(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0055902
(43) 공개일자 2008년06월19일

(51) Int. Cl.
H04B 10/06 (2006.01) *H04B 10/02* (2006.01)
G06F 19/00 (2006.01) *H01L 31/10* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-7008511
(22) 출원일자 2008년04월08일
심사청구일자 없음
번역문제출일자 2008년04월08일
(86) 국제출원번호 PCT/US2006/035000
국제출원일자 2006년09월07일
(87) 국제공개번호 WO 2007/030700
국제공개일자 2007년03월15일
(30) 우선권주장
11/223,646 2005년09월09일 미국(US)

(71) 출원인
알리드 텔레시스, 인크.
미국 98011 워싱턴 보델 스위트 100 노쓰 크릭 파크웨이 19800
(72) 발명자
카쿠, 신쿄
미국 95120 캘리포니아주 산호세 벨리 퀘일 써클 1215
티코노브, 비탈리
미국 94040 캘리포니아주 마운틴 뷰 마운트 버논 코트 넘버9 1940
(74) 대리인
양영준, 정은진, 백만기

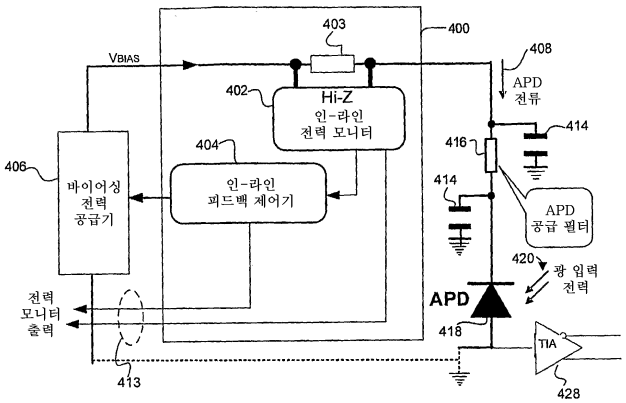
전체 청구항 수 : 총 29 항

(54) 애벌런치 광다이오드들에 입사하는 입력 광 전력을모니터링하기 위한 전력 모니터

(57) 요 약

하나 이상의 전력 모니터링 스테이지들은 예를 들어, 연장된 입력 전력 범위에 걸쳐 입력 전력을 측정할 수 있는, 광 신호의 입력 전력을 모니터링하기 위한 인-라인 모니터링 장치, 광 수신기 및 방법이 개시된다. 일 실시예에서, 장치는 광 신호를 수신하도록 구성된 애벌런치 광다이오드("APD") 및 APD를 바이어스하도록 구성된 입력을 포함한다. 장치는 하나 이상의 인-시추 측정 신호들을 생성하기 위해 APD와 병렬로 입력에 연결된 하나 이상의 전력 모니터링 스테이지들을 포함할 수도 있다. 일 실시예에서, 범위 선택기는 하나 이상의 전력 모니터링 스테이지들 중 하나가 입력 광 전력을 나타내는 측정 신호를 제공하도록 선택한다. 전력 모니터링 스테이지들은 저-전력의 광 신호들을 모니터링하기 위해 넓은 범위의 선형 전류 측정들뿐만 아니라 측정가능한 전류들의 범위를 제공할 수 있다.

대표도 - 도4



특허청구의 범위

청구항 1

광 신호 검출기에 의해 수신된 광 신호의 입력 전력을 모니터링하는 인-라인(in-line) 모니터링 장치로서,

상기 인-라인 모니터링 장치는,

상기 광 신호를 수신하도록 구성된 애벌런치 광다이오드(avalanche photodiode)("APD");

상기 APD에 대한 바이어스를 제공하도록 구성된 입력; 및

상기 APD와 병렬로 상기 입력에 연결되고, 또한 인-시추(in-situ)로 측정 신호를 생성하도록 구성된 전력 모니터링 스테이지

를 포함하고,

상기 측정 신호는 상기 입력 전력을 나타내는 인-라인 모니터링 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 APD와 병렬인 상기 전력 모니터링 스테이지는 다른 경우 상기 APD와 직렬인 전류 측정 경로의 다수의 디바이스들을 감소시키는 인-라인 모니터링 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 측정 신호는 대수 증폭기(logarithmic amplifier)를 이용하지 않고 네트워크에서의 데이터 통신 동안 생성되는 인-라인 모니터링 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 전력 모니터링 스테이지는,

상기 입력 및 상기 APD 사이에 연결된 수동 회로 소자(passive circuit element); 및

상기 수동 회로 소자를 가로질러 연결된 높은-임피던스 증폭기

를 더 포함하는 인-라인 모니터링 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 전력 모니터링 스테이지는, 상기 전력 모니터링 스테이지가 상기 입력 전력을 측정하는 연장된 범위를 연장된 입력 전력 범위로서 제공하는 인-라인 모니터링 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 전력 모니터링 스테이지는 두 개 이상의 전력 모니터링 스테이지들을 더 포함하여 상기 연장된 입력 전력 범위를 확립하고, 상기 두 개 이상의 전력 모니터링 스테이지들 각각의 개별적인 전력 모니터링 스테이지는 상기 연장된 입력 전력 범위의 분리된 부분(separate portion) 내의 입력 전력 값들을 측정하도록 구성되는 인-라인 모니터링 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 두 개 이상의 전력 모니터링 스테이지들은,

상기 입력 전력으로서 저-전력의 광 신호를 검출하도록 구성된 제1 전력 모니터링 스테이지; 및

입력 광 전력 레벨들의 선형 범위를 제공하도록 구성된 제2 전력 모니터링 스테이지

를 더 포함하는 인-라인 모니터링 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제1 전력 모니터링 스테이지는 상기 저-전력의 광 신호 및 선형 범위 부분의 측정가능한 값들의 범위를 포함하는 비-선형 부분을 포함하는 제1 범위 부분을 제공하고, 상기 제2 전력 모니터링 스테이지는 다른 선형 범위 부분을 제공하는 인-라인 모니터링 장치.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 개별적인 전력 모니터링 스테이지들 각각은 상기 APD에 대한 광전류 감지에 응답하여 상기 측정 신호를 생성하도록 구성된 전류-감지 증폭기를 포함하고, 상기 전류-감지 증폭기는 필터링 및 전류-감지용 저항을 포함하여 각각의 필터링 및 전류-감지용 개별 저항이 없는 인-라인 모니터링 장치.

청구항 10

제6항에 있어서,

상기 연장된 입력 전력 범위는 상기 측정 신호에 대한 제1 서브세트 값들을 생성하여 상기 APD에 대한 게인(gain)을 교정하는 제1 범위 부분 및 상기 측정 신호에 대한 제2 서브세트 값들을 생성하여 상기 입력 전력이 안전 경보 레벨에 있는지 여부를 결정하는 제2 범위 부분을 포함하는 인-라인 모니터링 장치.

청구항 11

제6항에 있어서,

인-라인 피드백 제어기를 더 포함하는 인-라인 모니터링 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 인-라인 피드백 제어기는 상기 APD에 대한 타겟 게인을 제공하기 위해 상기 바이어스를 타겟 바이어스로 조절하는 바이어스 오프셋을 저장하기 위한 국부 데이터 저장소를 더 포함하는 인-라인 모니터링 장치.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 인-라인 피드백 제어기는 전환(switch-over) 지점을 저장하기 위한 국부 데이터 저장소를 더 포함하고, 상기 피드백 제어기는 상기 측정 신호를 수신하기 위해 상기 두 개 이상의 전력 모니터링 스테이지들로부터 하나의 전력 모니터링 스테이지를 선택하도록 구성되는 인-라인 모니터링 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 인-라인 피드백 제어기는 전류 값의 함수로서 상기 하나의 전력 모니터링 스테이지를 선택하는 인-라인 모니터링 장치.

청구항 15

제11항에 있어서,

상기 바이어스 오프셋을 생성하기 위해 외부 게인 교정기에 상기 측정 신호를 제공하는 출력을 더 포함하는 인-라인 모니터링 장치.

청구항 16

제11항에 있어서,

상기 인-라인 피드백 제어기는 상기 타겟 게인을 교정하기 위해 인-시추 교정기를 더 포함하는 인-라인 모니터링 장치.

청구항 17

제11항에 있어서,

상기 인-라인 피드백 제어기는, 상기 광 신호가, 상기 APD가 상기 입력 전력에 의해 손상되기 쉬운 임계치를 초과하는 것을 나타내는 경보 신호를 생성하도록 구성된 안전 제어기를 더 포함하는 인-라인 모니터링 장치.

청구항 18

제5항에 있어서,

상기 연장된 입력 전력 범위는 적어도 약 -3dBm에서 약 -45dBm까지를 포함하는 인-라인 모니터링 장치.

청구항 19

광 신호들을 검출하기 위해 이용된 애벌런치 광다이오드("APD")에 대한 입력 전력을 측정하는 방법으로서,

광전류 값들의 서브세트들을 나타내는 전압들의 서브세트들을 생성하는 단계; 및

광전류를 나타내는 값을 갖는 측정된 신호를 제공하기 위해 상기 서브세트들의 전압들 중 하나를 선택하는 단계를 포함하고,

상기 광전류 값들의 서브세트들은 상기 APD의 입력 광 전력을 모니터링하도록 연장된 범위를 구성하는 전력 측정 방법.

청구항 20

제19항에 있어서,

상기 전압들의 서브세트들은 저-전력의 입력 광 신호들을 검출하기 위한 전압들의 서브세트를 포함하는 전력 측정 방법.

청구항 21

제19항에 있어서,

상기 연장된 범위는 상기 전압들의 서브세트들에 대해 선형 관계를 갖는 상기 입력 광 전력의 값들을 포함하는 전력 측정 방법.

청구항 22

제19항에 있어서,

상기 전압들의 서브세트들을 생성하는 단계는 측정 신호들로서 상기 전압들의 서브세트들을 생성하기 위해 다수의 전력 모니터링 스테이지들을 구성하는 단계를 더 포함하는 전력 측정 방법.

청구항 23

제19항에 있어서,

특정 게인을 제공하기 위해 상기 측정된 신호에 응답하여 상기 APD의 바이어스 전압을 조절하는 단계를 더 포함하는 전력 측정 방법.

청구항 24

제19항에 있어서,

상기 측정된 신호를 경보 한계와 비교하는 단계; 및

상기 경보 한계를 위반하는 상기 측정된 신호에 응답하여 광 신호 생성을 중단(shutting down)하는 단계

를 더 포함하는 전력 측정 방법.

청구항 25

적어도 광 통신 신호를 역다중화하도록 구성된 광 수신기로서,

상기 광 수신기는,

다중화된 광 신호로부터 특정 파장을 갖는 각각의 광 신호들을 형성하도록 구성된 역다중화기(demultiplexer);

상기 광 신호들을 검출하도록 구성된 다수의 애벌런치 광다이오드들(avalanche photodiodes)("APDs");

다수의 바이어스 소스들; 및

상기 다수의 바이어스 소스들과 상기 다수의 APDs 사이에 놓인 다수의 인-라인 전력 모니터들

을 포함하고,

상기 다수의 인-라인 전력 모니터들 각각은 연장된 범위에 걸쳐 입력 전력을 모니터링하도록 구성되는 광 수신기.

청구항 26

제25항에 있어서,

상기 다수의 인-라인 전력 모니터들 각각은 두 개 이상의 전류-감지 증폭기들을 포함하고, 상기 두 개 이상의 전류-감지 증폭기들 각각은 상기 연장된 범위의 일부분을 생성하도록 동작할 수 있는 광 수신기.

청구항 27

제25항에 있어서,

APD의 게인을 소정의 값으로 설정하기 위해 상기 다수의 바이어스 소스들 중 하나에 대한 바이어스 전압을 적어도 조절하도록 구성된 바이어스 조절기를 더 포함하는 광 수신기.

청구항 28

제25항에 있어서,

상기 APD들 중 하나에 대한 대응하는 입력 전력이 경보 한계를 위반할 때 상기 광 신호들 중 하나의 생성을 중지하도록 구성된 안전 제어기를 더 포함하는 광 수신기.

청구항 29

제25항에 있어서,

상기 광 수신기를 포함하는 하우징(housing)을 더 포함하는 광 수신기.

