

(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2005-99025

(P2005-99025A)

(43) 公開日 平成17年4月14日(2005.4.14)

(51) Int.Cl.⁷

G01J 9/04

G02F 2/00

F 1

G01J 9/04

G02F 2/00

テーマコード(参考)

2K002

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2004-277119 (P2004-277119)
 (22) 出願日 平成16年9月24日 (2004.9.24)
 (31) 優先権主張番号 10/670,538
 (32) 優先日 平成15年9月25日 (2003.9.25)
 (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
 AGILENT TECHNOLOGIE
 S, 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.
 (74) 代理人 110000246
 特許業務法人才カダ・フシミ・ヒラノ

最終頁に続く

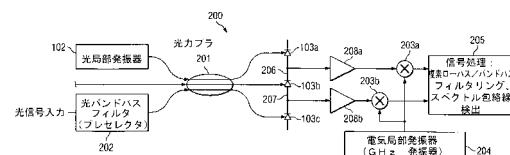
(54) 【発明の名称】光信号のスペクトルコンテンツを求めるシステムおよび方法

(57) 【要約】

【課題】光信号のスペクトルコンテンツを求めるシステムを提供すること。

【解決手段】一実施形態によると、光信号のスペクトルコンテンツを求める方法である。特に、光信号と光局部発信器信号が、 $N \times N$ の光カプラ (N は 2 より大きい)などの光混成器 (201) の入力に提供される。光信号と光局部発信器信号を混合した光混成器からの多種位相成分が光検出される。バンドパスフィルタ (208) は、相対強度雑音 (RIN) を取り除くか減少させるために使用される。フィルタリングされた信号は、電気光局部発信器信号と混合される。多種位相のヘテロダイン信号の直交表現は、混合された信号から生成される。直交表現から負のイメージおよび正のイメージは分離される。光信号のスペクトルコンテンツは、上記イメージから求められる。

【選択図】図 2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光信号のスペクトルコンテンツを求めるシステムであって、
前記光信号と光局部発振器の信号とを合成し、多種位相成分を生成する光混成器と、
前記光信号と前記光局部発振器の信号とを混合した前記多種位相成分によって個々に照射される複数の光検出器と、
前記複数の光検出器からの信号をバンドパスフィルタリングし、前記光信号の低強度の雑音領域と一致するフィルタリングした信号を生成する複数のバンドパスフィルタと、
前記複数のバンドパスフィルタからの前記フィルタリングした信号を電気局部発信器の信号に混合する複数のミキサと、
前記複数のミキサからの信号を利用して前記スペクトルコンテンツを求める信号処理モジュールと、
を備えるシステム。

【請求項 2】

前記信号処理モジュールは、正のイメージと負のイメージとを分離し、前記負のイメージおよび前記正のイメージのいずれか、または両方から前記スペクトルコンテンツを求める請求項 1 記載のシステム。

【請求項 3】

前記光局部発振器の信号を生成するレーザー源をさらに備える請求項 1 記載のシステム。
。

【請求項 4】

前記複数のミキサが動作可能となる前に、前記複数の光検出器からの信号を増幅する複数の増幅器をさらに備える請求項 1 記載のシステム。

【請求項 5】

前記複数の光検出器は、直列配列で接続されており、前記複数のバンドパスフィルタのそれぞれは、前記複数の光検出器の中の 2 つの個々の光検出器間におけるそれぞれのノードに接続されている請求項 1 記載のシステム。

【請求項 6】

光信号のスペクトルコンテンツを求める方法であって、
前記光信号と光局部発振器の信号とを光混成器の入力に供給して多種位相成分を生成するステップと、
前記光信号を前記光局部発信器の信号とを混合した前記多種位相成分を光検出するステップと、
前記光検出した信号をバンドパスフィルタリングし、前記光信号の低強度の雑音領域に対応するフィルタリングした信号を生成するステップと、
前記フィルタリングした信号を電気局部発信器の信号に混合するステップと、
前記混合するステップの信号を利用して前記光信号のスペクトルコンテンツを求めるステップと、
を有する方法。

