



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년04월15일  
(11) 등록번호 10-0892783  
(24) 등록일자 2009년04월02일

(51) Int. Cl.

H03B 5/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0080497  
(22) 출원일자 2007년08월10일  
심사청구일자 2007년08월10일  
(65) 공개번호 10-2009-0016095  
(43) 공개일자 2009년02월13일  
(56) 선행기술조사문헌  
US7151415 B1  
US5723856 A  
US5929430 A  
US5777778 A

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울 서대문구 신촌동 134 연세대학교

(72) 발명자

최우영

-

이광현

-

-

김재영

-

(74) 대리인

특허법인우인

전체 청구항 수 : 총 18 항

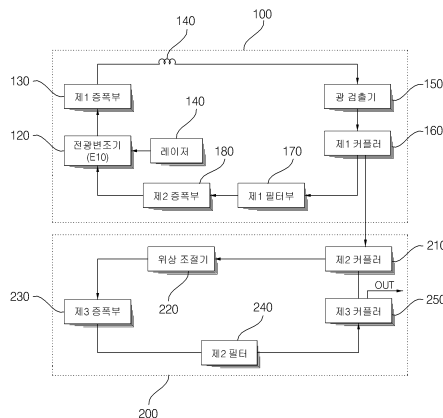
심사관 : 조성찬

(54) 광전 발진 모드 선택 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 광전 발진 모드 선택 방법 및 장치에 관한 것으로서, 특히 광전 발진기(opto-electronic oscillator: OEO) 내에 존재하는 여러 발진 모드들 중 하나의 모드만을 선택 또는 필터링하는 방법 및 장치를 개시한다. 본 발명의 광전 발진 모드 선택 장치는 광전 변환이 반복되는 순환 루프 구조를 통해 소정의 주파수 대역에 속하는 멀티 모드의 신호를 생성하며, 상기 전기적 신호의 경로를 통해 전달되는 멀티 모드의 전기적 신호 중 적어도 일부를 외부로 출력하는 광전 발진기와, 광전 발진기에서 출력된 멀티 모드의 전기적 신호를 입력 받아, 삽입-잠금에 의해 소정의 주파수 대역에 속하는 단일 모드의 전기적 신호를 출력하는 전기적 발진기를 포함한다. 본 발명에 따르면, 종래 기술로는 구현하기 힘든 high-Q 필터를 구현할 수 있으며, 밀리미터파 대역에서 매우 낮은 위상 잡음을 갖는 신호를 생성할 수 있으므로 밀리미터파 무선 통신용 송수신기의 성능을 향상시킬 수 있고, 간략화된 구성 요소를 통해 구현가능하기 때문에 시스템 비용을 경감할 수 있다.

대표도 - 도1



**특허청구의 범위**

**청구항 1**

광전 발진 모드 선택 장치에 있어서,

광 신호의 전달 경로와 전기적 신호의 전달 경로를 구비하고, 광전 변환이 반복되는 순환 루프 구조를 통해 소정의 주파수 대역에 속하는 멀티 모드의 신호를 생성하며, 상기 전기적 신호의 경로를 통해 전달되는 멀티 모드의 전기적 신호 중 적어도 일부를 외부로 출력하는 광전 발진기 및

전기적 신호의 순환 경로를 구비하며, 상기 광전 발진기에서 출력된 멀티 모드의 전기적 신호를 입력 받아, 삽입-잠금에 의해 소정의 주파수 대역에 속하는 단일 모드의 전기적 신호를 출력하는 전기적 발진기를 포함하는 것을 특징으로 하는 광전 발진 모드 선택 장치.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서, 상기 광전 발진기는

전기적 신호를 입력으로 광 신호 출력하는 전기 광학 변조기(electric-optical modulator);

상기 전기 광학 변조기로 부터의 광 신호를 입력받아 광 지연된 광 신호를 생성하는 광 섬유; 및

상기 광 지연된 광 신호를 입력으로 전기적 신호를 출력하는 광 검출기를 구비하며, 상기 광 검출기에서 출력된 전기적 신호는 상기 전기 광학 변조기로 다시 입력되는 것을 특징으로 하는 광전 발진 모드 선택 장치.

**청구항 3**

제 2 항에 있어서, 상기 광전 발진기는

상기 광 검출기로 부터의 전기적 신호 중의 일부의 전기적 신호는 상기 전기적 발진기로 출력하며, 나머지 전기적 신호는 상기 전광 변조에 다시 입력시키는 제 1 커플러를 구비하며, 상기 광전 발진기는 상기 전기 광학 변조기, 광 섬유, 광 검출기, 제 1 커플러를 포함하는 순환 루프 구조를 통해 멀티 모드의 신호를 생성하는 것을 특징으로 하는 광전 발진 모드 선택 장치.

**청구항 4**

제 2 항에 있어서, 상기 광전 발진기는

상기 전기 광학 변조기로 부터의 광 신호를 증폭하는 제 1 증폭부;

상기 나머지 전기적 신호에서 소정의 주파수 대역에 속하는 전기적 신호를 필터링하는 제 1 필터부; 및

상기 나머지 전기적 신호를 증폭시키는 제 2 증폭부를 더 포함하며,

상기 광 섬유는 상기 제 1 증폭부로 부터의 광 신호를 입력받아 광 지연된 광 신호를 생성하는 것을 특징으로 하는 광전 발진 모드 선택 장치.

**청구항 5**

제 2 항에 있어서,

상기 전기적 발진기는 상기 광전 발진기에서 출력된 멀티 모드의 전기적 신호를 입력 받는 제 2 커플러를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 광전 발진 모드 선택 장치.

**청구항 6**

제 5 항에 있어서, 상기 전기적 발진기는

상기 제 2 커플러로 부터의 전기적 신호를 증폭시키는 제 3 증폭부;

상기 증폭된 전기적 신호에서 소정의 주파수 대역에 속하는 단일 모드의 전기적 신호를 필터링하는 제 2 필터부; 및

상기 필터링된 단일 모드의 전기적 신호 중 일부의 전기적 신호를 출력하고, 나머지 전기적 신호는 상기 제 2

커플러에 전달하는 제 3 커플러를 포함하는 것을 특징으로 하는 광전 발진 모드 선택 장치.

**청구항 7**

제 6 항에 있어서,

상기 전기적 발진기는 상기 제 2 커플러로부터의 전기적 신호의 위상을 조절하는 위상 조절기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 광전 발진 모드 선택 장치.

**청구항 8**

제 6 항에 있어서,

상기 전기적 발진기를 통해 삽입-잠금되는 단일 모드의 전기적 신호의 잠금 주파수 범위는 하기 수학적식을 따르는 것을 특징으로 하는 광전 발진 모드 선택 장치.

