

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6689558号
(P6689558)

(45) 発行日 令和2年4月28日(2020.4.28)

(24) 登録日 令和2年4月10日(2020.4.10)

(51) Int.Cl. F I
H O 4 L 27/34 (2006.01) H O 4 L 27/34

請求項の数 2 外国語出願 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2013-241116 (P2013-241116)	(73) 特許権者	391002340
(22) 出願日	平成25年11月21日(2013.11.21)		テクトロニクス・インコーポレイテッド
(65) 公開番号	特開2014-103672 (P2014-103672A)		TEKTRONIX, INC.
(43) 公開日	平成26年6月5日(2014.6.5)		アメリカ合衆国 オレゴン州 97077
審査請求日	平成28年11月11日(2016.11.11)		-0001 ビーバートン サウスウエス
(31) 優先権主張番号	13/683, 102		ト カール・ブラウン・ドライブ 141
(32) 優先日	平成24年11月21日(2012.11.21)		50
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(74) 代理人	110001209
前置審査			特許業務法人山口国際特許事務所
		(72) 発明者	ゾルタン・ディー・アザリー
			アメリカ合衆国 カルフォルニア州 95
			403 サンタ・ローザ ブリックウェイ
			3841 スイート210
		審査官	川口 貴裕
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 I Q変調器の I Qインバランス決定方法及び機器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

I チャンネルと Q チャンネルを有する I Q 変調器の I Q インバランスを決定する方法であって、

上記 I チャンネル及び上記 Q チャンネルそれぞれ用で 1 対をなす互いに異なる少なくとも 3 対の試験信号を上記 I Q 変調器の上記 I チャンネルと上記 Q チャンネルに適用して上記 I Q 変調器の複数の出力信号を発生する処理と、

上記 I Q 変調器の複数の上記出力信号が供給される周波数測定機器から複数の上記出力信号に夫々対応する周波数特定出力信号を受信する処理と、

上記周波数特定出力信号の複素平面上の値を測定する処理と、

測定された上記値から上記 I Q 変調器の I Q インバランスを導出する処理とを具え、

1 対をなす上記 I チャンネル用の上記試験信号及び上記 Q チャンネル用の上記試験信号の間に位相差を与え、

上記周波数特定出力信号の上記複素平面上で測定される上記値の理想の位相が互いに異なると共に、上記値の理想の振幅を上記周波数特定出力信号の I 又は Q 成分の振幅よりも小さくする I Q 変調器の I Q インバランス決定方法。

【請求項 2】

I チャンネルと Q チャンネルを有する I Q 変調器の I Q インバランスを決定するように構築された機器であって、

10

20

上記 I チャンネル及び上記 Q チャンネルそれぞれ用で 1 対となる互いに異なる少なくとも 3 対の試験信号を発生して、上記 I Q 変調器に供給するように構築された試験信号発生器と、

上記 I Q 変調器の出力に連結された測定機器から上記 I Q 変調器の複数の出力信号に夫々対応する周波数特定出力信号を受信するように構築された出力分析器と、

上記周波数特定出力信号から得られた複素平面上での測定値と理想値との距離が最小の距離となるようにする上記試験信号を試験信号発生器が発生するように構築されたミニマイザと

を具え、

1 対をなす上記 I チャンネル用の上記試験信号及び上記 Q チャンネル用の上記試験信号の間に位相差を与え、

上記周波数特定出力信号の上記複素平面上の上記理想値の位相が互いに異なると共に、上記値の理想の振幅を上記周波数特定出力信号の I 又は Q 成分の振幅よりも小さくする I Q 変調器の I Q インバランス決定機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、I Q 変調器の振幅と位相のインバランスを測定する方法と機器に関する。

【背景技術】

【0002】

I Q 変調器は、RF 及びマイクロウェーブ通信分野において周知であり、アナログ変調フォーマットとデジタル変調フォーマットの双方において使用を見い出せる。I Q 変調は、2つのベースバンド入力信号で、主に正弦波であるが必ずしもそうではない搬送波を変調する方法である。この2つの信号は、I (同相) と Q (直交) 成分とたびたび呼ばれている。

【0003】

図1は、従来例の I - Q 変調器5のブロック図である。それは、(ここでは ω_c として示されている)搬送周波数で正弦波信号を生成する局部発振器(又は「LO」)10を含んでいる。LOは、同じ大きさで正確に90度位相が異なる2つの出力を有する。LO10からの信号は、I と Q 入力である2つの独立したベースバンド入力によってミキサー12と14で積算される。I と Q 入力と搬送波 ω_c の積は、合計されて周波数変換結果を生み出す。ベースバンド入力の帯域幅は搬送波よりも通常狭いけれども、ベースバンド入力は任意波形を含むことが可能である。

【0004】

理想の変調器は所望の周波数に亘ってほとんど同じ振幅利得を有すると共にほとんど90度だけ互いに位相がずれた I チャンネルと Q チャンネルを発生するが、I と Q 信号の現実の実施例は、同じ大きさを有するものではないし、正確に90度位相が異なっているものでもない。2つのミキサー間で異なる利得と位相のような I - Q 変調器の別の非理想的なアスペクトは、I と Q の LO 信号間での振幅と位相のインバランスとしてモデル化されることもある。これらのインバランスは、変調器から発生された信号の品質に影響する。

【0005】

I Q インバランスは、デジタル通信信号の品質を劣化させる。サイドバンド抑圧度やエラーベクトルマグニチュード (EVM) のような品質測定が、これらのエラーの存在により悪くなる。I Q インバランスの存在は、また、システム全体のノイズや歪みのような他の欠陥に対する許容範囲も減少する。

【0006】

現代のデジタル通信システムや試験機器において、I Q インバランスエラーが知られた場合若しくは測定された場合、I チャンネルと Q チャンネルを導出する信号は、たびたび「前置補償」と呼ばれる周知の技術を用いて訂正され、出力信号全体の品質を改善しうる。

。

10

20

30

40

50

【0007】

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】米国特許第7180937号

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献1】インターネットのウキペディア（英語バージョン）の「数学シンボルリスト（List of mathematical symbols）[online] 2013年11月21日サーチ<http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_mathematical_symbols>

10

【0010】

【非特許文献2】インターネットのテクトロニクス社のウェブサイト「AWG7000シリーズ任意波形発生器」[online] 2013年11月21日サーチ<<http://www1.tek.com/ja/products/signal-generator/awg7000/>>

【0011】

【非特許文献3】インターネットのHittite Microwave社の「ICs—ミキサ—I/Qミキサ&IRM」[online] 2013年11月21日サーチ<<http://www.hittite.com/products/index.html/category/282>>

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

IQインバランスを測定する従来の方法が存在するが、これらの測定方法は、本来的に大きな測定エラーを有し、測定に長時間を有するような欠陥に困っており、そして、試験方法は、変調器が使用状態におかれているときにめったに見られない信号を用いて試験される困難に遭っている。このように、従来のIQインバランス試験方法は不正確であり時間がかかりすぎるか、又は、製造装置には適用不可能である。

【0013】

30

本発明の実施の形態は、先行技術のこれらの又は他の欠陥を処理する。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の諸アスペクトは、IQ変調器のインバランスを決定する方法を含んでいる。そのような方法においては、多重同時周波数を含むこともある、少なくとも3つ一組の試験信号がIQ変調器のIチャンネルとQチャンネルに適用されて、出力を発生する。ある実施の形態においては、一組の試験信号のうちの少なくとも一つの試験信号がその組の他の試験信号とは実質的に異なっている。そして、周波数特定出力がIQ変調器の出力に連結された周波数測定機器から受信される。周波数特定出力の一又はそれ以上の値が測定された後で、IQ変調器のインバランスが測定値より導出される。ある実施の形態においては、測定値がサイドバンド信号の振幅を含むこともある。そして、ある実施の形態においては、測定値からIQ変調器のインバランスを導出することは、IとQのベクトルの長さを決定することとIベクトルとQベクトルの間の角度を算出することを含むこともある。