【請求項 7】

前記求めるステップは、
前記混合するステップの信号から直交信号表現を生成するステップと、
前記直交信号表現から負のイメージと正のイメージとを分離するステップと、
を有している請求項 6 記載の方法。

【請求項 8】

前記混合するステップを行う前に、前記光検出した信号を増幅するステップをさらに有する請求項 6 記載の方法。

【請求項 9】

前記光検出するステップは、直列配列で接続された複数のフォトダイオードによって行われ、前記バンドパスフィルタリングすることは、前記複数のフォトダイオードの中の 2
10 50

つの個々のフォトダイオード間におけるノードからそれぞれ受信される信号をフィルタリングすることである請求項 6 記載の方法。

【請求項 10】

前記光混成器は、 $N \times N$ 光カプラ（ここで、 $N > 2$ ）である請求項 6 記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光信号のスペクトルコンテンツを求めるシステムおよび方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

ヘテロダイン検出法とは、受信信号に局部発振器信号を混合し、さらなる処理のために中間周波数 (intermediate frequency : IF) を生成する検出法を意味している。ヘテロダイン光スペクトル分析の一例については、非特許文献 1 に記述されている。図 1 は、この説明による設計に基づいたコヒーレント光スペクトルアナライザ 100 を示している。分析対象の光信号 ($E_s(t)$ と表記されているもの) を 2×2 光カプラ 101 の 1 つの入力ファイバに供給する。局部発振器 102 によって、局部発振器信号 ($E_{L_o}(t)$ と表記されているもの) を光カプラ 101 のもう 1 つの入力ファイバに供給する。これらの光信号 ($E_s(t)$ および $E_{L_o}(t)$) を光カプラ 101 によって重ね合わせる。この光カプラ 101 の出力信号 (それぞれ $E_A(t)$ および $E_B(t)$ と表記されているもの) を利用し、個々の光検出器 103a および 103b (例 : フォトダイオード) を照射する。相互レジスタンス (transresistance) 増幅器 104a および 104b によって増幅を実行する。そして、コンバイナ 105 により、相互レジスタンス増幅器 104 の一方の出力をもう一方の相互レジスタンス増幅器 104 から減算する。

【0003】

ヘテロダイン信号は、 $A(t) \cos(2\pi f t + \phi(t))$ によって与えられる。ここで、 A はヘテロダイン振幅、 f はヘテロダインビート周波数、 ϕ はヘテロダイン位相である。ヘテロダイン振幅 (A) は、局部発振器のパワーと光信号のパワーに関連している。ヘテロダインビート周波数 (f) は、光信号の周波数と局部発振器の周波数間ににおける周波数の瞬間的な差によって与えられる。同様に、ヘテロダイン位相 (ϕ) は、光信号の位相と局部発振器の位相間ににおける位相の瞬間的な差によって与えられるものである。

【非特許文献 1】 Baney 他著、「IEEE Photonics Technology Letters」 14 (3) (2002 年 3 月)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明は、光信号のスペクトルコンテンツを求めるシステムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明による実施例は、光信号のヘテロダイン変換を使用して光スペクトル分析を実行する。本発明によれば、このヘテロダイン変換は、2 つの段階において有利に実行することができる。第 1 の段階において、多種位相ヘテロダイン変換を実行し、受信した光信号を多種位相の高周波数 IF 信号に変換する。この高周波数は、受信した信号の低強度の雜音領域と一致するように選定されている。第 2 の段階においては、電気的ヘテロダイン変換を実行し、高周波数の IF 信号を多種位相の低周波数 IF 信号に変換する。この低周波数は、後続の処理機構に関連する電気的処理回路の帯域幅と一致するように選定されている。そして、この低周波数の IF 信号を利用してスペクトル分析を実行する。多種位相のヘテロダイン信号を処理することにより、光信号のスペクトルコンテンツの直交表現を得

