

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2004-147323
(P2004-147323A)

(43) 公開日 平成16年5月20日(2004.5.20)

(51) Int.Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
HO 4 B 10/02	HO 4 B 9/00	2 K O O 2
GO 1 J 9/04	GO 1 J 9/04	5 K 1 O 2
GO 2 F 2/00	GO 2 F 2/00	
HO 4 B 10/04	HO 4 B 9/00	L
HO 4 B 10/06		

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2003-360135 (P2003-360135)	(71) 出願人 399117121 アジレント・テクノロジーズ・インク AGILENT TECHNOLOGIES, INC. アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト ページ・ミル・ロード 395 395 Page Mill Road Palo Alto, California U. S. A.
(22) 出願日 平成15年10月21日 (2003.10.21)	(74) 代理人 100087642 弁理士 古谷 聡
(31) 優先権主張番号 10/279436	(74) 代理人 100076680 弁理士 溝部 孝彦
(32) 優先日 平成14年10月24日 (2002.10.24)	(74) 代理人 100121061 弁理士 西山 清春
(33) 優先権主張国 米国 (US)	最終頁に続く

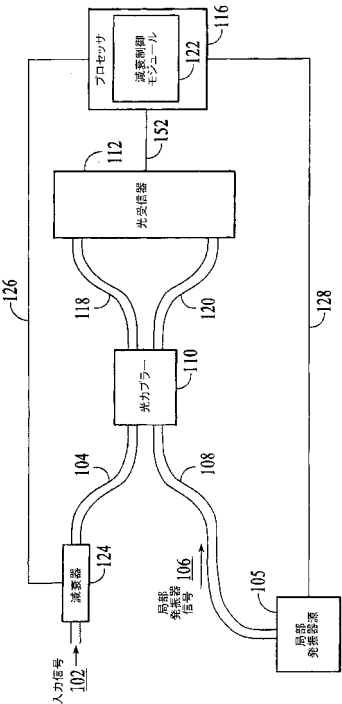
(54) 【発明の名称】 制御された光減衰を用いるヘテロダインベースの光スペクトル分析

(57) 【要約】

【課題】ヘテロダインビート信号の信号対雑音比を改善すると共に、光検出器の損傷を防止すること。

【解決手段】光ヘテロダイン検出システムは、入力信号を局部発振器信号(106)と合成する前に、入力信号(102)を減衰させるための減衰器(124)を含む。ヘテロダインビート信号の信号対雑音比を改善する、入力信号に関する最適減衰レベルは、局部発振器信号にตอบสนองし、かつ入力信号の無い状態で出力信号の基礎測定値を得て(402)、異なる減衰レベルの関数として入力信号にตอบสนองして出力信号のサンプル測定値を得て(404)、及び基礎測定値とサンプル測定値の関数として最適減衰レベルを求める(406)ことにより求められる。入力信号に関する最小減衰レベルが求められ、最小減衰レベルによって、飽和したり又は損傷したりすることから受信器の光検出器が保護される。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光ヘテロダイン検出システムにおける入力信号（１０２）に関する最適減衰レベルを求めるための方法において、前記光ヘテロダイン検出システムが、前記入力信号を局部発振器信号（１０６）と合成して合成光信号を形成するための光カプラ（１１０）と、前記光カプラに光学的に結合され、前記入力信号と前記局部発振器信号と前記合成された光信号のうちの一つに応答して出力信号を生成する受信器（１１２）と、前記光カプラに光学的に結合されて前記入力信号を減衰させるための減衰器（１２４）とを含み、前記方法が、前記局部発振器信号に応答し、かつ前記入力信号の無い状態で前記出力信号の基礎測定値を取得（４０２）するステップと、

10

前記入力信号に応答し、異なる減衰レベルの関数として前記出力信号のサンプル測定値を取得（４０４）するステップと、及び

前記基礎測定値と前記サンプル測定値の関数として前記最適減衰レベルを求める（４０６）ステップとを含む、方法。

【請求項 2】

前記サンプル測定値が、前記局部発振器信号（１０６）の無い状態で取得（４０２）される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記最適減衰レベルを求める（４０６）ステップが、

前記サンプル測定値から前記入力信号（１０２）の強度雑音特性を特定するステップと、及び

20

前記最適減衰レベルを求めるステップにおいて前記強度雑音特性を利用するステップとを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記サンプル測定値から前記入力信号（１０２）の強度雑音特性を特定するステップが、前記サンプル測定値を二次多項式へ代入するステップを含む、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記サンプル測定値の前記代入から強度雑音定数 A を求める（３１２）ステップをさらに含む、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記基礎測定値を取得するステップが、前記基礎測定値から雑音定数 C を求める（３１０）ステップをさらに含む、請求項 5 に記載の方法。

30

【請求項 7】

前記最適減衰レベルを求めるステップが、

$$\alpha_{pt} = (C / A)$$

の関数として前記最適減衰レベルを求める（３１４）ステップを含む、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

光ヘテロダイン検出システムであって、

入力信号を減衰させるための調整可能な減衰器（１２４）と、

40

前記減衰器から前記入力信号を受信し、かつ局部発振器信号を受信するように結合された光カプラ（１１０）と、

前記光カプラからの合成光信号を受信するように結合された光受信器（１１２）と、及び

減衰制御モジュール（１２２）とを含み、

前記減衰制御モジュール（１２２）が、

前記局部発振器信号に応答し、かつ前記入力信号の無い状態で前記出力信号の基礎測定値を取得（４０２）し、

前記入力信号に応答し、異なる減衰レベルの関数として前記出力信号のサンプル測定値を取得（４０４）し、及び

50

前記基礎測定値と前記サンプル測定値の関数として前記減衰器に関する最適減衰レベルを求める(406)ように構成されている、光ヘテロダイン検出システム。

【請求項9】

前記サンプル測定値が、前記局部発振器信号(106)の無い状態で取得(402)される、請求項8に記載の光ヘテロダイン検出システム。

【請求項10】

前記最適減衰レベルを求める(406)ことが、

前記サンプル測定値から前記入力信号(102)の強度雑音特性を特定することと、及び

前記最適減衰レベルを求めることにおいて前記強度雑音特性を利用することとを含む、請求項8に記載の光ヘテロダイン検出システム。 10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して光学的測定及び測定システムの分野に関し、より詳細には光ヘテロダイン検出を利用する光スペクトル分析のための方法及びシステムに関する。

【0002】

本出願は、2000年1月20日に出願された特許文献1に関連する。

【背景技術】

【0003】

光ヘテロダイン検出システムは、高スペクトル解像度を達成するその能力の故に、DWD M(高密度波長分割多重)システムをモニタするために利用されている。感度及びダイナミックレンジといったパラメータに関する光ヘテロダイン検出システムの性能の改善は、ヘテロダインビート信号の信号対雑音比を増やすことにより達成され得る。しかしながら、所望のヘテロダインビート信号は他の直接検出信号と共存する。DWD Mシステムの直接検出信号には、入力信号と局部発振器信号の両方からの強度雑音及びショット雑音が含まれる。様々な雑音成分は、所望のヘテロダインビート信号をマスキングする可能性がある。ヘテロダインビート信号の信号対雑音比を改善するための一つの技術には、二つの検出器を利用して平衡検出を達成することにより強度雑音を低減することが含まれる。平衡検出はヘテロダインビート信号の信号対雑音比を改善することに役立つが、平衡検出には限界がある。 20 30

【0004】

ヘテロダインビート信号の信号対雑音比を改善するための別の技術には、ヘテロダインビート信号の振幅を増大させ、それによってヘテロダインビート信号の信号対雑音比を高めるように、入力信号を局部発振器信号に合成する前に入力信号を増幅することが含まれる。入力信号の増幅はヘテロダインビート信号の振幅を増やすが、増幅は入力信号の強度雑音も増やし、ヘテロダイン信号の信号対雑音比を改善することができない。

【0005】

光ヘテロダイン検出システムについての別の懸念は、受信器が光信号電力のサージに敏感であることである。例えば、光検出器は高信号電力にさらされると、飽和したり、又は永久的に損傷したりすることさえある。 40