40

【0015】

本発明のあるアスペクトにおいては、算出された距離が最小の所望距離になるまで試験信号が調整される。他のアスペクトにおいては、試験信号のファクタが閾量以下に調整されたときに算出された距離が閾量以上に変化しなくなるまで試験信号のファクタの調整が続く。

【0016】

ある実施の形態においては、試験信号の組が、理想のIQモニターが同じ振幅であって

50

90度離間している組の出力を発生する4個一組の試験信号を含むこともある。そして、この試験信号の組は非理想的なI/Qモニターに適用されることもある。

【0017】

本発明の他のアスペクトは、I/Q変調器のインバランスを決定するように構築された機器を含んでいる。この機器は、I/Q変調器用の一組の試験信号を発生するように構築された試験信号発生器と、I/Q変調器の出力に連結された測定機器から試験信号の周波数特定出力を受信するように構築された出力分析器と、試験信号発生器が周波数特定出力から測定された距離が最小の距離となるようにする一組の試験信号を発生するように構築されたミニマイザーを含んでいる。

【0018】

10

特に、本発明の第1の基本理念は、IチャンネルとQチャンネルを有するI/Q変調器のインバランスを決定する方法であり、その方法は、少なくとも3個一組の試験信号であって、一組の試験信号のうちの少なくとも一つの試験信号がその組の他の試験信号とは実質的に異なっているものをI/Q変調器のIチャンネルとQチャンネルに適用してI/Q変調器の出力を発生することと、I/Q変調器の出力に連結された周波数測定機器から周波数特定出力を受信することと、周波数特定出力の一又はそれ以上の値を測定することと、更に、測定値からI/Q変調器のインバランスを導出することからなる。

【0019】

本発明の第2の基本理念は、上記第1の基本理念のI/Q変調器のインバランスを決定する方法において、周波数特定出力の一又はそれ以上の値を測定することが距離を算出することを含み、前記方法が、更に、一組の試験信号のうちの少なくとも3つの試験信号を、算出された距離が最小の所望距離となるまで調整することを含むことである。

20

【0020】

本発明の第3の基本理念は、上記第2の基本理念のI/Q変調器のインバランスを決定する方法において、一組の試験信号のうちの少なくとも3つの試験信号を算出された距離が最小の所望距離となるまで調整することが、その組の少なくとも3個の試験信号のうち少なくとも一つの試験信号のファクタが閾量以下に調整されたときに、算出された距離が閾量以上で変化しなくなるまでファクタを調整することを含むことである。

【0021】

30

本発明の第4の基本理念は、上記第1の基本理念のI/Q変調器のインバランスを決定する方法において、周波数特定出力の一又はそれ以上の値を測定することが、サイドバンド信号の振幅を測定することを含むことである。

【0022】

本発明の第5の基本理念は、上記第1の基本理念のI/Q変調器のインバランスを決定する方法において、測定値からI/Q変調器のインバランスを導出することが、Iベクトルの長さを決定することと、Qベクトルの長さを決定することと、IベクトルとQベクトルの間の角度を算出することを含むことである。

【0023】

40

本発明の第6の基本理念は、上記第1の基本理念のI/Q変調器のインバランスを決定する方法において、少なくとも3個一組の試験信号が、4個一組の試験信号からなり、4個一組の試験信号のそれぞれの出力は、I/Q変調器が理想的な変調器である場合、振幅で同じであり位相において90度離間されていることである。

【0024】

本発明の第7の基本理念は、上記第6の基本理念のI/Q変調器のインバランスを決定する方法において、更に、少なくとも4個一組の試験信号を非理想的なI/Q変調器に適用することを含むことである。

【0025】

本発明の第8の基本理念は、上記第6の基本理念のI/Q変調器のインバランスを決定す

50

る方法において、一組の試験信号が多重同時周波数を含む少なくとも一つの試験信号を含むことである。

【 0 0 2 6 】

本発明の第 9 の基本理念は、I チャンネルと Q チャンネルを有する I Q 変調器のインバランスを決定するように構築された機器であって、この機器が、
I Q 変調器用の一組の試験信号を発生するように構築された試験信号発生器と、
I Q 変調器の出力に連結された測定機器から試験信号の周波数特定出力を受信するように構築された出力分析器と、
周波数特定出力から測定された距離が最小の距離となるようにする一組の試験信号を試験信号発生器が発生するように構築されたミニマイザーからなることである。

10

【 0 0 2 7 】

本発明の第 1 0 の基本理念は、上記第 9 の基本理念の I Q 変調器のインバランスを決定するように構築された機器において、試験信号発生器が試験信号のファクタを調整することである。

【 0 0 2 8 】

本発明の第 1 1 の基本理念は、上記第 1 0 の基本理念の I Q 変調器のインバランスを決定するように構築された機器において、ファクタを調整することが周波数特定出力から測定された距離を修正されるようにすることである。

【 0 0 2 9 】

本発明の第 1 2 の基本理念は、上記第 9 の基本理念の I Q 変調器のインバランスを決定するように構築された機器において、更に、ミニマイザーに連結されたコレクタからなり、少なくとも一つの入力信号が I チャンネルと Q チャンネルに適用される以前に修正されるようにする信号を発生するようにコレクタが構築されていることである。

20

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 0 】

【図 1】図 1 は、従来例の I - Q 変調器のブロック図である。

【図 2】図 2 は、従来の I - Q 変調器の出力のスペクトル成分を示すグラフである。

【図 3】図 3 は、本発明の実施の形態による I Q インバランスを決定する方法の例を図示するフローチャートである。

【図 4】図 4 は、本発明の実施の形態による I Q インバランスを決定する方法の他の例を図示するフローチャートである。

30

【図 5】図 5 は、本発明の実施の形態を用いて測定されうる I Q インバランスの例を図示するフェーザ図である。

【図 6】図 6 は、従来 I Q インバランスをどのように測定されたのかを図示するフェーザ図である。

【図 7】図 7 は、本発明の実施の形態を用いて測定され I Q インバランスを決定することのできる一組の試験信号からの出力を図示するフェーザ図である。

【図 8】図 8 は、図 7 のフェーザ図を発生するのに用いられたのと同じ一組の試験信号からの出力を図示するフェーザ図である。

【図 9】図 9 は、図 8 のフェーザ図の上部三角形を図示するフェーザ図である。

40

【図 1 0 A】図 1 0 A は、本発明の実施の形態により I Q バランスを決定するために用いられた一組の試験信号のための 4 つの異なる理想的な出力信号の第 1 のフェーザ図である。

【図 1 0 B】図 1 0 B は、本発明の実施の形態により I Q バランスを決定するために用いられた一組の試験信号のための 4 つの異なる理想的な出力信号の第 2 のフェーザ図である。

【図 1 0 C】図 1 0 C は、本発明の実施の形態により I Q バランスを決定するために用いられた一組の試験信号のための 4 つの異なる理想的な出力信号の第 3 のフェーザ図である。