수학적식

$$f_{LR} = \frac{f_0}{2Q} \sqrt{\frac{P_{in}}{P_{out}}}$$

여기에서,  $f_{LR}$ 은 전기적 발진기의 잠금 주파수 범위이고, 상기  $P_{in}$ 은 상기 전기적 발진기로 입력되는 전기적 신호의 전력이며, 상기  $P_{out}$ 은 상기 전기적 발진기에서 출력되는 전기적 신호의 전력이고, 상기 Q는 상기 제 2 필터

의 양호도(quality factor)이고,  $f_0$ 는 전기적 발진기의 발진 주파수이다.

**청구항 9**

제 8 항에 있어서,

상기 광전 발진기로부터 생성된 멀티 모드의 전기적 신호는 서로 인접하는 모드 간의 주파수 거리(FSR)는 상기 잠금 주파수 범위( $f_{LR}$ ) 보다 작은 것을 특징으로 하는 광전 발진 모드 선택 장치.

**청구항 10**

제 6 항에 있어서,

상기 광전 발진기로부터 상기 전기적 발진기로 입력되는 전기적 신호의 전력과, 상기 전기적 발진기로부터 출력되는 전기적 신호의 전력은 하기 수학적식의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 광전 발진 모드 선택 장치.

[수학적식]

$$P_{in} < P_{out} \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{nL} \cdot \frac{2Q}{f_0} \right)^2$$

여기에서,  $P_{in}$ 는 상기 전기적 발진기로 입력되는 전기적 신호의 전력이고,  $P_{out}$ 은 상기 전기적 발진기로부터 출력되는 전기적 신호의 전력이며, c는 광속이고, n는 상기 광섬유의 굴절률이고, 상기 L은 광섬유의 길이이며,

상기 Q는 상기 제 2 필터의 양호도(quality factor)이고,  $f_0$ 는 전기적 발진기의 발진 주파수이다.

**청구항 11**

전기적 신호를 입력으로 광 신호 출력하는 전기 광학 변조기, 상기 전기 광학 변조기로부터의 광 신호를 증폭하는 제 1 증폭부, 상기 제 1 증폭부로부터의 광 신호를 입력받아 광 지연된 광 신호를 생성하는 광 섬유, 상기 광 지연된 광 신호를 입력으로 전기적 신호를 출력하는 광 검출기, 상기 광 검출기로부터의 전기적 신호 중의 일부의 전기적 신호는 외부로 출력하며, 나머지 전기적 신호는 상기 전광 변조에 다시 입력시키는 제 1 커플러, 상기 나머지 전기적 신호에서 소정의 주파수 대역에 속하는 전기적 신호를 필터링하는 제 1 필터부 및 상

기 나머지 전기적 신호를 증폭시키는 제 2 증폭부를 구비하며, 광전 변환이 반복되는 순환 루프 구조를 통해 소정의 주파수 대역에 속하는 멀티 모드의 신호를 생성하는 광전 발진기; 및

상기 광전 발진기에서 출력된 멀티 모드의 전기적 신호를 입력 받는 제 2 커플러, 상기 제 2 커플러로부터의 전기적 신호를 증폭시키는 제 3 증폭부, 상기 증폭된 전기적 신호에서 소정의 주파수 대역에 속하는 단일 모드의 전기적 신호를 필터링하는 제 2 필터부, 상기 필터링된 단일 모드의 전기적 신호 중 일부의 전기적 신호를 출력하고 나머지 전기적 신호는 상기 제 2 커플러에 전달하는 제 3 커플러를 포함하며, 삽입-잠금에 의해 소정의 주파수 대역에 속하는 단일 모드의 전기적 신호를 출력하는 전기적 발진기를 포함하는 것을 특징으로 하는 광전 발진 모드 선택 장치.

**청구항 12**

광전 발진 모드 선택 방법에 있어서,

- a) 광 신호의 전달 경로, 전기적 신호의 전달 경로 및 광전 변환이 반복되는 순환 루프 구조를 통해 소정의 주파수 대역에 속하는 멀티 모드의 신호를 생성하는 단계;
- b) 상기 전기적 신호의 경로를 통해 전달되는 멀티 모드의 전기적 신호 중 적어도 일부를 출력하는 단계; 및
- c) 상기 출력된 멀티 모드의 전기적 신호를 입력 받아, 삽입-잠금에 의해 소정의 주파수 대역에 속하는 단일 모드의 전기적 신호를 출력하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 광전 발진 모드 선택 방법.

**청구항 13**

제 12 항에 있어서,

상기 a)단계는

- a1) 전기적 신호를 입력으로 광 신호를 출력하는 전광 변조 단계;
- a2) 상기 출력된 광 신호를 입력 받아 지연된 광 신호를 생성하는 단계;
- a3) 상기 광 지연된 광 신호를 입력으로 전기적 신호를 출력하는 광전 변조 단계를 포함하며, 상기 a1) 내지 a3) 단계는 반복되는 것을 특징으로 하는 광전 발진 모드 선택 방법.

**청구항 14**

제 13 항에 있어서,

상기 a1)단계에서 출력된 광 신호를 증폭하는 단계; 및

상기 a3)단계에서 출력된 전기적 신호를 증폭하는 단계를 더 포함하고, 상기 a2)단계는 상기 증폭된 광 신호를 입력 받아 지연된 광 신호를 생성하는 것을 특징으로 하는 광전 발진 모드 선택 방법.

**청구항 15**

제 13 항에 있어서,

상기 c) 단계는

- c1) 상기 출력된 멀티 모드의 전기적 신호를 입력 받고 증폭시키는 단계;
- c2) 상기 증폭된 전기적 신호에서 소정의 주파수 대역에 속하는 단일 모드의 전기적 신호를 필터링하는 단계; 및
- c3) 상기 필터링된 단일 모드의 전기적 신호 중 일부의 전기적 신호를 출력하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 광전 발진 모드 선택 방법.

**청구항 16**

제 14 항에 있어서,

상기 c)단계는 전기적 발진기를 통해 수행되는 단계로서, 상기 c2)단계는 전기적 필터를 통해 수행되며, 상기 삽입-잠금되는 단일 모드의 전기적 신호의 잠금 주파수 범위는 하기 수학적식을 따르는 것을 특징으로 하는 광전

발전 모드 선택 방법.

수학식

$$f_{LR} = \frac{f_0}{2Q} \sqrt{\frac{P_{in}}{P_{out}}}$$

여기에서,  $f_{LR}$ 은 상기 전기적 발전기의 잠금 주파수 범위이고, 상기  $P_{in}$ 은 상기 전기적 발전기로 입력되는 전기적 신호의 전력이며, 상기  $P_{out}$ 은 상기 전기적 발전기에서 출력되는 전기적 신호의 전력이고, 상기  $Q$ 는 상기 필터의 양호도(quality factor)이고,  $f_0$ 는 전기적 발전기의 발전 주파수이다.

