

(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2005-3680

(P2005-3680A)

(43) 公開日 平成17年1月6日(2005.1.6)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G O 1 J 9/04

F 1

G O 1 J 9/04

テーマコード(参考)

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2004-164709 (P2004-164709)  
 (22) 出願日 平成16年6月2日 (2004.6.2)  
 (31) 優先権主張番号 458336  
 (32) 優先日 平成15年6月9日 (2003.6.9)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 399117121  
 アジレント・テクノロジーズ・インク  
 A G I L E N T T E C H N O L O G I E  
 S, I N C.  
 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.  
 (74) 代理人 100105913  
 弁理士 加藤 公久  
 (72) 発明者 モハン・グルナサン  
 アメリカ合衆国カリフォルニア州 サンフ  
 ランシスコ グエレロ・ストリート 136  
 1

最終頁に続く

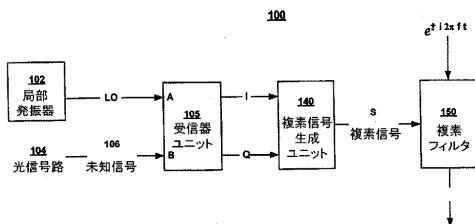
(54) 【発明の名称】位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器

## (57) 【要約】

【課題】ヘテロダイイン信号の位相を正確に取り扱うことができる光スペクトル分析器の提供

【解決手段】位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器 100 は、第1の入力信号と第2の入力信号を受信し、該第1の入力信号と該第2の入力信号の混合に基づいて少なくとも第1の出力信号と第2の出力信号と第3の出力信号を生成する光受信器であって前記混合が行なわれる光受信器 110 と、前記第1の出力信号と前記第2の出力信号と前記第3の出力信号のヘテロダイイン成分を分離する処理ユニットであって、前記ヘテロダイイン成分が第1の信号と第2の信号を含み、前記位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器により前記第1の入力信号と前記第2の入力信号の間の前記ヘテロダイイン成分の位相ダイバーシティが達成されるようにする処理ユニット 120 とを備える。

【選択図】図1A



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器であって、  
第1の入力信号と第2の入力信号を受信し、該第1の入力信号と該第2の入力信号の混合に基づいて少なくとも第1の出力信号と第2の出力信号と第3の出力信号を生成する光受信器で、前記混合が行なわれる前記光受信器と、  
前記第1の出力信号と前記第2の出力信号と前記第3の出力信号のヘテロダイイン成分を分離する処理ユニットで、前記ヘテロダイイン成分が第1の信号と第2の信号を含み、前記位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器により前記第1の入力信号と前記第2の入力信号の間の前記ヘテロダイイン成分の位相ダイバーシティが達成されるようにする処理ユニットとを備える、  
ことを特徴とする分析器。

**【請求項 2】**

前記光受信器が3入力3出力光カプラを備える、ことを特徴とする請求項1記載の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器。

**【請求項 3】**

前記光受信器が4入力4出力光カプラを備える、ことを特徴とする請求項1記載の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器。

**【請求項 4】**

前記ヘテロダイイン成分を第1の直交信号と第2の直交信号へ変換するための変換ユニットを備え、これにより前記位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器によって前記第1の入力信号と前記第2の入力信号の間の前記位相ダイバースヘテロダイイン成分が得られるようにする、ことを特徴とする請求項1記載の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器。

**【請求項 5】**

前記第2の入力信号は光局部発振器信号である、ことを特徴とする請求項1記載の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器。

**【請求項 6】**

前記第1の入力信号は第1の光入力信号であり、前記第2の入力信号は第2の光入力信号であり、前記第1の出力信号は第1の光出力信号であり、前記第2の出力信号は第2の光出力信号であり、前記第3の出力信号は第3の光出力信号である、ことを特徴とする請求項2記載の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器。

**【請求項 7】**

前記光受信器は、前記第1の光出力信号を第1の電気出力信号へ、前記第2の光出力信号を第2の電気出力信号へ、前記第3の光出力信号を第3の電気出力信号へ変換する二乗検波器ユニットをさらに備える、ことを特徴とする請求項6記載の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器。

**【請求項 8】**

前記二乗検波器ユニットが、  
前記第1の光出力信号を前記第1の電気出力信号に変換する第1のフォトダイオードと、前記第2の光出力信号を前記第2の電気出力信号へ変換する第2のフォトダイオードと、前記第3の光出力信号を前記第3の電気出力信号へ変換する第3のフォトダイオードとを備える、ことを特徴とする請求項7記載の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器。

**【請求項 9】**

前記第1の信号と前記第2の信号を濾波して周波数を分離する複素フィルタをさらに備える、ことを特徴とする請求項1記載の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器。

**【請求項 10】**

前記第1の直交信号と前記第2の直交信号を濾波して周波数を分離する複素フィルタを

さらに備える、ことを特徴とする請求項4記載の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明に従う様々な実施形態は、光スペクトル分析分野に関する。