명 세 서

기 술 분 야

<1> 본 발명은 일반적으로 인-라인(in-line) 전력 모니터, 보다 구체적으로, 애벌런치 광다이오드(avalanche photodiode, APD)와 같은, 광 신호 검출기의 입력 전력을 모니터링하기 위한 인-라인 전력 모니터에 관한 것이다. 입력 전력 인-라인을 모니터링함으로써, 광 신호 검출기의 동작 파라미터들은 실시간으로 결정되고 제어될 수 있다. 예를 들어, 동작 파라미터로서 ADP의 게인은 그의 온도 변화들에 따라 제어될 수 있다.

배 경 기 술

<2> 광 수신기들은 광 통신 네트워크들의 광섬유 케이블들을 경유하여 전송된 광 신호들을 검출함으로써 데이터 전송을 용이하게 한다. 그러한 네트워크들에서, 광 전송기들은 고주파수들의 광 신호들을 변조하여, 하나 이상의 광 파장들을 이용하여 파이버(fiber)를 통해 광 신호들을 송신한다. 전송된 신호들을 수신하기 위해, 광 수신기들은 전형적으로 "APD"를 이용하여 광 신호들을 검출한다. 알려진 바와 같이, APD는 초기 광전류의 증폭(multiplication)을 발생시키는 내부-발생 증폭층을 갖는 광다이오드이다. 그러나, APD의 동작은 잡음 및 온도 변화들에 영향을 받기 쉽다. 그에 따라, 광전류를 측정하고 바이어스 전압을 조절하는 것은 모두 적정한 APD 동작을 보장하는데 필수적이다. 그러나, 광전류 측정 및 바이어스 전압 조절을 용이하게 하기 위한 종래 구조 및 기술들은 몇몇 결점들을 갖는다.

<3> 도 1은 원거리 통신들에 대한 종래 구성 네트워크(100)이다. 일반적으로, 광 네트워크는 많은 송신기들 및 수신기들을 포함한다. 예시 목적들을 위해, 도 1은 하나 이상의 송신기들을 의미하는 다중화기(multiplexer, MUX)(106)를 나타낸다. 다중화기는, 변조된 광 신호들로서 광 섬유(108)를 통해 전송하기 위해 상이한 파장들의 "n"개의 광 신호들(104)을 조합하도록 동작한다. 하나 이상의 수신기들을 의미하는 역다중화기(demultiplexer, DEMUX)(110)는 이전에 조합된 신호들을 광 신호들(112)로 분리하도록 동작한다. 광 네트워크의 동작 및 품질을 모니터링하기 위해, 외부 전력 모니터(120)는 광 신호들(112)의 임의의 소정의 파장에 대한 입력 광 전력을 측정하기 위해 이용된다. 전형적으로, 외부 전력 모니터(120)는 광 수신기 장치를 포함하는 하우징(housing)의 외부에 있다. 전력을 모니터링하는 이러한 접근에 대한 결점들은 명료하다. 이러한 구성(100)이 외부 전력 모니터(120)를 포함하도록 구성하는데 부가적인 외부 장치 및 리소스들(예를 들어, 노동력, 시간 등)이 필요하다. 구성(100)은 정확하게 전력을 측정하기 위해 이용될 수 있지만, 광 수신기의 제조 동안과 같이, 통상 단지 한번 이용된다. 그와 같이, 인-라인 APD 게인 조절들은 APD의 정상 동작들 동안, 특히 통신 네트워크에서 이용되는 때에 일반적으로 실행가능하지 않다. 구성(100)에 대한 다른 결점은, 외부 전력 모니터(120)가 광 경로에서 신호 손실들을 야기하는 추가 컴포넌트들을 도입하여 광 전력 모니터링을 퇴화시키는 것이다.

<4> 도 2a는 입력 광 전력이 내부적으로 모니터링되는 광 신호 전력 모니터링에 대한 접근을 나타낸다. 이러한 접근에서, 입력 광 전력은 광전류를 측정함으로부터 이끌어 낼 수 있고, TIA(trans-impedance amplifier)의 출력에서 수행된다. 나타낸 바와 같이, 구조(200)는 광 신호들(206)을 검출하는 APD(202)를 포함하고, TIA(204)는 광전류를 전압(208)으로 환산하여 측정한다. 그러나, 입력 광 전력을 모니터링하는 이러한 접근에 대한 몇몇 결점들이 존재한다. 하나의 결점은 주 출력 신호(208)의 고주파수 성질을 방해함 없이 정확한 신호 분할(splitting)을 하는 것은 기술적으로 어렵다는 것이다. 특히, 저항기들(R) 및 캐패시터들(C)을 포함하는 소자들(231 및 233)은 주 출력 신호(208)의 일부분을 분할하는데 이용되어, 신호 부분(209)을 형성한다. 이러한 접근에서, 신호 부분(209)은 광 전력을 측정하기 위해 이용된다. 그러나, 주 출력 신호(208)는 일반적으로 10Gbps 혹은 그보다 높은 것과 같은, 고주파수들 및 데이터 전송 레이트들이므로, 정확한 전력 모니터링을 위해 신호를 효과적으로 분할하는 것은 어렵다. 도 2b는, 전력을 모니터링하는 구조(200)에 대한 다른 결점이 광 전력을 모니터링하는 전체 범위를 상당히 감소시키는, 상대적으로 높은 수준의 비-선형성을 갖는다는 것을 나타낸다.

<5> 도 2b는 광전류와 (도 2a의) TIA(204)의 출력 사이의 관계를 나타내는 그래프(250)이다. 범위(254)는 비-선형 범위이고; 광전류의 미세 선형 변화들은 TIA 출력에서의 대폭적인 변화들을 이끌어 낸다. 그것은 (도 2a의) TIA(204)가 일반적으로 매우 포화되는 이러한 범위 내에 있다. 범위(254)의 비-선형성은 높은 입력 광 전력 값들에서의 전력을 모니터링하는 유효 범위(예를 들어, -18dBm에서 -3dBm까지)를 감소시킨다. 예를 들어, 과전류 이벤트들로부터 APD를 보호하기 위해 (예를 들어, -3dBm의) 경보(alarm) 한계를 설정하는 것이 바람직하므로, 범위(254)는 안전하지 않은 동작 조건들을 검출하기 위해 (도 2a의) TIA(204)를 이용할 수 없게 만든다.

<6> 도 3은 전력이 내부적으로, 보다 구체적으로, 전류가 TIA에 도달하기 전에 모니터링되는 다른 전력 모니터링 접근을 나타낸다. APD(320)에 입사하는 광 전력을 내부적으로 모니터링하기 위해, 구성(300)은 바이어스 전압-설정 회로(301), 입력 스테이지 증폭기(302), 전류 미러(304), 및 대수 증폭기(logarithmic amplifier, log amp)(310)를 포함한다. 바이어스 전압-설정 회로(301)는 입력 스테이지 증폭기(302)의 입력(311)에 바이어스 전압을 발생시키도록 동작하고, 이 바이어스 전압은 차례로, 노드(303)에서 입력 APD 전압을 바이어스하는 출력(313)을 발생시키는 기능을 한다. 도 2a 및 도 2b에 설명된 접근과 달리, TIA(312)는 통신될 데이터를 나타내는 전기적 신호들을 증폭하기 위해서만 이용된다; 그것은 전력 모니터링 목적들을 위해 이용되지 않는다. 그러

나, 전력 모니터링 목적들을 위해 전류 미러(304)가 대수 증폭기("log amp")(310)로의 전류 측정 경로에 포함되는 것에 주목하라. 구성(300)에 대한 일부 선택적인 구조들에서, 전류 미러(304)는 고-전압 트랜지스터("HV Trans")(306)를 포함한다.

<7> 앞선 관점에서, 상술된 결점들을 최소화하는 장치 및 방법을 제공하는 것이 바람직하고, 따라서, 게인을 조절하고 안전하지 않은 조건들, 그중에서도 특히, 상이한 온도들에서의 동작을 제어하기 위해 연장된 범위를 이용하여 전력 모니터링을 용이하게 한다.

<8> < 본 발명의 요약 >

<9> 하나 이상의 전력 모니터링 스테이지들이 예를 들어, 연장된 입력 전력 범위에 걸쳐 입력 전력을 측정할 수 있는 연장된 범위에 걸쳐 광 신호의 입력 전력을 모니터링하기 위한 인-라인 모니터링 장치, 광 수신기 및 방법이 개시된다. 일 실시예에서, 인-라인 모니터링 장치는 광 신호를 수신하도록 구성된 애벌런치 광다이오드("APD") 및 APD에 대해 바이어스를 공급하도록 구성된 입력을 포함한다. 인-라인 모니터링 장치는 하나 이상의 인-시추(in-situ) 측정 신호들을 발생시키기 위해 APD와 병렬로 입력에 연결된 하나 이상의 전력 모니터링 스테이지들도 포함한다. 측정 신호들은 입력 광 전력을 나타낸다. 일 실시예에서, 범위 선택기는 하나 이상의 전력 모니터링 스테이지들 중, 입력 광 전력을 나타내는 측정 신호를 제공하는 어느 하나를 선택한다. 일반적으로, 하나 이상의 전력 모니터링 스테이지들은 누설 전류들을 감소시키기 위해 고-임피던스 입력들을 갖는다. 적어도 하나 이상의 전력 모니터링 스테이지들은, -45dBm 혹은 그보다 아래에서와 같은 그러한 레벨들에서의 잡음에 대해 효과적인 면역성을 갖는 저-전력의 광 신호들을 모니터링하기 위해, 측정가능한 전류의 범위를 제공하도록 구성될 수 있다. 인-라인 모니터링 장치는, APD와 직렬인 전류 미러들 및 대수 증폭기들과 같은, 외부 전력 모니터들 및 직렬의 전력 모니터링 디바이스들의 필요성을 미연에 방지한다. 인-라인 모니터링 장치는 입력 광 전력에 대해 동일한 연장된 범위에 걸쳐 실시간 게인 보정(calibration) 및 경보 한계 평가 둘 다도 제공한다. 일부 실시예들에서, 전력 모니터링 스테이지들은 광범위한 선형 전류 측정들을 제공할 수 있지만, 저-전력의 광 신호들을 모니터링하기 위해 측정가능한 전류들에 대한 범위를 제공할 수도 있다.

실 시 예

<27> 도 4는 본 발명의 적어도 하나의 특정 실시예에 따른, 입력 광 전력을 인-라인으로 모니터링하는 장치의 블록도이다. 장치(400)는 광 신호(420)를 모니터링하도록 구성된 인-라인 전력 모니터(402)를 포함한다. 바이어싱 소스("바이어싱 전력 공급기")(406)로부터 흐르는 감지 전류(408)는 조절가능한 바이어스 전압을 제공한다. 일 실시예에서, 광 신호 검출기는 APD(418)이다. 일부 경우들에서, 저항(416) 및/또는 캐패시터들(414)은 예를 들어, 잡음의 영향들을 감소시키기 위해 전류(408)를 필터링한다. 장치(400)는 전류(408)를 검출하고 모니터링하기 위해, 대체(416)할 수 있는 수동(passive) 소자(403)도 포함한다.

<28> APD를 거친 전류(408)는 식(1)에 따라 기술될 수 있다는 것에 주목하라:

수학식 1

<29>
$$I(APD_current) = Ip * APD(\text{응답성}) * APD(\text{게인}),$$

<30> 여기서, Ip는 APD(418)로의 광자 선속(photon flux)을 나타내고, APD(응답성)는 APD(418)의 응답성을 나타내며, APD(게인)는 APD의 게인(또는 증배)을 나타낸다. Ip*APD(응답성)의 곱은 APD 광전류, 또는 광전류로서 일컬을 수 있다는 것에 주의하라. 두 전류들이 입력 광 전력을 나타낼 수 있기 때문에, 전류라는 용어는 APD 전류 또는 광전류 중 하나이거나 둘 다를 의미할 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 일부 실시예들에서, 식(1)에 설명된 바와 같이, 둘 사이의 의존성(dependency)이 존재하기 때문에, APD 전류를 측정하는 것은 광전류를 측정하는 것과 같다. 전류(408)를 측정함에 의해, 장치(400)는 APD(418)로 입사하는 입력 광 전력을 모니터링할 수 있다.