【図 1 0 D】図 1 0 D は、本発明の実施の形態により I Q バランスを決定するために用い

50

られた一組の試験信号のための4つの異なる理想的な出力信号の第4のフェーザ図である。

【図11A】図11Aは、本発明の実施の形態によりIQバランスを決定するために用いられた一組の試験信号のための4つの異なる非理想的な出力信号の第1のフェーザ図である。

【図11B】図11Bは、本発明の実施の形態によりIQバランスを決定するために用いられた一組の試験信号のための4つの異なる非理想的な出力信号の第2のフェーザ図である。

【図11C】図11Cは、本発明の実施の形態によりIQバランスを決定するために用いられた一組の試験信号のための4つの異なる非理想的な出力信号の第3のフェーザ図である。

10

【図11D】図11Dは、本発明の実施の形態によりIQバランスを決定するために用いられた一組の試験信号のための4つの異なる非理想的な出力信号の第4のフェーザ図である。

【図12】図12は、本発明の実施の形態によるIQインバランスを決定する機器の構成部分を図示する機能ブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0031】

この開示事項は、受信装置ではなく、信号発生装置におけるIQ変調器の使用を一般的に考慮するものであるが、本発明の実施の形態は受信機にも適用可能である。そういうものとして、受信装置の場合における出力信号とは違い、ベースバンド信号は入力信号であることが想定されている。

20

【0032】

図1に示されているように、ベースバンド入力は x （同相）と y （直交相）として示されるが、一方、LO10からの2つの信号は I と Q に示されている。搬送波周波数 ω_c でフェーザ標記を用いて表したとき、LO10からの2つの信号は、単純に、

【0033】

【数1】

$$I = e^{j0} = 1, \quad Q = e^{j\frac{\pi}{2}} = j \quad (1)$$

30

である。

【0034】

変調器5の出力は、（図1の $\{x, y\}$ で示された）2つのベースバンド変調入力によって積算された2つの直交LO信号の以下の和である。

【0035】

【数2】

$$z = xI + yQ = x + jy \quad (2)$$

【0036】

このように、I-Q変調器5は、実数ベースバンド入力 $\{x, y\}$ をとり、アップコンバートされた複素数入力 $(x + jy)$ と区別が付かない出力を生成する。

40

【0037】

実用的なベースバンド信号は任意波形であることがよくあるけれども、解析のため、この開示事項においては、それらはある変調周波数 ω_m での正弦波として定義される。各ベースバンド信号 x, y は、独立した振幅と位相を有し、それぞれ複素数 $\{\alpha, \beta\}$ により定義される。各正弦波のピーク振幅は、対応する複素数の絶対値と同じであり、位相は同様に複素数の角度で決められる。数学的に、次の数式はそれらの信号を示している。

【0038】

【数 3】

$$x = |\alpha| \cos(\omega_m t + \angle\alpha) = \frac{1}{2} [\alpha e^{j\omega_m t} + \alpha^* e^{-j\omega_m t}] \quad (3)$$

【0039】

【数 4】

$$y = |\beta| \cos(\omega_m t + \angle\beta) = \frac{1}{2} [\beta e^{j\omega_m t} + \beta^* e^{-j\omega_m t}] \quad (4)$$

【0040】

2つのミキサ-12, 14においてLO正弦曲線によって積算された後で、xとy信号の正と負の周波数成分は結果的に出力において、一方が周波数 $(\omega_c + \omega_m)$ であり、他

10

方が $(\omega_c - \omega_m)$ である2つのスペクトル成分となる。これは図2に示されている。

【0041】

フェーザ表記においては、上と下のサイドバンドは以下ようになる。

【0042】

【数 5】

$$z_u = \alpha I + \beta Q; z_L = \alpha^* I + \beta^* Q \quad (5)$$

【0043】

理想的なI-Q変調器(すなわち、I信号とQ信号が同じ振幅であると共に完全に直交している)の場合には、このことは更に以下のように簡単になる。

20

【0044】

【数 6】

$$z_u = \alpha I + \beta Q = \alpha + j\beta; z_L = \alpha^* I + \beta^* Q = \alpha^* + j\beta^* \quad (6)$$

【0045】

上と下のサイドバンド成分の大きさは一般的に同じではない。たとえば、以下の値が選択された場合、

【0046】

【数 7】

$$\alpha = 1, \beta = e^{-j\frac{\pi}{2}} \quad (7)$$

30

【0047】

次のことは容易に明らかである。

【0048】

【数 8】

$$z_u = 2, z_L = 0 \quad (8)$$

【0049】

スカラースペクトル分析器のような周波数選択測定機器は、上下のサイドバンドの大きさを別々に測定することを可能にする。サイドバンドの独立した測定は下記の測定方法にとって重要である。

40

【0050】

この開示は上部のサイドバンド成分に関連して例と説明を提供するけれども、これらのコンセプトと方法は下側のサイドバンド成分にも同じように適用する。

【0051】

{ α , β }の適切な選択により、IベクトルとQベクトルの線形和が変調器5の出力において発生される。スケールリングファクタ{ α , β }が複素数であるので、IベクトルとQベクトルは線形和の一部として縮小拡大される上に回転されうる。

【0052】

上記のように、現実の実施においては、IとQ信号は同じ大きさを有しないし、正確に

50

90度の位相差でもない。2つのミキサー間で異なる利得と位相のような別のI-Q変調器の非理想的なアスペクトは、IとQのLO信号間の振幅と位相のインバランスとして模式化されることが可能である。

【0053】

一般性を失わない限り、Iベクトルは任意に1と定義されるが、Qベクトルはいまや

【0054】

【数9】

$$Q = (1 + \epsilon)e^{j\left[\frac{\pi}{2} + \gamma\right]} \quad (9)$$

である。

10

【0055】

ここで、 ϵ と γ はそれぞれ大きさと位相のエラーを示している。このようなエラーはたびたび「IQインバランス」と呼ばれている。これらのエラーは変調と搬送波周波数の両方における変動に伴って変化する。

【0056】

主に、IQインバランスを測定するためには、スペクトル分析器のような周波数選択測定機器が用いられて上側と下側のいずれかのサイドバンドの振幅を独立して測定する。その目的は、IとQのLO信号間の相対的な振幅と位相差を測定することである - 理想的には、振幅は同じであり、そして、位相差は正確に90度である。更に、本発明の実施の形態による測定はベースバンド信号路における位相及び振幅の変動も含んでいるが、この開示の目的においてこれらのインバランスはIとQの信号におけるインバランスの一部と考慮されてもよい。

20

【0057】

上記において、数式9のQを定義する前において、任意にIベクトルを1の大きさにおくことも可能であった。現実の測定のシナリオにおいては、このことは可能ではない。なぜならば、Iベクトルの大きさがアプリアリに知られているのではなく、測定によって決定されねばならないからである。しかしながら、IとQのベクトルの相対的な角度だけが問題であるので、Iベクトルは任意に角度0とおくことができる。

【0058】

【数10】

$$I = a \quad (10)$$

である。

30

【0059】

Qベクトルは未知の角度と長さの両方を有しており、

【0060】

【数11】

$$Q = a(b + jc) \quad (11)$$

である。

40

【0061】

インバランスがない場合には、 $\{a = 1, b = 0, c = 1\}$ である。これらの未知なものの値を決定するためには、変調周波数においてIとQのベクトルの実験的な線形和が発生される。(5)の上部サイドバンドに対しては、

【0062】

【数12】

$$E = \alpha I + \beta Q = a(\alpha + \beta(b + jc)) \quad (12)$$

である。

【0063】

50

ここで、E は実験的な試験信号であり、I と Q は (1 0) と (1 1) において定義されたような非理想である。上記のようにこの開示は上側のサイドバンドにのみ向けられたものであるけれども、同様の結果は容易に下側のサイドバンドにおいて導出される。