【背景技術】

【0002】

高分解能の光学分光計（コヒーレント光スペクトル分析器としても周知）は、未知信号のスペクトルの特徴の観察に用いられる。一部の高分解能の光学分光計には、非常に精密な計測値分解能を得るべくコヒーレント光スペクトル分析の原理に基づくヘテロダイン構造系が実装されている。このヘテロダイン構造系によれば、現在の高分解能の分光計は2入力2出力光カプラを用い、既知の周波数で発振するか或いは一定の周波数範囲に亘って掃引するよう意図的に設定された局部発振器が生成する局部発振信号を未知信号に合成する。カプラの二つの出力はフォトダイオード等の非線形検出器により検出し、得られた電気信号を一方から他方を減算して所望のヘテロダイン信号を生成する。このことから、未知信号のスペクトルの特徴を得ることができる。

【0003】

一つの原理は高分解能の光学分光計を用い、波長の関数として未知信号のスペクトル振幅を抽出写像することにある。この種の計測を実行するため、局部発振器信号を異なる波長に亘って掃引し、その間に未知信号との混合に起因するヘテロダイン信号を取得する。残念なことに、現在の受信器構造系は2入力2出力光カプラに基づくものであり、ヘテロダイン信号の正確な位相を計測することが出来ない。ヘテロダイン信号の位相は走査と走査との間だけでなく走査期間中も変動するため、スペクトル計測値に振幅の不確定性が混入する。この振幅の不確定性は、低域通過フィルタを用いた中間周波（IF）受信器を用いたときに特に明白となる。さらに、ヘテロダイン信号の位相を観察出来ないことがまた、受信器を正負両方のヘテロダインビート周波数に等しく影響を及ぼす結果を招く。それ故、帯域通過受信器を使用することで位相の不安定さを低減するどんな試みも、装置の最高分解能を制限するスペクトル像の形成を招くことになる。

【0004】

ヘテロダイン信号の位相計測に伴なう問題は、正弦波関数の基本的な位相の曖昧さに由来するものである。一般に、上記ヘテロダイン信号は式1に示す一般形式を有する。

【0005】

【数1】

$$H(t) = V(t) \cos(2\pi\Delta f t + \phi(t)) \quad (1)$$

【0006】

ここで、 $f$  は局部発振器と未知信号の間の周波数差を表わし、 $\phi(t)$  はヘテロダインビート信号の相対位相を表わす。 $H(t)$  の単一の計測値では  $V(t)$ 、すなわち所望のヘテロダイン振幅を解くことは出来ず、何故なら二つの未知数  $(V(t), \phi(t))$  が存在するからである。たとえ  $V(t)$  が既知か又は時間において定数であるにしても、逆余弦関数が単一値をとらないという単純な理由から  $(2\pi\Delta f t + \phi(t))$  の位相偏角を正確に算出することは不可能である。それ故、 $H(t)$  の計測値から、相対位相  $\phi(t)$  或いは周波数差  $\Delta f$  の正負の別を正確に知ることは不可能である。さらに、ヘテロダイン信号の  $V(t)$  の振幅における変化が位相偏角の割り出しをより一層問題含みのものにしている。最終的に、二つの未知数  $V(t)$  と  $\phi(t)$  の入手には  $H(t)$  の二つの独立した同時計測値が必要になる。

【0007】

この問題は、ヘテロダイン信号  $H(t)$  がスカラー量ではなくベクトルとして表現でき

10

20

30

40

50

る場合は解決することができる。H(t)が式2に示す形をなす場合、

【0008】

【数2】

$$H(t) = V(t)e^{i(2\pi f t + \phi(t))} \quad (2)$$

【0009】

その場合は、位相偏角(2  $\pi f t + \phi(t)$ )は式3に示す如く曖昧さなく算出することができる。

【0010】

【数3】

$$\angle H(t) = \arctan\left(\frac{\text{Im}\{H(t)\}}{\text{Re}\{H(t)\}}\right) \quad (3)$$

【0011】

H(t)の実数部と虚数部の計測値が、H(t)の二元同時計測値を構成する。この位相計算の明確な性質は、H(t)を複素平面内のベクトルとして描くことで容易に理解することができる。H(t)のベクトル表現については、スカラーに対し三つの主要な利点が存在する。第1に、ヘテロダイイン周波数fの正負の別が完全に明瞭になる点である。第2に、相対位相(t)を曖昧さなく割り出すことができる点である。最後に、位相計測値がここでヘテロダイイン振幅V(t)の変化から完全に切り離される点、裏を返せば計測値V(t)がヘテロダイイン信号の位相角度における変化に影響を受けなくなる点である。本願明細書では、ベクトルのヘテロダイイン信号を生成し又はそれに作用するどんなシステムも、翻って直交ベースに分解することができ、「位相ダイバース」システムとして周知されよう。コヒーレント光スペクトル分析に関しては、位相ダイバース技法の使用がスペクトル像除去と改善振幅精度とに直接的に繋がるものである。

