내에 존재하지 않는 것으로 판단되고 단계(s60)에서 기준 광 신호의 위상이 간섭 광 신호의 위상 보다 작은 것으로 판단되면, 위상 디지털라이저(121)는 단계(s70)에서 위상차를  $\Delta\phi = \phi_{ref} - \phi_{Het} + 2\pi$  로 결정하고, 단계(s50)에서, 결정된 위상차에 기초하여 피드백을 위한 전기 신호의 양을 계산하여 제어 신호를 생성할 수 있다.
- [0064] 또는 계산된 위상차가  $\pm\pi$  범위 내에 존재하지 않는 것으로 판단되고 단계(s60)에서 기준 광 신호의 위상이 간섭 광 신호의 위상 보다 큰 것으로 판단되면, 위상 디지털라이저(121)는 단계(s70)에서 위상차를

$\Delta\phi = \phi_{ref} - \phi_{Het} - 2\pi$  로 결정하고, 단계(s50)에서, 결정된 위상차에 기초하여 피드백을 위한 전기 신호의 양을 계산하여 제어 신호를 생성할 수 있다.

[0065] 단계(s90)에서, 위상 디지털라이저(121)는 결정된 위상차에 기초하여 생성된 제어 신호를 광전 위상 변조기(114)로 전송할 수 있다.

[0066] 이후 위상 디지털라이저(121)는 제어 신호에 의해 위상이 변조된 측정 광 신호와 이를 통해 계산된 간섭 광 신호와 기준 광 신호 간의 위상차가 일정 기준 이하가 될 때까지 반복적으로 광전 위상 변조기(114)를 제어하기 위한 제어 신호를 생성할 수 있다.

[0067] 한편, 위상 디지털라이저(121)는 위상 드리프트 또는 변화의 정량적 평가를 위해 간섭 광 신호와 기준 광 신호 간의 위상차에 대해 하기의 식 3을 이용하여 제곱평균제곱근(Root Mean Square, RMS) 값을 계산할 수 있다.

[0068] <식 3>

$$\Delta\phi_{rms} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \phi_n^2}$$

[0069]

[0070] 여기서  $N$  은 전체 샘플링 개수이다.

[0071] 또한, 위상 디지털라이저(121)는 간섭 광 신호와 기준 광 신호 간의 위상차에 대해 하기의 식 4를 주파수 축에서 위상차의 파워 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density, PSD)를 계산할 수 있다.

[0072] <식 4>

$$PSD(f) = F\{\Delta\phi(0:t)\}$$

[0073]

[0074] 여기서  $PSD$  는 위상차  $\Delta\phi$  를 푸리에 변환한 결과이다.

[0075] 위상 디지털라이저(121)는 이와 같이 측정된 위상 잡음의 결과를 분석하여 위상 잠금을 위한 제어 신호를 생성할 수 있다.

[0076] 이와 같이 본 발명의 위상 잡음 보정 시스템(100)은 위상 잡음을 측정하기 위한 시스템 전체를 광섬유로 구성된 마흐젠더 간섭계와 위상 천이 방식을 이용함으로써 광 정렬 오차가 발생하지 않으므로 광 증폭기를 포함한 광 부품에서 발생된 위상 잡음을 정확하게 측정할 수 있다.

[0077] 또한, 본 발명의 위상 잡음 보정 시스템(100)은 기존의 위상 잡음을 측정하기 위한 시스템을 구성하는 광 부품들이 진동에 취약한 단점을 보완하고, 전체 시스템을 단순화하여 비용을 절감할 수 있다.

[0078] 또한 본 발명의 위상 잡음 보정 시스템(100)은 광전 위상 변조기와 위상 디지털라이저 사이에 능동형 피드백 회로를 구성하여 광 증폭기 등의 광 부품에서 발생된 위상 잡음을 측정함과 동시에 위상 잠금이 가능한 위상 잡음 보정 시스템을 제공함으로써 고출력 레이저 제작을 위한 결맞음 빔 결합, 통신용 레이저 개발 분야 등에서 레이저의 품질을 향상시키는데 응용될 수 있다.