【 0 0 6 4 】

次いで、周波数 ($\omega_c + \omega_m$) において上側のサイドバンドの大きさが測定される。{ α , β } の実数部と虚数部が、下付き文字 r と i によって示される。試験信号 E は、

【 0 0 6 5 】

【数 1 3 】

$$E = a[(\alpha_r + \beta_r b - \beta_i c) + j(\alpha_i + \beta_i b + \beta_r c)] \quad (13)$$

10

である。

【 0 0 6 6 】

(U によって示される) 自乗された絶対値は、

【 0 0 6 7 】

【数 1 4 】

$$U_{\alpha,\beta}(a, b, c, \alpha, \beta) \equiv |E|^2 = |\alpha I + \beta Q|^2 \quad (14)$$

【 0 0 6 8 】

【数 1 5 】

$$= a^2[(\alpha_r + \beta_r b - \beta_i c)^2 + (\alpha_i + \beta_i b + \beta_r c)^2] \quad (15)$$

20

【 0 0 6 9 】

【数 1 6 】

$$= a^2[|\alpha|^2 + |\beta|^2 b^2 + |\beta|^2 c^2 + 2(\alpha_r \beta_r + \alpha_i \beta_i) b + 2(\alpha_i \beta_i - \alpha_r \beta_r) c] \quad (16)$$

である。

【 0 0 7 0 】

(1 5) を完全に展開することは、むしろ厄介となり、中間ステップは省略された。(b c) のクロス積はあきらめて放棄され、誤りなく省略された。({ a , b , c } によって定義された) I と Q のベクトルの関数としてみると、この関数はこれらの変数において二次的である。

30

【 0 0 7 1 】

ここに未知の (a , b , c) が存在するので、3 つの変数すべてを解くには、3 つの異なる I と Q のベクトルの (独立した) 線形和の測定が必要となる。異なる実験を示すのに下付き文字が { α , β } に添えられており、下付き文字 m は、(自乗された) 測定された上側 (又は下側) のサイドバンド絶対値を表している。一組の実験的な線形和は、以下のように定義されうる。

【 0 0 7 2 】

【数 1 7 】

$$L = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \beta_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 \\ \alpha_3 & \beta_3 \end{bmatrix} \quad (17)$$

40

【 0 0 7 3 】

数式 (1 7) は、集合 L 内に 3 つの実験を含んでいるが、しかし、L は 3 行以上であってもよい。I Q 変調器からの出力信号のベクトル S、即ち、線形和は、以下になる。

【 0 0 7 4 】

【数 18】

$$\mathbf{S} = \mathbf{L} \begin{bmatrix} I \\ Q \end{bmatrix} \quad (18)$$

【0075】

これらの実験のために、以下の（非線形）方程式系が結果として生じる。

【0076】

【数 19】

$$\mathbf{F}(a, b, c) \equiv \begin{bmatrix} \sqrt{U(a, b, c, \alpha_1, \beta_1)} \\ \sqrt{U(a, b, c, \alpha_2, \beta_2)} \\ \sqrt{U(a, b, c, \alpha_3, \beta_3)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{bmatrix} = \mathbf{m} \quad (19)$$

10

【0077】

実際問題として、測定結果（ $\mathbf{m}$ ）にはエラーとノイズの双方が存在するでしょう。結果として、よりほぼ確実に問題は以下のように記述される。

【0078】

【数 20】

$$\mathbf{F}(a, b, c) = \mathbf{m} + \mathbf{e} \equiv \hat{\mathbf{m}} \quad (\hat{\mathbf{m}} \text{ は } \mathbf{m}^\wedge (\mathbf{m} \text{ ハット}) \text{ としても示される}) \quad (20)$$

20

【0079】

エラーベクトル（ $\mathbf{e}$ ）を評価しなければ、（19）に代わって、（20）に対してのソリューションを探索することが可能なだけである。混乱した（*p e r t u r b e d*）数式は実数値解を有していないかもしれないし、もし実数値解が存在したとしても、それは $\mathbf{x}$ の真の値ではないでしょう。

【0080】

そして、この問題は、最小化問題としてより適切に取り扱われる。すなわち、（（19）において定義された） $\mathbf{m}$ と実測値（（20）の $\mathbf{m}^\wedge$ ）の間のある程度の距離が最小となるような $\{a, b, c\}$ を見つけるそれである。ノイズの影響を減らすためには、3回の以上の測定をすることによって問題を過度に拘束することが望ましいかもしれない。

30

【0081】

【数 21】

$$\mathbf{F}(a, b, c) = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \vdots \\ m_n \end{bmatrix} \quad n > 3 \quad (21)$$

【0082】

$\mathbf{m}$ と $\mathbf{m}^\wedge$ の間の距離についての計量に対して多くの可能性が存在する。一つの明白な選択肢は、

40

【0083】

【数 22】

$$D = |\mathbf{m} - \hat{\mathbf{m}}|^2 \quad (22)$$

である。

【0084】

実際、これは結局特に有用な選択であることが判る。（12）において結果の絶対値が a について線形変動することに留意してください。そして、（19）の $\mathbf{m}$ も a について線形変化することは明らかである。

【0085】

50

【数 2 3】

$$F(a, b, c) = a F(1, b, c) \quad (23)$$

【0086】

最適化アルゴリズムの一点において、 $\{b, c\}$ が決定され、目的は一組の理論的な実験的絶対値（（19）の m ）と測定値（（20）の $m^{\wedge}$ ）の間の（ユークリッド）距離を最小にする a の値を見つけることであると想定する。 a の異なる値は、 n 次元空間の基本ベクトルとして原点を通過する、 m についての線分と決められる。

【0087】

$m^{\wedge}$ へのその線上の最近接点が、以下に時に現れる。

【0088】

【数 2 4】

$$F(1, b, c) \cdot (a F(1, b, c) - \hat{m}) = 0 \quad (24)$$

【0089】

又は、以下の時である。

【0090】

【数 2 5】

$$a = \frac{F(1, b, c) \cdot \hat{m}}{F(1, b, c) \cdot F(1, b, c)} \quad (25)$$

【0091】

本発明の実施の形態によるこの関数を最小にする方法の例が図 3 に図示されている。この方法全体の一部は、 I ベクトルの大きさに対応する a の値を見つけるよりもむしろ、 $a = 1$ であるように測定値を線形に変化させることである。「 a 」を計算してそれを方法に亘って携行することも可能である。

【0092】

例示フロー 1000 の第 1 のオペレーション 110 において、変数 b と c が $b = 0$ と $c = 1$ に設定される。そして、オペレーション 120 において、数式（25）が使用されて、測定された実験絶対値と理論的な実験絶対値の間の差異を最小にする a の値を求める。次いで、オペレーション 130 において、 a の計算値によって測定値が割られる。次に、粗いサーチのオペレーション 140 が、エラーの想定されるような広い領域を少なくともカバーする b の値に亘って実施される。このサーチのために、 $c = 1$ を設定する。更に、各サーチポイントにおいて、数式（22）からの距離が決定され、そして、見つかった最小のポイントが記録される。

【0093】

オペレーション 150 において、ポイント b が上記で見つかった最小ポイントに設定され、そして、同様のサーチが c の値に亘って行われて再び見つかった最小ポイントを保存する。

【0094】

図 3 の オペレーション 110 - 150 は、より正確なサーチのためのスタートポイントを突き止めるために使用される。オペレーション 110 - 150 は、問題のグローバルな最小値ではないローカルな最小値に関連してスタートポイントが混乱されないことを確実にする。そして、終了基準が合致されるまで オペレーション 160 が実行される。