【特許文献1】米国特許出願第09/488,149号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

既知のヘテロダイン検出システムの限界に鑑みて、高信号対雑音比でもってヘテロダインビート信号を生成する光ヘテロダイン検出システムが必要とされている。さらに、効果的に高信号電力のサージに対処することができる光ヘテロダイン検出システムが必要とされている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

光ヘテロダイン検出システムは、入力信号を局部発振器信号と合成する前に、入力信号を減衰させるための減衰器を含む。本発明によれば、入力信号に関する最適減衰レベルが求められ、この最適減衰レベルによって、入力信号と局部発振器信号を合成した際に生成されるヘテロダインビート信号の信号対雑音比が改善される。また、本発明によれば、入力信号に関する最小減衰レベルが求められ、最小減衰レベルによって、受信器の光検出器が高電力信号により飽和したり又は損傷したりすることから保護される。

【 0 0 0 8 】

本発明の他の態様及び利点は、一例として本発明の原理を例示する添付図面に関連してなされる、以下の詳細な説明から明らかとなる。

10

【発明の効果】

【 0 0 0 9 】

本発明によれば、入力信号に対する最適減衰レベルが求められ、この最適減衰レベルによって、入力信号と局部発振器信号を合成した際に生成されるヘテロダインビート信号の信号対雑音比が改善される。また、本発明によれば、入力信号に対する最小減衰レベルが求められ、この最小減衰レベルによって光検出器が高電力信号により飽和したり又は損傷したりすることから保護される。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 0 】

光ヘテロダイン検出システムは、入力信号を局部発振器信号と合成する前に入力信号を減衰させるための減衰器を含む。本発明によれば、入力信号に対する最適減衰レベルが求められ、この最適減衰レベルによって、入力信号と局部発振器信号を合成した際に生成されるヘテロダインビート信号の信号対雑音比が改善される。また、本発明によれば、入力信号に対する最小減衰レベルが求められ、この最小減衰レベルによって光検出器が高電力信号により飽和したり又は損傷したりすることから保護される。

20

【 0 0 1 1 】

光ヘテロダイン検出分野において知られているように、入力信号と局部発振器信号を合成して、入力信号及び局部発振器信号からの強度雑音とショット雑音とヘテロダインビート信号を含む成分を有する光信号を生成する。入力信号の強度雑音が主雑音源である場合、入力信号を局部発振器信号と合成する前に入力信号を減衰させることにより、ヘテロダインビート信号の信号対雑音比を改善することができる。ヘテロダインビート信号の信号対雑音比が改善されるのは、入力信号とヘテロダインビート信号の強度雑音が入力信号の減衰でもって別々に変倍されるからである。具体的には、入力信号の強度雑音は入力信号の電力 (P_S) に比例する。入力信号の電力に対する入力信号強度雑音 I_N の関係は、以下の通りである：

30

$$I_N \propto P_S \quad (1)$$

【 0 0 1 2 】

他方、ヘテロダインビート信号の強度は入力信号の電力 P_S の平方根に比例する。入力信号の電力に対するヘテロダイン信号の強度 I_H の関係は、以下の通りである：

$$I_H \propto (P_S)^{1/2} \quad (2)$$

40

【 0 0 1 3 】

入力信号の強度雑音とヘテロダインビート信号との間の異なる変倍関係のために、入力信号の電力の減衰により入力信号の強度雑音はヘテロダインビート信号よりも速いレートで低下する。入力信号の強度雑音がヘテロダインビート信号よりも速いレートで低下するので、入力信号の強度雑音が主雑音源である場合にヘテロダインビート信号の信号対雑音比 (I_H / I_N) は増加する。ヘテロダイン信号の信号対雑音比の増加により、入力信号の所望パラメータを特定するためのより良好な信号が提供され、それによって入力信号の強度雑音が主雑音源である場合に、検出性能が改善されることになる。ヘテロダインビート信号の信号対雑音比が入力信号の連続的な減衰とともに無限に増加しない点に留意されたい。入力信号の減衰が増加するにつれ、最終的に入力信号からの強度雑音以外の雑音成

50

分（単数又は複数）が支配的となり、入力信号のさらなる減衰によって、ヘテロダインビート信号の信号対雑音比が低減される。例えば、或る時点で光受信器内の電氣的雑音が入力信号の強度雑音にまさる主雑音源になる可能性がある。以下に詳細に説明される本発明の焦点には、最適減衰レベル（すなわち、信号対雑音比を最大化する減衰レベル）を求めることが含まれる。

【0014】

図1は、入力信号を減衰させてヘテロダインビート信号の信号対雑音比を改善し、受信器を飽和及び損傷から保護することができるヘテロダインベースの光スペクトル分析器（OSA）の一実施形態を示す。ヘテロダインベースのOSAは、信号ファイバ104、減衰器124、局部発振器源105、局部発振器ファイバ108、光カプラ110、光受信器112、プロセッサ116、及びフィードバック接続126を含む。説明全体を通じて、類似の構成要素を特定するために同じ参照番号を用いることがあることに留意されたい。

10

【0015】

信号ファイバ104は、システムによって検出されるべき入力信号102を伝送する。一実施形態では、信号ファイバは、当該技術分野において知られているような単一モード光ファイバである。説明全体を通じて、光ファイバ内を伝送される光信号は、代案として他の導波路又は自由空間内で伝送され得る。

【0016】

入力信号102は、光通信システムの分野において知られているような、従来の装置から生成される高コヒーレント光信号を含む。例えば、入力信号は、単一レーザ又は複数のレーザから生成されることができ、波長分割多重の分野において知られているような単一波長又は複数の波長からなることができる。入力信号は、しばしばデジタル情報を搬送するために変調される。代わりに、入力信号はアナログ情報を搬送するために変調され得る。説明全体を通じて、光信号は、可視スペクトル、赤外スペクトル、又は任意の他の光スペクトル内の信号を含むことができる。

20

【0017】

一実施形態では、入力信号102は、光スペクトル分析器により測定される未知の光学特性を有する。代案として、入力信号は、既知の光学特性でもって入力される光信号であってもよく、その場合、光スペクトル分析器は光ネットワーク分析に利用され得る。光スペクトル分析器を光ネットワーク又は構成要素の分析に利用する場合、ネットワーク又は単一の構成要素の特性は、ネットワーク又は単一の構成要素に既知の入力信号を入力し、そしてこの既知の信号に対する応答を測定することにより求められ得る。

30

【0018】

減衰器124は、入力信号を減衰させる光装置である。一実施形態では、減衰器は入力信号102を減衰させるために入力ファイバ104と一体化される。特定の種類の減衰器が不可欠ではなく、したがって光減衰の分野で知られているような様々なタイプの減衰器を用いることができる。減衰器の例には、ビームブロッキング減衰器、回折光学減衰器、及び可変中性フィルタ減衰器が含まれる。好ましくは、減衰器は光カプラ110へ送られる入力信号電力の制御の必要に応じて減衰レベルを変えることができるように調整可能である。一実施形態では、減衰器は入力信号の伝送を完全に阻止するように調整され得る。以下に説明されるように、入力信号の完全な伝送遮断は、最適減衰レベル及び最小減衰レベルの確立に有用となり得る。

40

【0019】

一実施形態では、減衰器の全スペクトルにわたって入力信号に減衰を適用する。すなわち、減衰スペクトルは入力信号スペクトルに比べて広い。さらに、一実施形態では、減衰レベルは波長に依存しない。すなわち、減衰レベルは関心のある波長範囲にわたって比較的一定である。

【0020】

局部発振器源105は、局部発振器信号106を生成する。一実施形態では、局部発振

50

器源は、1ナノメートル又はそれより大きい波長範囲にわたって連続的に調整できる高コヒーレント同調可能レーザである。光スペクトル分析中、局部発振器源は、或る範囲の周波数又は波長にわたって入力信号を検出するために、この範囲の周波数又は波長にわたって掃引される高コヒーレント局部発振器信号を生成する。一実施形態では、1,550nmの局部発振器信号の掃引速度は、約40nm/s又は6.15MHz/μsであり、掃引範囲は約100nmであるが、掃引速度や掃引範囲は、より高く、又はより低くすることができる。

