

(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2006-189440

(P2006-189440A)

(43) 公開日 平成18年7月20日(2006.7.20)

(51) Int. Cl.		F I		テーマコード (参考)
GO 1 R 35/00	(2006.01)	GO 1 R 35/00	J	2 GO 2 8
GO 1 R 27/28	(2006.01)	GO 1 R 27/28	Z	

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2005-372695 (P2005-372695)	(71) 出願人	399117121
(22) 出願日	平成17年12月26日 (2005.12.26)		アジレント・テクノロジーズ・インク
(31) 優先権主張番号	11/028161		AGILENT TECHNOLOGIES, INC.
(32) 優先日	平成17年1月3日 (2005.1.3)		アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト
(33) 優先権主張国	米国 (US)		ページ・ミル・ロード 395
			395 Page Mill Road
			Palo Alto, California
			U. S. A.
		(74) 代理人	100087642
			弁理士 古谷 聡
		(74) 代理人	100076680
			弁理士 溝部 孝彦
		(74) 代理人	100121061
			弁理士 西山 清春

最終頁に続く

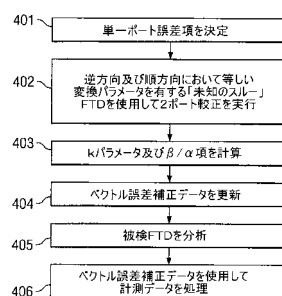
(54) 【発明の名称】 未知のスルー較正を使用したベクトルネットワークアナライザのミキサ較正

(57) 【要約】

【課題】ベクトルネットワークアナライザを正確に較正するためのより複雑でない手段を提供する。

【解決手段】1 実施形態は、較正モード中に、ベクトルネットワークアナライザ(500)によって基準周波数変換装置(FTD)(108)に刺激信号を印加するステップと、前記基準FTDの応答を測定するステップと、前記測定された応答及び単一ポート誤差較正項からのデータを使用して順方向及び逆方向の伝送追跡誤差項(505)を決定するステップを含む方法であり、この場合、前記基準FTDは、順方向及び逆方向において同一の変換効率を有し、前記基準FTDは、未知の入力及び出力反射特性を有する。

【選択図】図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

較正中に、ベクトルネットワークアナライザ（５００）によって基準周波数変換装置（ＦＴＤ）（１０８）に刺激信号を印加するステップと、

前記基準ＦＴＤの応答を計測するステップと、

前記計測された応答及び単一ポート誤差較正項からのデータを使用して順方向及び逆方向の伝送追跡誤差項（５０５）を決定するステップを含み、

前記基準ＦＴＤは、順方向及び逆方向において同一の変換係数を有し、前記基準ＦＴＤは、未知の入力及び出力反射特性を有することからなる、方法。

10

【請求項 2】

前記計測された応答からの前記データは、スイッチ誤差が補正された C_{12} データ計測値とスイッチ誤差が補正された C_{21} データ計測値を有する、請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記決定するステップは、前記計測された応答、順方向反射誤差項、及び逆方向反射誤差項からのデータを使用してパラメータを算出するステップを含み、

前記パラメータの大きさは、スイッチ誤差が補正された C_{12} データ計測値を、スイッチ誤差が補正された C_{21} データ計測値、前記順方向反射誤差項、及び前記逆方向反射誤差項によって除算したものの平方根に等しい、請求項 1 記載の方法。

【請求項 4】

20

前記順方向伝送追跡誤差項は、次の式を使用して算出される、請求項 1 記載の方法。

【数 1】

$$E_{TF} = k \left(\frac{E_{RR}}{1 - E_{DR} \Gamma_f} \right)$$

【請求項 5】

前記逆方向伝送追跡誤差項は、次の式を使用して算出される、請求項 1 記載の方法。

【数 2】

$$E_{TR} = k \left(\frac{E_{RF}}{1 - E_{DF} \Gamma_r} \right)$$

30

【請求項 6】

装置の高周波（ＲＦ）特性を決定するシステムであって、

前記システムの較正モードにおいて、基準周波数変換装置（ＦＴＤ）（１０８）に対して刺激信号を印加するソース（１０７）であって、前記基準ＦＴＤは、順方向及び逆方向において等しい変換係数を有し、前記基準ＦＴＤは、未知の入力及び出力反射特性を有することからなる、ソースと、