**청구항 17**

제 16 항에 있어서,

상기 a) 단계는 광전 발전기를 통해 수행되는 단계이고, 상기 광전 발전기로부터 생성된 멀티 모드의 전기적 신호는 서로 인접하는 모드 간의 주파수 거리(FSR)는 상기 잠금 주파수 범위( $f_{LR}$ ) 보다 작은 것을 특징으로 하는 광전 발전 모드 선택 방법.

**청구항 18**

제 17 항에 있어서,

상기 광전 발전기로부터 상기 전기적 발전기로 입력되는 전기적 신호의 전력과, 상기 전기적 발전기로부터 출력되는 전기적 신호의 전력은 하기 수학식의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 광전 발전 모드 선택 방법.

수학식

$$P_{in} < P_{out} \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{nL} \cdot \frac{2Q}{f_0} \right)^2$$

여기에서,  $P_{in}$ 은 상기 전기적 발전기로 입력되는 전기적 신호의 전력이고,  $P_{out}$ 은 상기 전기적 발전기로부터 출력되는 전기적 신호의 전력이며,  $c$ 는 광속이고,  $n$ 는 상기 순환 루프를 구성하는 광섬유의 굴절률이며, 상기  $L$ 은 광섬유의 길이이고, 상기  $Q$ 는 상기 필터의 양호도(quality factor)이고,  $f_0$ 는 전기적 발전기의 발전 주파수이다.

**명세서**

**발명의 상세한 설명**

**기술분야**

<1> 본 발명은 광전 발전 모드 선택 방법 및 장치에 관한 것으로서, 특히 광전 발전기(opto-electronic oscillator: OEO) 내에 존재하는 여러 발전 모드들 중 하나의 모드만을 선택 또는 필터링하는 방법 및 장치에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 밀리미터파 대역의 무선 통신 시스템, 광무선 융합 시스템에 활용될 수 있는 모드 선택 방법 및 장치에 관한 것이다.

**배경기술**

<2> 광전 발전기 즉 OEO는 긴 길이의 광 지연 선로를 이용하여 매우 낮은 위상 잡음을 지닌 신호를 밀리미터파와 같은 고주파 대역에서 생성할 수 있기 때문에 이에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 하지만, 1km의 광 지연 선로를 사용한 OEO는 약 200kHz 간격의 여러 모드를 발전시키게 되는데, 이는 시스템의 성능을 열화시키는 요인이 된다. 따라서, OEO 내에 여러 모드들 중에서 하나의 모드만을 선별하기 위한 시스템에 대한 연구가 필요하다.

- <3> 근래 들어, 높은 양호도(Q)를 갖는 외부 공진기를 이용한 OEO 시스템은 낮은위상-노이즈 신호 생성을 갖기 때문에 활발하게 연구가 진행되고 있다. 특히, 짧고, 긴 광학적 루프로 구성된 듀얼 루프(dual loop) OEO는 매우 중요한 이슈가 되고 있다. 이러한 듀얼 루프의 경우 긴 광학적 루프에서 낮은 출력 위상 노이즈를 가지며, 짧은 루프로도 60dB 만큼의 부모드 억제 비율(SMSR)을 갖기 때문이다. 그러나, 듀얼 루프 발진기로 확보할 수 있는 SMSR에는 한계가 있다. 왜냐하면, 두개의 광학적 루프가 서로 결합되어 있으며, 더 짧은 루프에 의해 억제된 부모드들이 여전히 더 길은 루프에서 얻어지기 때문이다.
- <4> Zhou와 Blasche는 부모드 억제를 위한 OEO로서 삽입-잠금 현상을 이용한 듀얼 OEO를 개시한 바 있다. 상기 듀얼 OEO 시스템에서, 긴 루프를 갖는 OEO는 짧은 루프를 갖는 단일 모드 OEO를 삽입-잠금한다. 이 경우 두 개의 OEO들이 상술한 듀얼 루프 OEO와 같이 서로 결합되어 있지 않기 때문에, 매우 높은 SMSR 값을 갖는다. 그러나, 짧은 루프 OEO가 길지 않은 광학적 지연선을 갖는다 하더라도, 광학적 구성요소를 연결시키기 위한 패치 코드(patch cord) 또는 광학적 손실을 보상하기 위한 Er-doped 섬유와 같은 광학 섬유들은 밀리미터 파 대역에서 꽤 큰 Q 공진기를 생성하는데, 결과적으로 협소한 잠금 범위를 초래하는 문제가 있다.
- <5> 그러므로, 삽입된 OEO 모드의 발진 주파수는 동조가 정확하게 이루어지거나 또는 주파수가 잠금된 OEO의 잠금 범위 내에 될 수 있도록 주입 전력이 크게 되어야 한다. 그러나, 상술한 어떤 것도 밀리미터 파 대역에서 실현하기 쉽지 않은 문제가 있고 또한 이러한 구조에서, 높은 속도의 광학적, 전기적 구성 요소들은 두 개의 OEO에 모두 사용되어야 하므로 비용 부담의 문제가 있다.
- <6> 관련 문헌으로서, US 5,723,856은 전기적 제어 신호를 수용하는 입력부와 광학적 출력부와 필터를 포함하는 전기 광학적 변조기가 구비된 전기 광학적 발진기(Opto-electronic oscillator:OEO)를 개시한 바 있다. 상기 특허의 경우 OEO 내에 단순히 필터를 삽입하여 단일 모드의 신호를 선택할 수는 있지만, 밀리미터파 대역과 같은 고주파 대역에 적용하기 어려운 문제가 있다.
- <7> US 5,777,778은 단일 모드의 신호 선택을 위한 발진기로서 서로 다른 지연 시간을 갖는 멀티 피드백 루프를 도입한 다용도의 광 RF 발진기를 개시한 바 있다. 상기 특허의 경우 선택 성능이 우수하지 않고, 광 지연 선로 개수에 대응되는 고가인 고속도의 광 검출기가 필요하고, 이에 따른 비용 부담의 문제가 있다.
- <8> US 7,151,415는 높은 양호도(Q)의 RF 출력 신호를 생성하는 마스터 발진기와, 상기 RF 출력 신호를 입력으로 하여 특정 주파수 대역의 단일 모드 신호를 선택하는 삽입 잠금된 광전 발진기를 개시하고 있다. 그러나, 이 경우 두 개의 OEO를 필요로 하기 때문에 실제 시스템의 구현시 비용 부담의 문제가 있다.