[0079] 본 발명의 위상 잡음 보정 시스템(100)은 본 발명의 실시예에 따른 구성에 국한되어 적용될 수 있는 것이 아니며, 위상 잡음이 발생할 수 있는 모든 광 부품에 대하여 위상 잡음 측정 및 보정을 할 수 있도록 시스템 내 광 부품 일부를 추가 또는 생략하여 적용할 수 있다.

[0080] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체

(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0081] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

[0082] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기를 기초로 다양한 기술적 수정 및 변형을 적용할 수 있다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

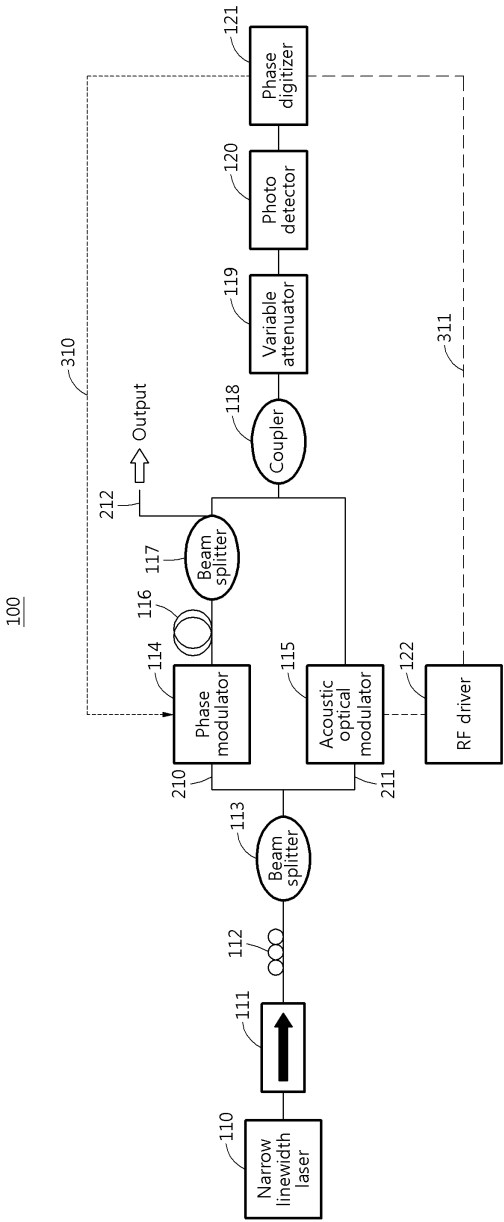
[0083] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 청구범위의 범위에 속한다.

## 부호의 설명

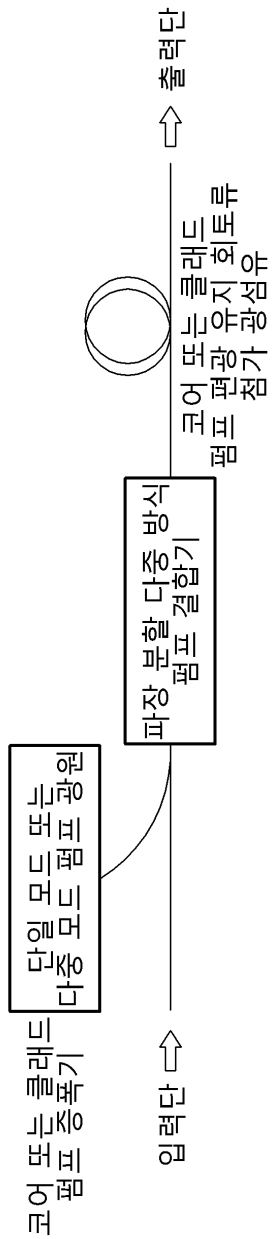
[0084] 100 : 위상 잡음 보정 시스템  
 110 : 광섬유 레이저 광원  
 111 : 광 아이솔레이터  
 112 : 편광 제어기  
 113, 117 : 빔 스플리터  
 114 : 광전 위상 변조기  
 115 : 음향 광 변조기  
 116 : 광섬유 증폭기  
 118 : 빔 커플러  
 119 : 가변 광 감쇠기  
 120 : 광 검출기  
 121 : 위상 디지털라이저  
 210 : 제1 광 경로  
 211 : 제2 광 경로  
 212 : 출력 광 경로  
 310 : 피드백 회로  
 311 : 제어 경로

도면

도면1



도면2



도면3