前記刺激信号に対する前記基準ＦＴＤの応答を計測する複数のレシーバ（１０１～１０４）と、

40

前記計測された応答と単一ポート誤差較正項からのデータを使用して順方向及び逆方向伝送追跡誤差項を算出するロジック（５０３）を備える、システム。

【請求項 7】

前記順方向及び逆方向の伝送追跡誤差項は、次の式を使用して算出される、請求項 6 記載のシステム。

【数 3】

$$E_{TF} = k \left(\frac{E_{RR}}{1 - E_{DR} \Gamma_f} \right) \text{ 及び } E_{TR} = k \left(\frac{E_{RF}}{1 - E_{DF} \Gamma_r} \right)$$

50

【請求項 8】

前記複数のレシーバの 1 つによる処理の前に、前記基準 F T D の出力をアップコンバージョンする少なくとも 1 つのアップコンバータをさらに備える、請求項 6 記載のシステムであって、前記アップコンバータは、前記基準 F T D によって実行される周波数変換の量に関連したアップコンバージョンの量を適用することからなる、システム。

【請求項 9】

前記複数のレシーバのうちのいずれかによる処理の前に、前記基準 F T D の出力をダウンコンバージョンする少なくとも 1 つのダウンコンバータをさらに備える、請求項 6 記載のシステムであって、前記ダウンコンバータは、前記基準 F T D によって実行される周波数変換の量に関連したダウンコンバージョンの量を適用することからなる、システム。

10

【請求項 10】

前記複数のレシーバは、位相ロックレシーバである、請求項 6 記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は、一般に、ベクトルネットワークアナライザの較正に関するものである。

【背景技術】

【0002】

ネットワークアナライザは、様々な被検装置 (D U T) の高周波 (R F) 特性を決定するべく使用される装置である。ネットワークアナライザは、通常、ある周波数レンジにわたって刺激信号を掃引し、この刺激信号を D U T に印加して D U T の応答を計測することによって動作する。ネットワークアナライザが生成する計測値には、通常、いくつかの問題に起因した不正確性が含まれている。例えば、計測の際に、ネットワークアナライザ及び / 又は試験セットアップに関連したインピーダンスの不整合により、誤差が生成される。

20

【0003】

較正技法を適用して計測データの後処理を可能にすることにより、計測データの誤差を軽減することができる。一般に、ネットワークアナライザの較正は、「標準」(既知の又は推定された特性を具備する装置)に対して刺激信号を印加し、この計測値からシステムチック誤差(系統的誤差)を推定することによって実行される。「S O L T」タイプの較正法は、「ショート」標準、「オープン」標準、「ロード」標準、及び「スルー」標準を採用することによって実行される。スルー標準の特性を決定することなしに、スルー標準を使用してネットワークアナライザを較正可能な方法(「未知の」スルー(「u n k n o w n」t h r u)法)が既に関連されている。この「未知のスルー(アンノウンスルー)」法は、一般的な 8 項ネットワークアナライザ誤差補正の理論に基づいたものである。

30

【0004】

ミキサ、変調器、復調器、及びこれらに類似のものなどの周波数変換装置(F r e q u e n c y T r a n s l a t i o n D e v i c e : F T D) の場合には、ネットワークアナライザの動作と較正は困難である。具体的には、ネットワークアナライザは、特定の計測を実行する際に、刺激信号の現在の周波数と同一の周波数において計測値を取得するが、F T D の出力周波数が F T D に対する入力と異なっているため、通常のネットワークアナライザ計測(値)を使用することができないのである。この問題に対処するべく、ネットワークアナライザを使用して F T D の特性を計測可能な 3 つのミキサと 3 組の計測値を使用する試験方法が既に関連されている。

40

【特許文献 1】米国特許出願第 10 / 967 , 877 号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

別のネットワークアナライザの較正方法では、F T D 計測値にベクトル誤差補正を適用できるようにする。この方法は、スルー装置として機能するように予め特徴付けられてい

50

る「基準」F T Dを使用するステップを有している。しかしながら、F T Dは、ドリフトを被ることになる。最高の精度を得るには、較正を実行するたびに、基準F T Dの特徴を再決定しなければならない。具体的には、この特徴の再決定を怠れば、基準F T Dのドリフトに等しい較正の誤差が生じることになる。又、これら2つの計測段階（基準F T Dの特徴決定と、対象のその他のF T Dの計測）により、計測が複雑化し、不確定性が増大する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