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

30

位相ダイバーシティの問題は、コヒーレント光通信の分野で対処されてきた。コヒーレント通信システムにおける位相ダイバース受信器の使用が、隣接データチャンネルからの漏話効果の除去等の幾つかの進歩を可能にしてきた。しかしながら、位相ダイバース受信器技術は一方でコヒーレント通信に幾つかの応用を見出してきたものの、光スペクトル分析の分野に引き継がれたものは殆どなかったのである。光スペクトル分析は時間領域ではなく周波数領域での計測に焦点を当てるため、受信器要件はしばしば時間領域通信アプリケーション内のそれらとは非常に異なるものとなる。

【課題を解決するための手段】

【0013】

40

本発明に従う様々な実施形態、すなわち位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器をここに説明する。本発明に従う一実施形態では、光学式位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器は出力信号の同相及び直交位相(例えば、実数及び虚数)ヘテロダイイン成分を分離し、これにより位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器がヘテロダイイン信号の位相ダイバーシティを達成できるようにしてある。本発明のもう一つの実施形態では、光信号のスペクトル分析用の方法が提供される。二つの光入力信号を受信し、入力信号の混合に基づいて少なくとも三つの位相ダイバース出力信号を生成する。出力信号の直交成分をこれらの位相ダイバースヘテロダイイン出力信号から分離するが、ここでこの直交成分には90度の関係にある二つの信号が含まれる。こうして、位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器は入力信号間のヘテロダイイン混合の位相ダイバーシティを達成する。

50

**【発明の効果】****【0014】**

本発明によれば、光スペクトル分析器は、入力信号間のヘテロダイン混合の位相ダイバーシティを実現することができる。これにより、光スペクトル分析器は、ヘテロダイン信号の位相を正確に取り扱うことができる。また、本発明の他の効果は、以下の説明により明らかになろう。

**【発明を実施するための最良の形態】****【0015】**

本明細書に組み込まれかつその一部を形成する添付図面は本発明に従う実施形態を図解するものであり、説明と併せ本発明原理の説明に役立つものである。

10

**【0016】**

ここで本発明に従う様々な実施形態を参照するが、添付図面に実例が図示してある。本発明は本発明に従う様々な実施形態と併せ説明するが、それらは本発明を本発明に従うこれらの実施形態に限定する意図のないことは理解されたい。これとは逆に、本発明は添付の特許請求の範囲に規定した本発明の趣旨ならびに範囲に含まれると思われる置換例や改変例や等価物を包含することを意図したものである。さらに、本発明の以下の詳細な説明中、本発明に従う様々な実施形態の完全な理解をもたらすよう様々な具体的な詳細が記載してある。しかしながら、本発明に従う実施形態はこれらの具体的な細部を用いることなく実施できることは当事者には明白となろう。他の例では、周知の方法や手順や構成要素や構造や装置は、本発明に従う実施形態の態様を不要に不明確にすることを避けるべく詳細に説明してはいない。

20

**【0017】**

本発明に従う様々な実施形態は、位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器を提供するものである。3入力3出力光カプラを用いることで、位相ダイバーシティを達成して振幅読み取りの精度と確度が改善されるようする。さらに、位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器が適当な信号処理を規定し、これにより正負の周波数像を分離し、スペクトル分解能を改善することができるようする。この種の信号処理に続き、位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器にはスペクトル振幅やチャープや波長の関数としての他の計測値を計算し表示することかその目的である計測ユニットを含めることができる。位相ダイバーシティの使用は、コヒーレント光スペクトル分析器内の振幅精度と分解能を改善し、チャープや周波数変調等の追加の計測を可能にし得る。

30

**【0018】**

図1Aは、本発明に従う一実施形態の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器100を示す線図である。位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器100は、局部発振器信号(L0)を生成して受信器ユニット105の入力端AへL0を供給する局部発振器102を備える。本発明に従う一実施形態では、局部発振器102は可調整外部キャビティレーザダイオード等のレーザ光源である。一実施形態では、L0を連続的に掃引する。光信号路104が受信器ユニット105の入力端Bに結合してあって入力信号を入力端Bへ供給する。本発明に従う一実施形態では、入力信号は未知信号106である。本発明に従う一実施形態では、未知信号106は光回路網から出力される。一実施形態では、位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器100はファイバをベースにしたものである。

40

**【0019】**

図1Bを参照するに、受信器ユニット105が本発明に従う一実施形態として図示してある。受信器ユニット105は、光受信器110と処理ユニット120と変換ユニット125で構成してある。光受信器110は、二つの入力端A,Bと少なくとも三つの出力端K,L,Mを備える。本発明の一実施形態では、光受信器110は三つの出力信号を生成する3入力3出力光カプラ(例えば、図2の光カプラ210)を備える。出力信号K,L,Mは、L0と未知信号106とに基づいて生成される。本発明に従う実施形態が3入力3出力光カプラ以外の光カプラを用いて実装できることは理解されたい。本発明に従う一