**발명의 내용**

**해결 하고자하는 과제**

- <9> 상술한 종래 기술의 문제점들을 고려하여, 본 발명은 광전 발진기에서 생성된 멀티 모드들 중에서 하나의 모드를 선택하기 위해 독립적인 전기적 발진기를 도입함으로써 밀리미터파 대역에서 매우 낮은 위상 잡음을 갖는 신호를 생성하고, 밀리미터파 무선 통신용 송수신기의 성능을 향상시키는 광전 발진 모드 선택 장치 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

**과제 해결수단**

- <10> 상기 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 광전 발진 모드 선택 장치는 광 신호의 전달 경로와 전기적 신호의 전달 경로를 구비하고, 광전 변환이 반복되는 순환 루프 구조를 통해 소정의 주파수 대역에 속하는 멀티 모드의 신호를 생성하며, 상기 전기적 신호의 경로를 통해 전달되는 멀티 모드의 전기적 신호 중 적어도 일부를 외부로 출력하는 광전 발진기; 및 전기적 신호의 순환 경로를 구비하며, 상기 광전 발진기에서 출력된 멀티 모드의 전기적 신호를 입력 받아, 삽입-잠금에 의해 소정의 주파수 대역에 속하는 단일 모드의 전기적 신호를 출력하는 전기적 발진기를 포함한다.
- <11> 본 발명의 광전 발진 모드 선택 장치는 두 개의 발진기, 즉 광전 발진기(OEO)와 전기적인 발진기를 포함한다. 본 발명의 광전 발진 모드 선택 장치는 OEO에서 발생한 다중 OEO 모드들이 전기적인 발진기 내로 삽입되는 점에서 종래의 것과 구별된다. 삽입된 모드들 중에서 하나의 모드, 즉 전기적 발진기의 루프가 갖는 모드 주파수(mode frequency)와 가까운 모드는 전기적인 모드를 삽입 잠금한다. 그러나, 다른 모드들은 철저하게 억제된다. 왜냐하면, 전기적인 발진기 내에서 발진하는 위상 매칭 조건의 상태에서 벗어났기 때문이다. 본 발명에서 안정적인 삽입-잠금을 위해서, 삽입된 OEO 모드들의 전력은 잠금 범위가 OEO 모드간의 주파수 간격을 의미하는

FSR/2 값 보다 낮아지도록 제한된다. 이 조건을 만족하는 적절한 주입 전력이 유지된다면, 주입된 여러 OEO 모드 중 전기적인 모드를 삽입-잠금한 모드만이 전기적인 발진기 출력단자로 나오게 된다. 이 때, 전기적인 모드를 삽입-잠금하지 않은 다른 모드들은 전기적인 발진기 안에서 억제되므로 높은 SMSR을 얻을 수 있다. 또한 전기적인 발진기 출력단자로 나오는 삽입-잠금된 모드는 삽입-잠금한 OEO 모드의 위상잡음 특징을 따르게 된다. 다른 OEO 모드는 전기적인 발진기에 삽입된 위상 조절기를 튜닝함으로써 선택될 수 있다. 왜냐하면, 그것은 전기적인 모드의 발진 주파수를 변화시킬 수 있기 때문이다.

- <12> 상기 또 다른 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 광전 발진 모드 선택 장치는 전기적 신호를 입력으로 광 신호 출력하는 전기 광학 변조기, 상기 전기 광학 변조기로부터의 광 신호를 증폭하는 제 1 증폭부, 상기 제 1 증폭부로부터의 광 신호를 입력받아 광 지연된 광 신호를 생성하는 광 섬유, 상기 광 지연된 광 신호를 입력으로 전기적 신호를 출력하는 광 검출기, 상기 광 검출기로부터의 전기적 신호 중의 일부의 전기적 신호는 외부로 출력하며, 나머지 전기적 신호는 상기 전광 변조에 다시 입력시키는 제 1 커플러, 상기 나머지 전기적 신호에서 소정의 주파수 대역에 속하는 전기적 신호를 필터링하는 제 1 필터부 및 상기 나머지 전기적 신호를 증폭시키는 제 2 증폭부를 구비하며, 광전 변환이 반복되는 순환 루프 구조를 통해 소정의 주파수 대역에 속하는 멀티 모드의 신호를 생성하는 광전 발진기; 및 상기 광전 발진기에서 출력된 멀티 모드의 전기적 신호를 입력 받는 제 2 커플러, 상기 제 2 커플러로부터의 전기적 신호를 증폭시키는 제 3 증폭부, 상기 증폭된 전기적 신호에서 소정의 주파수 대역에 속하는 단일 모드의 전기적 신호를 필터링하는 제 2 필터부, 상기 필터링된 단일 모드의 전기적 신호 중 일부의 전기적 신호를 출력하고 나머지 전기적 신호는 상기 제 2 커플러에 전달하는 제 3 커플러를 포함하며, 삽입-잠금에 의해 소정의 주파수 대역에 속하는 단일 모드의 전기적 신호를 출력하는 전기적 발진기를 포함한다.
- <13> 상기 또 다른 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 광전 발진 모드 선택 방법은 a) 광 신호의 전달 경로, 전기적 신호의 전달 경로 및 광전 변환이 반복되는 순환 루프 구조를 통해 소정의 주파수 대역에 속하는 멀티 모드의 신호를 생성하는 단계; b) 상기 전기적 신호의 경로를 통해 전달되는 멀티 모드의 전기적 신호 중 적어도 일부를 출력하는 단계; 및 c) 상기 출력된 멀티 모드의 전기적 신호를 입력 받아, 삽입-잠금에 의해 소정의 주파수 대역에 속하는 단일 모드의 전기적 신호를 출력하는 단계를 포함한다.
- <14> 본 발명에서 a) 단계는 광전 발진기가 수행하는 단계로서, 특히 전기적 신호를 입력으로 광 신호를 출력하는 전광 변조 단계, 상기 출력된 광 신호를 증폭하는 단계, 상기 증폭된 광 신호를 입력 받아 지연된 광 신호를 생성하는 단계, 상기 광 지연된 광 신호를 입력으로 전기적 신호를 출력하는 광전 변조 단계 및 상기 출력된 전기적 신호를 증폭하는 단계를 포함하는 것이 바람직하다.
- <15> 본 발명에서 b) 단계는 커플러가 수행하는 단계이다. 커플러는 광전 발진기의 일 구성 요소로서 광전 발진기의 순환 루프를 통해 발진된 전기적 신호 중의 일부를 전기적 발진기에 전달한다.
- <16> 본 발명에서 c) 단계는 전기적 발진기가 수행하는 단계로서, b) 단계를 통해 출력된 멀티 모드의 전기적 신호를 입력 받고 증폭시키는 단계, 증폭된 전기적 신호에서 소정의 주파수 대역에 속하는 단일 모드의 전기적 신호를 필터링하는 단계; 및 필터링된 단일 모드의 전기적 신호 중 일부의 전기적 신호를 출력하는 단계를 포함하는 것이 바람직하다.