【0095】

図 4 に図示された例示フロー 200 において、オペレーション 210 - 250 は、 a が各ステップ間においてかなりの量だけ変化しなくなるまで、 a 、次いで $\{b, c\}$ を交互に調整する。このかなりの量はプログラム設定可能である。問題構造により、 a の不正確な値は、結果的に c が誤った値を繰り返すこととなる。フロー 200 の残りのオペレーシ

10

20

30

40

50

ョンの間、 a は 1 に不変に設定され、測定値 $m^{\wedge}$ が代わりに変化される。

【0096】

オペレーション 210 において、数式 (25) が用いられて、測定された実験絶対値と理論的な実験絶対値の間の差異を最小にする a の値を求める。そして、オペレーション 220 において、 a の計算値によって測定値が割られる。そして、オペレーション 230 は、まず、第 1 と第 2 の導関数を数値的に見積もり、そして、シンプソン (Simpson) 公式を用いて所望のある許容誤差範囲内で第 1 導関数の 0 ポイントを反復的に見つける。この許容誤差は予め決められた値に設定されるようにしてもよい。オペレーション 240 において、サーチポイントがそのように導出された値に置き換えられる。

【0097】

オペレーション 250 は、フロー 200 がオペレーション 210 - 240 を繰り返すようにして、 a に対して新たな調整量を計算する。この調整量が 1 (たとえば 1 ± 10^{-6}) に十分近いときに、この方法は正しい結果の絶対値と $\{b, c\}$ の値を決定した。オペレーション 260 は現状の I Q インバランスの量を出力する。

【0098】

上記の方法ステップを要約すると以下となる。

1. 未知の I と Q のベクトルの異なる (実験) 線形和 (n 3) を (12) において定義されたように定義する。
2. 各実験において、結果としての上側 (又は下側) のサイドバンドの (自乗された) 絶対値を測定する。
3. 最適化アルゴリズムを用いて、(22) が最小となるような $\{a, b, c\}$ を見つける。ここで、 m が (19) から算出され、 $m^{\wedge}$ が実験において測定された (自乗の) 上側 (又は下側の) サイドバンド絶対値を含んでいる。

【0099】

m 値の計算は (19) におけるように行うことができるか、又は、それは複素数ソフトウェアライブラリを用いて (14) において定義されたようにそれらの値を計算することはより便利であるかもしれない。

【0100】

理想的な I Q 変調器は以下のような $\{a, b, c\}$ 値を有する。

【0101】

【数 26】

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (26)$$

【0102】

そして、現実の I Q 変調器の場合、これらの値は I Q インバランスを決定する問題の反復解決にとっての優秀なスタートポイントとなる。たとえば、同じ絶対値信号ベクトルが使用されている場合、3 つの実際の絶対値 (m - 又は $m^{\bar{}}$) の平均がスタートポイント用を使用される。

【0103】

【数 27】

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{m}^2 \\ 0 \\ \bar{m}^2 \end{bmatrix} \quad (\bar{m} \text{ は } m^{\bar{}} (m \text{ バー}) \text{ としても示される}) \quad (27)$$

【0104】

それとは別に、試験中の I Q 変調器が前もって校正されていた場合、 a, b, c の以前に想定されていた値がスタートポイントとして使用されてもよい。

【0105】

10

20

30

40

50

残ったのは、測定エラーとノイズの影響を最小限にする実験（IベクトルとQベクトルの線形和）を選択することである。（12）における $\{\alpha, \beta\}$ が複素数でもよいこと思い出してください。すなわち、このことは線形和においてIとQの長さが変動されることを意味し、そして、それらは互いに回転可能でもある。問題なのはIとQの間の相対的な角度であるので、IとQの双方を回転する場合のポイントは存在しないし、したがって、 α を実数値にするときにも一般性を失うことはない。

【0106】

フェーザ図に各種の実験を図示することは役に立つ。図5は理想的なIベクトルを310として、そして、理想的なQベクトルを320として示している。非理想的なQベクトルが330として言及されている。不規則なQベクトル330は、Iベクトル310に対して大きさと角度（位相）の双方におけるエラーを示している。

10

【0107】

Matreci 他による米国特許第7180937号（以下937と呼ぶ）も以下のような非常の特別な実験の組を使用したIQインバランスの発見に関連している。

【0108】

【数28】

$$L = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (28)$$

20

【0109】

言い換えれば、第1の実験はIチャンネルのみをスティミュレートしたが、一方、第2の実験はQチャンネルのみをスティミュレートした。そして、第3の実験はIチャンネルとQチャンネルの双方を同時にスティミュレートした。937特許において重要なのは、IチャンネルとQチャンネルを個別に又は同時にスティミュレートするために用いられたすべての実験又は信号がほぼ同じであることである。このことは本発明の実施の態様と全く異なる。937特許において、最初の二つの実験はIとQのベクトルの大きさの直接測定を個別に可能にしている。937特許の第3の実験は、図6に図示されている。ここで、理想的なIベクトルは410として図示されており、理想的なQベクトルは420として図示されている。IとQ成分からIとQのベクトル和を区別するためにそれらのベクトル和が440と450として示されている。

30

【0110】

この選択はある種の利点を有する。

【0111】

変調器のIとQの入力に適用される信号は、大きさと位相において同じである。すなわち、このことは、特に測定しているのが変調器のみである場合、振幅と位相を正確に保証することを容易にする。

【0112】

（Iベクトルに対する）Qベクトルの大きさと位相は、937特許に記載されたような三角法を用いて簡単に算出される。この場合、連立非線形方程式系の解決は必要ではない。

40

【0113】

この測定方法はIベクトルとQベクトルの間に大きな振幅及び/又は位相エラーが存在しているときにはよく働く。これらの実験は固有の不利益も有する。すなわち、これらの実験中に測定された振幅値は少量のIQインバランスにはほとんど反応しない。数学的には、この感度は（15）の $U_{\alpha, \beta}(a, b, c)$ の以下の3つの偏導関数をとることによって求められる。

【0114】

【数 2 9】

$$\frac{\partial U(a, b, c)}{\partial a} = 2|\alpha|^2 a + 2(\alpha_r \beta_r + \alpha_i \beta_i) b + 2(\alpha_i \beta_r - \alpha_r \beta_i) c \quad (29)$$

【0 1 1 5】

【数 3 0】

$$\frac{\partial U(a, b, c)}{\partial b} = 2|\beta|^2 b + 2(\alpha_r \beta_r + \alpha_i \beta_i) a \quad (30)$$

【0 1 1 6】

【数 3 1】

$$\frac{\partial U(a, b, c)}{\partial c} = 2|\beta|^2 c + 2(\alpha_i \beta_r - \alpha_r \beta_i) a \quad (31)$$

【0 1 1 7】

各実験の $\{\alpha, \beta\}$ の選択は、これらの偏導関数の値を決定し、方法全体の精度を改善するための自由度を表す。

【0 1 1 8】

9 3 7 特許で選択された実験は、あいにく、これらの偏導関数については結果的に比較的低い値となっている。たとえば、6 0 - 7 0 d B のサイドバンド抑圧度が要求される場合、振幅測定エラーはそれぞれ 0 . 0 0 9 d B と 0 . 0 0 2 6 d B 以下に維持されなくてはならない。このことは、4 相位相変調 (Q P S K) のようなデジタル変調フォーマットにおいて 0 . 1 % 及び 0 . 0 3 % の間の E V M 値を達成することと均等である。