50

実施形態では、4入力4出力光カプラを用いる。本発明に従う別の実施形態では、一連の2入力2出力光カプラを用いて少なくとも三つの出力信号を生成する。アプリケーション目的に合わせ、3入力3出力光カプラで構成した本発明の実施形態を説明する。しかしながら、当業者には異なる光カプラ（例えば、4入力4出力光カプラ）を用いて本発明の実装の仕方が了解される筈であることは理解されたい。

【0020】

図2は、本発明に従う実施形態の光受信器110を示す線図である。光受信器110は、3入力3出力光カプラ210と検出ユニット220で構成してある。3入力3出力光カプラ210は二つの光入力端A、Bと三つの光出力端D、E、Fを備える。例示目的に入力端Cは非接続とし、どんな信号も受信しない状態に図示してある。二つの光入力端だけが存在し、入力端Cが不要であることは理解されたい。本発明に従う一実施形態では、3入力3出力光カプラ210は入力端Aにおいて局部発振信号LOを、また入力端Bにおいて信号路104からの光入力信号を受信する。本発明に従う一実施形態では、光入力信号は未知信号106である。一実施形態では、 $3 \times 3$ 光カプラ210は光ファイバカプラである。

【0021】

本発明に従う一実施形態では、3入力3出力光カプラ210は各出力に対し1/3の分割比を有する平衡光カプラである。3入力3出力光カプラ210は、入力端A、Bにて受信した光信号を合成し、合算した光信号を光出力端D、E、Fを介して出力する。より詳しくは、光受信器110の各入力端A、Bに提示されるLO及び未知信号106の各一部が各光出力端D、E、Fへ分配されることになる。分配された信号部分は、3入力3出力光カプラ210の分割比に依存しよう。本発明に従う一実施形態では、光カプラ210は未知信号106とLOを合成したものを等しく1/3ずつ光出力端D、E、Fへ供給する。しかしながら、3入力3出力光カプラ210にはこれに限定はしないが例えば25/25/50の分割比等の異なる分割比をもたせることもできることは理解されたい。

【0022】

検出器ユニット220には、光リード線215aを介して3入力3出力光カプラ210の光出力端Dに結合した検出器225a及び増幅器228aと、光リード線215bを介して3入力3出力光カプラ210の光出力端Eに結合した検出器225b及び増幅器228bと、光リード線215cを介して3入力3出力光カプラ210の光出力端Fに結合した検出器225c及び増幅器228cが備わっている。検出器225aは、LOの電力( $P_{LO}$ )と未知信号106の電力( $P_{unkown}$ )の和に比例する信号と、出力端Dにおける光信号に応答する電気混合（すなわち、ヘテロダインビート）信号S1を生成する。検出器225bは出力端Eにおける光信号に応答して電気混合信号S2と類似の信号を生成し、検出器225cは出力Fにおける光信号に応答して電気混合信号S3と類似の信号を生成する。より詳しくは、検出器225a～225cはそれぞれ出力端D、E、Fにおける光信号の強度に応答する。本発明に従う一実施形態では、検出器225a～225cは二乗検波応答を呈するフォトダイオードである。しかしながら、任意の非線形検出装置を使用できることは言うまでもない。フォトダイオードによりLO信号と未知信号を混合し、ヘテロダインビート（例えば、S1、S2、S3）を生ずる。

【0023】

図2を参照するに、3入力3出力光カプラ210が合算した光信号出力に応答して検出器225a～225cが生成した電気混合信号S1、S2、S3が同じ強度特性を有するも、位相が120度異なる点は理解されたい。図4Aは、本発明に従う一実施形態のヘテロダインビート周波数の相対位相角度を示すグラフ400である。グラフ400とS1、S2、S3に示す如く、検出器225a～225cにおける混合時に生成されるヘテロダイン項は位相が120度異なる。

【0024】

再び図1Bを参照するに、位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器100もまた雑音部分（例えば、 $P_{unkown}$ と $P_{LO}$ ）を廃棄し出力信号S4、S5を出力す

10

20

30

40

50

る処理ユニット120を備える。処理ユニット120はまた、K、L、Mの応答／伝達特性内のどんな不均衡或いは雑音も補償することができる。特定の状況で雑音部分は十分に小さく、処理ユニット120は雑音部分に対し責任を負うことは要求されず、K、L、Mのうちの任意の二つとして出力信号S4、S5を出力する。変換ユニット125は、S4とS5を互いに位相が90度異なる二つの直交信号へ変換する。

## 【0025】

図3は、本発明に従う実施形態の処理ユニット120と変換ユニット125を示す線図である。処理ユニット120は、合算回路(summing circuit)310、315を備える。本発明に従う別の実施形態では、雑音の減算はK、L、Mにて実行され、ここでLは共通モードチャンネルとして用いられる。どの信号K、L、Mも、共通モードチャンネルとして使用できることは理解されたい。検出器225a～225cにて検出される光電流は、未知信号106(未知信号光)とLO(LO光)の混合或いは干渉による貢献だけでなく、光受信器110を通過する光強度による電力貢献もまた含む。

## 【0026】

雑音部分(例えば、 $P_{unkn\_own}$ と $P_{LO}$ )が小さい一実施形態では、処理ユニット120には雑音の減算が不要であることは理解されたい。本実施形態では、K=S1、L=S2、M=S3である。三つの出力のうち二つだけが連続する信号処理には不可欠である。