<31> 특히, 인-라인 전력 모니터("HI-Z 인-라인 전력 모니터")(402)는 APD(418)와 병렬로 연결되어 입력 광 전력을 모니터링하는 병렬 전력 모니터이다. 인-라인 전력 모니터("HI-Z 인-라인 전력 모니터")(402)는 특히, APD(418)의 바이어스 전압이 76V 또는 그보다 높은 전압에 이를 수 있는 어플리케이션에서, 상대적으로 작은 값들로 누설 전류들을 각각 제한하는 높은-임피던스 입력들(401a 및 401b)을 갖는다. 전력을 모니터링하기 위해 이용된 전류는 본질적으로 APD(418)를 통해 흐르는 전류와 동일하다. 인-라인 전력 모니터(402)는 예를 들어, 대수 증폭기로 공급되는 전류를 재생시키기 보다 오히려, 전류(408)를 검출하여 측정함에 의해 입력 광 전력을

모니터링하고, 이는 일부 전통적인 내부 전력 모니터들에서 일반적이다. 부가적으로, 인-라인 전력 모니터(402)는 예를 들어, 광 신호(420)의 입력 광 전력을 측정할 수 있는 연장된 범위를 제공한다. 그와 같이, 연장된 범위는 인-라인 전력 모니터(402)가 전류(408)를 선형적으로 모니터링할 수 있는 전류 값들의 증가된 범위를 포함한다. 장점으로서, 이것은 인-라인 전력 모니터(402)가 게인 안정화 및 APD 안전 보호(예를 들어, 입력 광 전력이 경보 한계를 위반하는지 여부를 결정하는 것) 둘 다에 관여할 수 있도록 한다. 일 실시예에서, 연장된 범위는 적어도 -45dBm에서 -3dBm까지의 연장된 입력 전력 범위를 갖는다. 일부 실시예에서, 인-라인 전력 모니터(402)는 임의의 수의 전력 모니터링 스테이지들로 구성될 수 있고, 그 중 하나만이 상대적으로 낮은 전류 값들 (및 따라서 상대적으로 낮은 입력 광 전력 레벨들)을 측정하도록 구성될 필요가 있다. 다른 전력 모니터링 스테이지들 각각은 전력을 선형적으로 모니터링기 위한 연장된 범위를 제공하거나 또는 임의의 다른 목적들을 위해 이용될 수 있다. 장점으로서, 임의의 수의 전력 모니터링 스테이지들의 이용은 소정의 종래 내부 전력 모니터링 기술들의 이용과는 달리, 저-전력의 광 입력 신호들에 부합하는 더 낮은 측정가능한 전류들을 낮추면서, 전류 측정들의 보다 넓은 범위들을 허여할 수 있다.

<32> 인-라인 피드백 제어기(404)는 인-라인 전력 모니터(402)로부터 측정 신호를 수신하도록 구성되어, 광 신호 검출기로서 최적의 APD 동작을 유지하는 규제 기능을 수행한다. 예로서, 인-라인 피드백 제어기(404)는 바이어싱 전력 공급기(406)의 바이어스 전압("Vbias")을 조절할 수 있다. 장점으로서, 이것은 특히, 동작 온도들에 대한 안정화 목적들을 위해 실시간 게인 제어를 가능하게 한다. 즉, 인-라인 피드백 제어기(404)는 광 전력 측정들에 대한 온도 영향을 최소화하여, 예를 들어, -20℃에서 -50℃로부터의 광 전력 측정들 동안 상대적으로 좋은 온도 안정성(예를 들어, 약 0.2dB 피크별 변화)을 제공할 수 있다. 다른 예로서, 인-라인 피드백 제어기(404)는, 광 신호(420)가 노출되거나, 또는 그 전력이 APD(418)를 돌이킬 수 없이 손상시킬 수 있는 정상 동작 한계들을 초과하는 것을 나타내는 경보 신호를 생성하기 위한 안전 제어기를 포함할 수 있다. 노출된 광 신호는 사람들에게 해가 될 수 있다. 노출된 광 신호는 무시할 수 있거나 또는 부재의(absent) 광 신호에 의해 검출될 수 있다. 광 섬유의 개구부는 광 신호를 노출할 수 있다. 또한, 소정의 임계치를 초과하는 입력 광 전력 신호는 APD(418)를 손상시킬 수 있다. 그와 같이, 일부 실시예들에서, APD(418)를 손상시킬 수 있기 전에 입력 광 전력 신호 레벨들을 검출하여 예방하도록 인-라인 전력 모니터를 구현하는 것이 바람직할 수 있다.

<33> 일부 실시예들에서, 인-라인 전력 모니터(402)는 전력 모니터 출력(413)에 측정 신호(422)를 제공할 수 있고, 여기서 측정 신호(422)는 일반적으로 광 신호(420)의 입력 광 전력을 나타낸다. 장점으로서, 전력 모니터 출력(413)은, APD(418)가 네트워크 내의 광 통신들에 활동적으로 관여하는 경우와 같이, 실시간으로 인-라인(또는 인-시추) 전력 측정들에 대한 액세스를 제공한다. 광 수신기 및 그의 하우징이 장치(400) 및 APD(418) 둘 다를 포함할 때, 그 후 전력을 모니터링하기 위해, 외부 전력 모니터 또는 채널 분배기와 같은 다른 장비를 필요로 하지 않는다. 부가적으로, 전력 모니터 출력(413)은 엄격히 임피던스들을 맞추는 노력이 필요하지 않다. 일부 실시예들에서, 인-라인이라는 용어는 인-시추와 같은 의미이고, 전력 모니터가 원래 위치에 있고 입력 광 전력 측정들을 실시하기 위해 이동되지 않는 것을 설명하기 위해 이용될 수 있다.

<34> 도 5a는 본 발명의 적어도 하나의 특정 실시예에 따른, 입력 광 전력을 모니터링하기 위해 적어도 두 개의 전력 모니터링 스테이지들을 포함하는 장치(500)의 블록도이다. 나타낸 바와 같이, 인-라인 전력 모니터(502)는 두 개의 전력 모니터링 스테이지들 - 스테이지 2("M2")(514a) 및 스테이지 1("M1")(514b)을 포함하고, 둘 다 수동 소자들(516a 및 516b)을 통해 흐르는 APD 전류(408)를 각각 감지하도록 구성된 전류-감지 증폭기들을 포함한다. 적어도 하나의 실시예에서, 수동 소자들(516a 및 516b)은 동일하거나 또는 상이한 저항들 중 하나를 갖는 저항기들이다. 본 발명의 다양한 실시예들에 따른 연장된 범위를 확립하기 위해, 전력 모니터링 스테이지들(514a 및 514b)은 입력 광 전력 값들의 제1 범위 및 제2 범위 각각을 감지하도록 구성된다. 장점으로서, 둘 이상의 전력 모니터링 스테이지들(514)의 구현은 광전류의 선형적 변화들이 바이어스 전압 측정들에서의 선형적 변화들을 일으킬 수 있는 연장된 입력 전력 범위를 확립하고, 다양한 전통적인 내부 APD 전력 모니터링 기술들과는 달리 저-전력의 광 입력 신호들에 대한 검출 및 모니터링을 제공한다. 예로서, 전력 모니터링 스테이지(514a)는 저-전력의 광 입력 신호들을 검출하고 모니터링하도록 구성될 수 있는 반면, 전력 모니터링 스테이지(514b)는 동작의 선형 범위를 제공하도록 구성될 수 있다. 나중에 설명될 바와 같이, 피드백 제어기("FC")(504)는 전체 또는 부분적으로, 바이어스 전압의 함수로서 전류 측정을 제공하기 위해 전력 모니터링 스테이지들(514a 및 514b) 중 하나를 선택하도록 구성된다. 장치(500)는 아날로그-디지털 변환기("ADC")(590)를 선택적으로 포함한다.

<35> 도 5b는 본 발명의 적어도 하나의 특정 실시예에 따른, 도 5a의 전력 모니터링 스테이지의 예제를 나타내는 블록도이다. 전력 모니터링 스테이지(550)는 저항기일 수 있는 수동 소자(516)를 통해 지나는 (예를 들어, 식

(1)에 의해 기술된 바와 같은) APD 전류와 같은 전류를 검출하고 모니터링하도록 구성된다. 전력 모니터링 스테이지(550)는 수동 소자(516)를 거쳐 나타나는 전압을 감지함으로써 이를 행한다. 나타낸 바와 같이, 전력 모니터링 스테이지(550)는 저 전류 및 입력 광 전력 레벨들에서 잡음 면역성을 제공하는 높은-임피던스 증폭기("Hi-Z Amp")(552)를 포함한다. 그의 입력들에서, 높은-임피던스 증폭기("Hi-Z Amp")(552)는 입력 저항기들(("RC1")(560) 및 ("RC2")(562))을 포함한다. 본 기술분야의 통상의 당업자는 전력 모니터링 스테이지(550)에 대한 동작 범위를 설정하기 위해 입력 저항기들(560 및 562)에 대한 값을 결정하는 방법을 이해한다. 일부 실시예들에서, 전력 모니터링 스테이지(550)는 76V까지의 전압을 수신하도록 구성된다. 전력 모니터링 스테이지(550)는 병렬 트랜지스터("Q1")(564) 및 병렬 전류 미러(566)를 선택적으로 포함하고, 둘 다는 데이터 신호들을 생성하기 위해 이용된 전류들에 대해 직렬로 전류 미러를 구현하는 소정의 종래 전력 모니터링 기술들과는 달리, 데이터 신호들의 생성에 기여하는 광전류에 평행하다. 또한, 전력 모니터링 스테이지(550)는 전류-전압 증폭기("I-to-V amp")(568) 및 전압 증폭기("voltage amp")(570)도 포함하여 데이터를 나타내는 전기 신호들을 최종적으로 생성한다. 장점으로서, 높은-임피던스 증폭기(552)에 대한 입력은 높은 임피던스를 갖고, 따라서, 상대적으로 작은 전류량을 소모한다. 이는 APD를 바이어스하기 위해 요구되는 높은 전압에서 특히 사실이다. 결과적으로, (예를 들어, 수동 소자(516)에서의) 모니터링 회로를 통해 흐르는 모든(또는 거의 모든) 부하 전류는 데이터 신호들을 생성하는 목적들을 위해 APD로 흐를 것이다. 이는 전력을 모니터링하기 위해 APD 전류의 일부만을 이용하는 소정의 종래 인-라인 전력 모니터링 회로들과는 다르고, 따라서, 정확하게 전류를 측정하기 위한 보다 미세한 세밀도(finer granularity)를 상실할 수도 있다.

<36> 하나의 특정 실시예에서, 인-라인 전력 모니터(502)는 전력 모니터링 스테이지(514a)와 같은 하나의 전력 모니터링 스테이지만을 포함한다. 이 경우에, 전력 모니터링 스테이지(514a)는 저 잡음, 높은 임피던스 증폭기로서 동작하도록 구성되어, 전류의 측정가능한 크기를 낮은 측정 한계까지 충분히 감소시킨다. 전력 모니터링 스테이지(514a)는 예를 들어, 25dB에서 30dB(예를 들어, -30dBm에서 0dBm까지)까지의 범위를 제공할 수 있다. 예제로서, 390옴의 저항기 값은 증폭기에 의해 생성된 잡음과 같은 잡음의 영향을 감소시킬 수 있어, 약 0.1 마이크로암페어 또는 그 이하의 낮은 측정 한계(즉, 최저 측정가능한 전류)를 제공한다는 것을 고려해 보라. 결과적으로, 전력 모니터링 스테이지(514a)는, 잡음에 의해 불리하게 영향받지 않고, 0.1 마이크로암페어, 또는 그 이하의, 하한까지 다운된 APD 전류 레벨을 생성하는 저-전력의 광 신호들을 검출할 수 있다. 전력 모니터링 스테이지들(514a 및 514b) 각각을 구현하기 위한 적정 디바이스는 전압 게인 이퀄(voltage gain equal, 60)을 구비한 캘리포니아, 서니베일의 Maxim Integrated Products, Inc.에 의해 제조된 MAX4080S 전류-감지 증폭기이다.

<37> 다른 실시예에서, 인-라인 전력 모니터(502)는 수동 소자들(516a 및 516b)에 대해 상이한 저항 값들을 갖는, 전력 모니터링 스테이지들(514a 및 514b)와 같은 두 개 이상의 전력 모니터링 스테이지들을 포함한다. 이 경우에, 전력 모니터링 스테이지들 중 적어도 하나는 저-전력의 광 신호들을 검출하고 모니터링하도록 구성된다. 다양한 실시예들에서, 낮은 측정가능한 전류들을 제공하기 위해 선택된 전력 모니터링 스테이지는, 필요하지 않다 하더라도, 동작의 선형 범위를 제공하도록 구성될 수도 있다는 것에 주목하라. 다른 하나 이상의 전력 모니터링 스테이지들은 광 전력을 측정하는 보다 넓은 선형 범위를 제공하도록 구성될 수 있다.