【0021】

局部発振器ファイバ108は、局部発振器信号106を光カプラ110へ伝送する単一モード光ファイバなどの光ファイバである。

10

【0022】

光カプラ110は、入力信号102と掃引される局部発振器信号106を共通の導波路上へ合成する。図1に示されるように、光カプラは入力信号と掃引される局部発振器信号を合成し、合成された光信号（以降、合成光信号と称する）を出力ファイバ118、120へ分配する。光カプラ110は、光学的方向性の3dBファイバカプラとすることができるが、他の光カプラを用いてもよい。一実施形態では、光カプラは、入力信号102と掃引される局部発振器信号106の波長と偏光に実質的に無関係である。一実施形態では、光カプラは単一モードカプラである。図1の実施形態では、減衰器124は、信号ファイバ104を介して光カプラに光学的に結合される。

【0023】

20

出力ファイバ118、120は、光カプラ110からヘテロダイン受信器112へ合成光信号の二つの部分を伝送する単一モード光ファイバである。

【0024】

光受信器112は、光カプラ110から合成光信号を受信するように結合される。光受信器は、受信光信号に应答して電気出力信号を生成する。一実施形態では、光受信器は二乗検波を利用し、それにより入力信号102と掃引される局部発振器信号106の混合という結果となる。二つの光信号の混合により、入力信号と掃引される局部発振器信号との間の周波数差分に等しい周波数でヘテロダインビート信号が生成される。高コヒーレント入力信号及び局部発振器信号に関して、結果として生じたヘテロダインビート信号は、ヘテロダインビート信号の線形変化周波数から生じる二次関数の位相挙動を有する。一実施形態では、ヘテロダインビート信号は電気接続152を介して信号プロセッサ116へ供給される。ヘテロダインビート信号に加えて、出力信号（すなわち入力信号及び局部発振器信号からの雑音成分）の他の部分は、受信器で識別され、プロセッサに供給される。

30

【0025】

図1のシステムは、光受信器へ合成光信号の二つの部分を供給することを含むが、他の実施形態は、受信器へ合成光信号の単一部分を供給することを含むこともできる。合成光信号の単一例の場合、光カプラは一つの出力だけを必要とし、光受信器には一つの光検出器だけが必要である。図1の別の代替実施形態は、光受信器へ合成光信号の三つ以上の部分を供給することを含む。一実施形態では、合成光信号の四つの独立した部分が光受信器へ供給される。

40

【0026】

プロセッサ116は、光受信器112から出力信号を受信し、入力信号102の光周波数、波長、または振幅といった光学パラメータを示す出力を生成する。プロセッサは、信号処理の分野で知られているように、アナログ信号処理回路、ディジタル信号処理回路、又はソフトウェア、或いはそれらの任意の組み合わせを含むことができる。図1の実施形態では、プロセッサは光受信器からディジタルヘテロダインビート信号データを受信し、プロセッサがディジタル処理を実行する。代替の実施形態では、プロセッサは光受信器からアナログヘテロダインビート信号を受信し、アナログ信号はプロセッサによりディジタルデータへ変換される。ディジタルデータは引き続いて処理され、入力信号の光学パラメータを示す出力を生成する。

50

【0027】

入力信号の光学パラメータを示す出力を生成することに加えて、プロセッサは、最適減衰レベル及び最小減衰レベルを求めること、及び入力信号に適用される減衰量を制御することなどの他の機能も実行することができる。最適減衰レベル及び最小減衰レベルを求める機能を、以下に詳細に説明する。図1の実施形態では、プロセッサは、以下に説明される機能を実行するための減衰制御モジュール122を含む。一実施形態では、減衰制御モジュールは、以下に説明された機能を実行するための特定機能ソフトウェアを含む。一実施形態では、プロセッサと減衰制御モジュールは、光ヘテロダイン検出システムの動作を制御するために利用されるコンピュータ制御システムに具現化される。

【0028】

10

一実施形態では、プロセッサ116と減衰器124との間に接続126が設けられ、プロセッサと局部発振器源105との間に接続128が設けられる。これらの接続により、プロセッサは減衰器と局部発振器源を制御することが可能になる。

【0029】

図1の実施形態において、光受信器112は、光ヘテロダイン検出システムの分野で知られているような、光検出器、増幅器、抵抗器、及びフィルタを含む。図2は、平衡検出を達成するために光ヘテロダイン検出システムで利用され得る光受信器例の拡大図を示す。光受信器は、光検出器、トランスインピーダンス増幅器、帯域フィルタ、減算器、及びスクエアリングユニットを含む。トランスインピーダンス増幅器は、光電流 i_1 と i_2 を電圧へ変換する。光電流 i_1 と i_2 の大きさは、光パワー P_1 、 P_2 と光検出器の応答性に比例する。トランスインピーダンス増幅器から生成された電圧は、幅 B を備えた周波数 f_B の狭帯域フィルタを通過させられる。フィルタからの出力は、利得 $G = R_2 / R_1$ を有する第2段の増幅器により増幅される。減算器は、電圧 V_1 、 V_2 を減算し、スクエアリングユニットが減算器から出力された信号を二乗演算する。

20

【0030】

図2に示したシステム及び光受信器の場合、入力信号 P_S は、カブラ210内で局部発振器信号 P_L と合成される前に係数「 α 」で減衰される。本例では、カブラは通過効率 α^2 と横断 (across) 効率 $1 - \alpha^2$ を有するものと仮定しており、ここでは理想的な50:50のカブラの場合、 $\alpha^2 = 1/2$ である。光検出器205、209での光信号は、以下の式

30

$$P_1 = \alpha^2 P_L + (1 - \alpha^2) P_S + 2\alpha(1 - \alpha^2)(P_L - P_S)\cos(\omega_B t + \phi) \quad (3)$$

$$P_2 = (1 - \alpha^2) P_L + \alpha^2 P_S - 2\alpha(1 - \alpha^2)(P_L - P_S)\cos(\omega_B t + \phi) \quad (4)$$

の形態を有しており、ここで ω_B (と ϕ) は、ヘテロダインビート信号の差分周波数 (と差分位相) である。完全なカブラ ($\alpha^2 = 1/2$) の場合、 P_1 と P_2 の減算がヘテロダインビート項以外の全てを消去する。一般に、完全な結合を達成することは現実的ではない。さらに、二つの光検出器の応答における変化によって、ヘテロダインビート項をきれいに抽出するのに補償されなければならない差分がさらに導入される。

【0031】

40

光ヘテロダイン検出システムによって最終的に測定される信号は、個々の検出回路からの二つの出力電圧 (V_1 と V_2) を含む。上述のように、検出回路は光電流 i_1 と i_2 を電圧に変換するトランスインピーダンス増幅器から構成される。これらの電圧は、利得 $G = R_2 / R_1$ を有する第2段の増幅器により増幅される前に幅 B を備える周波数 f_B の狭帯域通過フィルタを通過させられる。光電流 i_1 と i_2 は、一実施形態では $1 \text{ mA} / \text{mW}$ のオーダであるフォトダイオードの応答性を通じて光パワー P_1 と P_2 に関係する。最終的な所望の出力信号は、下記の式により与えられる：

$$S = (V_1 - V_2)^2 = V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2 \quad (5)$$