## 【0027】

合算回路310では、LをKから減算し、式4に従い混合項 $S4 = S1 - S2$ を分離する。

## 【0028】

## 【数4】

$$K - L = S4 \propto \sqrt{P_{LO} P_{unkn\_own}} \cos(2\pi\Delta f t + \phi) \quad (4)$$

## 【0029】

ここで、 $P_{LO}$ はLOの電力を表わし、 $P_{unkn\_own}$ は未知信号106の電力を表わし、 $f$ は局部発振器周波数LOと未知信号106の間の差分を表わし、 $t$ は時間を表わし、 $\phi$ はLOと未知周波数の間の相対位相を表わす。

## 【0030】

同様に、合算回路315では、LからMを減算し、式5に従い混合項 $S5 = S2 - S3$ を分離する。

## 【0031】

## 【数5】

$$L - M = S5 \propto \sqrt{P_{LO} P_{unkn\_own}} \cos(2\pi\Delta f t + \phi + 120^\circ) \quad (5)$$

## 【0032】

ここで、 $P_{LO}$ はLOの電力を表わし、 $P_{unkn\_own}$ は未知信号106の電力を表わし、 $f$ は局部発振器周波数LOと未知信号106の間の周波数差を表わし、 $t$ は時間を表わし、 $\phi$ は位相を表わす。

## 【0033】

信号S4、S5は、そこからヘテロダイン信号の振幅と位相を割り出すことのできる電気信号である。式4、5から判るように、S4とS5は120度位相が異なり、位相ダイバースしたものとなる。振幅と位相に関する正確な計算を得るために、S4とS5を90度異なる直交信号(例えば、直交ベースに分解)へ変換することは好都合である。雑音部分が小さいために雑音の減算が不要である一実施形態では、S4 = Kであり、S5 = Lである。S4とS5をKとLとMを任意の組み合わせにできることは、理解されたい。

## 【0034】

10

30

40

50

本発明の一実施形態では、処理ユニット120は光受信器110に結合した電子回路網とし実装してある。本発明に従う別の実施形態では、処理ユニット120は信号K、L、Mを表わす信号を受信して信号S4、S5を生成することでヘテロダイン信号を分離するコンピュータ読み取り可能な媒体内に常駐するコンピュータコードとして実装される。処理ユニット120を非理想的カプラ及び/又は光検出器に対し責任を負うべく仕立てることができる。例えば、3入力3列カプラの損失が各信号路ごとに異なる場合は、処理ユニット120は減算の均衡を図るべく利得要素を含めることができる。また、例えば検出器ユニット220内の光検出器が異なる周波数応答を有する場合、処理ユニット120は減算を実行する前にチャンネルの応答を等化させるフィルタを含ませることができる。

【0035】

10

S4とS5は、図3の変換ユニット125にて受信する。変換ユニット125は、様々な出力端間に120度の位相関係を有する理想的な3入力3列カプラから信号S1、S2、S3を導出するという前提で動作する。このことは、カプラ内のエネルギー保存の結果である。変換ユニット125が非理想的なカプラに対し責任を負うよう仕立てることは理解されたい。例えば、3入力3列カプラの位相関係が厳密に120度でない場合、その差分に対し責任を負うよう3の平方根を若干変更することができる。

【0036】

変換ユニット125は、120度異なる信号S4、S5を位相が90度異なる直交信号I、Qへ変換するよう動作する。具体的には、変換回路125は信号S4、S5を受信する。直交信号Iは、式6に示す如く、減算器320においてS4からS5を減算することで割り出される。

【0037】

【数6】

$$I = S4 - S5 \quad (6)$$

【0038】

式4、5からの項S4、S5をそれぞれ代入することで、式7に従って直交信号Iは割り出される。

【0039】

30

【数7】

$$I = S1 - 2S2 + S3 \quad (7)$$

【0040】

直交信号Qは、式8に示した如く、加算器325においてS4とS5を加算し、乗算器330においてこの和に式8に示す如く3を乗算することで割り出される。

【0041】

40

【数8】

$$Q = \sqrt{3} (S4 + S5) \quad (8)$$

【0042】

式4、5からの項S4、S5をそれぞれ代入することで、式9に従って直交信号Qは割り出される。

【0043】

## 【数9】

$$Q = \sqrt{3} (S1 - S3) \quad (9)$$

## 【0044】

本発明に従う一実施形態では、変換ユニット125は処理ユニット120に結合した電子回路として実装する。本発明に従う別の実施形態では、変換ユニットは入力信号S4、S5を直交値へ変換するコンピュータ可読媒体内に常駐するコンピュータコードとして実装される。

10

## 【0045】

変換ユニット125が本発明に従う特定の実施形態に必要でないことは理解されたい。例えば、3入力3出力光カプラではなく4入力4出力光カプラを用いる場合は、ヘテロダイン項は90度の倍数だけ互いに食い違うことになる。かくの如く、変換ユニット125の機能は処理ユニット120にて遂行される。