10

20

30

40

50

することができる。そして、この直交表現によって通常のバンドパスフィルタリングに伴う負のイメージおよび正のイメージをフィルタリングすることにより、スペクトル分析の分解能を改善することができる。さらには、スペクトル分析において、初期の混合周波数が、強度雑音が小さい高周波数になっているため、光レシーバ内における均衡化の要件が格段に緩和される。

【0006】

以上の内容は、以下の詳細な説明を十分に理解できるように、本発明による実施例の特徴と技術的な利点について、広範に概説したものである。本発明の請求項の主題を構成するさらなる特徴および利点については、以下の節において説明することとする。尚、当業者であれば、同一の目的を実現するべくその他の構造を変更または設計するための基礎として、これらの開示される概念および特定の実施例を容易に利用可能であることを理解するであろう。また、当業者であれば、このような等価な構造が、添付の請求項に記述されている本発明による実施例の精神および範囲を逸脱しないことをも理解するであろう。さらなる目的および利点、並びに、構成および動作方法の両方に関する本発明による実施例の特性を表すと考えられる特徴については、添付図面との関連で、以下の詳細な説明を参照することにより、十分に理解されよう。但し、これらの図面のそれぞれは、例示および説明を目的として提供されているものに過ぎず、本発明による実施例の限界を定義することを意図するものではないことを明確に理解されたい。

【発明を実施するための最良の形態】

【0007】

本発明による実施例を十分に理解するために、添付の図面との関連で、以下の説明を参考されたい。

【0008】

図2は、光信号のヘテロダイン変換を使用して光スペクトル分析を行うシステム200を示している。システム200は、有利なことに、2つの段階によってヘテロダイン変換を実行する。第1の段階においては、多種位相ヘテロダイン変換を実行し、受信した光信号を多種位相の高周波数IF信号に変換する。この高いIFは、最小強度の雑音寄与部分に一致するように選定されている。具体的には、この高いIFは、分析対象の信号内におけるいすれか2つの成分のビートを上回るように選択される。高いIFをこのように選択することにより、相対強度雑音(Relative Intensity Noise:RIN)を除去することができる。そして、第2の段階において、電気的ヘテロダイン変換を実行し、この高周波数のIF信号を多種位相の低周波数IF信号に変換する。この低いIFにより、電気信号を信号処理ブロック205の処理速度と一致する周波数範囲にダウンコンバージョンすることが可能になる。この多種位相の低周波数IF信号を利用してスペクトル分析を行う。

【0009】

図2に示されているように、受信した光信号をN×N光カプラに供給する。ここで、N>2である。この光カプラ201への供給の前に、光信号を光バンドパスフィルタ202に供給することもできる。この光バンドパスフィルタ202は、調整可能な狭帯域プリセレクタフィルタであってよい。光バンドパスフィルタ202は、RINに寄与し得る受信光信号の中の不要部分を除去するように機能する。尚、この光バンドパスフィルタ202は、特定の用途においては、必要に応じて省略することができる。局部発振器102(例:適切な調整可能レーザ)から、N×N光カプラ201の別の入力に、調節可能な局部発振器信号を供給する。N×N光カプラ201は、これらの光の領域を重ね合わせ、対応するN個の出力を供給する。尚、図2には、N×N光カプラ201が示されているが(ここで、N>2)、その他の適切な構造を利用することも可能である。例えば、2×2光カプラのネットワークを利用して局部発振器信号を分析対象の信号と結合することができる。または、この代わりに、自由空間光要素(例:ビームスプリッタ)を含むその他の光混成器を利用し、所望の位相ダイバーシティを生成することもできる。