いくつかの代表的な実施形態は、F T Dの特性を計測するためにネットワークアナライザを較正するためのシステム及び方法に関するものである。既に開発済みの未知のスルー法は、未知のスルー標準の線形性に基づいているが、代表的な実施形態によれば、特徴が判明していないF T Dをネットワークアナライザの較正用のスルー装置として使用可能である。具体的には、代表的な実施形態では、異なる周波数のSパラメータ計測値を使用することにより、未知のスルー演算を変更する。又、代表的な実施形態では、等しい順方向及び逆方向の変換効率パラメータを具備したF T D装置を使用する。これらの変更を加えることにより、対象のネットワークアナライザの誤差項について、未知のスルー演算の解を得ることができる。

10

【0007】

いくつかの代表的な実施形態は、特徴が判明していないF T Dを未知のスルーとして使用するべく適合された較正モードで動作するベクトルネットワークアナライザに関するものである。較正の際に、このベクトルアナライザは、刺激信号をF T Dに対して印加し、F T Dの応答を計測する。複数の位相コヒーレントミキサを使用することにより、適切な順方向及び逆方向周波数において確実に計測が行われるようにすることができる。これらの計測値は、ネットワークアナライザによって処理され、適切なモデルの適切な誤差補正項が生成される。そして、この誤差補正項を使用することにより、被検F T Dの後続の計測値に対してベクトル誤差補正を適用する。

20

【実施例】

【0008】

いくつかの代表的な実施形態では、変更された未知のスルー法を使用することにより、単一の2ポート較正を使用してF T Dを分析するべく、ネットワークアナライザを較正可能である。この未知のスルー法に関連する計測を実行するには、図1に示されているベクトルネットワークアナライザ100などのような、4つのレシーバ（受信器）を有する周波数変換トポロジーを使用可能である。アナライザ100は、複数の独立的にチューニング可能な狭帯域レシーバを有している。出力101～104は、後続の処理のためのSパラメータ（a1、b1、a2、及びb2）計測値を形成してシステムチック誤差（系統的誤差）の項を決定するためにレシーバによって計測される信号である。なお、これらのレシーバは位相ロックレシーバとすることができる。

30

【0009】

アナライザ100内では、発振器106がF T D108を駆動する。較正動作中、F T D108は、「未知のスルー」標準であり、以下、これを「基準」F T Dと呼ぶことにする。一方、通常の計測動作中は、F T D108は、被検装置である。カプラ125及び126がF T D108の両側に配設されている。さらに、必要であれば、F T D108の両側にフィルタを配設することも可能である。又、発振器106は、ミキサ109～112にも接続されており、これにより、ミキサ109～112に関連するアップコンバージョン（たとえば、周波数を高くする変換）又はダウンコンバージョン（たとえば、周波数を低くする変換）を、F T D108が実行する周波数変換に関係付ける。発振器105がミキサ113～116を駆動する。アナライザ100は、スイッチ117～124を更に有している。この発振器105及び106、ミキサ109～116、及びスイッチ117～124の構成により、出力101～104間における位相関係が維持されると共に、それぞれの周波数における順方向及び逆方向の計測の実行が可能になっている。尚、このアナ

40

50

ライザ 100 の動作に関する更なる詳細は、「Vector Network Analyzer With Independently Tuned Receivers Characterizes Frequency Translation Devices」という名称の米国特許出願第 10/967,877 号明細書に記載されており、この内容は、参照により、本明細書に組み込まれるものとする。アナライザ 100 は、一例であって、それぞれの周波数において計測の実行が可能なその他の適切なトポロジーを使用することも可能である。

【0010】

未知のスルー演算の S パラメータバージョンに対する変更は、S パラメータ (S_{11} 、 S_{21} 、 S_{12} 、 S_{22}) のサブセットを変換パラメータ (S_{11} 、 C_{21} 、 C_{12} 、 S_{22}) によって置換するステップを有している。さらに、従来の S パラメータ較正は、同一の周波数における順方向及び逆方向の誤差項を具備しているが、代表的な実施形態による変換パラメータ較正では、異なる周波数における順方向及び逆方向の誤差項を具備している。尚、以下の数学的な証明においては、この異なる周波数を、順方向の誤差項に対しては f1 という上付き文字を付加し、逆方向の誤差項に対しては f2 という上付き文字を付加することにより、表記することとする。