【0 1 1 9】

9 3 7 特許に記載された制限された実験的試験信号に代わって、9 3 7 特許の制限を受けない多くの実験的試験信号が存在する。たとえば、一組の粗実験信号入力には以下を含んでいる。

【0 1 2 0】

【数 3 2】

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (32)$$

【0 1 2 1】

図 7 の図解は、フェーザ図としてのこれらの実験を示している。この一組の実験は以下の 3 つの試験信号からなる。

【0 1 2 2】

1 . Q ベクトルのみ。図 7 には図示されていないけれども、Q ベクトル測定は Q ベクトルの長さを明らかにする。

2 . I と Q の和、それは 5 4 0 として示されており、「I + Q」と表示されている。

3 . I と Q の差、それは 5 5 0 として示されており、「I - Q」と表示されている。

【0 1 2 3】

これらの試験信号を用いて、I ベクトルと Q ベクトルの間の大きさと位相のインバランスが、三角法を用いるために、解決される。図 8 は、文字 a , b , c によって表示された大きな外側の三角形の辺と角度を有する実験を示している (小文字は辺であり、大文字は角度を示す)。これらの実験から、3 つの辺の長さが以下のように知られる。

【0 1 2 4】

a は I と Q の和であった場合に測定された大きさである。

b は I と Q の差からの結果である。

c は Q ベクトルの測定された大きさの 2 倍に相当する。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 5 】

余弦定理が使用されていずれかの角度を解決するが、ここではBが特に問題である。

【 0 1 2 6 】

【 数 3 3 】

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos B \quad (33)$$

【 0 1 2 7 】

【 数 3 4 】

$$B = \cos^{-1} \left(\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \right) \quad (34)$$

10

【 0 1 2 8 】

今度は、図9に示されたより小さな上側の三角形を試験することによって所望の情報が得られる。辺と角度のいくつかは下付き文字で表示され、図8の表示との混同を防止している。この点において、2つの辺とそれらが交わってできた角度は以下に既知である。

【 0 1 2 9 】

aはIとQの和であった場合に測定された大きさである。

Bは上記(34)において算出された。

c₂はQベクトルの測定された大きさに相当する。

【 0 1 3 0 】

20

Iベクトルの長さ(別名b₂)は、以下の数式(35)に示す余弦定理によって求められる。そこから、以下の数式(36)の正弦定理が用いられて、数式(37)に示すようにIとQの間の角度(A₂)を求める。

【 0 1 3 1 】

【 数 3 5 】

$$b_2 = \sqrt{a^2 + c_2^2 - 2ac_2 \cos B} \quad (35)$$

【 0 1 3 2 】

【 数 3 6 】

30

$$\frac{\sin A_2}{a} = \frac{\sin B}{b_2} \quad (36)$$

【 0 1 3 3 】

【 数 3 7 】

$$A_2 = \sin^{-1} \left(\frac{a \sin B}{b_2} \right) \quad (37)$$

【 0 1 3 4 】

要するに、数式(34)と(35)と(36)と(37)が用いられてIとQのベクトルの長さとそれらの間の角度を求める。

40

【 0 1 3 5 】

上記例の組(32)はIQインバランスを測定するための関数であるけれども、IQエラーに対して低感度にまだ悩まされている。実験の異なる選択はこの状況を劇的に改善することができる。たとえば、図10A - 10Dにも示された(38)の以下の4つ一組の実験を検討する。

【 0 1 3 6 】

【数 3 8】

$$L = \begin{bmatrix} 1 & j0.9 \\ 1 & j1.1 \\ 1 & +0.1 + j1 \\ 1 & -0.1 + j1 \end{bmatrix} \quad (38)$$

【0 1 3 7】

明確化のために、理想的なQベクトルのみがプロットされ、いくつかの重なったベクトルは見やすくするために若干ずれている。図10A - 10Dに示すように、IとQのベクトルが完全であれば、各試験は正確にベースバンド変調信号の大きさの10分の1の大きさを有する信号を発生する。図10A - 10Dにおける4つの結果としての出力信号670は、(理想的に)、それぞれ、振幅において同じであり、位相において90度離間している。基本的に、このことは、座標原点の周りの(図10A - 10Dにおいて点線により示された)円690の周囲で4つの均等に離された点を模式化した。

10

【0 1 3 8】

図10A - 10Dのそれぞれにおいて、信号610は α によって積算されたIベクトルを表しているが、それは(38)におけるすべて4つの場合において1である。信号620は β によって積算されたQベクトルを示しているが、それは(38)において特定される4つの信号のそれぞれにおいて異なっている。たとえば、図10Aにおいては、 $\beta = j0.9$ である。これはQベクトルを反時計回りにちょうど90度回転し、Iベクトルとは180度異なると共にIベクトルの90%の長さと同じである結果620を生み出す。これらの2つの信号(610と620)が変調器において合算されたときに、結果の出力信号670はIベクトルの大きさの10分の1の大きさと同じ大きさを有すると共に、Iベクトルと同相である。

20

【0 1 3 9】

他の例については、10Cを検討する。ここで、試験信号は $\beta = 0.1 + j1$ である。これは、10Cに示すように、試験信号610と加算して、Iベクトルの長さの10分の1の大きさを有するが90度だけ10Aの670とは位相差のあるIQ変調器670からの出力を生成する結果620を生成する。

【0 1 4 0】

結果的に変調されたサイドバンドの振幅は、IとQの間の相対的な大きさと位相のエラーに対してほぼ10倍の感度に優れている。結果として、0.09と0.026 dBの測定精度はサイドバンド拒絶の60乃至70 dBを達成するのに十分である。

30

【0 1 4 1】

図11A - 11Dは、特に図10A - 10Dの類似に対して対比される場合のこの実験におけるI - Qインバランスの効果を示している。試験信号の実験はIベクトルの長さの10%と同じ半径を有する円790上の各点をサンプリングするように設計されている。実際の円表示は誤ったQベクトルの長さの10%と同じ半径を有する。円の中心は以下の点に配置される。

【0 1 4 2】

【数 3 9】

$$I - jQ = (a - c) + jb \quad (39)$$

【0 1 4 3】

インバランスエラーが十分大きい場合、原点は円の外側に位置する。これが起こったとき、実験は最小化問題が有効な結果に戻ることができないことを示している。すなわち、ノイズの存在と測定エラーは、この問題を悪化することとなる。この状態は、算出されたエラーが予想された試験ベクトルよりも大きさにおいて同等か又はより大きいときにたびたび検出されることがある。算出された訂正の適用が信号品質の予測される改善を生み出さないとき、これは問題の他の示唆である。このことが起こると、試験ベクトルによって

40

50

定義された領域内に原点が位置するまで結果としての試験ベクトルの大きさを増加する必要があるかもしれない。この例において、算出されたエラーが長さにおいて10%を超える場合又は位相においてほぼ0.1ラジアンである場合、より大きな試験円が使用される必要がある。

【0144】

発明のシステムや方法に対しては様々な変形が存在する。たとえば、複数の周波数で同時に試験信号を作ること、精度を犠牲にして校正処理の速度を改善することが可能である。このことは、ダウンロードされ測定されるべきより少数のトータル波形を必要とし、結果的に個別の周波数から複数の試験信号をダウンロードし測定することに比べて相当な時間節約となる。

10

【0145】

けれども、利用可能な信号電力が非常に多くの信号において分割されるので、システム全体の信号対ノイズ比が劣化する。しかしながら、このことは試験信号忠実度や信号振幅やスペクトル分析器のパフォーマンスなどのような多くのパラメータに応じて対応可能である。したがって、本発明の実施の形態を用いた測定結果が好ましいか否かはケースバイケースで決定されるべきである。