【0010】

N×Nカプラ201からのそれぞれの出力を利用し、個々の光検出器(103a~10

10

20

30

40

50

3 c として示されているもの)を照射する。これらの光検出器 103a ~ 103c は、フォトダイオードとして実装可能である。それぞれの光検出器 103 は、その個々の入射光信号を対応する電気信号に変換する。また、一実施例においては、光検出器 103a ~ 103c は、直列に構成されている。この光検出器 103a ~ 103c の直列構成により、中間ノード 206 および 207 が形成される。ラジオ周波数 (Radio Frequency :RF) フィルタ / 増幅器 208a および 208b により、十分に高い周波数においてバンドパスフィルタリングを実行し、RIN 雑音を除去する。RIN 雑音は、信号スペクトル自体の内部の様々なスペクトル成分のヘテロダインビーティングによって生じるものである。高周波の RIN は、大きな周波数の分離を有する信号成分間ににおけるビーティングによるものと考えることができる。RIN 周波数の範囲は、最終的に信号のスペクトル幅によって制限される。この RF フィルタ / 増幅器 208a および 208b によって生成されるフィルタリングされた信号は、分析対象の信号に関連する最小強度雑音領域と一致している。これは、フィルタリングの実際の中心周波数を未知の信号の有効なスペクトル幅よりも大きくする必要があることを意味している。RF フィルタ / 増幅器 208a および 208b は、206 および 207 に存在する電圧の増幅をも実行する。この RF フィルタ / 増幅器 208a および 208b からの信号は、高周波数の IF 信号である。

10

【0011】

RF フィルタ / 増幅器 208a および 208b からの信号を電気 LO 204 からの電気 LO 信号と混合する。本発明による実施例においては、RF ミキサ 203a および 203b は、イメージ排除ミキサとして実装可能である。ミキサ 203a および 203b は、電気的なヘテロダイン変換を実行し、高周波数の IF 信号を相対的に低い周波数の IF 信号にダウンコンバージョンする。第 1 段階の変換における高周波数成分が、低周波数成分を使用した場合に検出される強度雑音の影響を受けないため、これは有利である。すなわち、この第 2 段階のヘテロダイン変換により、強度雑音を有していないヘテロダイン成分を信号処理ブロック 205 と互換性を有する低周波数信号にマッピングすることができる。この結果、光検出器 103 の強度雑音除去(均衡化)要件が大幅に緩和されることになる。

20

【0012】

信号処理ブロック 205 は、スペクトル分析を実行可能である。この信号処理ブロック 205 は、適切なアナログ回路を利用して実装することができる。または、この代わりに、信号処理プロセッサ 205 は、A/D 変換構造、デジタル信号プロセッサ、および/または適切な実行可能命令を利用して実装することもできる。多種位相の低周波数 IF 信号からヘテロダイン振幅およびヘテロダイン位相を判定可能であるため、信号処理ブロック 205 は、スペクトル包絡の検出を実行することができる。さらには、信号処理ブロック 205 は、RF フィルタ / 増幅器 208 内に存在するフィルタにより、正のイメージと負のイメージとを分離することができる。適切なスペクトルの掃引において、これらのイメージを分離することにより、スペクトル分析の分解能を向上させることができる。

30

【0013】

従来技術(図 1)においては、ヘテロダイン信号のスカラー計測値を使用している。前述のように、ヘテロダイン信号は、 $A(t) \cos(2\pi f t + \phi(t))$ によって与えられる。しかしながら、2つの未知数(即ち、ヘテロダイン振幅($A(t)$)およびヘテロダイン位相($\phi(t)$))が存在しているため、ヘテロダイン信号の単一のスカラー計測値によってヘテロダイン振幅($A(t)$)を解明することはできない。また、 $A(t)$ が判明しているか、または、時間的に一定であると仮定した場合にも、アークコサイン関数が単一の値を取らないため、ヘテロダイン位相($\phi(t)$)を 100% 確実に求めることはできない。従って、ヘテロダイン信号の単一の計測値から、相対位相($\phi(t)$)や、周波数の差(f)が正であるか負であるかを確実に知ることはできない。さらには、ヘテロダイン信号の振幅の変動により、この位相変数を求めるることはより不確かなものになる。