【0011】

アナライザ 100 のトポロジーは、図 2 に示されている誤差ボックスモデル 200 を使用してモデル化することができる。順方向において取得される 4 つの計測値と逆方向において取得される 4 つの計測値により、未加工の S パラメータが、次のように定義される。

【0012】

【数 4】

$$[S_m] = \begin{bmatrix} \frac{b_{1mf}^{f2}}{a_{1mf}^{f2}} & \frac{b_{1mf}^{f2}}{a_{2nr}^{f2}} \\ \frac{b_{2mf}^{f2}}{a_{1mf}^{f2}} & \frac{b_{2mr}^{f2}}{a_{2mr}^{f2}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11M} & S_{12M} \\ S_{21M} & S_{22M} \end{bmatrix}$$

$$[S_{mc}] = \begin{bmatrix} S_{11mc} & S_{12mc} \\ S_{21mc} & S_{22mc} \end{bmatrix}; [M_{sc}] = \begin{bmatrix} 1 & \frac{a_{1mr}^{f2}}{b_{1mr}^{f2}} \\ \frac{a_{2mf}^{f2}}{b_{2mf}^{f2}} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \Gamma_r \\ \Gamma_f & 1 \end{bmatrix} \quad (式 1)$$

ここで、 $[S_m] = [S_{mc}] * [M_{sc}]$ 及び $[S_{mc}] = [S_m] * [M_{sc}]^{-1}$ である。

尚、本明細書において演算子 * は乗算を意味する。

【0013】

従って、この計測プロセスは、それぞれの順方向及び逆方向の計測が、異なる周波数において実行されるという点を除いて、典型的な 2 ポート較正法に類似した方式で開始される。この未加工の計測値を取得した後に、従来の補正を適用することにより、ネットワークアナライザのスイッチ誤差 (switch error) を補正する。具体的には、 $[S_{mc}]$ が、このスイッチ誤差が補正された S パラメータ計測値である。

【0014】

このシステム式は、行列式の形態、即ち、T パラメータで解くのが便利である。図 3 の信号フローグラフ 300 を使用すると、式 (2) が、次のように導出される。

【0015】

【数 5】

$$[T_{mc}] = [A] * [T] * [B] = \left(\frac{\beta^2}{\alpha^2} \right) \left(\frac{1}{E_{RR}^2} \right) \begin{bmatrix} \Delta_A & E_{DF}^2 \\ -E_{SF}^2 & 1 \end{bmatrix} * [T] * \begin{bmatrix} \Delta_B & E_{SR}^2 \\ -E_{DR}^2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{mc} = \frac{1}{S21_{mc}} \begin{bmatrix} -\Delta_{sm} & S11_{mc} \\ -S22_{mc} & 1 \end{bmatrix}; \text{ここで、}\Delta_{sm} = S11_{mc} S22_{mc} - S21_{mc} S12_{mc} \text{である。}$$

10

$$T = \frac{1}{C_{21}} \begin{bmatrix} \Delta_T & S_{11} \\ -S_{22} & 1 \end{bmatrix}; \Delta_T = C_{21} C_{12} - S_{11} S_{22}; \Delta_A = E_{RF}^2 - E_{DF}^2 E_{SF}^2; \Delta_B = E_{RR}^2 - E_{DR}^2 E_{SR}^2 \quad (\text{式 2})$$

【0016】

T_{mc} は、スイッチ誤差が補正された計測値の転送パラメータのバージョンである。誤差項には、方向性（添え字「D」によって表記されている）、ソース整合（添え字「S」によって表記されている）、反射追跡（添え字「R」によって表記されている）の項が含まれている。この方向性、ソース整合（source match）、及び反射追跡（reflection tracking）の誤差項は、従来の線形単一ポート較正法から決定可能である。尚、この数学的な説明においては、これらの誤差項が既知であることが想定されている。

20

【0017】

この式（2）の導出は、線形の未知のスルー演算に関連した演算に類似しており、この演算では、典型的な S_{12} 及び S_{21} 項が変換パラメータ C_{12} 及び C_{21} によって置換されているという点が異なっている。これらの変換パラメータは、基準 F T D のそれぞれの側の間の周波数変換効率を反映している。