【0032】

測定された信号は二つの成分からなり、すなわち V_1^2 と V_2^2 によって与えられ

50

る個々の検出器の分散、並びに V_1 、 V_2 によって与えられる検出器間の共分散である。光学的なショット雑音と熱雑音は、光検出器にわたって相関されていないとみなされ、それ故に検出器の分散に寄与するだけである。強度雑音 (RIN) 並びにヘテロダインビート信号は、光検出器間に明確な位相関係 (ただし、逆符号) を有しており、それ故に二つの光検出器の分散と共分散の両方に寄与する。受信器端に見られる周波数成分だけが帯域通過フィルタによって許容される周波数成分であると仮定している。RIN、ショット雑音、及び熱雑音は、幅 B を備える周波数 f_B で計算されなければならない。観測されるビート信号は、 P_S (ω_S) のその部分に対応し、ここで局部発振器信号 P_L (ω_L) は周波数において $|f_B|$ だけ離れている (そのため $\omega_L - \omega_S = \pm f_B$)。局部発振器信号を或る周波数範囲にわたって掃引すると、これによって望み通りに P_S (ω_S) が写像される。

10

【0033】

出力信号の分散と共分散は以下に与えられる。

【0034】

【数1】

$$\Delta V_1^2 = Re_1^2 G^2 R_f^2 \left[a^4 (P_L^2(shot) + P_L^2(RIN)) + (1-a^2)^2 (P_S^2(shot) + P_S^2(RIN)) + 4a^2(1-a^2)P_L\alpha P_S \right] + J_1^2 \quad (6)$$

20

$$\Delta V_2^2 = Re_2^2 G^2 R_f^2 \left[(1-a^2)^2 (P_L^2(shot) + P_L^2(RIN)) + a^4 (P_S^2(shot) + P_S^2(RIN)) + 4a^2(1-a^2)P_L\alpha P_S \right] + J_2^2 \quad (7)$$

$$\Delta V_1 \Delta V_2 = Re_1 Re_2 G^2 R_f^2 a^2 (1-a^2) [P_L^2(RIN) + P_S^2(RIN) - 4P_L\alpha P_S] \quad (8)$$

ここで、

30

$$P_L^2(shot) = 2q \cdot \langle P_L \rangle \cdot B \quad (9)$$

$$P_S^2(shot) = 2q \cdot \alpha \cdot \langle P_S \rangle \cdot B \quad (10)$$

$$P_L^2(RIN) = RIN(f_B) \cdot B \cdot \langle P_L \rangle^2 \quad (11)$$

$$P_S^2(RIN) = RIN(f_B) \cdot B \cdot \alpha^2 \cdot \langle P_S \rangle^2 \quad (12)$$

$$J_1^2 = J_2^2 = 4 \cdot K_B \cdot T \cdot B \cdot [G^2 R_f + G^2 R_1 + R_2] \quad (13)$$

40

【0035】

ここで「 a 」はカプラ効率のパラメータであり、二つの光検出器の応答は Re_1 、 Re_2 により与えられ、各回路の熱雑音は J_1 、 J_2 により与えられ、 G と R_f により与えられる様々な回路利得は先に定義されており、RIN/ショット雑音項は明示されている。これらの「雑音」項は、通過帯域周波数 f_B で算出されなければならない。ビート項 $P_L P_S$ は、周波数において f_B だけ離れたスペクトル成分 P_L (ω_L) 及び P_S (ω_S) に関係する。 $a^2 = 1/2$ と仮定することにより、信号 S は以下のように計算され得る。

【0036】

【数 2】

$$S = (\Delta V_1 - \Delta V_2)^2$$

$$= Re^2 G^2 R_f^2 \left[\frac{1}{2} P_L^2(shot) + \frac{1}{2} P_S^2(shot) + \Delta_L P_L^2(RIN) + \Delta_S P_S^2(RIN) + 4P_L \alpha P_S \right] + J_1^2 + J_2^2 \quad (14)$$

【0037】

ここで、平均検出器応答と利得（ Re ， G ， R_f ）は、 RIN 雑音に関する減算パラメータ L と S に包含される変化量を備えるものと仮定されている。

10

【0038】

制御された減衰を備えるヘテロダインベースのOSAの動作を、図1～図9に関連して説明する。動作中、入力信号102は減衰器124を通して伝送され、入力信号は所望レベルに減衰される。減衰された入力信号は、次に光カプラ110の方へ入力ファイバ104を介して案内される。同時に、局部発振器源105は、掃引される局部発振器信号106を生成し、その信号106は局部発振器ファイバ108を介して光カプラに伝送される。減衰された入力信号102と掃引される局部発振器信号106は、光カプラにより合成光信号へ合成される。合成光信号は、出力ファイバ118と120上へ出力され、ヘテロダイン受信器112へ伝送される。合成光信号は、ヘテロダイン受信器により検出されて混合され、合成光信号に応答してヘテロダインビート信号が生成される。ヘテロダインビート信号は、プロセッサ116へ出力される。プロセッサは、ヘテロダインビート信号を用いて、波長、周波数、又は振幅といった入力信号の光学パラメータを示す出力を生成する。

20

【0039】

上述のように、入力信号を減衰させて信号対雑音比を改善することは、入力信号の強度雑音が主雑音源であるときに実行されるのが好ましい。この条件下では、入力信号の減衰がヘテロダインビート信号の信号対雑音比を改善する。その理由は、入力信号の強度雑音とヘテロダインビート信号が入力信号の減衰とともに別々に変培されるからである。好ましくは、入力信号はヘテロダインビート信号の信号対雑音比を最大にするレベルまで減衰される。一実施形態では、入力信号は最適減衰レベルまで減衰され、この場合、最適減衰レベルは入力信号の減衰を通じて達成可能な最大の信号対雑音比か、又はほぼ最大の信号対雑音比を生成する減衰レベルとして定義される。例えば、最適減衰レベルは入力信号の減衰を通じて達成可能な最大の信号対雑音比の数dB以内にある信号対雑音比を達成することができる。一実施形態では、入力信号の強度雑音が二番目に大きな雑音源にほぼ等しくなるように入力信号を減衰した際に、信号対雑音比が最大化される。例えば、二番目に大きな雑音源は、局部発振器信号のショット雑音か、入力信号のショット雑音か、局部発振器信号の強度雑音か、光受信器からの電氣的雑音か、又はそれらの幾つかの組み合わせとすることができる。

30

【0040】

特定の入力信号に関する最適減衰レベルは、異なる減衰レベルの範囲にわたる減衰の関数としてヘテロダインビート信号と雑音を直接的に測定し、それぞれの異なる減衰レベルでの対応する信号対雑音比を計算し、次いで最大の信号対雑音比に対応する減衰レベルを特定することにより求められ得る。これが最適減衰レベルを求めるための信頼できる技術ではあるが、この技術は、異なる減衰レベルにおいてヘテロダインビート信号を複数回測定して、信号対雑音比を計算できるようにすることが必要である。異なる減衰レベルにおいてヘテロダインビート信号を複数回測定することは、時間を浪費し、不要な誤差を導入する可能性がある。

40

【0041】

本発明による一実施形態では、入力信号に関する最適減衰レベルは、ヘテロダインビート信号の測定値を得ることなく求められる。具体的には、最適減衰レベルは様々な雑音測

50

定値から算出される。一実施形態では、入力信号に関する最適減衰レベルは、減衰の関数として様々な雑音測定値を取得し、得られた雑音測定値を信号対減衰曲線に当てはめ、次いで適合する曲線からのデータを用いて最適な減衰レベルを計算することにより求められる。

【0042】

光ヘテロダイン検出システムに関して、減衰（ここで、最大減衰時 = 0 であり、最小減衰時 = 1 である）の関数としての出力信号 S は、

$$S(\quad) = A^2 + (B + D) + C \quad (15)$$

により表わされることができ、ここで様々な定数は以下になる。

$$A = S \cdot RIN_S \cdot B \cdot \langle P_S \rangle^2 \quad (16)$$

$$B = q \cdot B \cdot \langle P_S \rangle \quad (17)$$

$$C = q \cdot B \cdot \langle P_L \rangle + L \cdot RIN_L \cdot B \cdot \langle P_L \rangle^2 + (J_1^2 + J_2^2) / Re^2 G^2 R_f^2 \quad (18)$$

$$D = 4 \cdot \langle P_L \rangle \cdot \langle P_S \rangle \cdot B / S \quad (19)$$