## 【0046】

図4Bは、本発明に従う一実施形態の直交信号I、Qの相対位相を示すグラフ450である。グラフ450に示す如く、IとQ、すなわち位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器100が生成する直交信号は位相が90度異なる。I、Qは位相ダイバースしているため、位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器100の振幅精度は改善される。さらに、適切な信号処理が正負の周波数像の分離を可能にし、それによってスペクトル分解能を改善する。

20

## 【0047】

再び図1Aを参照するに、位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器100はさらに、直交信号I、Qからなる複素信号を生成する複素信号生成ユニット140を備える。複素信号Sは、式10に示す如く直交信号I、Qからなるものとして規定することができる。

## 【0048】

## 【数10】

$$S = I + jQ = (\text{Amplitude})e^{i(2\pi ft + \phi)} \propto \sqrt{P_{LO}P_{unknown}} e^{i(2\pi ft + \phi)} \quad (10)$$

30

## 【0049】

複素信号Sは、構成により決定された振幅(Amplitude)と位相 $\phi$ を有する。この振幅は未知信号電力( $P_{unknown}$ )に比例しており、位相 $\phi$ の独立した値のその正確な計測を可能にする。これは、コヒーレント光スペクトル分析器内に位相ダイバース受信器を使用することの利点の一つである。さらに、複素信号Sは複素フィルタ150により濾波し、必要とされる負及び/又は正の周波数を分離する。本発明に従う一実施形態では、複素フィルタ150は $e^{\pm i 2 \pi f t}$ に基づく或る適当な窓付き複素インパルス応答(windowed complex impulse response)に従って構成し、負及び/又は正の周波数を分離する。ここで、fは所望の濾波中心周波数である。同相成分と直交成分を受信器ユニット105により濾波する場合、生成する負と正の像は複素フィルタ150とは個別に分離することができる。このことがスペクトル分解能を改善し、チャーブや周波数変調(FM)計測を可能にする等の他の利点を有することができる。

40

## 【0050】

スペクトル分析は通常、信号の特定特性分析用の狭帯域光受信器の使用に依存する。対照的に、コヒーレント通信はコヒーレント通信に必要なチャンネルの特定に広帯域動作を必要とする。それ故、コヒーレント通信に用いる位相ダイバース受信器はデータチャンネルの時間領域応答に関連しており、信号のスペクトル領域に直接関連することはない。特に、コヒーレント通信に用いる位相ダイバース受信器の広帯域動作要件は通常はスペクト

50

ル分析に用いる狭帯域動作には適用出来ないものである。狭帯域受信器用の性能要件は、広帯域通信システムに関する要件とは異なる。

【0051】

図5は、本発明に従う一実施形態の光信号分析方法を例示するフローチャートである。本発明に従う一実施形態では、方法500は位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器（例えば、図1Aの位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器100）にて実行される。方法500に特定のブロックを開示したが、この種のブロックは例示的なものである。すなわち、本発明の実施形態は様々な他のブロック或いは図5に引用したブロックの変形例の実行によく適合するものである。

【0052】

方法500のブロック510において、第1の光入力信号を受信する。本発明に従う一実施形態では、第1の光入力信号は局部発振信号LO（例えば、図1Aの局部発振器信号LO）である。本発明の一実施形態では、可調整外部キャビティレーザダイオード等のレーザ光源から局部発振器信号LOを受信する。

【0053】

ブロック520において、第2の光入力信号を受信する。本発明に従う一実施形態では、第2の光入力信号は未知信号（例えば、図1Aの未知信号106）である。本発明に従う一実施形態では、未知信号106は光回路網からの光出力信号である。

【0054】

ブロック530において、第1の光入力信号と第2の光入力信号に基づいて少なくとも第1の出力信号と第2の出力信号と第3の出力信号を生成する。光カプラの特性に応じて任意数の出力信号を生成できることは、理解されてしまうべきである。本発明に従う一実施形態では、光カプラは3入力3出力光カプラである。本発明に従う別の実施形態では、光カプラは出力信号が90度の倍数だけ位相が異なる4入力4出力光カプラである。

【0055】

ブロック540において、第1の出力信号と第2の出力信号と第3の出力信号からヘテロダイン信号を分離する。本発明に従う一実施形態では、非ヘテロダイン信号は第1の出力信号から第2の出力信号を減算するとともに第2の出力信号から第3の出力信号を減算することで取り除かれる。ヘテロダイン信号が位相ダイバースしていることは、理解されたい。出力信号が殆ど雑音をもたない別の実施形態では、三つの出力のうち二つを用いてヘテロダイン信号を分離することができる。一実施形態では、振幅と位相を簡単に割り出すべく、ヘテロダイン信号は直交ベースで分解することができる。