40

【0014】

50

本発明による実施例は、これら 2 つの未知数（ヘテロダイイン振幅（ $A(t)$ ）およびヘテロダイイン位相（ $\phi(t)$ ）を得るためにヘテロダイイン信号の 2 つの独立した計測を同時に実現することにより、これらの問題点を克服する。具体的には、本発明による実施例において、ヘテロダイイン信号を $A(t) e^{i(2f_t + \phi(t))}$ という形態のベクトル量として表現する。ヘテロダイイン信号の位相項（ $2f_t + \phi(t)$ ）は、 $\arctan\{\operatorname{Im}\{H(t)\} / \operatorname{Re}\{H(t)\}$ （ここで、 $H(t)$ はベクトルヘテロダイイン信号を表している）により、曖昧さなしに、算出可能である。従って、このヘテロダイイン信号の実数および虚数成分が、同時に計測される成分を構成している。この位相演算の明白な特性については、図 4 に示されているように、複素平面上に、 $H(t)$ をベクトルとして描くことにより、理解することができる。同相成分（「I」成分）と直交成分（「Q」成分）が、ベクトル空間 400 の実軸および虚数軸を非自明に張っている。

【0015】

ヘテロダイイン信号のベクトル表現は、スカラー表現に比べて、3 つの主要な利点を有している。第 1 に、ヘテロダイイン周波数（ f ）が正であるか負であるかが明確になる。第 2 に、相対位相（ $\phi(t)$ ）を曖昧さなしに求めることができる。最後に、位相の計測が、ヘテロダイイン振幅（ $A(t)$ ）の変動から完全に切り離されており、同様に、ヘテロダイイン振幅（ $A(t)$ ）も、相対位相（ $\phi(t)$ ）の変動から独立している。従って、実数および虚数軸を非自明に張っている複数の信号成分を利用してヘテロダイイン信号を生成またはこれにその他の処理を施すシステムまたは方法は、多種位相の信号成分を生成または処理するものである。

【0016】

図 3 A は、ヘテロダイイン信号の直交表現の構築の説明を容易にするための 3×3 光カプラ 300 を示している。具体的には、複素信号 S は、 $I + iQ$ と表すことが可能であり、ここで、 I は、同相成分であり、 Q は、直交成分である。直交信号（ S ）は、 $S = (A \sin \phi) e^{i(2f_t + \phi)} (P_{LO} P_{unkown})^{1/2} e^{i(2f_t + \phi)}$ のように、ヘテロダイイン信号と関係する。ここで、 P_{LO} は、局部発振器のパワーであり、 P_{unkown} は、分析対象の信号のパワーである。複素信号 S は、その構造により、既定の振幅および位相を有している。振幅は、未知の信号パワー（ P_{unkown} ）と関連しており、これにより、直交信号の位相の値とは無関係に、未知の信号パワーを正確に計測することが可能である。

【0017】

直交信号を構築するべく、図 3 A に示されているように、光カプラ 300 は、3 つの入力（301 ~ 303 と表記されているもの）を含んでいる。入力 301 は、分析対象の光信号を受信する。入力 303 は、局部発振器信号を受信する。この 3×3 光カプラ 300 の出力 304 ~ 306 からの信号 E_1 ~ E_3 を利用し、個々の光検出器 103a ~ 103c を照射する。そして、この結果得られる光電流に対して、 P_1 ~ P_3 というラベルを付加する。 3×3 光カプラ 300 が理想カプラであると仮定すると、信号 E_1 ~ E_3 および P_1 ~ P_3 は、次の式（1）および（2）によって与えられ、ここで、 R は、光検出器 103 の応答特性である。