【0043】

上記式では、 A 項が入力信号の強度雑音を表わし、 B 項が入力信号のショット雑音を表わし、 C 項が局部発振器信号と光受信器からの雑音の組み合わせを表わす。 D 項は、信号 S のヘテロダインビート部分（本明細書において、ヘテロダインビート信号または S_{hb} と呼ぶ）を表わす。

【0044】

上記式が与えられると、減衰の関数としてのヘテロダインビート信号対雑音比（本明細書において、信号対雑音比と呼ぶ）は、以下のように表され得る：

$$S_{hb}(\quad) / N(\quad) = D / (A^2 + B + C) \quad (20)$$

【0045】

信号対雑音の式が与えられると、信号対雑音比を最大化するの最適値は、信号対雑音の式の導関数を取り、導関数をゼロに等しく設定し、について解くことにより求められ得る。この計算の実行により、所定の定数

$$o_{pt} = (C / A) \quad (21)$$

の項で最適減衰レベルの式が与えられる。

【0046】

最適減衰レベル o_{pt} を計算するために、定数項 A と C の値を求めなければならない。前述のように、 C 項は局部発振器信号と受信器からの雑音の組み合わせを表わし、の関数ではない。 C 項は、入力信号の無い状態で局部発振器信号に 응답して生成される出力信号を測定することにより求められ得る。局部発振器信号に 응답し、入力信号の無い状態での出力信号の測定値は、本明細書において「基礎測定値」と呼ぶ。一実施形態では、 C 項は、入力信号をシステムに送り込む前に局部発振器信号の存在下で求められる。別の実施形態では、 C 項は、入力信号が完全に減衰された状態で、局部発振器信号の存在下で求められる。

【0047】

上述のように、 A 項は入力信号の強度雑音を表わす。 A 項が減衰（すなわち）と共に二次関数的に変化する唯一の項であるため、 A 項はに関する出力信号 S の二次導関数をとることにより求められ得る。これは、局部発振器信号の有無に拘わらず行なうことができる。得られる関係は、

$$A = (1/2) S^2 \quad (22)$$

ただし、

$$S = (V_1 - V_2)^2 \quad (23)$$

【0048】

二次導関数を測定するために、出力信号 S のサンプル測定値を異なる減衰レベルで採取する。次いで、出力信号のサンプル測定値は、出力信号対減衰（すなわち S 対）曲線に当てはめられる。一実施形態では、出力信号のサンプル測定値を S 対曲線の二次多項式

10

20

30

40

50

に代入する。一実施形態では、出力信号の測定値は最小二乗法の最小化などの非線形当てはめルーチンを用いて二次多項式に代入される。一実施形態では、サンプル測定値は、局部発振器信号の無い状態で採取される（局部発振器信号が存在しないので、ヘテロダインビート信号は一切生成されない）。サンプル測定値は、局部発振器信号と存在する入力信号の両方と共に採取され得る（混合の結果としてヘテロダインビート信号が存在するが、ヘテロダインビート信号は雑音信号から抽出されない）。

【0049】

入力信号の強度雑音が測定不能である場合、A項をゼロに設定し、それにより入力信号の減衰を通じて信号対雑音比の増加が一切達成されないことを示さねばならない。サンプル測定値から得られるA項が非常に小さい場合、 $o_{p t}$ の値は最大値「1」、すなわち光検出器を非飽和状態に保つ値に限定されるべきである。 10

【0050】

図3は、光ヘテロダイン検出システムの入力信号に関する最適減衰レベルを求めるためのプロセス流れ図の一実施形態を示す。ブロック302では、入力信号は、減衰無しか、又は最小許容減衰でもって減衰器を通過させられる（最小許容減衰を求めることは後述する）。ブロック304では、減衰された入力信号に応答して出力信号Sを測定する。判断ブロック306では、出力信号の十分なサンプル測定値が得られたか否かを判断する。十分なサンプル測定値が存在しないと判断された場合、ブロック308において減衰レベルをインクリメントする。すなわち、入力信号に適用される減衰レベルは、いくらかの増分量だけ増加する。この観点から減衰に注目すると、減衰レベルをインクリメントすることは、減衰レベルをデクリメントすることを意味する。一実施形態では、減衰レベルは2～7dBの間隔でインクリメントされるが、他の間隔を用いてもよい。減衰レベルをインクリメントした後に、ブロック304において出力信号を再測定する。 20

【0051】

判断ブロック306に戻って、十分なサンプル測定値が存在すると判断された場合、ブロック310において出力信号の基礎測定値が得られる。一実施形態では、出力信号の基礎測定値は、 $o_{p t}$ の式中のC項を求めるために使用される。C項は局部発振器信号と受信器からの雑音の組み合わせを表わすため、基礎測定値は、局部発振器信号が存在し、かつ入力信号の無い状態で得られる。基礎測定値を得た後、ブロック312において、出力信号のサンプル測定値を出力信号対減衰曲線に当てはめる。一実施形態では、サンプル測定値は、減衰の関数としての出力信号の二次多項式 $S(\quad) = A^2 + (B + D) + C$ に代入される。A項とC項を求めた後、ブロック314において最適減衰は以下の式から計算される： 30

$$o_{p t} = (C / A) \quad (21)$$

【0052】

図3のプロセス流れ図は、プロセスステップの特定順序を示す。プロセスステップは、本発明の範囲から逸脱することなく図3に示された順序から変更され得る。例えば、減衰レベルのインクリメント（ブロック308）を出力信号の測定（ブロック304）後に行なっているが、代替の実施形態では、プロセスステップは、十分なサンプル測定値が存在するか否かの判断（判断点306）の前に行われるように順序付けられ得る。さらに、代替の実施形態では、サンプル測定値を得る（ブロック304）前か、又はサンプル測定値を出力信号対減衰曲線に当てはめた（ブロック312）後に、基礎測定値を得ることができる（ブロック310）。別の代案では、サンプル測定値は、初期減衰レベルを高く設定し、減衰レベルをデクリメントして必要とされるサンプル測定値を得ることにより取得され得る。別の代案において、サンプル測定値は減衰レベルをランダムに変えることにより取得され得る。 40

【0053】

出力信号対減衰応答を特徴付けるのに十分なサンプルの数は、実施に固有である。一実施形態では、出力信号対減衰曲線に当てはめるために、少なくとも三つのサンプル測定値が得られる。

【 0 0 5 4 】

図 4 は、光ヘテロダイン検出システムの入力信号に関して最適減衰レベルを求めるためのプロセス流れ図の別の実施形態を示す。ブロック 4 0 2 では、出力信号の基礎測定値は、局部発振器信号に 응답し、かつ入力信号の無い状態で得られる。ブロック 4 0 4 では、出力信号のサンプル測定値は、異なる減衰レベルの関数として入力信号に 응답して得られる。ブロック 4 0 6 では、最適減衰レベルは、基礎測定値及びサンプル測定値の関数として求められる。

【 0 0 5 5 】

ヘテロダインビート信号の信号対雑音比を改善するように減衰を制御することに加えて、減衰は、光検出器が飽和したり、又は永久的に損傷したりすることから保護するために制御され得る。一実施形態では、各光検出器に関連する直流 (D C) 電圧は、光検出器の保護のために中間の検出点から監視される。例えば、図 2 を参照すると、受信光信号に 응답して生成される D C 電圧は、個々の帯域フィルタより前にある検出点 2 3 0 と 2 3 2 から監視される。すなわち、トランスインピーダンス増幅器の D C 電圧出力が帯域フィルタリング前に測定されるように検出点を配置する。

【 0 0 5 6 】

光ヘテロダイン検出システムの光検出器を保護するために入力信号の減衰を制御するためのプロセス例を、三つの異なる状況「コールドスタート」、「通常動作」、「電源遮断」に関して説明する。コールドスタートでは、光検出器は、入力信号からの光パワーサージから保護されなければならない。光検出器を光パワーサージから保護することは、最初に電源投入時に減衰を最大減衰レベルに設定し、次いで光検出器が特定の D C 電圧限界に達するまで入力信号の減衰を徐々に低減することにより達成される。光検出器がそれらの D C 電圧限界に達する点は、許容すべき最小減衰レベルとして設定される。すなわち、電源投入時にパワーサージにより飽和したり、又は損傷したりすることから光検出器を保護するために、入力信号の減衰は、設定された最小減衰レベル未満に低下させてはならない。最大減衰で $= 0$ 、最小減衰で $= 1$ として減衰を γ の観点から説明したので、最小減衰レベルは γ の最大値すなわち γ_{max} によって表わされる。すなわち、 γ_{max} は、光検出器を損傷から保護するために入力信号に適用されるべき最小減衰レベルである。