【0018】

前述のように、基準 F T D は、好ましくは、等しい変換効率（ $C_{21} = C_{12}$ ）を有している。この条件が真であれば、 $|T| = 1$ であり、次のような単純化が可能である。

30

【0019】

【数 6】

$$|T_{mc}| = |A| * |T| * |B| = k^2 |A'| * |B'|$$

$$k = \left(\frac{\beta^2}{\alpha^2} \right) \left(\frac{1}{E_{RR}^2} \right); [A'] = \begin{bmatrix} \Delta_A & E_{DF}^2 \\ -E_{SF}^2 & 1 \end{bmatrix}; |B'| = \begin{bmatrix} \Delta_B & E_{SR}^2 \\ -E_{DR}^2 & 1 \end{bmatrix}$$

【0020】

40

k 及び / について解くために、次のように導出を継続する。

【0021】

【数 7】

$$|T_{mc}| = \frac{S_{12mc}}{S_{21mc}}; |A'| = E_{RF}^{f12}; |B'| = E_{RR}^{f2}$$

$$k^2 = \frac{|T_{mc}|}{|A'| * |B'|} = \frac{S_{12mc}}{S_{21mc} E_{RF}^{f12} E_{RR}^{f2}}$$

$$k = \pm \sqrt{\frac{S_{12mc}}{S_{21mc} E_{RF}^{f12} E_{RR}^{f2}}}; \frac{\beta^{f2}}{\alpha^{f21}} = k E_{RR}^{f2} \quad (\text{式 3})$$

10

【0022】

通常、パラメータ k の符号は、基準 F T D の位相に関する想定によって決定されることに留意されたい。次いで、順方向伝送追跡及び逆方向伝送追跡を次のように計算できる。

【0023】

【数 8】

$$E_{TF} = k \left(\frac{E_{RR}}{1 - E_{DR} \Gamma_f} \right), E_{TR} = k \left(\frac{E_{RF}}{1 - E_{DF} \Gamma_r} \right) \quad (\text{式 4})$$

20

【0024】

この結果、すべてのシステマチック（系統的）誤差項が決定されたことになる。この式（4）を使用することにより、ネットワークアナライザのベクトル誤差補正データを更新可能である。この段階で、ベクトルネットワークアナライザは、対象の F T D を分析するための準備ができた状態にある。

【0025】

図 4 は、代表的な一実施形態によるフローチャート 400 を示している。ステップ 401 において、方向性、ソース整合、及び反射追跡などの典型的な単一ポート誤差項を決定する。ステップ 402 において、2 ポート較正を実行し、刺激信号を基準 F T D のポートに印加して、2 つのそれぞれの周波数において F T D の応答の計測値を取得する。順方向及び逆方向において実質的に等しい変換効率を有する基準 F T D を選択することにより、基準 F T D は、未知の入力及び出力反射特性を有している可能性がある。ステップ 403 において、 k パラメータと β/α 項を算出する。ステップ 404 において、これらの項を使用して、ベクトルネットワークアナライザのベクトル誤差補正データを更新する（例えば、順方向及び逆方向の追跡誤差項を算出する）。ステップ 405 において、被検 F T D を分析する。ステップ 406 において、被検 F T D に関連するデータをベクトル誤差補正に従って処理する。

30

【0026】

図 5 は、代表的な一実施形態によるベクトルネットワークアナライザ 500 を示している。この図 5 に示されているように、アナライザ 500 は、F T D レシーバサブモジュール 501 を含んでいる。このレシーバサブモジュール 501 により、好ましくは、適切なそれぞれの周波数において順方向及び逆方向における計測を実行可能である。又、このアナライザ 500 は、プロセッサ実行可能命令、集積回路、及び / またはこれらに類似するものとして実施可能な較正ロジック 502 も含んでいる。この較正ロジック 502 は、従来の 1 ポート較正手順を実行可能である。又、この較正ロジック 502 は、未知のスルー用較正ロジック 503 を使用して、2 ポート較正をさらに実行する。較正ロジック 502 は、較正手順が完了すると、誤差項 505 を更新する。そして、これに続いて計測動作が実行されると、ベクトル誤差補正ロジック 504 が、誤差項 505 を計測データに対して適用して、F T D 装置の正確な分析を可能にする。尚、代替実施形態では、較正ロジック 5