<38> 설명을 위해, 전력 모니터링 스테이지(514a)는 상대적으로 낮은 측정가능한 전류 한계들에서 APD 전류들(및 광전류들)을 검출하고 모니터링하도록 구성될 수 있다고 고려한다. 그와 같이, 수동 소자(516a)에 대한 390옴의 저항기 값은, 전력 모니터링 스테이지(514a)가 전류 측정 값들의 선형 범위를 제공하는지 여부에 관계없이, 하한들에서 광 전력을 측정하기에 적당하다. 또한, 390옴은 전력 모니터링 스테이지(514a)에 의해 전류를 측정하기 위한 하한을 약 0.1 마이크로암페어 또는 그 이하로 설정하는 것을 고려한다. 다음으로, 전력 모니터링 스테이지(514b)는 동작에 대한 하나 이상의 선형 범위들을 제공하도록 구성되는 것을 고려한다. 이 경우에, 수동 소자(516b)는 전류 측정들의 보다 높은 한계값을 얻기 위해 상대적으로 더 작은 저항기 값을 갖도록 선택된다. 예로서, 수동 소자(516b)는 50옴의 저항기 값을 갖고, 이는 본 실시예에서 약 2000 마이크로암페어 또는 그 이상까지 전류 측정들의 예시적인 상한을 설정한다는 것을 고려한다. 따라서, 수동 소자들(516a 및 516b)이 각각 390옴 및 50옴의 저항 값들을 갖는다면, 그 후 전력 모니터링 스테이지들(514a 및 514b)의 조합된 동작은 -46dBm에서 -3dBm까지의 입력 광 전력의 측정가능한 총 범위를 제공할 수 있다. 이 범위는 약 0.1에서 약 2000 마이크로암페어까지의 APD 전류 값들(즉, 식(1)의 I(APD_current))에 대응한다.

<39> 도 6은 본 발명의 실시예에 따른, 입력 광 전력을 모니터링하기 위한 도 5a의 각각의 증폭기의 기여들을 도시한다. 그래프(600)는 인-라인 전력 모니터(502)에 의해 생성된 하나 이상의 출력 신호들에 대한 각각의 전력 모니터에 의해 측정된 입력 광 전력의 관계를 나타낸다. 예로서, 제1 전력 모니터링 스테이지는 입력 광 전력 값들의 제1 서브세트(subset)를 측정하기 위한 범위("R2")(620)(예를 들어, 약 -45dBm에서 약 -22dBm까지)를 제

공하도록 구성될 수 있다. 일부 실시예들에서, 범위(620)는 선형 또는 실질적으로 선형일 수 있다. 제2 전력 모니터링 스테이지는 입력 광 전력 값들의 제2 서브세트를 측정하기 위한 선형(또는 실질적으로 선형) 범위("R1")(610)(예를 들어 약 -22dBm에서 약 -1dBm까지)를 제공하도록 구성될 수 있다. 따라서, 조합된 범위들(610 및 620)은 범위들(610 및 620)에 의해 공유된 약 10dB의 중첩을 갖는 연장된 범위의 예제를 구성한다. 이러한 예제에 더불어, 연장된 범위(650)는 제1 선형 범위 부분 및 제2 선형 범위 부분을 포함하는 둘 이상의 선형 범위 부분들로 분류될 수 있다. 또는, 연장된 범위(650)는 저-전력의 입력 광 전력 및 하나 이상의 선형 범위 부분들을 측정하기 위해 비-선형 범위 부분을 분류되어, 전력을 모니터링하기 위한 상대적으로 넓은 범위의 전류 측정 값들을 확립할 수 있다.

<40> 인-라인 전력 모니터는, 소정의 경우 게인을 교정하거나 안정화하기 위한 서브세트 값들을 포함하는, 제1 범위 부분을 이용하여 APD 전류를 측정할 수 있다. 예를 들어, 제1 범위 부분은 범위(620) 및/또는 범위(610)의 일부분(또는 그 이상)에 걸쳐 놓여있을 수 있다. 인-라인 전력 모니터는, 안전 경보 레벨(630)의 위반을 검출하기 위한 다른 서브세트의 값들을 포함하는 제2 범위 부분을 이용하여 APD 전류를 측정할 수도 있다. 이러한 예제에서, 제2 범위 부분은 범위(610) 내에 있고 -3dBm인 안전 경보 레벨(630)을 포함한다.

<41> 다양한 실시예들에서, (도 5a의) 피드백 제어기(502)는 전환(switch-over) 지점(660)을 저장하기 위해 메모리 및/또는 데이터 구조들을 더 포함한다. (도 5a의) 장치(500)는 범위들(("R1")(610) 및 ("R2")(620))에서의 입력 광 전력 레벨들 사이의 전환 지점(660)에서 전환하여, 각각의 곡선들(("M1")(680) 및 ("M2")(670))을 이용하는 것을 나타내는 적정 전력 모니터링을 보증한다. 도 5a를 다시 참조하면, 피드백 제어기(502)는 범위(610) 또는 범위(620) 중 어느 하나를 선택하기 위해 범위 선택기를 포함할 수 있다는 것을 주목한다. 범위 선택기(580)는 전환 지점 데이터("S.O.P")(581)로서 전환 지점(660)을 나타내는 데이터를 저장하기 위해 메모리를 포함한다. 메모리는, 제1 전력 모니터링 스테이지에 대한, 도 6의 곡선("M1")(680)과 등가일 수 있는 각각의 곡선들("C1")(583)로서 측정 신호 전압들과 모니터링된 입력 광 전력 레벨들 사이의 제1 관계를 저장할 수도 있다. 그것은 제1 전력 모니터링 스테이지에 대한 제2 관계를 ("C2")(584)로서 저장할 수도 있다. 범위 선택기(580)는, 장치(500)의 시작(start-up)시 및/또는 APD(581)에 광선(optical light)(예를 들어, -45dBm 이하의 입력 광 전력)의 인가 이전에, 곡선("M2")(670)을 이용하여 범위(620)에서 우선 시작함으로써 동작할 수 있다. 그 후, 범위 선택기(580)는 전력 모니터링 스테이지(514a)로부터의 측정 신호가 전환 지점(660)을 가로질러 움직일 때까지 곡선(670)을 계속 이용한다. 그 후, 범위 선택기는 곡선("M1")(680)을 이용하여 전력을 모니터링하기 위해 전력 모니터링 스테이지(514b)를 이용한다. 따라서, 범위 선택기(580)가 알려진 상태에서(즉, APD에 인가된 광의 알려진 레벨이 존재할 때의 소정의 전력 모니터링 스테이지를 이용하여) 시작한다면, 그 후, 전환 지점(660)을 가로지름에 따라 적절하게 동작할 수 있다. 장점으로서, 피드백 제어기(502) 및 그의 메모리는 도 6의 "모니터 신호"로서 나타낸, 입력 광 전력 레벨들과 (도 5a의) 측정 신호(540) 사이의 비-선형 관계들을 저장할 수 있다. 예로서, 범위(620)는 -45와 약 -32dBm 사이의 상대적으로 비-선형인 영역뿐만 아니라, 전환 지점(660)과 일치하는 -32에서 약 -22dBm까지의 상대적으로 선형인 영역을 포함한다는 것을 고려한다. 또한, 범위(620)는 본질적으로 완전히 선형이거나 본질적으로 완전히 비-선형이거나, 또는 그의 조합일 수 있다. 부가적으로, 피드백 제어기(502)는 APD 및/또는 APD 밴더(vendor) 각각의 타입에 대한 곡선들(("M1")(680) 및 ("M2")(670))에 따라 나타낸 고유 관계들을 저장할 수 있다.

<42> 도 5a를 다시 참조하면, 장치(500)는 APD(518)에 대한 게인 교정을 용이하게 하기 위해 인-라인 전력 모니터(502)를 이용하도록 구성된다. 여기서, 인-라인 피드백 제어기("FC")(504)는 바이어스 오프셋 또는 게인 조절 값(522)을 저장하기 위한 국부 데이터 저장소들을 포함할 수 있다. 바이어스 오프셋은 바이어싱 소스("APD 전력 공급기")(506)에 의해 생성된 바이어스 전압("Vbias")을 오프셋하도록 구성된다. 동작시, 외부 교정기(520)는 증폭기 514a 또는 514b 중 어느 하나로부터 측정 신호(540)를 수신하기 위해 이용될 수 있다. 그 후, 외부 교정기(520)는 게인 조절 값(522)를 생성하기 이전에, 입력 광 전력에 대응하는, 전류에 대한 측정 값을 결정할 수 있다. 이것은 측정 신호를 제공할 특정 전력 모니터링 스테이지를 선택하는 것을 포함한다. 외부 교정기(520) 및 인-라인 피드백 제어기(504)는 협력하여 데이터 저장소에 게인 조절 값(522)을 저장한다. 따라서, 장치(500)가 외부 교정기(520)로부터 제거되어 네트워크에 배치될 때, 인-라인 피드백 제어기(504)는 바이어싱 소스(506)에 의해 생성된 바이어스 전압으로부터 이 값을 더하거나 뺄 수 있고, 따라서, 게인을 인-시추로 소정의 값으로 설정한다. 소정의 값은 일반적으로 APD(518)의 최적의 동작을 제공하는 타겟 게인 값이다. 일부 실시예들에서, 게인 조절 값(522)은 외부 교정기(520) 또는 다른 곳(나타내지 않음) 중 하나에 저장된다. 일부 실시예들에서, 하나 이상의 측정 신호들은 APD(518)에 대한 입사 광 전력을 나타내는 값들을 갖는 전압들이다.

<43> 도 7은 본 발명의 실시예에 따른, APD 게인을 교정하기 위해 이용될 수 있는 바이어스와 APD 게인 사이의 관계를 나타내는 그래프이다. 나타낸 바와 같이, 바이어스가 최소 바이어스 전압 "Vapd(min)"으로 설정될 때, 게인은 APD에 대해 1이다. 그러나, 바이어스가 최적의 바이어스 전압(704) "Vapd(op)"으로 설정될 때, 그 후 게인은 타겟 게인 값("gain(op)")(702)에서 동작한다. 동작 동안, APD가 광 신호들을 수신할 때, 게인이 지점 B에 있다면, 그 후 일부 실시예에서, 인-라인 피드백 제어기(504)는 게인을 지점 A로 다시 조절하도록 구성될 수 있다. 이렇게 하기 위해, 인-라인 피드백 제어기(504)는 인-시추 APD 게인 교정을 수행하기 위해 외부 교정기(520)의 기능을 포함할 수 있다. 저항들(516)은 저항(414)을 대체할 수 있음을 주목한다. 장점으로서, 이것은 각각의 저항들(516)이 이중 역할-필터링 및 전류 감지의 역할을 가능하게 하여, 개별적 필터링 및 전류-감지를 위한 개별 저항들을 없앤다. 이것은 본 발명의 다양한 실시예들에 따른 광 수신기를 구현하는데 필요한 전자 컴포넌트들을 최소로 하는 것을 돕는다.

<44> 도 8은 본 발명의 적어도 일 실시예에 따른, 인-라인 전력 모니터링 측정들에 응답하여 APD의 동작을 제어하기 위한 인-라인 피드백 제어기의 예제를 도시한 블록도이다. 인-라인 피드백 제어기(800)는 온-보드(on-board) 교정기("교정기")(802), 범위 선택기(804), 온도 보상기(806) 및 안전 제어기(808)를 포함한다. 교정기(802)는 예를 들어, 해당 APD에 대한 바이어스 전압을 조절함으로써 APD의 게인을 교정하도록 동작한다. 범위 선택기(804)는 입력 광 전력을 모니터링하기 위해 이용되는 연장 범위에서 범위를 결정하고 선택하도록 구성된다. 예를 들어, 제1 범위 및 제2 범위는 약 -45dBm에서 약 -22dBm까지 및 약 -22dBm에서 약 -1dBm까지의 각각의 입력 광 전력 값들을 포함한다는 것을 고려한다. 다음으로, 범위 선택기(804)는 인-라인 전력 모니터가 약 -25dBm의 입력 광 전력과 관련된 광전류를 측정하는 것을 결정한다는 것을 고려한다. 그 후 범위 선택기(804)는 광전류를 측정하기 위한 제1 범위를 선택할 것이고, 예를 들어 APD 게인의 적절한 교정을 위해 교정기(802)에 측정된 광전류 값을 제공할 것이다.