【 0 0 5 7 】

本明細書において定義されたように、光検出器の D C 電圧限界 (電圧限界とも呼ぶ) は、それを超えると光検出器が線形応答をもたらすと見なせなくなる測定電圧である。すなわち、光検出器は、電圧限界を含む測定電圧に対して線形応答を有すると仮定されている。電圧限界を超える測定電圧については、線形応答と見なすことはできない。一実施形態では、電圧限界は光検出器特性の関数として予め確立された値である。

【 0 0 5 8 】

図 5 は、光ヘテロダイン検出システムのコールドスタート時の最小減衰レベルを求めるための技術のプロセス流れ図を示す。ブロック 5 0 2 では、減衰レベルが最大レベル (すなわち $= 0$) に設定される。ブロック 5 0 4 では、D C 検出器が電源投入される。ブロック 5 0 6 では、減衰レベルを電流減衰レベルからデクリメントする。すなわち、減衰レベルは増分量だけ減少される。 γ の観点から減衰に注目すると、減衰レベルのデクリメントは γ をインクリメントすることを意味する。ブロック 5 0 8 では、減衰が最低の可能な減衰レベル (すなわち、一切減衰がなく $= 1$) にあるかどうか判定される。減衰が最低の可能な減衰レベルにある場合、ブロック 5 1 4 において、最小減衰レベルは最低の可能な減衰レベル (すなわち、 $\gamma_{max} = 1$) として設定される。減衰レベルが最低減衰レベルにない場合、ブロック 5 1 0 において、各光検出器に関連した D C 電圧を測定する。ブロック 5 1 2 では、各光検出器の測定された D C 電圧が個々の光検出器の D C 電圧限界に達したかどうかについて判定がなされる。D C 電圧が D C 電圧限界に達しなかった場合、プロセスはブロック 5 0 6 へ戻り、そこで減衰レベルが再度デクリメントされる。D C 電圧が D C 電圧限界に達した場合、ブロック 5 1 4 において電流減衰レベルを最小減衰レベルとして設定する。 γ の観点から減衰に注目すると、電流減衰レベルは γ_{max} として

保存される。最小減衰レベルを設定した後、光ヘテロダイン検出システムの他の構成要素（すなわち局部発振器源、変調器）は、ブロック 516 で電源投入され、システムはブロック 518 で通常動作に入る準備が整う。

【0059】

通常動作中、光検出器は入力信号からの光パワーサージから保護されなければならない。光検出器を光パワーサージから保護することは、光検出器に関連する DC 電圧をアクティブに監視し、光検出器が飽和した場合に減衰を最大減衰レベルに設定し、次いで光検出器が事前に設定された DC 電圧限界に達するまで入力信号の減衰を徐々に低減することにより達成される。光検出器がそれらの DC 電圧限界に達する点は、通常動作中に許容されるべき最小の減衰レベルとして確立される。すなわち、光検出器が通常動作中に飽和又は損傷したりすることから保護し、光検出器がそれらの線形応答範囲内で動作するように保証するために、入力信号の減衰は、DC 電圧限界にตอบสนองして確立された最小減衰レベル未満に低下させてはならない。前述のように、最大減衰で $= 0$ 、最小減衰で $= 1$ と減衰を m_{ax} の観点から説明したので、最小減衰レベルは m_{ax} の最大値すなわち m_{ax} により表わされる。すなわち、 m_{ax} は光検出器を損傷から保護するために入力信号に適用されるべき最小減衰レベルである。

10

【0060】

図 6 は、光ヘテロダイン検出システムの通常動作中に最小減衰レベルを求めるための技術のプロセス流れ図を示す。ブロック 602 では、光ヘテロダイン検出システムは通常動作モードにある。判断ブロック 604 では、光検出器が飽和しているか否かについて判定がなされる。一実施形態では、DC 検出器が飽和しているか否かの判定には、DC 電力レベルを検査すること、及び直流電力レベルが動作範囲にあるかどうか判定することが含まれる。一実施形態では、この判定は、DC 検出点における DC 電圧の定期的な測定にตอบสนองしてなされる。例えば、DC 検出点は、局部発振器信号の各掃引の後に監視され得る。光検出器が飽和していない場合、通常動作が続く（ブロック 602）。光検出器が飽和している場合、ブロック 606 において減衰レベルを最大レベル（すなわち、 $= 0$ ）に設定する。ブロック 608 では、減衰レベルを電流減衰レベルからデクリメントする。すなわち、減衰レベルは増分量だけ低減される。 m_{ax} の観点から減衰に注目すると、減衰レベルをデクリメントすることは、 m_{ax} をインクリメントすることを意味する。一実施形態では、減衰レベルは初回の反復の最初のレベルからデクリメントされ、そして次の反復の低減された減衰レベルからデクリメントされる。判断ブロック 610 では、減衰が最低の可能な減衰レベル（すなわち、減衰が無しで $= 1$ ）にあるかどうか判断される。減衰が最低の可能な減衰レベルにある場合、ブロック 616 において、最小減衰レベルが最低の可能な減衰レベル（すなわち、 $m_{ax} = 1$ ）として設定される。減衰レベルが最低の減衰レベルにない場合、ブロック 612 において検出器に関連する DC 電圧を測定する。判断ブロック 614 では、測定された DC 電圧が光検出器の DC 電圧限界に達したかどうかについて判断がなされる。DC 電圧が DC 電圧限界に達していない場合、プロセスはブロック 608 へ戻り、そこで減衰レベルが再びデクリメントされる。DC 電圧が DC 電圧限界に達した場合、ブロック 616 において電流減衰レベルを最小減衰レベルとして確立する。 m_{ax} の観点から減衰に注目すると、電流減衰レベルは m_{ax} として保存される。最小減衰レベル（すなわち m_{ax} ）が確立された後、ブロック 618 において、減衰レベルは最小減衰レベルに設定され、システムは通常動作に戻る（ブロック 602）。

20

30

40

【0061】

図 7 は、本発明による別の実施形態を示し、光ヘテロダイン検出システムの動作中に最小減衰レベルを求めるためのプロセス流れ図である。ブロック 702 において、入力信号の減衰レベルをデクリメントし、対応する DC 電圧が光検出器の電圧限界に達するまで対応する DC 電圧を測定する。ブロック 704 では、DC 電圧限界に達する減衰レベルにตอบสนองして、最小減衰レベルが確立される。

【0062】

電源遮断時に、光検出器は予想される入力信号からの光パワーサージから保護されたま

50

まになるべきである。例えば、高いパワーの入力信号をシステムへ導入した場合、光検出器は損傷を受ける可能性がある。一実施形態では、光検出器の電源を落とす前に減衰レベルを最大減衰レベルに設定することにより、光検出器は光パワーサージから保護される。図8は、光ヘテロダイン検出システムの電源を落とすための技術のプロセス流れ図を示す。ブロック802では、システムは通常動作状態にある。電源遮断の開始時、ブロック804において減衰レベルは最大減衰レベルに設定される。減衰レベルを最大減衰レベルに設定した後、ブロック806において、光検出器の電源は遮断される。光検出器の電源を落とした後、ブロック808において、光ヘテロダイン検出システムの残りの部分の電源が、光検出器に損傷を与えることなく遮断され得る。