**효과**

- <17> 본 발명에 따르면, 광전 발진기에서 생성된 멀티 모드들 중에서 하나의 모드를 선택하기 위해 독립적인 전기적 발진기를 도입함으로써, 기존의 전기적인 방법으로는 구현하기 힘든 high-Q 필터를 구현할 수 있다. 또한, 본 발명에 따르면 밀리미터파 대역에서 매우 낮은 위상 잡음을 갖는 신호를 생성할 수 있으므로 밀리미터파 무선 통신용 송수신기의 성능을 향상시키며, 간략화된 구성 요소를 통해 구현가능하기 때문에 시스템 비용을 경감할 수 있다.

**발명의 실시를 위한 구체적인 내용**

- <18> 이하에서는 도면과 실시예를 참조하여 본 발명의 광전 발진 모드 선택 방법 및 장치에 대하여 구체적으로 설명한다.
- <19> 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 광전 발진 모드 선택 장치를 나타내는 블록도이다. 본 실시예에서 광전 발진 모드 선택 장치는 크게 광전 발진기(100)와 전기적 발진기(200)를 포함한다. 광전 발진기(100)는 레이저(110), 전기 광학 변조기(120), 제 1 증폭부(130), 광 섬유(140), 광 검출기(150), 제 1 커플러(160), 제 1 필



터부(170) 및 제 2 증폭부(180)를 구비한다. 전기적 발진기(200)는 제 2 커플러(210), 위상 조절기(220), 제 3 증폭부(230), 제 2 필터(240), 제 3 커플러(250)를 포함한다.

<20> 우선, 광전 발진기(100)의 각 구성 요소들에 대하여 이하 상세히 설명한다.

<21> 레이저(110)는 전기 광학 변조기(E/O modulator, 120)와 연결되며, 레이저(110)에서 생성된 광 신호는 전기 광학 변조기에 주입시킨다. 레이저(110)로부터 생성된 광은 가시광 영역 또는 비가시광 영역의 광이어도 상관없다. 전기 광학 변조기(120)는 레이저로부터의 광을 주입 받는 광 입력 단자, 전기적 제어 신호로서 RF 신호를 수용하는 입력 단자와 광 신호를 출력하는 출력 단자를 갖는다. 전기 광학 변조기(120)는 전기적 제어 신호와 관련된 발진 주파수에서 변조되는 광 신호를 상기 출력 단자를 내보낸다. 전기 광학 변조기(120)의 종류에 특별한 제한은 없으며, 예를 들어 마흐-젠더 변조기(Mach-Zehnder Modulator), 전자 흡수 변조기(electro-absorption modulator)를 사용할 수 있다. 레이저의 주파수는 전기 광학 변조기의 RF 입력 단자의 전기적 제어 신호의 주파수 보다 큰 주파수이고, 전기 광학 변조기로부터의 출력 신호는 RF 신호의 주파수에서 변조된 광 변조 신호이다. 본 실시예에서와 같이 레이저와 전기 광학 변조기와 같은 구성요소를 모두 사용하는 대신, 전광 변조된 레이저를 사용하는 것도 가능하다.

<22> 제 1 증폭부(130)는 전기 광학 변조기(120)로부터의 광 신호를 증폭하는 광 증폭 장치이다. 제 1 증폭부(130)에서 증폭된 광 신호는 광 섬유(140)를 통해 광 검출기(150)에 전달된다. 광 섬유(140)는 동공 광학적 지연(cavity optical delay)의 수단으로서 역할을 한다. 광 섬유(140)의 길이는 전광 발진기(100)의 양호도(quality factor)를 고려하여 결정된다. 광 섬유의 길이가 길 수록 광전 발진기의 순환 루프를 통해 잠금되는 광 신호의 협대역 특성은 향상되지만 서로 인접하는 모드 간의 주파수 거리(FSR)은 작아지게 된다. 광 섬유의 길이와 FSR과의 관계는 하기 수학적식1에 따라 표현할 수 있다.

<23> 수학적식1

<24> 
$$FSR = c/nL$$

<25> 여기에서, c는 광속도이고, n은 광 섬유의 반사 계수이며, L은 광 섬유의 길이이다.

<26> 광 검출기(photodetector, 150)는 광 섬유를 통해서 전달되는 광 신호를 전기적 신호로 변환한다. 제 1 커플러(160)는 광 검출기(150)로부터의 전기적 신호 중의 일부의 전기적 신호는 외부의 기기 즉 전기적 발진기(200)의 제 2 커플러(210) 측으로 전달하고, 나머지 전기적 신호는 제 1 필터부(170)로 전달한다.

<27> 제 1 필터부(170)는 제 1 커플러(160)로부터 전달 받은 전기적 신호에서 소정 대역의 주파수 특성을 갖는 전기적 신호를 통과시킨다. 제 1 필터부(170)의 통과 대역 주파수를 좁게 하는 것은 일정한 한계가 있으며, 일반적으로 FSR 보다 큰 값을 갖기 때문에, 광전 발진기를 순회하는 신호는 멀티 모드의 신호이다. 제 1 필터부가 갖는 주파수 영역상에서의 윈도우 특성에 특별한 제한이 있는 것은 아니다. 다만, 최종적인 출력이 단일 모드의 신호임을 고려할 때, 윈도우는 중심 주파수에 대한 통과특성이 우수하고, 중심 주파수로부터 멀어질 수록 통과특성이 억제된 특성을 갖는 필터가 바람직하다. 제 2 증폭부(180)는 제 1 필터부(170)를 통과한 전기적 신호를 증폭시키고, 증폭된 전기적 신호를 전기 광학 변조기(120)에 전달한다.

<28> 이하, 전기적 발진기의 각 구성요소들에 대하여 상세히 살펴본다.