<45> 온도 보상기(806)는 APD 및 그의 인바이론(environ)에 대한 온도의 영향에 대해 게인과 같은 동작 파라미터들을 보상하도록 구성된다. 일부 실시예들에서, 온도 보상기(806)는 바이어스 전압을 조절하여 온도를 보상하도록 교정기(802)에 지시하지만, 다른 실시예들에서, 온도 보상기(806)는 APD 전력 공급기와 직접적으로 인터페이스하여 바이어스 전압을 조절하는 교정 로직을 포함한다. 인-라인 피드백 제어기(800)는 APD가 동작하는 광 수신기의 안전 동작을 보장하기 위해 안전 제어기(808)도 포함할 수도 있다. 예를 들어, 입력 광 전력 신호가 소정의 시간 간격 동안 소정의 임계치 아래로 떨어진다면, 그 후 광 섬유 케이블이 개구되어, 따라서, 인간에게 해로운 빛을 노출시킬 수 있다. 따라서, 안전 제어기(808)는 개구부(open)와 관련된 광 송신기에 대해 중단(shut-down)을 개시할 수 있다. 그러나, 안전 제어기(808)는 APD에 손상을 일으킬 수 있는 과전류 이벤트와 같은 위험한 조건들로부터 APD를 보호하도록 구성될 수도 있다. APD 전력 공급기가 경보 한계를 넘어서는 입력 광 전력 신호인 경우, 중단하도록 -3dBm과 같은 경보 한계가 설정된다. 본 발명의 다양한 실시예들에서, 인-라인 피드백 제어기(800)는 도 8에 나타낸 소자들의 임의의 조합으로 구현하고, 따라서, 그들 소자들 중 임의의 하나를 더하거나, 빼거나 대체할 수 있다.

<46> 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 온도 보상기의 도면이다. 온도 보상기(900)는 온도 보상 제어기(902), 아날로그-디지털("A/D") 변환기(904), 데이터 보관소(repository)(906) 및 온도 감지기(908)를 포함한다. 일반적으로, 온도 보상 제어기(902)는, 예를 들어, 타겟 게인으로서 온도에 따라 실질적으로 균일한 게인을 유지하기 위해 APD 바이어스를 조절함으로써 APD-기반의 광 신호 검출기에 대한 게인 안정화를 조정한다. 장점으로서, 실질적으로 온도에 따라 안정적인 게인은 특히 낮은 레벨들에서 입력 광 전력을 모니터링기 위한 증가된 감도를 제공한다. 게인이 온도의 변동에 대해 보상된다면, 온도 보상 제어기(902) 없는 경우, 광 수신기의 감도는 더 작을 수 있다.

<47> 온도 보상 제어기(902)는, 예를 들어, 광전류를 나타내는 측정 신호 및 온도의 함수로서 결정되는 양만큼, APD 바이어스 전압과 같은 동작 파라미터를 조절하도록 구성된다. 동작시, 온도 보상 제어기(902)는 광전류 측정 및 온도 값을 수신한다. 일부 실시예들에서, 아날로그-디지털 변환기(904)는 특히, 인-라인 전력 모니터가 다수의 전류-전압 증폭기들로 구성되는 경우에, 측정된 광전류를 나타내는 아날로그 전압 값을 디지털화한다. 적어도 일 실시예에서, 알려진 타입의 서미스터(thermistor)는 온도 감지기(908)를 구현하고, 따라서 서미스터는 측정된 온도를 나타내는 신호를 생성한다. 다음으로, 온도 보상 제어기(902)는 바이어스 전압(즉, 사전-조절된 바이어스 전압)을 측정한다. 일부 실시예들에서, 온도 보상 제어기(902)는 APD 전력 공급기에서 바이어스 전압을 직접 측정한다. 다른 실시예들에서, 온도 보상 제어기(902)는 아날로그-디지털 변환기(904)에 의해 제공된 광전류 측정의 함수로서 측정된 바이어스 전압을 계산할 수 있다. 온도에 따른 균일한 게인을 유지하기 위해, 온도 보상 제어기(902)는, 측정된 온도에 대한 타겟 게인에서 APD 게인을 안정화하기 위해 타겟 바이어스 전압

을 결정한다. 데이터 보관소(906)는 일반적으로 (특정 타겟 게인에 대한) 다양한 타겟 바이어스 전압들과 다양한 온도 값들 사이의 관계를 포함한다. 이러한 관계들은 "룩-업 테이블"의 형태로 있을 수 있다. 적어도 일 실시예에서, APD 바이어스 전압들과 온도 사이의 최적의 관계들은 특정 온도 범위에 걸쳐 APD 감도 레벨들 또는 광 채널 비트 에러 레이트(Bit Error Rate)("BER")를 최적화함으로써 결정될 수 있다. 그 후, 온도 보상 제어기(902)는 측정된 바이어스 전압과 타겟 바이어스 전압 사이의 차이를 계산하여, 바이어스 전압을 수정하기 위한 조절 양을 형성함으로써 측정된 바이어스 전압을 타겟 바이어스 전압과 맞춘다. 온도 보상 제어기(902)는 직접적으로 바이어스 전압을 조절할 수 있거나, 또는 교정기(802)에 그렇게 하도록 지시할 수 있다는 점에 주의하라. 그럼에도 불구하고, 온도 보상 제어기(902)는 APD 바이어스 전압의 적정 조절을 유지하여 특정 온도에 대한 타겟 APD 게인을 전달한다.

<48> 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른, 온도 보상기가 타겟 게인과 관련하여 온도에 따라 게인을 안정화하는 정확도를 나타내는 그래프이다. 특히, 온도 보상기는 타겟 바이어스 전압들과 온도 사이의 관계들을 적용하도록 구성되어 본 예제에서 약 7.8인 타겟 게인(1002)에 대해 약 +/-0.1dB의 정확도를 보장할 수 있다. 이러한 정확도의 정도는 동작 온도들의 많은 범위들에서 최적의 디바이스 감도를 제공할 수 있다. 그와 같이, 본 발명의 다양한 실시예들의 온도 보상기들은, 바이어스 전압들, 온도 및 타겟 게인 값들 사이의 관계들이 전통적으로 형성된 관계들과는 달리, 상대적으로 높은 정도의 정확도로 결정될 수 있기 때문에, 상대적으로 용이하게 APD의 동작들을 안정화할 수 있다. 특히, 바이어스 전압과 온도 사이의 전통적인 표현들은 타겟 바이어스 전압의 관점보다는, APD들의 파괴(breakdown) 전압의 관점에서 정밀한(rigid) 온도 계수 곡선들로서 표현된다. 이는 APD 보호(예를 들어, 파괴 전압을 피하는 것)가 게인의 최적 레벨들에 대한 온도의 영향들을 결정하는 것보다 더 강조되기 때문이다. 온도 계수 곡선은 온도 계수에 기초한 바이어스 전압과 온도 사이의 관계이고, 이는 단위 온도 당 전압의 크기 변화(예를 들어, $\Delta V/\Delta T$)를 나타낸다. 또한, 전통적인 온도 계수들 및 그의 곡선들은 보통, 최적의 게인 값들의 관점보다는, 상이한 온도들에서의 다양한 최소의 감도 측정들에 대한 APD 바이어스 전압들을 나타낸다. 부가적으로, 이러한 방식으로 종래의 온도 계수들을 생성하는 것은 예를 들어, 감도의 최소 레벨들을 확립하는 비트 에러("BER") 테스팅 시스템을 구현하기 위해 초과 시간의 양 및 고가의 장비를 요구한다. 따라서, 온도 및 APD 바이어스 전압을 관련시키기 위해 온도 계수들을 이용하는 종래의 기술들은, 게인을 안정화하는 목적으로 온도를 타겟 바이어스 전압들과 관련시키는데 쉽게 이용될 수 없다. 일부 실시예들에서, 온도 보상기는 적어도 -20에서 +50℃의 온도 범위에 걸쳐 약 +/-0.1dB의 정확성을 보장할 수 있다는 것을 주목한다. 모니터링 전력의 이러한 정확성(예를 들어, 피크별 약 0.2dB)은 평균값(1002)으로부터 +/-3%와 같은, APD 게인 설정의 정확성에 대응한다. 일부 예들에서, APD 게인 설정의 정확성은 온도에 대해 일정한 APD 게인 관계를 유지함으로써 결정된다.

<49> 도 9를 다시 참조하면, 데이터 보관소(906)는 본 발명의 다양한 실시예들에 따른, 동작 파라미터들을 조절하기 위한 다수의 관계들을 유지하도록 구성된다. 적어도 일 실시예에서, 데이터 보관소(906)는 타겟 게인 값과 연관된 타겟 전압 값과 온도 값 사이의 관계를 나타내는 데이터를 제공한다. 예로서, 온도 보상 제어기(902)는, 각각 상이한 온도들에서의 타겟 게인에 대응하는, 적어도 두 개의 타겟 전압 값들 사이의 관계를 외삽에 의해 확립하거나 및/또는 결정한다는 것을 고려한다. 다른 실시예에서, 데이터 보관소(906)는 관계를 확립하는데 필요한 데이터를 제공한다. 예로서, 온도 보상 제어기(902)는, 특정 온도에 대응하는 단일 타겟 전압 값을 통해 온도 계수 곡선을 외삽함으로써 관계들을 확립한다는 것을 고려한다. 온도 계수가 종래의 계수 곡선인 경우에, 온도 보상 제어기(902)는 온도 계수 곡선을 이동시켜, 관련된 APD가 파괴 영역에서 또는 파괴 영역 근처에서 동작하는 것을 방지하기 위해 허용한계(tolerance)를 제공하도록 구성된다.

<50> 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른, 온도와 타겟 바이어스 전압 사이의 관계를 확립하는 하나의 방법을 나타낸다. 구체적으로, 그래프(1100)는 온도와 다양한 타겟 바이어스 전압들 Vapd(T)과의 관계(1108)를 나타낸다. 관계(1108)는 상이한 온도들에서 두 개 이상의 타겟 바이어스 전압들을 결정함으로써 형성될 수 있고, 여기서 각각의 타겟 바이어스 전압은 대응하는 온도에서 최적의 게인(즉, 타겟 게인)을 제공하는 바이어스 전압이다. 도 11에서, 세 지점들이 관계(1108)를 구성하고, 여기서, 지점들(1102, 1104 및 1106)은 각각 온도 T1(예를 들어, 10 ℃), T0(예를 들어, 40 ℃), 및 T2(예를 들어, 65 ℃)에서의 타겟 바이어스 전압들이다. 관계(1108)가 주어지면, 온도 보상 제어기가 임의의 타겟 바이어스 전압을 결정하기 위해 임의의 두 지점들 사이를 외삽할 수 있다. 또는, 지점들(1102, 1104 및 1106) 사이에 있는 타겟 전압들의 임의의 수는 예를 들어, 온도 보상 제어기에 의한 액세스를 위해 데이터 보관소의 룩-업 테이블("LUT")에 저장될 수 있다. 일부 실시예들에서, 관계(1108)는 온도에 대한 특정한 최적의 게인 값에 대해, 최적의 APD 바이어스 전압, 또는 Vapd를 관련시키는 APD 온도 계수 곡선을 나타낼 수 있다. 최적의 APD 전압 값들 (및 따라서 최적의 게인 값들)을 정확하게 관련지음으로써, APD 온도 계수 곡선은 광 수신기가 온도에 따른 동작 동안 정확한 감도 레벨들을 얻는 능력을 갖도록

한다.