【0063】

一実施形態では、減衰レベルは、光検出器の保護と信号対雑音比の改善の両方を達成するために制御され得る。特に、光検出器の飽和と損傷を防ぐために図5と図6に関連して説明されたように、一旦最小減衰レベル (m_{ax}) を求めた後、信号対雑音比を改善するための減衰レベルの調整は、最小減衰レベルにより制限される。すなわち、減衰レベルが最小減衰レベルに、又はそれより上に維持される限り、減衰レベルを調整することによりヘテロダインビート信号の信号対雑音比は改善され得る。図9は、減衰レベルを制御してヘテロダインビート信号の信号対雑音比を改善するための技術のプロセス流れ図を示し、減衰の下側範囲は以前に確立された最小減衰レベル (すなわち m_{ax}) によって制限される。ブロック902では、最小減衰レベルが入力信号に適用 (すなわち m_{ax}) され、そこでは最小減衰レベルは所定の値である。ブロック904では、出力信号Sは減衰された入力信号に応答して測定される。判断ブロック906では、出力信号の十分なサンプル測定値が得られたか否かが判断される。十分なサンプル測定値が存在しないと判定された場合、ブロック908において減衰レベルをインクリメントする。すなわち、入力信号に適用される減衰レベルは、いくらかの増分量だけ増大する。一実施形態では、減衰レベルは2~7dBの間隔でインクリメントされるが、他の間隔を用いることもできる。減衰レベルをインクリメントした後、ブロック904において出力信号が再度測定される。

【0064】

判断ブロック906に戻り、十分なサンプル測定値があると判定された場合、ブロック910において出力信号の基礎測定値が得られる。一実施形態では、出力信号の基礎測定値は式 o_{pt} 中のC項を求めるために使用される。C項が局部発振器信号及び受信器からの雑音の組み合わせを表わすため、基礎測定値は、局部発振器信号が存在し、かつ入力信号の無い状態で得られる。基礎測定値を得た後に、ブロック912において出力信号のサンプル測定値が出力信号対減衰曲線に当てはめられる。一実施形態では、サンプル測定値は、減衰の関数としての出力信号の二次多項式 $S(\quad) = A^2 + (B + D) + C$ に代入される。A項を求めた後、判断ブロック911において、Aがゼロ未満であるかどうかを判断する。Aがゼロ未満である場合、最小減衰レベルは先に確立された最小減衰レベル (すなわち m_{ax}) に設定される。Aがゼロ未満でない場合、ブロック914において最適減衰レベルを下式から計算する：

$$o_{pt} = (C / A) \quad (21)$$

【0065】

判断ブロック916において、最適減衰レベルが以前に確立された最小減衰レベル未満かどうか判断される。最適減衰レベルが以前に確立された最小減衰レベル未満である場合、ブロック918において、減衰レベルは以前に確立された最小減衰レベルに設定される。すなわち、減衰レベルは、たとえより低い減衰レベルが信号対雑音比を改善するにしても、光検出器を保護するように以前に確立された最小減衰レベル未満に低下させてはならない。最適減衰レベルが最小減衰レベルを上回る場合、ブロック920において減衰レベルは最適減衰レベルに設定される。すなわち、最適減衰レベルが最小減衰レベルを上回る限り、減衰レベルは最適減衰レベルに設定される。

【0066】

光ヘテロダイン検出システムの光学部品は、光ファイバにより接続されるものとして説

10

20

30

40

50

明されたが、個々のデバイスはプレーナ型導波路回路のようなモノリシックデバイス上に集積化され得る。代案として、光学素子は自由空間により接続され得る。

【 0 0 6 7 】

本明細書に記載された方法のステップ全てを実行したり、又は記載された順序で実行されなければならないことのないことは、認識されるべきである。

【 0 0 6 8 】

本発明による特定の実施形態を説明し図示してきたが、本発明は、説明され図示された特定の形態や部品の構成に限定されない。本発明は、特許請求の範囲によってのみ制限される。

【 図面の簡単な説明 】

10

【 0 0 6 9 】

【 図 1 】 入力信号を減衰させてヘテロダインビート信号の信号対雑音比を改善し、受信器を飽和と損傷から保護することができるヘテロダインベースの光スペクトル分析器 (O S A) の一実施形態を示す図である。

【 図 2 】 光検出器を飽和又は損傷から保護するために利用され得る中間検出点を含む光ヘテロダイン検出システム内の光受信器の例を示す拡大図である。

【 図 3 】 光ヘテロダイン検出システムの入力信号に関する最適減衰レベルを求めるためのプロセス流れ図の一実施形態を示す図である。

【 図 4 】 光ヘテロダイン検出システムの入力信号に関する最適減衰レベルを求めるためのプロセス流れ図の別の実施形態を示す図である。

20

【 図 5 】 光ヘテロダイン検出システムのコールドスタートに際して最小減衰レベルを求めるためのプロセス流れ図の一実施形態を示す図である。

【 図 6 】 光ヘテロダイン検出システムの通常動作中に最小減衰レベルを求めるためのプロセス流れ図の一実施形態を示す図である。

【 図 7 】 光ヘテロダイン検出システムの通常動作中に最小減衰レベルを求めるためのプロセス流れ図の別の実施形態を示す図である。

【 図 8 】 光ヘテロダイン検出システムの電源を落とすためのプロセス流れ図である。

【 図 9 】 入力信号の減衰レベルを制御してヘテロダインビート信号の信号対雑音比を改善するための技術に関するプロセス流れ図であり、減衰の下側範囲が先に確立された最小減衰レベル (すなわち $m_{a x}$) により制限されている流れ図である。