<29> 제 2 커플러(210)는 광전 발진기(100)의 제 1 커플러(150)에서 출력된 멀티 모드의 전기적 신호를 입력 받아, 위상 조절기(220)에 전달한다. 광전 발진기(100)에 구비되는 광 신호의 전달 경로와 전기적 신호의 전달 경로를 통해 발진하는 멀티 모드의 신호들 중 일부는 제 1 커플러(150)를 통해 제 2 커플러(210)에 전달되는데, 제 2 커플러로 전달되는 신호가 갖는 전력값에는 일정한 제한이 있다. 제 2 커플러로 과도한 전력이 공급될 경우, 안정적인 삽입-잠김 특성을 얻을 수 없기 때문이다. 광전 발진기(100)에서 전기적 발진기(200)로 삽입되는 전기적 신호의 전력(P<sub>in</sub>)과 전기적 발진기(200)에서 최종적으로 출력되는 전기적 신호의 전력(P<sub>out</sub>)은 하기 수학적식2를 만족하도록 조절되는 것이 바람직하다.

<30> 수학적식2

<31> 
$$P_{in} < P_{out} \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{nL} \cdot \frac{2Q}{f_0} \right)^2$$

<32> 여기에서, P<sub>in</sub> 는 상기 전기적 발진기로부터 입력되는 전기적 신호의 전력이고, P<sub>out</sub>는 상기 전기적 발진기로부터 출



력되는 전기적 신호의 전력이며,  $c$ 는 광속이고,  $n$ 는 상기 광섬유의 굴절률이고, 상기  $L$ 은 광섬유의 길이이며,

상기  $Q$ 는 상기 제 2 필터의 양호도(quality factor)이고,  $f_0$ 는 전기적 발진기의 발진 주파수이다. 도면1에 도시되지는 않았지만, 감쇄기를 제 1 커플러(160)와 제 2 커플러(210) 사이에 위치시키고, 수학적2의 조건을 만족하도록 감쇄기를 제어하는 것이 바람직하다. 입력 신호의 전력이 상기 수학적식을 만족하지 않을 경우, 전기적 발진기를 통해 출력되는 전기적 신호에 부 모드 신호의 전력도 커지기 때문에, 상기 수학적2를 만족시키는 범위에서 입력 신호의 전력을 조절함이 바람직하다.

<33> 위상 조절기(220)는 제 2 커플러(210)로부터의 전기적 신호의 위상을 조절한다. 제 2 필터(240)의 대역 통과 대역이 결정된 경우, 순환하는 전기적 신호의 위상 조절을 통해 대역 통과 대는 주파수를 조절할 수 있다.

<34> 제 3 증폭부(230)는 위상 조절기(220)를 통해 위상이 조절된 전기적 신호를 입력 받고 증폭한다. 제 2 필터부(240)는 제 3 커플러(230)로부터 전달 받은 전기적 신호에서 소정 대역의 주파수 특성을 갖는 전기적 신호를 통과시킨다. 제 3 커플러(250)는 제 2 필터부(240)를 통해 필터링된 단일 모드의 전기적 신호를 제 2 커플러(210)와 외부 장치로 출력한다.

<35> 특히, 본 실시예에서 전기적 발진기(200)는 광전 발진기(100)에서 생성되어 삽입되는 전기적 신호가 갖는 멀티 모드의 신호들 중에서 특정 모드 특히 단일 모드의 전기적 신호를 제외한 다른 신호는 억제시킨다. 전기적 발진기(200)를 통해 삽입-잠금되는 단일 모드의 전기적 신호의 잠금 범위 또는 잠금 주파수 범위는 하기 수학적3을 따르도록 구비된다.

<36> 수학적3

$$f_{LR} = \frac{f_0}{2Q} \sqrt{\frac{P_m}{P_{out}}}$$

<37> 여기서,  $f_{LR}$ 은 전기적 발진기(200)의 잠금 범위(locking range)이고, 상기  $P_{in}$ 은 상기 전기적 발진기로 입력되는 전기적 신호의 전력이며, 상기  $P_{out}$ 는 상기 전기적 발진기에서 출력되는 전기적 신호의 전력이고, 상기  $Q$ 는

상기 제 2 필터의 양호도(quality factor)이고,  $f_0$ 는 전기적 발진기의 발진 주파수이다.

<39> 본 실시예의 광전 발진 모드 선택 장치는 광전 발진기(100)와 전기적 발진기(200)가 결합된 형태의 모드 선택 장치이다. 전기 광학 변조기(120)에서 생성되는 광 신호는 광 신호의 전달 경로와 전기적 신호의 전달 경로를 통해 오실레이팅됨으로써 특정 주파수 대역에 속하는 신호 성분은 증폭되고, 저지 대역에 속하는 신호 성분은 억제된 특성을 갖는다. 그러나, FSR은 필터가 갖는 모드 주파수 보다 일반적으로 작기 때문에 순환되는 신호는 멀티 모드의 특성을 갖는다(도 2a 참고). 상기 멀티 모드의 특성을 갖는 신호는 전기적 신호의 형태로 전기적 발진기 측으로 삽입되고, 상기 삽입된 전기적 신호는 전기적 신호의 순환 경로를 통해 삽입-잠금되는 과정을 반복함으로써 단일 주파수 성분을 갖는 전기적 신호 즉 단일 모드의 전기적 신호를 생성한다. 본 실시예의 광전 발진 모드 선택 장치는 기존의 삽입-잠금된 발진기와는 구별되는 것으로, 본 실시예를 통해 제안된 모드 선택 장치는 기존의 슬래브 광전 발진기 대신 짧은 루프를 가지며 단순하고 비용 측면에서도 효과적인 설정을 갖는 전기적인 발진기로 대체된다. 본 실시예에서 전기적인 발진기는 OEO와 비교할 때, 상대적으로 넓은 잠금 범위로 인해 낮은 주입 전력으로 주입된 OEO 모드들 중에서 단일 모드를 선택하기 위하여 높은 양호도(Q)를 갖는 대역 통과 필터(BPF)로서 동작한다.

<40> 상술한 구조의 개연성을 뒷받침하고 주파수 선택 특성을 파악하기 위하여, 하기와 같은 광전 발진 모드 선택 장치를 다음과 같이 구성할 수 있다. 우선, 본 실시예의 모드 선택 장치는 30GHz대역에서 84kHz 주파수 간격을 가지는 다중 OEO 모드들로부터 단일 모드의 전기적 신호를 추출하도록 구비된다. 이 때 얻을 수 있는 SMSR은 113dB 보다 큰 값을 가진다. 또한, 우선, 광전 발진기(100)의 광 섬유(140)는 그 길이가 2.4km이고, 30GHz에서 발진하도록 하도록 구비된다. 또한, 전기적 증폭기인 제 2 증폭부(180)와 광학적 증폭기인 제 1 증폭부(130)는 순환 손실(round trip loss)를 보상하도록 구비되며, 제 1 필터부(170)는 6.8dB의 삽입 손실을 가지며, 30GHz에서 양호도 1500를 갖도록 설정된다. 제 1 커플러(160)에 입력되는 전기적 신호 중 10%는 제 2 커플러(210)로 전달하도록 구성된다. 도 1에 도시되지는 않았지만, 삽입된 신호의 전력은 별도의 감쇄기를 통해 조절될 수 있다. 전기적 발진기(200)에서 전기적인 증폭 장치(electrical amplifier)인 제 3 증폭부(230)는 18dB의 이득을 갖고, RF 필터인 제 2 필터(240)는 3.16dB의 삽입 손실을 가지며 30GHz에서 양호도 1000을 갖는다. 또한, 4 포

트 3dB 커플러를 이용함으로써, 제 2 커플러(210)와 제 3 커플러(250)를 하나의 커플러로 구현한다.