<51> 도 12는 본 발명의 실시예에 따라 APD 온도 계수 곡선을 형성하는 방법을 구현하는 예시적인 흐름을 나타낸다. 일반적으로, 흐름(1200)은 타겟 게인 값 G에 도달될 때까지, 바이어스 전압 V(bias)를 조절함으로써 APD 온도 계수 곡선을 생성한다. 이 경우에, V(bias)는 V(in)이다. 일부 실시예들에서, 본 명세서에 설명된 바와 같은 인-라인 전력 모니터는 흐름(1200) 동안 V(bias)를 측정하도록 구현될 수 있다. 예로서, 흐름(1200)은 1202에서 원하는 게인 값 G와의 비교를 위해 V(out)/V(in)의 비율을 설정한다. 1204에서, 흐름(1200)은 특정 온도 값으로 온도를 설정한다. 그 후, 흐름(1200)은 1206에서 G(예를 들어, G의 정확하거나 또는 대략적인 값)에 대해 V(out)/V(in)의 비율을 비교함에 의해 1206 및 1208을 통해 맴돌고, 비교가 거짓(false)이라면, 그 후, 흐름(1200)은 1208에서 V(bias)를 계속 조절한다. V(bias)의 특정 값이 G와 동등한 비율을 제공하도록 결정된다면, 그 후, 해당 바이어스 전압은 1204에서 설정된 특정 온도에 대한 타겟 전압 값으로서 1212에서 저장된다. APD 바이어싱 전압 공급기는 최소 값으로부터 타겟 APD 게인(또는 최적의 게인)에 대응하는 값까지 점진적으로 조절될 수 있다는 것을 주목한다. APD 디바이스들의 밴더들은 보통 양호한 정확성으로 APD 게인을 지정하며, 밴더-제공된 게인 값들은 제조된 디바이스들의 대량의 로트(lot)들에 대해 통계적으로 결정되며 디바이스들 간에 다를 수 있다. 반대로, 흐름(1200)은 APD 디바이스들의 이용자들이 각각의 고유한 디바이스에 대해 APD 온도 계수 곡선들을 보다 정확하게 이용할 수 있도록 한다.

<52> 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른, 온도와 타겟 바이어스 전압 사이의 관계를 확립하는 다른 방법을 나타낸다. 구체적으로, 그래프(1300)는 온도와 다양한 시프트된 타겟 바이어스 전압들, Vapd(T)사이의 시프트된 관계(1310)를 나타낸다. 시프트된 관계(1310)는 특정 온도(예를 들어, 40℃에서)에서 적어도 하나의 타겟 바이어스 전압(1306)을 우선 결정함으로써 형성될 수 있고, 적어도 하나의 타겟 바이어스 전압은 그 온도에서 최적의 게인(즉, 타겟 게인)을 제공하는 타겟 바이어스 전압이다. 일반적으로, APD 디바이스들의 밴더들은 한 온도(예를 들어, 실온)에서 수행된 그들의 감도 측정들에 기초하여 단일 타겟 바이어스 전압(1306)을 제공한다. 이 방법에 더하여, 하나의 타겟 바이어스 전압(1306)으로서 나타낸 지점을 통해 지나가는 관계(1302)로서 온도 계수 곡선을 형성하기 위해 소정의 온도 계수를 적용함으로써 시프트된 관계(1310)가 생성된다. APD들의 밴더들은 전형적으로 단위 온도 당 전압의 변화를 나타내는 통계적으로-결정된 기울기들로서 온도 계수들을 제공한다. 전형적인 온도 계수의 예제는 0.05이다. 그러나, 이 값의 변화가 존재한다. 예로서, 온도 계수는 0.04와 같은 최소 값에서 0.06과 같은 최대 값까지의 범위일 수 있다. 허용한계 범위(1320)는 부정확한 온도 계수들로 인해 불확실성을 발생시키는 Vapd의 가능한 변화들을 제외하도록 설정될 수 있다. 이러한 불확실성을 피하기 위해, 이러한 방법은 양("V_sh")(1304)만큼 관계(1302)를 시프트함으로써 시프트된 관계(1310)를 형성하여, 기대 허용한계를 갖는 온도 계수 곡선을 나타내는 시프트된 관계(1310)를 확립한다. 장점으로서, 시프트된 관계(1310)의 허용한계는 시프트된 관계(1310)에 대한 타겟 바이어스 전압들을 이용하면서 APD가 파괴상태(breakdown)로 들어가는 것을 방지하는 안전 특징을 제공하여, 온도에 대한 최적의 값들에서 게인을 안정화한다.

<53> 도 14는 본 발명의 실시예에 따른, 온도에 대해 광 통신 신호들을 역다중화하도록 구성된 광 수신기의 예제이다. 광 수신기(1400)는 다중화된 광 신호(1405)로부터 각각 특정 파장을 갖는 광 신호들(1403)을 형성하도록 구성된 역다중화기를 포함한다. 광 수신기(1400)는 둘 다 나타내지는 않은 다수의 바이어스 소스들과 다수의 APD들 사이에 놓인 다수의 인-라인 전력 모니터들("ILPM")(1404)도 포함한다. 인-라인 전력 모니터들("ILPM")(1404)은 연장된 범위에 걸쳐 입력 전력을 모니터링하도록 구성되고, 일부 경우들에서, 다수의 바이어스 소스들 중 하나에 대한 바이어스 전압을 조절하여 APD의 게인을 소정의 값으로 설정한다. 광 수신기(1400)는, APD들 중 하나에 대해 대응하는 입력 전력이 경보 한계를 위반할 때, 광 수신기(1400) 또는 광 송신기(나타내지 않음) 둘 중 하나에서, 광 신호들의 생성을 중지하도록 구성된 안전 제어기(1406)를 포함한다. 일반적으로, 광 수신기(1400) 및 그의 다수의 인-라인 전력 모니터들(1404)은 하우징(1420)에 포함된다.

<54> 설명을 위해, 앞선 기재는 본 발명의 완전한 이해를 제공하기 위해 특정 명칭(nomenclature)을 이용했다. 그러나, 본 발명을 실행하기 위하여 특정 상세들이 요구되지 않는다는 것은 본 기술분야의 당업자들에게 명백할 것이다. 사실, 이러한 설명은 본 발명의 임의의 특징 또는 양태를 임의의 실시예로 제한하는 것으로 이해되지 않아야 한다; 오히려 일 실시예의 특징들 및 양태들은 다른 실시예들과 쉽게 교환될 수 있다. 예로서, 다양한 실시예들의 상기 설명들이 APD들과 관련되어 있다 하더라도, 본 발명은 광다이오드의 임의의 다른 타입에 적용할 수도 있다.

<55> 따라서, 본 발명의 특정 실시예들에 대한 앞선 설명들은 예시 및 설명의 목적들을 위해 제공된다. 그들은 게시된 정확한 형태들로 본 발명을 제한하거나 또는 총망라할 의도는 아니다; 명백하게, 상기 교시들의 관점에서 많은 수정들 및 변경들이 가능하다. 실시예들은 본 발명의 원리들 및 그의 실제 응용들을 최대한 설명하기 위

해 선택되었고 설명되었다; 따라서, 그들은 고려된 특정 이용에 적합한 다양한 수정들을 이용하여 본 발명 및 다양한 실시예들을 본 기술분야의 당업자들이 가장 잘 활용할 수 있도록 한다. 특히, 본 명세서에 기재된 모든 이익은 본 발명의 각각의 실시예에 의해 실현될 필요는 없다; 오히려, 임의의 특정 실시예는 상기 설명된 하나 이상의 장점들을 제공할 수 있다. 다음의 특허청구범위 및 그들의 균등물은 본 발명의 범위를 정의하도록 의도된다.

도면의 간단한 설명

<10> 본 발명은 수반하는 도면들과 연계하여 취해진 다음의 상세 설명과 관련하여 보다 완전히 이해된다.

<11> 도 1은 광 네트워크에서 광 신호의 전력을 모니터링할 때 광전류들을 측정하고 바이어스 전압을 조절하기 위한 종래의 구성(100)이다.

<12> 도 2a 및 도 2b는 입력 광 전력이 내부적으로 모니터링되는 전력 모니터링에 대한 하나의 종래의 접근으로서의 구조 및 그래프를 각각 나타낸다.

<13> 도 3은 전력이 내부적으로 모니터링되는 다른 종래의 전력 모니터링 접근을 나타낸다.

<14> 도 4는 본 발명의 적어도 하나의 특정 실시예에 따른, 입력 광 전력을 인-라인으로 모니터링하는 장치의 블록도이다.

<15> 도 5a는 본 발명의 적어도 하나의 특정 실시예에 따른, 입력 광 전력을 모니터링하기 위한 적어도 두 개의 전력 모니터링 스테이지들을 포함하는 장치의 블록도이다.

<16> 도 5b는 본 발명의 적어도 하나의 특정 실시예에 따른, 도 5a의 전력 모니터링 스테이지의 예제를 나타내는 블록도이다.

<17> 도 6은 본 발명의 실시예에 따른, 입력 광 전력을 모니터링하기 위한 도 5a의 각각의 전력 모니터링 스테이지의 기여를 나타낸다.

<18> 도 7은 본 발명의 실시예에 따른, 바이어스와 APD 게인 간의 관계를 나타내는 그래프이다.

<19> 도 8은 본 발명의 적어도 하나의 실시예에 따른, 인-라인 전력 모니터링 측정들에 응답하여 APD의 동작을 제어하기 위한 인-라인 피드백 제어기의 예제를 도시하는 블록도이다.

<20> 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 온도 보상기의 도면이다.

<21> 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른, 온도 보상기가 타겟 게인과 관련하여 온도에 따라 게인을 안정화하는 정확성을 나타내는 그래프이다.

<22> 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른, 온도와 타겟 바이어스 전압 간의 관계를 확립하는 하나의 방법을 나타낸다.

<23> 도 12는 본 발명의 실시예에 따라 APD 온도 계수 곡선을 형성하는 방법을 구현하기 위한 예시적인 흐름을 나타낸다.

<24> 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른, 온도와 타겟 바이어스 전압 사이의 관계를 확립하는 다른 방법을 나타낸다.

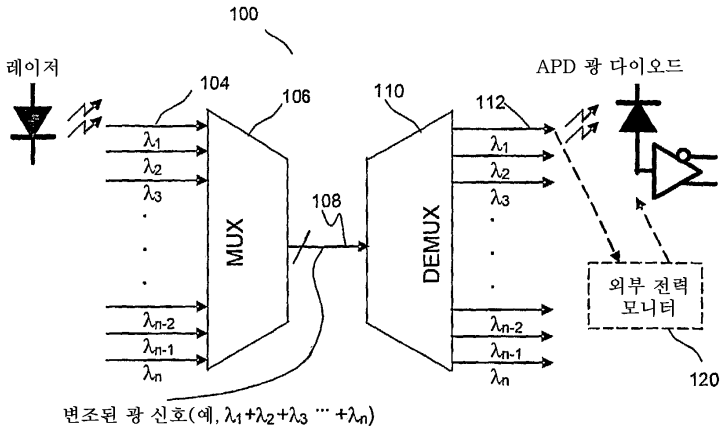
<25> 도 14는 본 발명의 실시예에 따른, 온도 변화들에 따라 광 통신 신호들을 역다중화하도록 구성된 광 수신기의 예제이다.

<26> 유사한 참조번호들은 도면들의 여러 뷰들에 걸쳐 대응하는 부분들을 일컫는다. 대부분의 참조번호들은 처음 그 참조번호를 도입한 도면을 일반적으로 식별하는 하나 또는 두 개의 가장 왼편의 자릿수들을 포함하는 것에 주목하라.