40

50

02とベクトル誤差補正ロジック504は、別個のシステム（例えば計測データを後処理するコンピュータ）上に実装される。

【 0 0 2 7 】

いくつかの代表的な実施形態は、いくつかの利点を提供可能である。例えば、いくつかの代表的な実施形態による較正プロセスは、相対的に複雑でなく、従来の線形装置（または線形素子）に使用されている較正手順に類似している。又、2ポート較正を利用することにより、いくつかの代表的な実施形態は、ネットワークアナライザのより大きなダイナミックレンジをF T Dの分析のために利用可能である。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 8 】

【図 1】代表的な一実施形態に従う、F T D を分析するベクトルネットワークアナライザを示す。

【図 2】代表的な一実施形態による誤差ボックスモデルを示す。

【図 3】 代表的な一実施形態による信号フローグラフを示す。

【図 4】代表的な一実施形態によるフローチャートを示す。

【図 5】代表的な一実施形態によるベクトルアナライザを示す。

【符号の説明】

【 0 0 2 9 】

1 0 7 ソース

1 0 8 基準周波数変換装置 (F T D)

100、500 ベクトルネットワークアナライザ

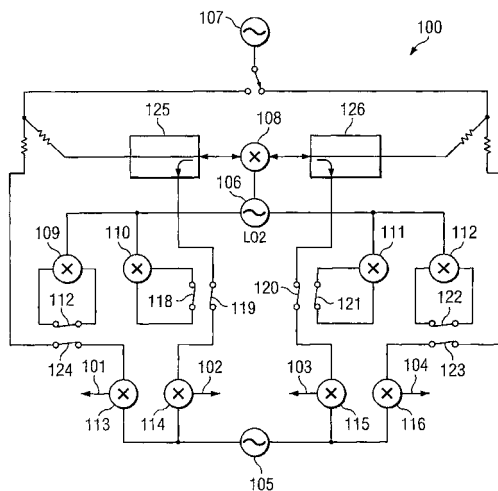
5 0 3 較正ロジック

5 0 5 伝送追跡誤差項

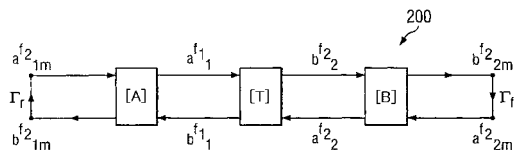
10

20

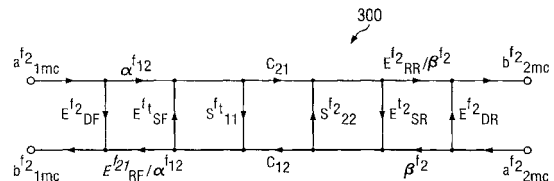
【 図 1 】



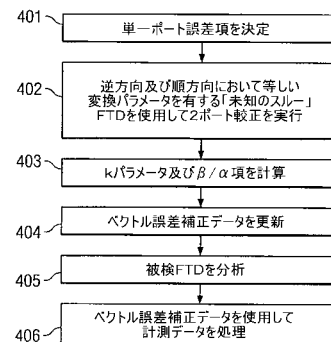
【圖 2】



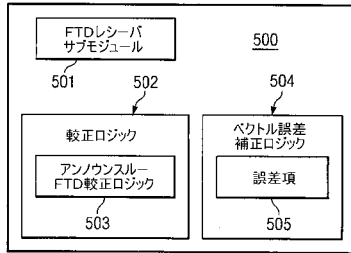
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



フロントページの続き

(72)発明者 ジェイムス・シー・リウ

アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 5 4 0 5 , サンタローザ , マリン・ドライブ・ 1 9 1 9

(72)発明者 ケネス・エイチ・ウォン

アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 5 4 0 9 , サンタローザ , イェルバ・ブエナ・ロード・ 5 3 2
6

(72)発明者 デイビッド・ダブリュー・ブラックハム

アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 5 4 0 4 , サンタローザ , ニューバリー・コート・ 3 7 1 6

F ターム(参考) 2G028 AA01 AA02 CG15 DH11 FK07 MS02