- <41> 도 2a 내지 2c는 상술한 실험 조건에서 파악되는 주파수 특성을 나타내는 참고도이다. 특히, 도 2a는 도 1에서 광전 발진기(100)를 순환하는 신호의 주파수 특성을 나타내는 참고도이고, 도 2b는 도 1에서 전기적 발진기(200)의 잠금 주파수 특성을 나타내는 참고도이다. 잠금 범위(locking range)는 필터 시스템의 특성을 갖는 전기적 발진기의 대역 통과 폭을 나타내며, 전기적 발진기의 경우 낮은 주입 전력으로도 좁은 잠금 범위를 얻을 수 있어 단일 모드의 신호만을 선택하는데 유리하다. 도 2c는 도 1에서 전기적 발진기(200)를 순환하는 신호의 주파수 특성을 나타내는 참고도이다.
- <42> 도 3a 내지 3c는 발진 시스템에 따른 모드 선택 주파수 특성을 보여주는 참고도이다. 도 3a 내지 3c에 도시된 모드 선택 주파수 특성은 스펙트럼 분석기(spectrum analyzer)의 디스플레이상의 한계로 인해 9dB 가량 감쇄시킨 후, 외부 기기인 혼합 장치(HP119770A)와 연결된 스펙트럼 분석기(HP8563E)를 이용하여 측정된 것이다. 스펙트럼 스캔(frequency span)과 분해 대역폭(resolution bandwidth)은 각각 300kHz와 300Hz로 설정하였다.
- <43> 도 3a는 전기적 발진 시스템에서 출력 신호의 주파수 특성을 나타내고, 도 3b는 광전 발진 시스템에서 출력 신호의 주파수 특성을 나타내는 참고도이다. 도 3c는 도 1의 발진 시스템에서 출력 신호의 주파수 특성을 나타내는 참고도이다. 도 3b에서 모드들 간의 전력 차이는 광전 발진기의 대역 통과 필터가 갖는 대역 통과 형태(pass band shape)에 따라 다르다.
- <44> 도 3c에서 확인할 수 있듯이, 도 1의 광전 발진기 및 전기적 발진기가 결합된 발진 시스템의 경우 멀티 모드의 전기적 신호가 전기적 발진기에 입력되더라도 1개의 모드 신호를 제외하고는 나머지 모드들은 억제된다.
- <45> 도 4는 전기적 발진기와 도 1의 삽입-잠금된 전기적 발진기에서SSB(Single-sideband) 위상 노이즈의 측정 결과를 나타내는 참고도이다. 10kHz 주파수 옵셋에서 측정된 위상 노이즈는 각각 -97.00dBc/Hz 와 -112.00dBc/Hz로 나타났다. 20kHz에서 위상 노이즈의 피크가 발생한 이유는 외부 장치인 측정 장치의 일 구성으로서 외부 장치인 혼합 믹서를 사용하였기 때문으로 예측된다. 중심 주파수 주변의 잠금된 모드의 위상 특성은 삽입-잠금 방식에 의하여 현저히 향상되었다. 도 5에서 확인할 수 있듯이, 도 1의 시스템에 의하면 SMSR 값은 113dB 보다 낮은 값을 갖게 된다.
- <46> 도 5은 10kHz 주파수 옵셋에서 측정된 선택된 모드들의 전력과 위상 노이즈의 분포 특성을 나타내는 참고도이다. 도 5에서 서로 다른 모드들은 위상 조절기를 튜닝함으로써 선택되었다. 도 5에서 30.754892GHz의 발진 주파수 성분을 갖는 모드는 0<sub>th</sub> 모드가 되고, 모드 간의 간격은 약 84kHz이며, 150개를 넘는 선택된 모드들이 일정한 모드 전력과 위상 노이즈 값을 갖는다.
- <47> 이제까지 본 발명에 대하여 바람직한 실시예를 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 본 발명을 구현할 수 있음을 이해할 것이다. 그러므로, 상기 개시된 실시예 들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 한다.

**산업이용 가능성**

- <48> 본 발명에 개시된 광전 발진 모드 선택 장치 및 방법은 광전 발진기의 여러 모드들 중 하나의 모드를 선택하기 위하여 기존의 전기적인 방법으로는 구현하기 힘든 high-Q 필터를 독립적이고 간단한 구조의 전기적 발진기를 도입함으로써 구현한 것이다. 또한, 본 발명의 장치 및 방법은 기존의 기술에 비하여 간략화된 구성 요소를 통해 구현가능하기 때문에 시스템 비용을 경감할 수 있으며, 매우 낮은 위상 잡음 특성을 갖기 때문에 밀리미터파 대역의 무선 통신 시스템, 광무선 융합 시스템에 활용되기에 적합하다.