도면

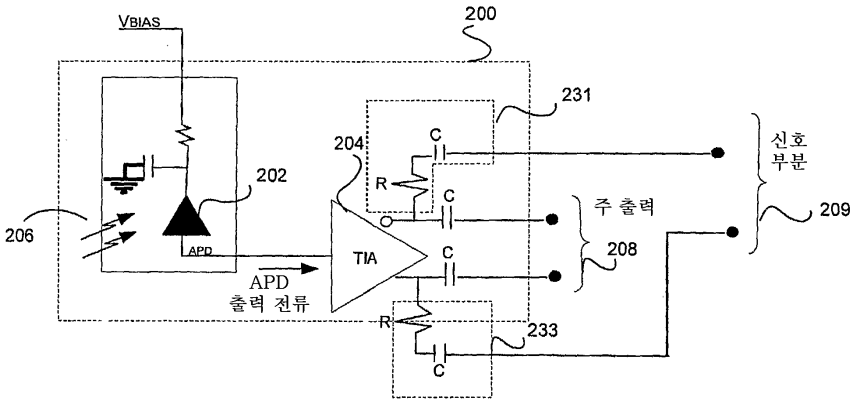
도면1

(종래 기술)



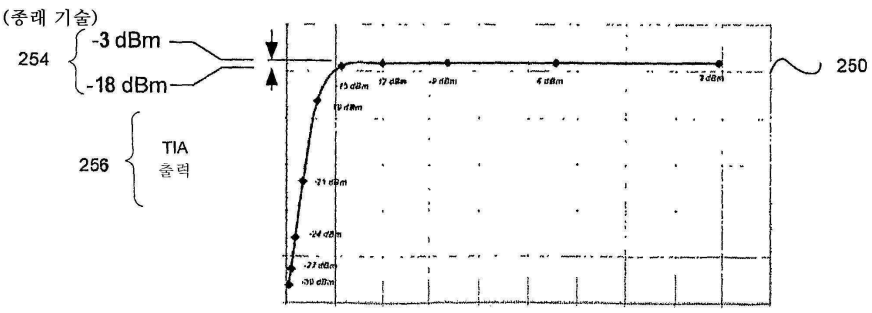
도면2a

(종래 기술)



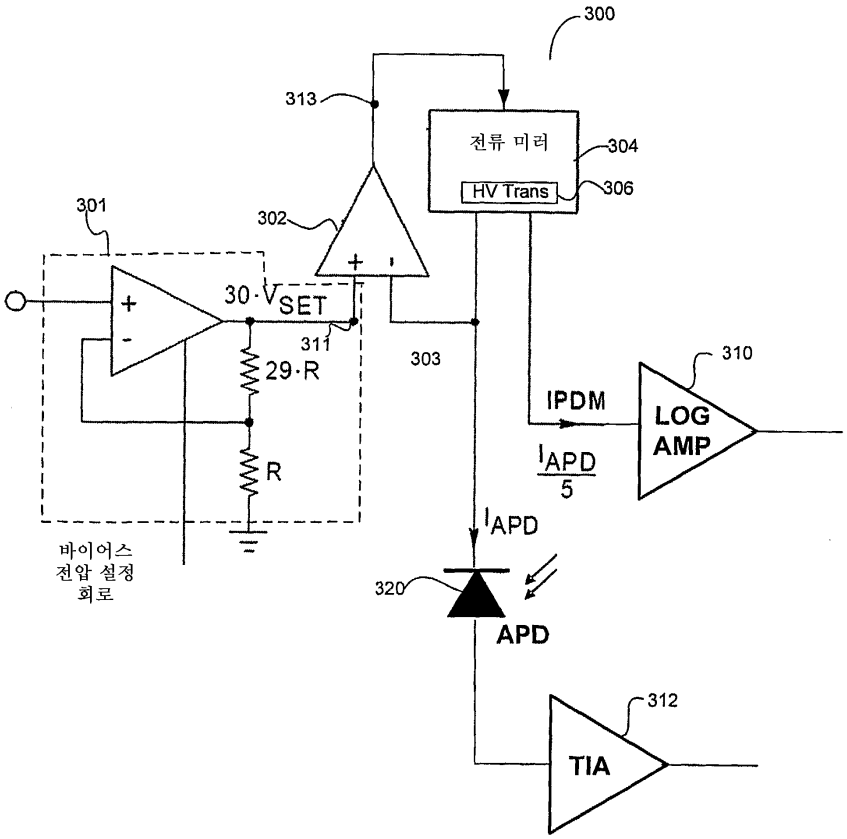
도면2b

(종래 기술)

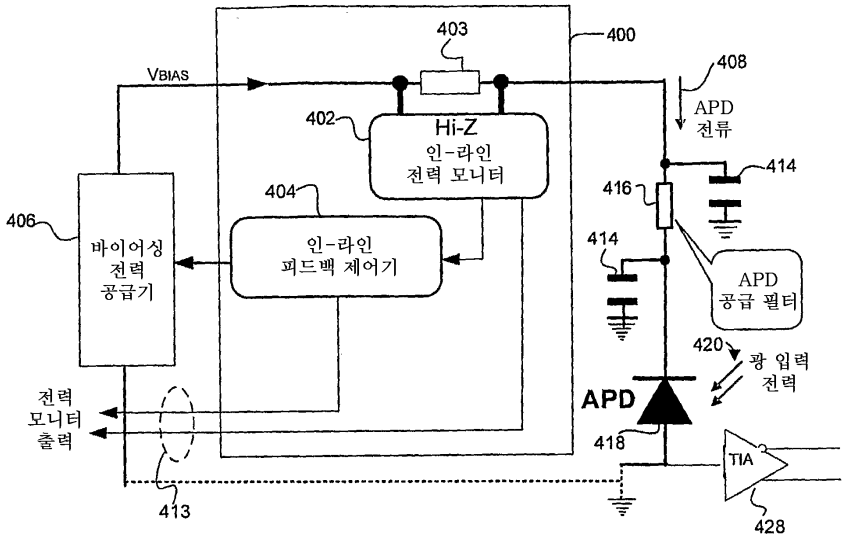


도면3

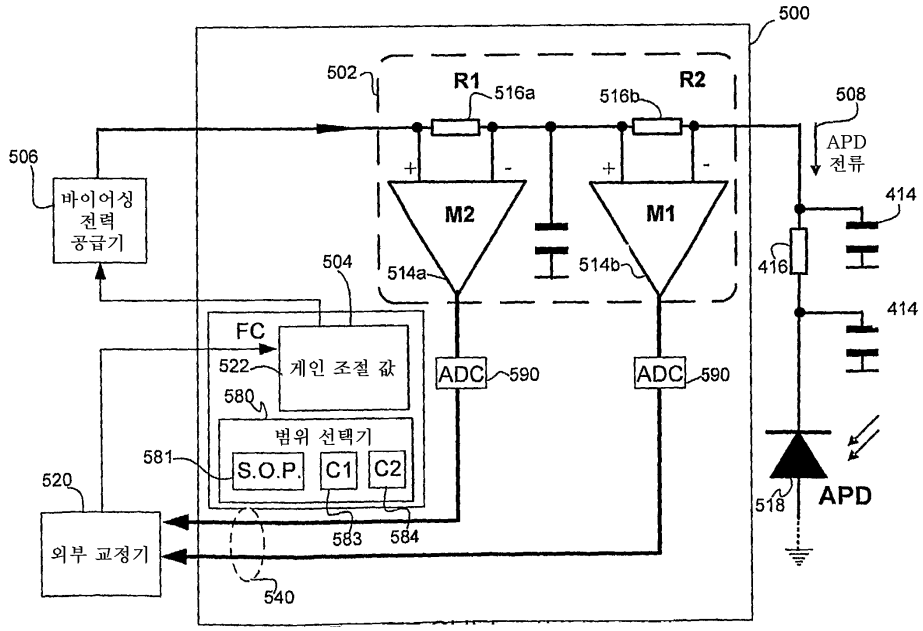
(종래 기술)


300
313
전류 미러
304
HV Trans
306
301
302
30·VSET
311
303
29·R
R
310
IPDM
LOG AMP
IAPD/5
IAPD
320
APD
바이어스 전압 설정 회로
312
TIA

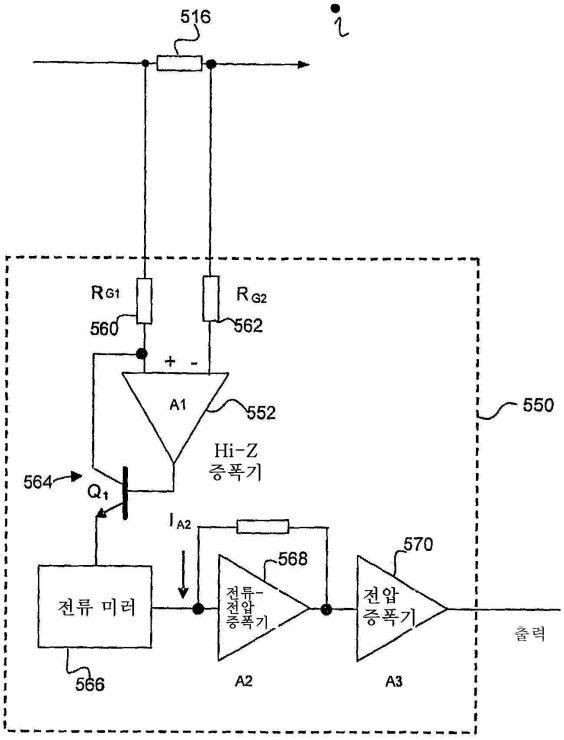
도면4


403
400
VBIAS
408
APD 전류
402
Hi-Z 인-라인 전력 모니터
414
416
404
406
바이어싱 전력 공급기
인-라인 피드백 제어기
414
APD 공급 필터
420
광 입력 전력
APD
418
TIA
전력 모니터 출력
413
428

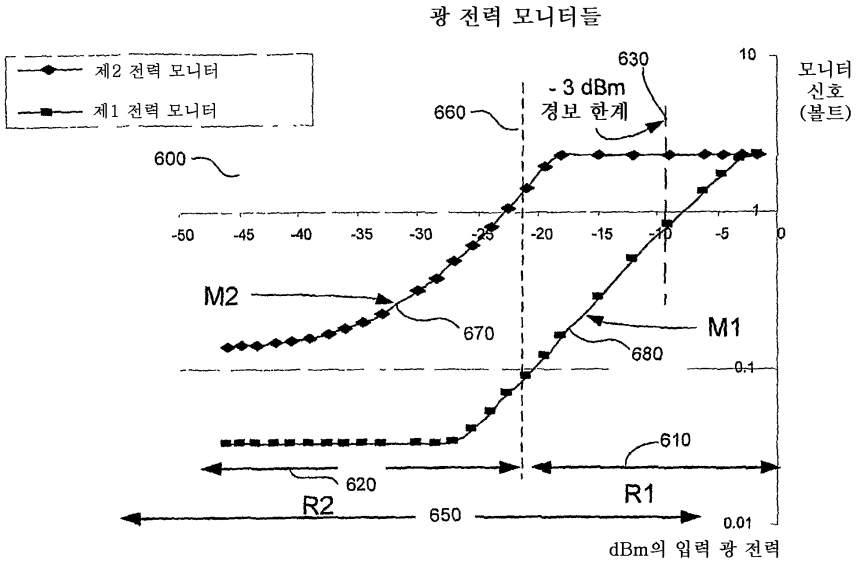
도면5a


500
502
R1
516a
R2
516b
508
APD
전류
506
바이어싱
전력
공급기
M2
M1
414
416
504
514a
514b
414
FC
522
게인 조절 값
ADC
590
ADC
590
580
범위 선택기
581
S.O.P.
C1
C2
520
583
584
APD
518
외부 교정기
540

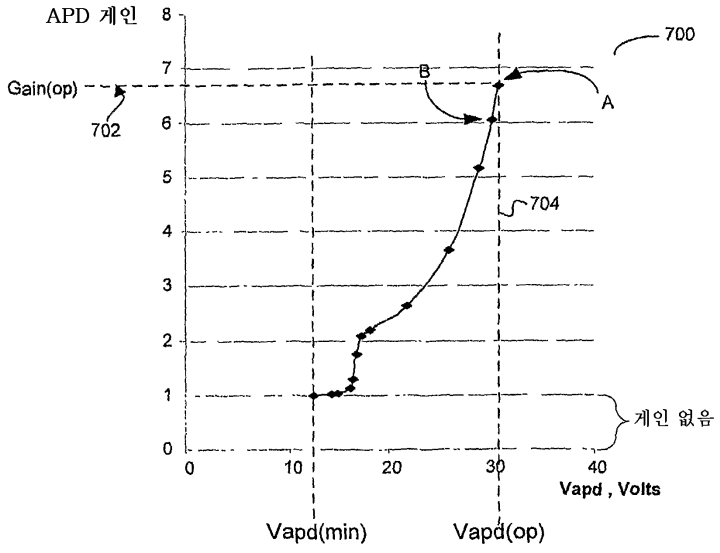
도면5b


516
i
RG1
RG2
560
562
A1
552
550
Hi-Z
증폭기
564
Q1
IA2
570
568
전류 미러
전류-
전압
증폭기
전압
증폭기
출력
566
A2
A3