【数1】

$$(1) \quad \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix} = 1/\sqrt{3} \begin{bmatrix} 1 & e^{i\pi/3} & e^{-i2\pi/3} \\ e^{i\pi/3} & 1 & e^{i\pi/3} \\ e^{-i2\pi/3} & e^{i\pi/3} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_S e^{i(w_s t + \theta_s)} \\ 0 \\ E_{LO} e^{i(w_{LO} t + \theta_{LO})} \end{bmatrix}; \text{ and}$$

$$(2) \quad \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} RE_1^* E_1 \\ RE_2^* E_2 \\ RE_3^* E_3 \end{bmatrix},$$

【0018】

10

20

30

40

50

位相ダイバーシティ（実数および虚数軸を非自明に張っている複数の信号成分を有している）を提供すると共に、 P_2 をコモンモードチャネルとして利用することにより、3つのヘテロダイン信号 $P_1 \sim P_3$ を、直交表現に変換することができる。例えば、図3Bのブロック350を組み合わせることにより、 $(P_1 - P_3)$ からIチャネルを、 $(1/3)(P_1 - 2P_2 + P_3)$ からQチャネルを生成することができる。この結果得られる直交信号 ($S = I + iQ$) は、振幅および位相情報の両方を含む複素信号である。この直交信号の構築は、 3×3 光力プラを使用する図3Aおよび図3Bに示されている信号処理に従って適合されている。当業者であれば、その他の多種位相構成において、同様の技法を利用して直交表現を生成することができよう。

【0019】

10

このヘテロダイン信号の直交表現を構築することにより、ヘテロダイン周波数 (f) が正であるか負であるかが明確になる。第2に、曖昧さなしに、相対位相 ($\phi(t)$) を求めることができる。最後に、この場合には、位相の計測は、ヘテロダイン振幅 ($A(t)$) の変動から完全に切り離されており、同様に、ヘテロダイン振幅 ($A(t)$) の計測も、相対位相 ($\phi(t)$) の変動から独立している。振幅の計測値が独立しているため、本発明による実施例は、良好な振幅再現性を示すことになる。具体的には、分析間ににおける相対位相の変動が、結果的に得られる振幅の計測値に影響を及ぼさない。さらには、直交表現を得た後に、この直交信号に複素フィルタリングを施し、正のイメージと負のイメージとを分離することができる。例えば、処理ブロック205は、正のイメージと負のイメージとを分離する適切な複素フィルタを含むことができる。具体的には、この複素フィルタは、 $e^{-2\pi f t}$ または $e^{+2\pi f t}$ に基づいた適切なウィンドウの複素インパルス応答を利用して負のイメージまたは正のイメージのいずれかを分離することにより、構築することができる。

20

【0020】

20

図3Bの構成は、読者の利便のために説明を簡略化するべく、図2に示されている構成とは多少異なっている。具体的には、図3Bにおいては、信号 $P_1 \sim P_3$ のそれぞれの信号を個別に処理するように示されている。しかしながら、図2には、「完全な(Head-to-tail)」構成が示されており、ヘテロダイン変換の第1段階の高周波数のIF信号が光検出器103間のノードから供給されている。この図2に示されている構成の場合、必要とされるのは、ヘテロダイン変換の第1段階からの2つの信号経路のみであるため、有利である。この図示されている図2の「完全な」構成は、強度雑音の除去を実現するものである。ダウンコンバージョンされた代表信号からの直交信号の形成は、例えば、処理ブロック205に関連する適切なデジタル信号処理により、実行することができる。イメージを分離することにより、スペクトル分析のスペクトル分解能を改善することができる。

30

【0021】

本発明による実施例によれば、ヘテロダイン信号の振幅および相対的な位相を求めることが可能である。この結果、振幅の計測が、計測対象の信号と光局部発振器信号の相対的な位相に依存しないため、スペクトル分析の振幅再現性が大幅に改善される。さらには、バンドパスフィルタリングの結果得られる光周波数イメージが、位相ダイバーシティ特性により、排除される。さらには、本発明による実施例によれば、強度雑音が非常に小さい周波数での動作が可能である。従って、強度雑音除去の要件が大幅に緩和される。そして、この結果、光検出器における周波数応答の均衡化が緩和されることになる。