【0146】

更に、非線形3次相互変調積がいくつかの意図された試験信号との組み合わせを終えるかもしれないし、更に、測定結果を汚すことを終えるかもしれないチャンスがある。勿論、このことは試験周波数の選択に依存する。

20

【0147】

第2に、試験周波数の選択に依存して、非線形3次相互変調積は意図された試験信号との組み合わせを終えるかもしれないし、更に、測定結果を汚すことを終えるかもしれない。試験信号の賢明な選択によってこのことは排除されうる。ある場合、このような選択は生成されうる試験周波数の数を制限すると共に、非均一な分布を要求する。

【0148】

これらの方法の精度の良好な規準は、想定される振幅と位相のエラーに対する補正を適用することによって得られた結果としてのサイドバンド抑圧量である。Hitrite社のHMC5xxシリーズIQミキサーをドライブするTektronix社のAWG7102(10ビットモード)を用いた試験において、少なくとも60dBのサイドバンド抑圧度が一貫して得られた。

30

【0149】

図12は本発明の実施の形態によるIQインバランスを決定する測定機器900の構成要素を示す機能ブロック図である。図12において、試験のためのIQ変調器が820として図示されており、それは2つのベースバンド入力xとyを有する。このベースバンド入力xは、以下に説明されるように前置補償器810によって修正されてもよい。前置補償器810がベースバンド入力を修正する場合、IQ変調器820に入力されるベースバンド入力x'とy'と変更される。

【0150】

試験信号がIQインバランス測定機器900の試験信号発生器930によって提供される。試験信号は上記に詳細に説明されている。ベースバンド入力xとy(又はx'とy')に適用されたとき、IQ変調器820は特別に試験信号によりステミュレートされた出力を発生するが、それは周波数分析器又はスペクトル分析器のような周波数選択測定機器830によって測定される。

40

【0151】

スペクトル分析器830からの出力はインバランス測定機器900に供給され、上記方法に従って分析器910によりその出力が分析される。最小化処理920は試験信号発生器930に指示して、新試験信号からの新出力が測定できるように一組の試験信号を変更する。このことを、最小の試験信号組又は試験信号のファクタが最小となるまで繰り返す。最後に、所望の試験信号が決定されたとき、IQ変調器820のインバランスの測定は

50

、測定機器 900 から個別に出力されうる。更に、コレクタプロセッサ 940 は、測定された I Q インバランスの影響が最小化されるように、前置補償器 810 に送るべきフィルタパラメータ若しくは他のデータのようなコードを発生する。上記のように、ベースバンド入力 x と y は、前置補償器 810 において修正されることもあり、このような修正の理由の一つが試験中の変調器 820 の I Q インバランスの影響を減少すべきであることである。

【0152】

説明された実施の形態に関連して本願発明の原理を説明及び図示してきたが、図示された実施の形態はそのような原理から逸脱することなく配置や詳細において変更されうるものであり、いかなる所望の方法において組み合わせ可能である。そして、上記の説明は特定の実施の形態に焦点を合わせたものであるけれども、他の構成も受け入れられるものである。

10

【0153】

特に、「本発明の実施の形態により」などのような表現がここに使用されていたとしても、これらの文言は一般的に言及された実施の形態の可能性を意味するものであり、特定の実施の形態の構成に本発明を制限することを意図するものではない。ここに使用されたように、これらの用語は他の実施の形態と組み合わせ可能な同一又は異なる実施の形態を参照することもある。

【0154】

したがって、ここに記載された実施の形態に対する非常に広範な順列を考慮して、詳細な説明と添付のものは、例示目的のみを意図するものであって、本発明の範囲を制限するようにとらえられるべきではない。したがって、発明として権利請求されるものは、以下の特許請求の範囲の記載範囲と精神内に入るのであるうすすべてのそのような変更及びその均等物である。

20

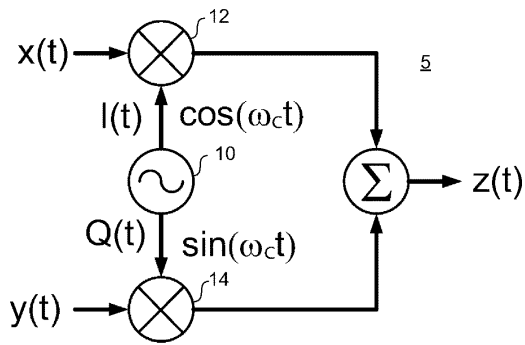
【符号の説明】

【0155】

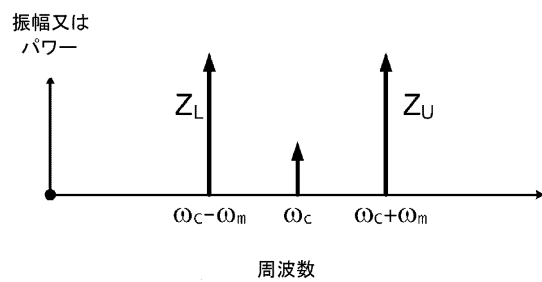
810 ... 前置補償器
820 ... 被試験 I Q 変調器
830 ... 周波数選択測定機器
900 ... I Q インバランス測定機器
910 ... 出力分析器
920 ... 最小化処理
930 ... 試験信号発生器
940 ... コレクタプロセッサ
960 ... プロセッサ
970 ... メモリ