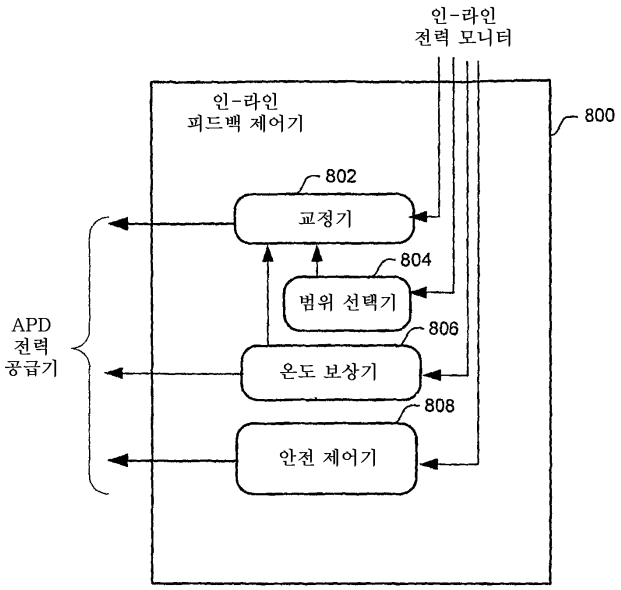
도면6


광 전력 모니터들
제2 전력 모니터
제1 전력 모니터
630
10
모니터
신호
(볼트)
- 3 dBm
경보 한계
660
600
-50
-45
-40
-35
-30
-25
-20
-15
-10
-5
0
M2
670
M1
680
0.1
610
620
R2
650
R1
0.01
dBm의 입력 광 전력

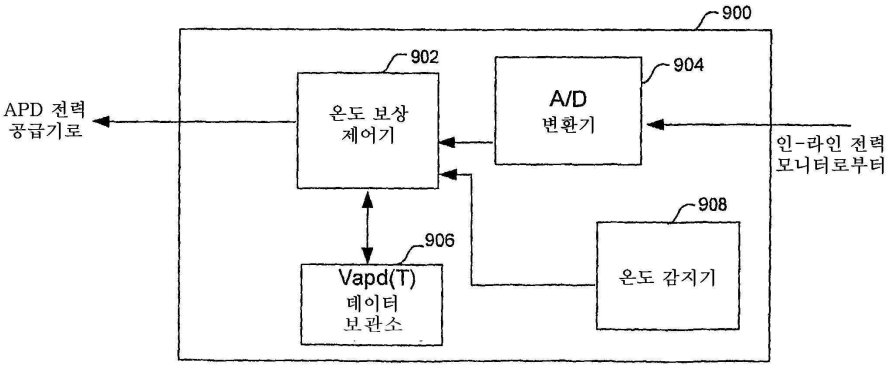
도면7


APD 게인
8
7
6
5
4
3
2
1
0
Gain(op)
702
700
B
A
704
게인 없음
0
10
20
30
40
Vapd , Volts
Vapd(min)
Vapd(op)

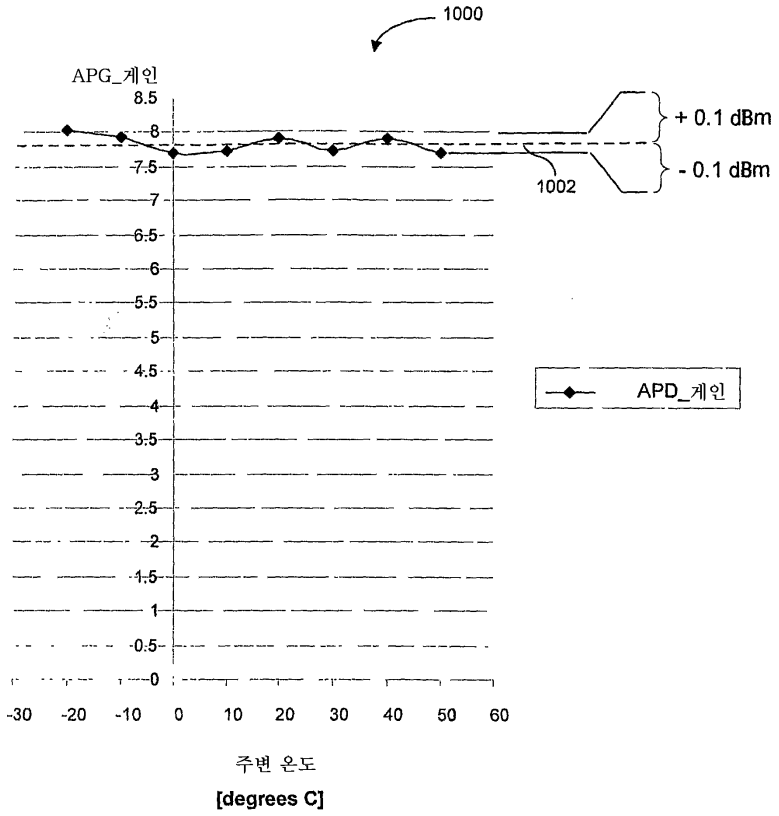
도면8


인-라인
전력 모니터
인-라인
피드백 제어기
800
802
교정기
804
범위 선택기
806
온도 보상기
808
안전 제어기
APD
전력
공급기

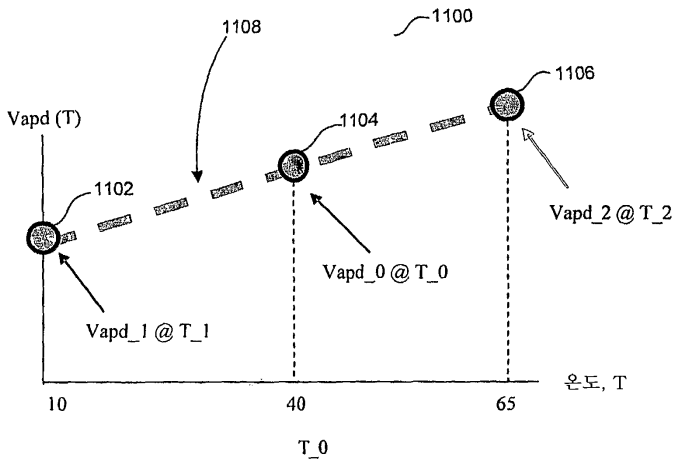
도면9


900
902
온도 보상
제어기
904
A/D
변환기
APD 전력
공급기로
인-라인 전력
모니터로부터
908
906
Vapd(T)
데이터
보관소
온도 감지기

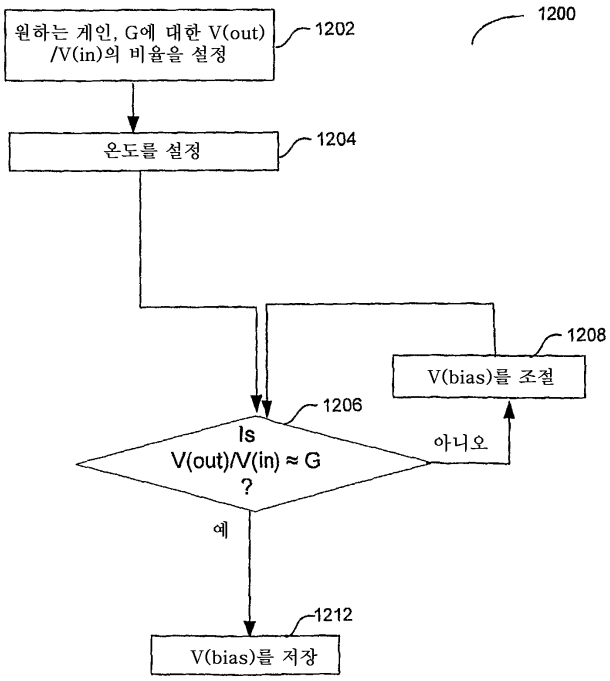
도면10


1000
APG_게인
8.5
8
7.5
7
6.5
6
5.5
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
+ 0.1 dBm
- 0.1 dBm
1002
APD_게인
-30
-20
-10
0
10
20
30
40
50
60
주변 온도
[degrees C]

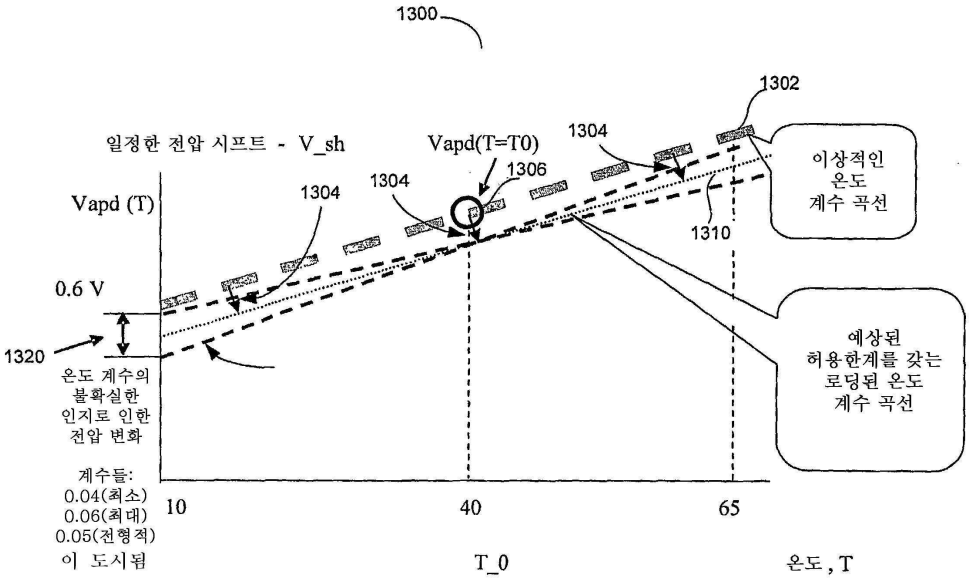
도면11


1100
1108
1106
1104
1102
Vapd (T)
Vapd_2 @ T_2
Vapd_0 @ T_0
Vapd_1 @ T_1
온도, T
10
40
65
T_0

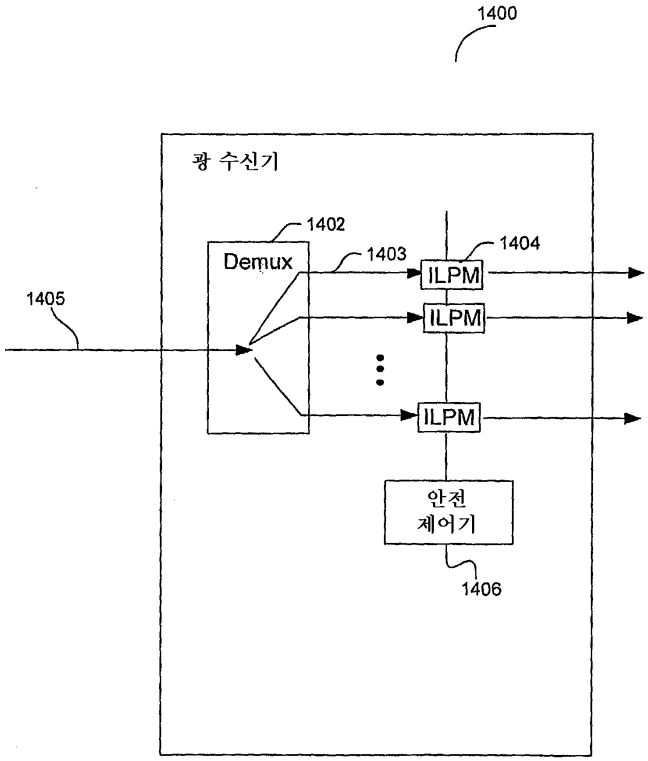
도면12


원하는 게인, G에 대한 V(out) /V(in)의 비율을 설정
1202
1200
온도를 설정
1204
V(bias)를 조절
1208
1206
Is V(out)/V(in) ≈ G ?
아니오
예
V(bias)를 저장
1212

도면13


1300
1302
일정한 전압 시프트 - V_sh
Vapd(T=T0)
1304
1306
이상적인 온도 계수 곡선
Vapd (T)
1304
1304
1310
0.6 V
1320
온도 계수의 불확실한 인지로 인한 전압 변화
예상된 허용한계를 갖는 로딩된 온도 계수 곡선
계수들: 0.04(최소) 0.06(최대) 0.05(전형적) 이 도시됨
10
40
65
T_0
온도, T

도면14


1400
광 수신기
1402
Demux
1403
1404
ILPM
ILPM
ILPM
1405
안전
제어기
1406