【0056】

ブロック550では、ヘテロダイン信号は第1の直交信号と第2の直交信号を構成することで直交ベースへ変換される。第1の直交信号と第2の直交信号は90度位相が異なり、これにより元々のヘテロダインビートの位相ダイバーシティは位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器により直交ベースへ分解される。本発明に従う様々な実施形態ではステップ550が必要なこととは、理解されたい。例えば、光カプラが4入力4出力光カプラである場合は、ブロック540において割り出したヘテロダイン信号は位相が90度変化し、それらの直交ベースをもたらすであろう。

【0057】

ブロック560において、第1の直交信号と第2の直交信号に基づいてヘテロダイン信号の振幅と位相を割り出す。ブロック560が随意選択的であることは、理解されたい。

【0058】

ブロック570において、複素フィルタを用いて第1の直交信号と第2の直交信号を濾波し、（例えば、帯域濾波構造系に）必要になる負及び/又は正の周波数を分離する。一実施形態では、複素フィルタ150が $e^{\pm i^2 f t}$ に従って濾波し、負及び/又は正の周波数を分離する。

【0059】

本発明に従う様々な実施形態、すなわち位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析

10

20

30

40

50

器が提供される。3入力3出力光カプラを実装することで位相ダイバースが達成され、それによって振幅読み取りの精度と確度が改善される。さらにまた、正及び負の周波数像は適切な信号処理、すなわちスペクトル分解能を改善することで分離することができる。さらに、3入力3出力光カプラの実装が光受信器の設計により大きな柔軟性をもたらす。

#### 【0060】

本発明に従う様々な実施形態、すなわち位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器を斯く説明してきた。本発明を本発明に従う特定の実施形態にて説明してきたが、本発明はこの種の本発明に従う実施形態により限定されるものとして解釈してはならず、特許請求の範囲に従って解釈しなければならない。念のため、以下に、本発明の実施態様を例示列挙する。

#### 【0061】

##### (実施態様1)

位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器(100)であって、

第1の入力信号と第2の入力信号を受信し、該第1の入力信号と該第2の入力信号の混合に基づいて少なくとも第1の出力信号と第2の出力信号と第3の出力信号を生成する光受信器(110)で、前記混合が行なわれる前記光受信器と、

前記第1の出力信号と前記第2の出力信号と前記第3の出力信号のヘテロダイン成分を分離する処理ユニット(120)で、前記ヘテロダイン成分が第1の信号と第2の信号を含み、前記位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器により前記第1の入力信号と前記第2の入力信号の間の前記ヘテロダイン成分の位相ダイバースが達成されるようとする処理ユニットとを備える、

ことを特徴とする分析器。

#### 【0062】

##### (実施態様2)

前記光受信器(110)が3入力3出力光カプラ(210)を備える、ことを特徴とする実施態様1記載の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器(100)。

#### 【0063】

##### (実施態様3)

前記光受信器(110)が4入力4出力光カプラを備える、ことを特徴とする実施態様1記載の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器(100)。

#### 【0064】

##### (実施態様4)

前記ヘテロダイン成分を第1の直交信号と第2の直交信号へ変換するための変換ユニット(125)を備え、これにより前記位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器(100)によって前記第1の入力信号と前記第2の入力信号の間の前記位相ダイバースヘテロダイン成分が得られるようにする、ことを特徴とする実施態様1記載の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器(100)。

#### 【0065】

##### (実施態様5)

前記第2の入力信号は光局部発振器信号である、ことを特徴とする実施態様1記載の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器(100)。

#### 【0066】

##### (実施態様6)

前記第1の入力信号は第1の光入力信号であり、前記第2の入力信号は第2の光入力信号であり、前記第1の出力信号は第1の光出力信号であり、前記第2の出力信号は第2の光出力信号であり、前記第3の出力信号は第3の光出力信号である、ことを特徴とする実施態様2記載の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器(100)。

#### 【0067】

##### (実施態様7)

前記光受信器(110)は、前記第1の光出力信号を第1の電気出力信号へ、前記第2

10

20

30

40

50

の光出力信号を第2の電気出力信号へ、前記第3の光出力信号を第3の電気出力信号へ変換する二乗検波器ユニット(220)をさらに備える、ことを特徴とする実施態様6記載の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器(100)。

## 【0068】

(実施態様8)

前記二乗検波器ユニット(220)が、

前記第1の出力信号を前記第1の光電気出力信号に変換する第1のフォトダイオード(225a)と、前記第2の光出力信号を前記第2の電気出力信号へ変換する第2のフォトダイオード(225b)と、前記第3の光出力を前記第3の電気出力信号へ変換する第3のフォトダイオード(225c)とを備える、ことを特徴とする実施態様7記載の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器(100)。

## 【0069】

(実施態様9)

前記第1の信号と前記第2の信号を濾波して周波数を分離する複素フィルタ(150)をさらに備える、ことを特徴とする実施態様1記載の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器(100)。

## 【0070】

(実施態様10)

前記第1の直交信号と前記第2の直交信号を濾波して周波数を分離する複素フィルタ(150)をさらに備える、ことを特徴とする実施態様4記載の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器(100)。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0071】

【図1A】本発明に従う一実施形態の位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器を示す線図である。