30

【 符号の説明 】

【 0 0 7 0 】

102 入力信号

104 入力ファイバ

105 局部発振器源

106 局部発振器信号

108 局部発振器ファイバ

110 光カプラ

112 光受信器

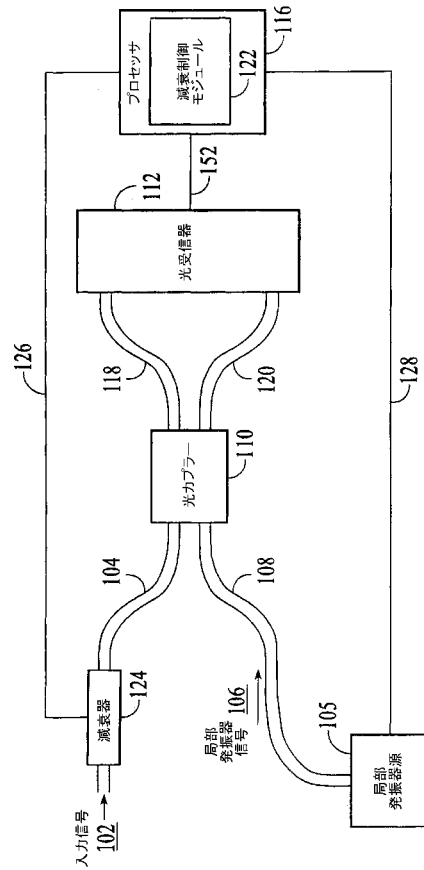
116 プロセッサ

118、120 出力ファイバ

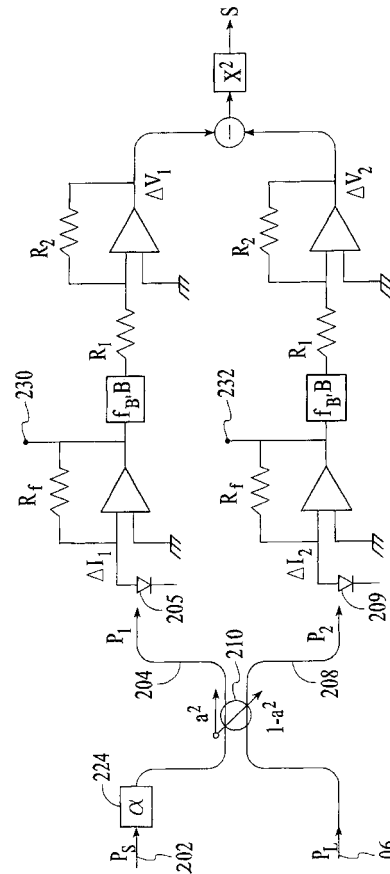
124 減衰器

40

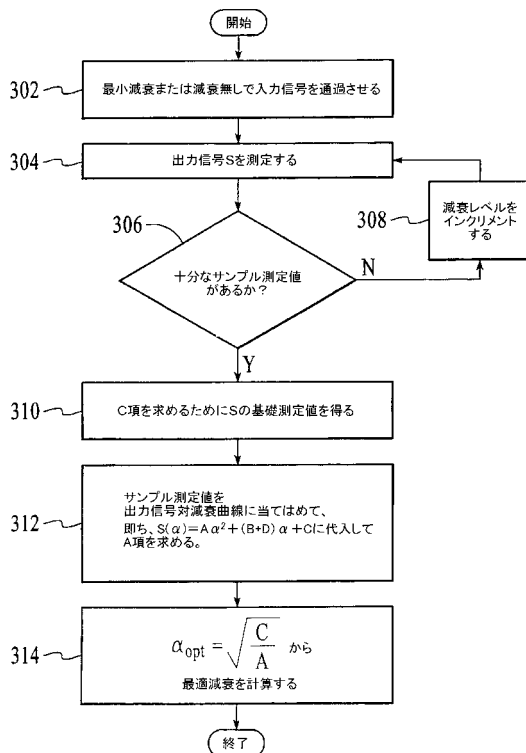
【図 1】



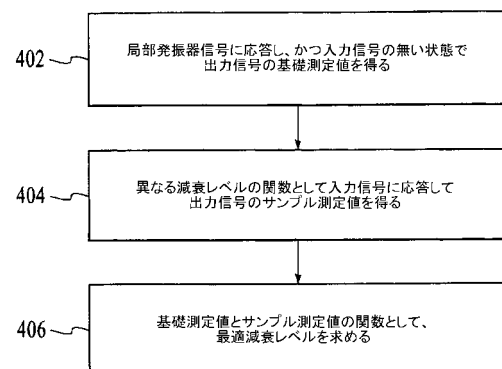
【図 2】



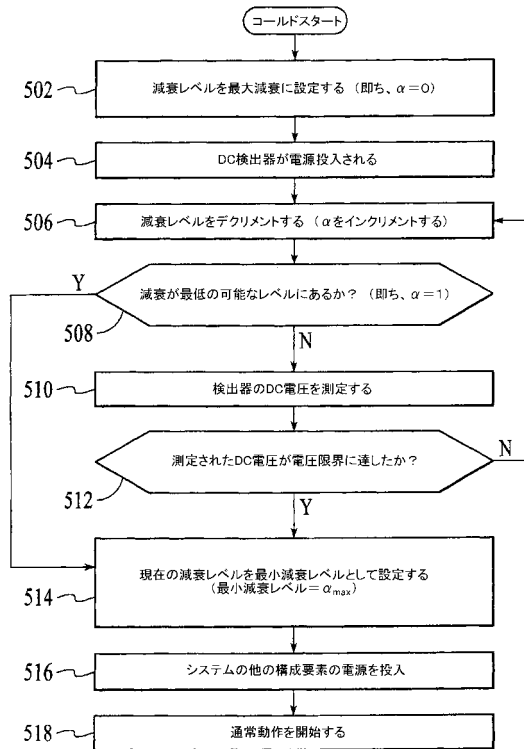
【図 3】



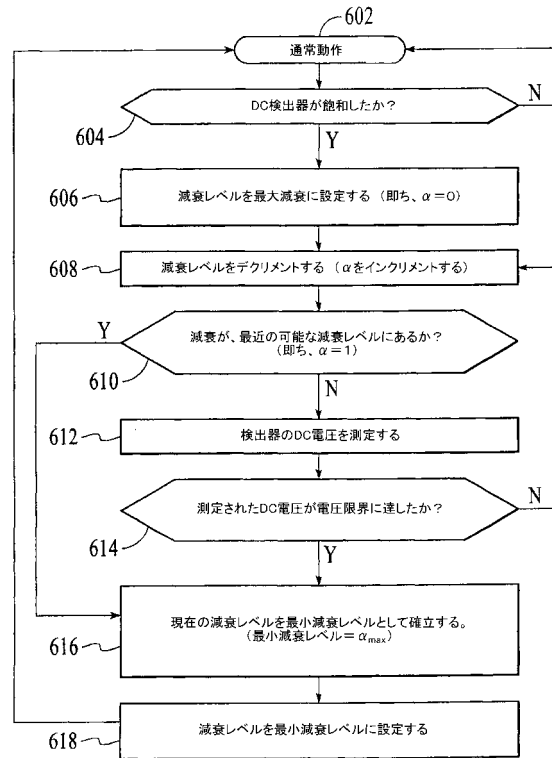
【図 4】



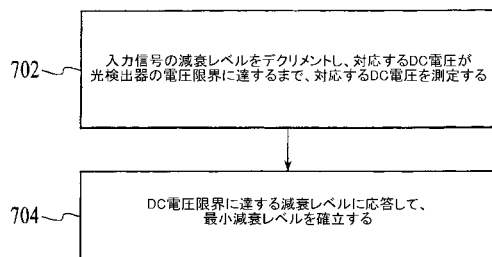
【図 5】



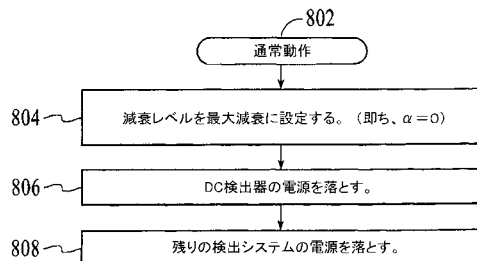
【図 6】



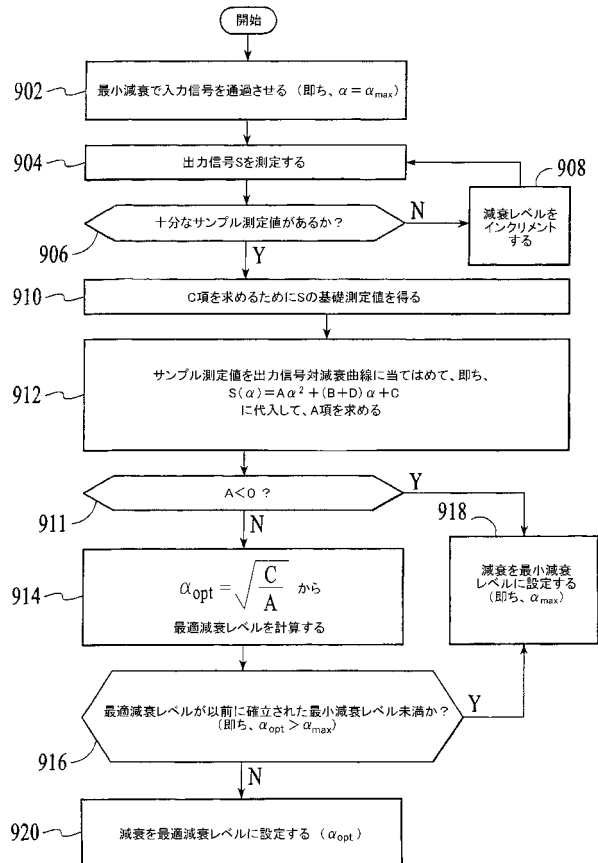
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷ F I テーマコード(参考)

H 0 4 B 10/142
H 0 4 B 10/152
H 0 4 B 10/18

(72)発明者 ウィリアム・イアン・マクアレキサンダー
アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 4 0 6 1 , レッドウッド・シティ , アレキサンダー・アベニュー・ 1 5 0

(72)発明者 ダグラス・エム・バネイ
アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 4 0 2 4 , ロスアルトス , クリントン・アベニュー・ 8 9 7

F ターム(参考) 2K002 AA04 AB19 BA01 BA06 DA07 GA10 HA19
5K102 AA01 AH12 KA25 KA44 MA02 MB09 MC11 MD01 MD04 MH03
MH17 MH28 PH42 PH49 PH50