40

【0022】

以上、本発明による実施例とその利点について詳細に説明したが、添付の請求項によって定義されている本発明による実施例の精神および範囲を逸脱することなしに、これらに對して様々な変更、置換、および変形を加えることができるることを理解されたい。また、本出願の範囲を本明細書において説明した本発明による特定の実施例に限定することを意図するものでもない。当業者であれば、本開示内容から理解するように、本明細書に説明されている対応する実施例と同一の機能を実質的に実行するか、或いは、同一の結果を実質的に実現する既存の或いは将来開発されるであろうプロセス、機械、製造、事物の組成

50

、手段、方法、または段階を利用可能である。従って、添付の請求項は、これらのプロセス、機械、製造、事物の組成、手段、方法、または段階をその範囲に包含することを意図するものである。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】既存の設計によるコヒーレント光スペクトルアナライザ。

【図2】本発明による実施例における光信号のヘテロダイン変換を使用して光スペクトル分析を実行するシステム。

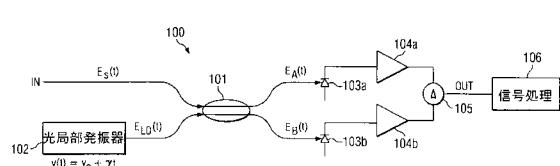
【図3A】本発明の実施例によるスペクトル分析の実行の説明を容易にするための3×3光カプラ。

10

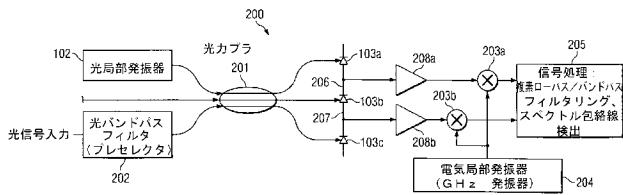
【図3B】本発明の実施例によるスペクトル分析の実行を容易にする図3Aに示されている3×3光カプラから直交信号を生成するための合成構造。

【図4】ヘテロダイン信号の複素平面表現。

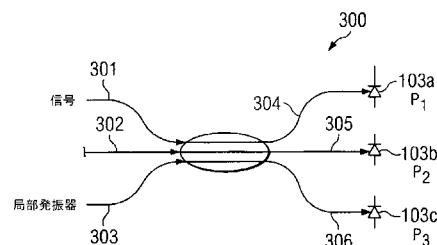
【図1】



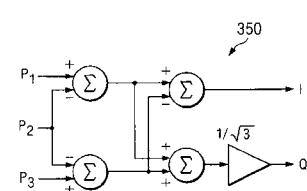
【図2】



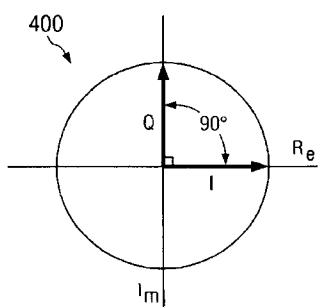
【図3A】



【図3B】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 モハン・グルナサン

アメリカ合衆国94040 カリフォルニア州マウンテン・ビュウ、サウス・レンゲストーフ・アヴ
エニュー 575、アパートメント・102

(72)発明者 ウィリアム・ラン・マクアレクサンダー

アメリカ合衆国94061 カリフォルニア州レッドウッド・シティ、アレクサンダー・アヴェニュー
— 150

(72)発明者 タン・エス・タン

アメリカ合衆国94022 カリフォルニア州ロス・アルトス・ヒルズ、ページ・ミル・ロード 1
3910

F ターム(参考) 2K002 AA04 AB19 BA01 DA07 EA30