**도면의 간단한 설명**

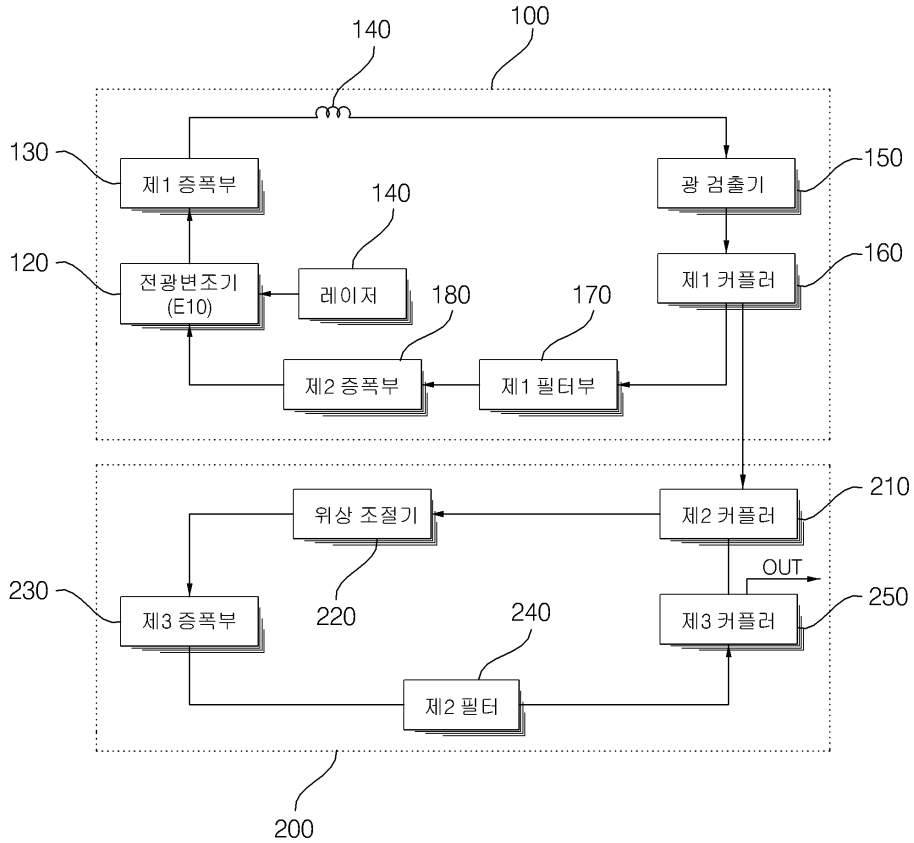
- <49> 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 광전 발진 모드 선택 장치를 나타내는 블록도이다.
- <50> 도 2a는 도 1에서 광전 발진기를 순환하는 신호의 주파수 특성을 나타내고, 도 2b는 전기적 발진기의 잠금 주파수 특성을 나타내며, 도 2c는 전기적 발진기를 순환하는 신호의 주파수 특성을 나타낸다.
- <51> 도 3a는 전기적 발진 시스템에서 출력 신호의 주파수 특성을 나타내고, 3b는 광전 발진 시스템에서 출력 신호의 주파수 특성을 나타내며, 3c는 도 1의 실시예에서 출력 신호의 주파수 특성을 나타내는 참고도이다.

<52> 도 4는 전기적 발진기와 도 1의 전기적 발진기에서 SSB 위상 노이즈의 측정 결과를 나타내는 참고도이다.

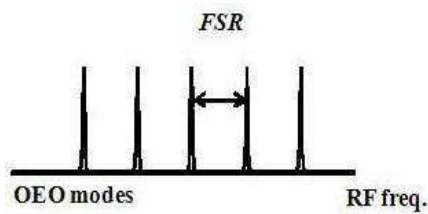
<53> 도 5는 10kHz 주파수 옵셋에서 측정된 선택된 모드들에 따른 전력 및 위상 노이즈 분포 특성을 나타내는 참고도이다.

도면

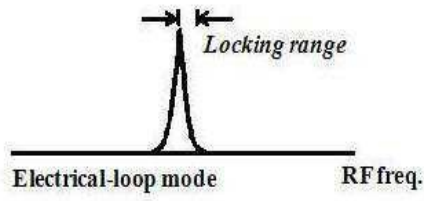
도면1



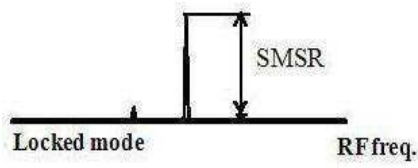
도면2a



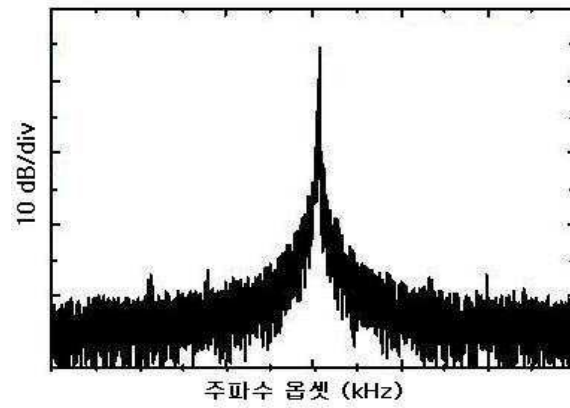
도면2b



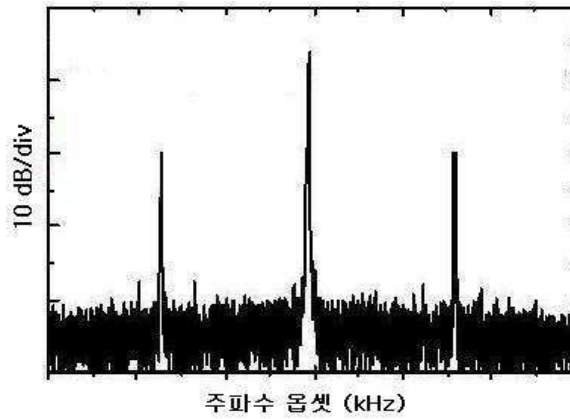
도면2c



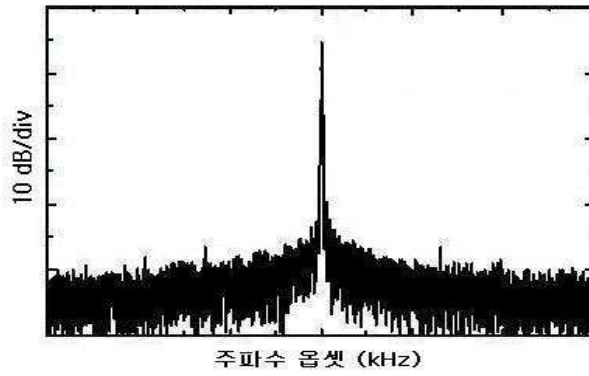
도면3a



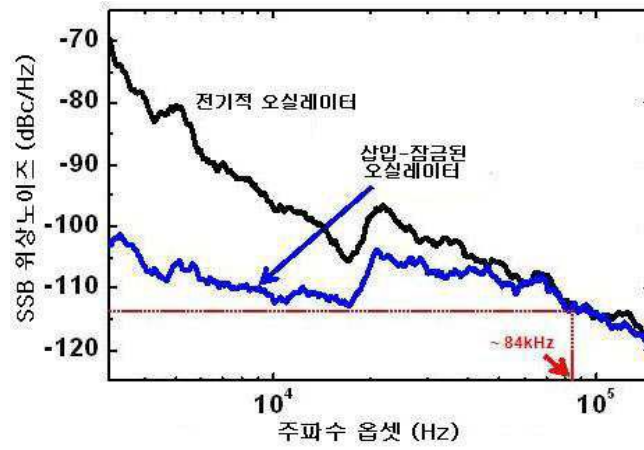
도면3b



도면3c



도면4



도면5