30

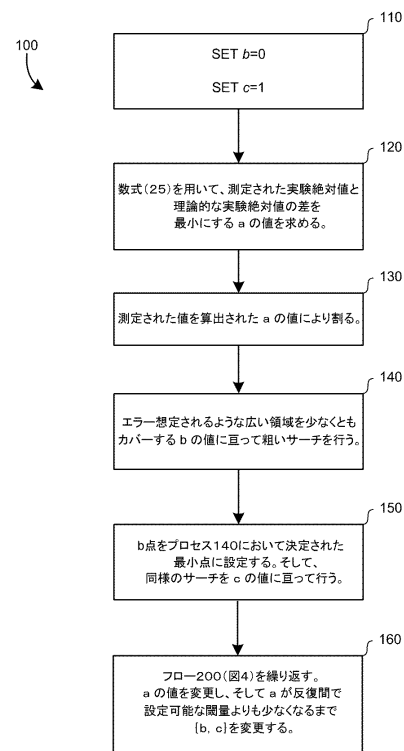
【図 1】



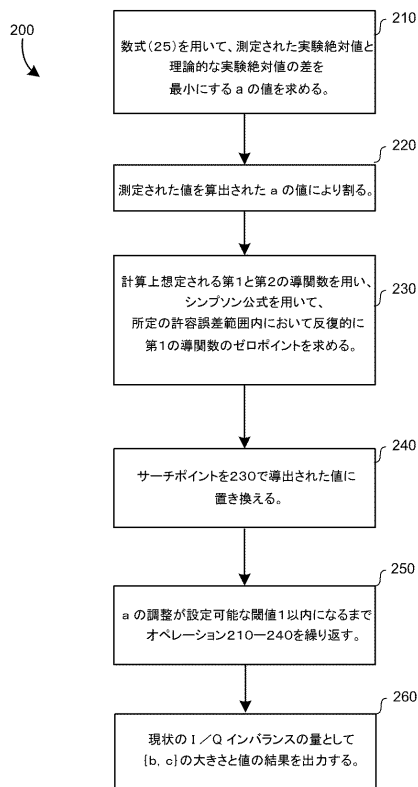
【図 2】



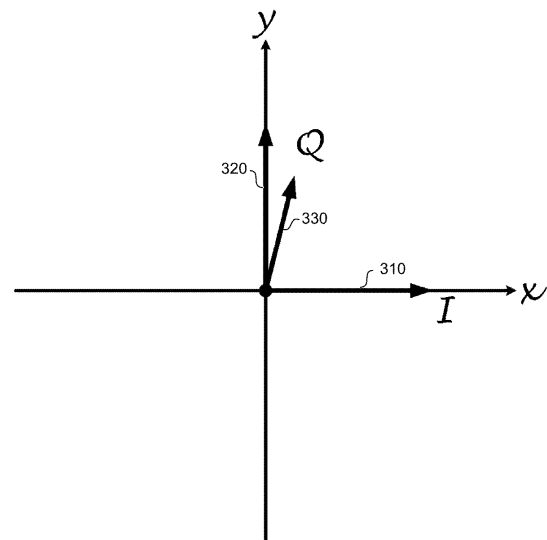
【図 3】



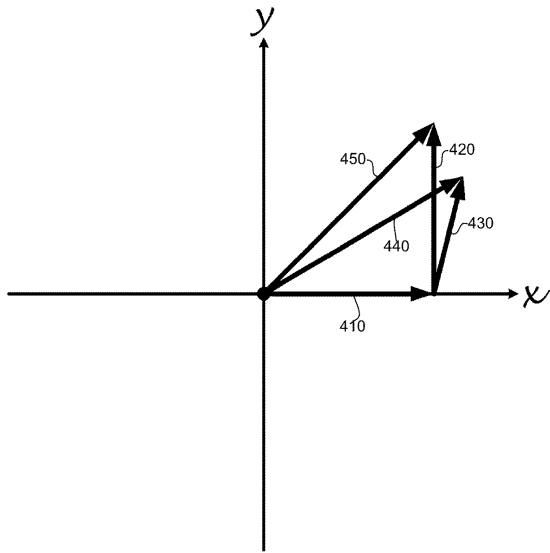
【図 4】



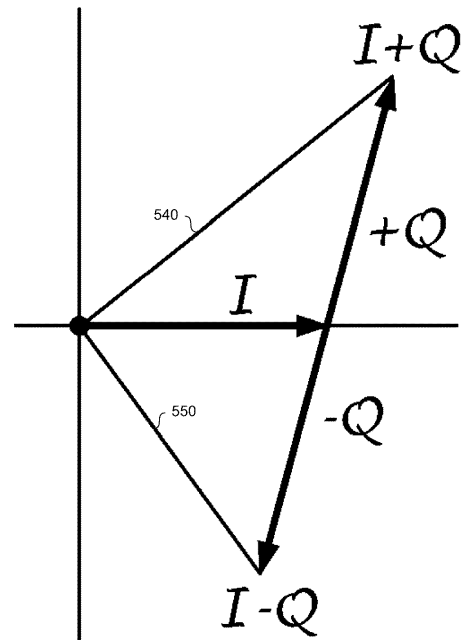
【図 5】



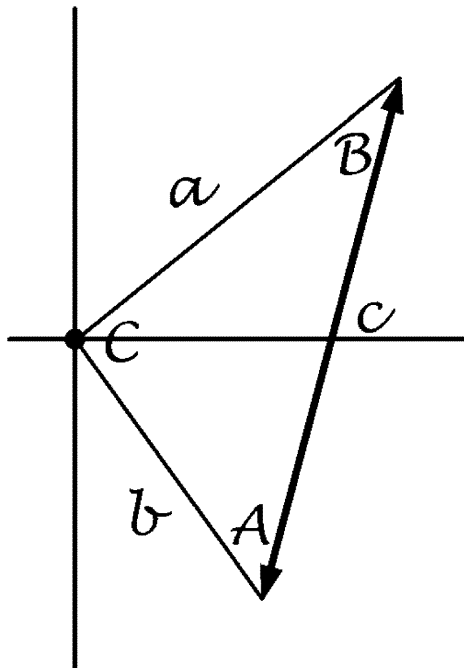
【図 6】



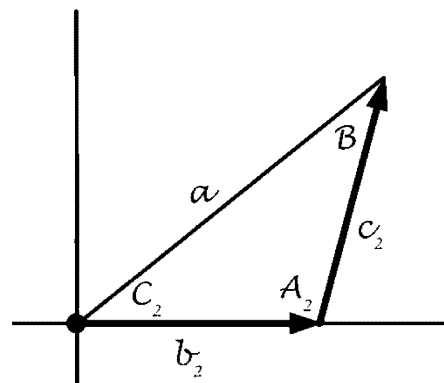
【図 7】



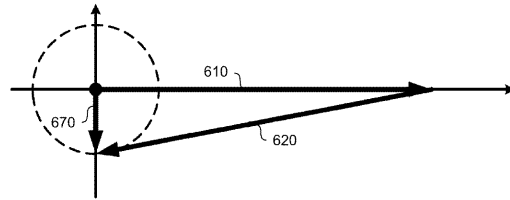
【図 8】



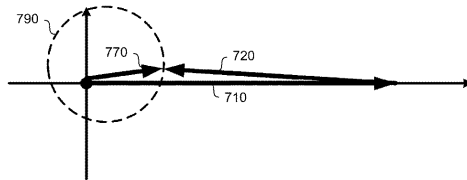
【図 9】



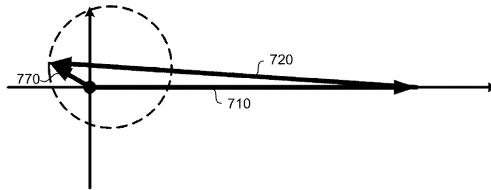
【 図 1 0 D 】



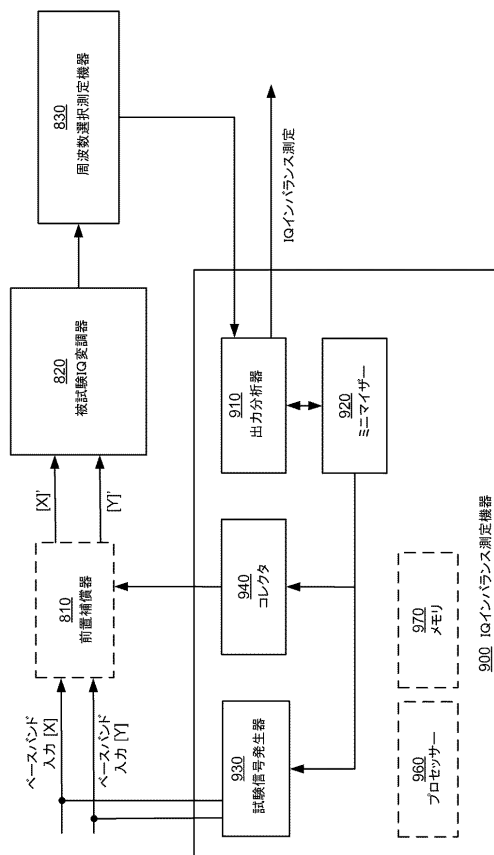
【 図 1 1 A 】



【 図 1 1 B 】



【圖 12】



フロントページの続き

(56)参考文献 米国特許第07180937(US, B2)
特開2002-009642(JP, A)
米国特許第06393258(US, B1)
特開2004-120561(JP, A)
特許第3737819(JP, B2)
国際公開第2007/122880(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04L 27/00 - 27/38
IEEE Xplore