【図1B】本発明に従う一実施形態の受信器ユニットを示す線図である。

【図2】本発明に従う一実施形態の3入力3出力光カプラから成る光受信器を示す線図である。

【図3】本発明の一実施形態に従う処理ユニットと変換ユニットを示す線図である。

【図4A】本発明の一実施形態に従うヘテロダイイン項の相対位相を示すグラフである。

【図4B】図4Bは本発明に従う一実施形態の直交信号の相対位相を示すグラフである。

【図5】本発明に従う一実施形態の光信号分析方法を示すフローチャートである。

## 【符号の説明】

## 【0072】

100 位相ダイバースコヒーレント光スペクトル分析器

102 局部発振器

104 光信号路

105 受信器ユニット

106 未知信号

110 光受信器

40

120 処理ユニット

125 變換ユニット

140 複素信号生成ユニット

150 複素フィルタ

210 光カプラ

215a、215b、215c 光リード線

220 検出ユニット

225a、225b、225c 検出器

228a、228b、228c 増幅器

310、315 合算回路

50

3 2 0 減算器  
3 2 5 加算器  
3 3 0 乗算器  
4 0 0 、 4 5 0 グラフ

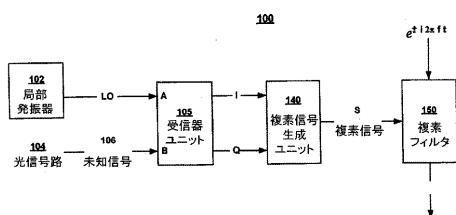
10

20

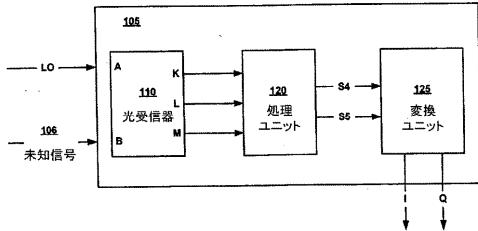
30

40

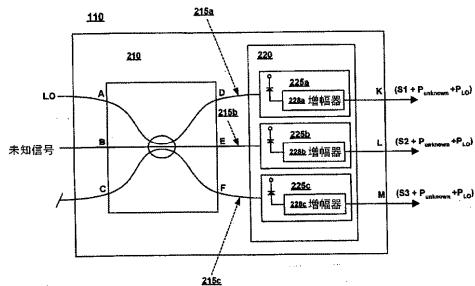
【図1A】



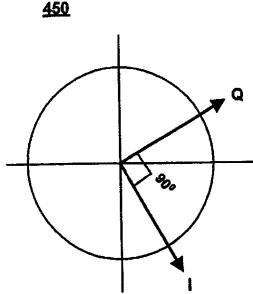
【図1B】



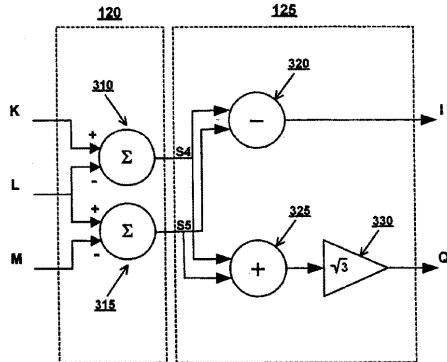
【図2】



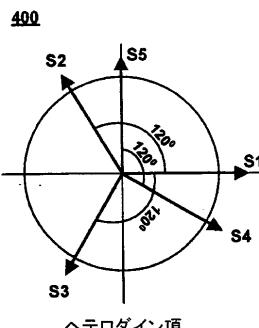
【図4B】

直交信号  
の相対位相

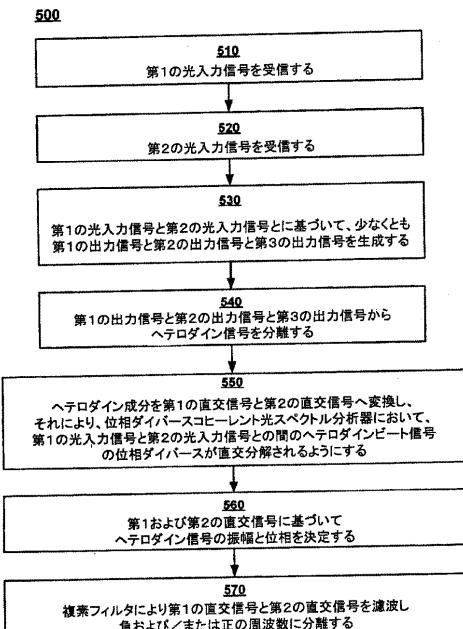
【図3】



【図4A】

ヘテロダイーン項  
の相対位相

【図5】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ウィリアム・アイ・マクアレキサンダー  
アメリカ合衆国カリフォルニア州 レッドウッド・シティ アレキサンダー・アベニュー150  
(72)発明者 リチャード・ディ・ペリング  
アメリカ合衆国カリフォルニア州 マウンテンビュー アーネスティン・レーン1474

【要約の続き】