

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

電気回路であって、
前記電気回路の現在の環境損失特性による変化に影響される特定の特性群を有する出力信号を生成する回路と、
前記電気回路の前記現在の環境損失特性を測定する手段と、
前記測定する手段により少なくとも部分的に制御され、前記特定の特性群を前記電気回路の前記現在の環境損失特性とは無関係に維持するための手段と、
を具備する電気回路。

【請求項 2】

前記回路が基板上に含まれており、前記測定する手段が、前記基板上に作られた経路を通じて信号を搬送する手段を備えている、請求項 1 に記載の回路。

【請求項 3】

前記測定する手段が、出力信号をもたらすように作られたテスト経路を通じて信号を搬送する手段を備え、前記出力信号は、前記電気回路の前記現在の環境損失特性の特徴を表す、請求項 1 に記載の回路。

【請求項 4】

精度の向上が $500\text{ MHz} \sim 2,500\text{ MHz}$ で $\pm 0.4 \sim 0.5\text{ dB}$ の範囲である、請求項 1 に記載の回路。

【請求項 5】

前記維持するための手段が、測定テストシステムの精度を向上させるために環境変化に補正を加え、前記システムは、信号発生器、測定用受信器、電力計からの少なくとも 1 つの信号を備えている、請求項 1 に記載の回路。

【請求項 6】

テストシステムであって、
信号発生器と、
信号測定用受信器と、
前記信号発生器及び前記信号測定用受信器の現在の環境損失特性を測定するための回路と、
前記測定するための回路に応答して前記信号測定用受信器又は前記信号発生器のいずれか一方、又は前記信号測定用受信器及び前記信号発生器の両方を調節することにより前記電気回路の前記現在の環境損失特性を考慮する回路と、
を具備するテストシステム。

【請求項 7】

前記測定するための回路が、前記信号発生器及び前記信号測定用受信器の前記現在の環境損失特性の特徴を表す出力信号を生じるように作られた少なくとも 1 つのテスト回路を通じて信号を搬送する回路を含んでいる、請求項 6 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記信号発生器が第 1 の基板上に含まれ、前記信号測定用受信器が第 2 の基板に含まれ、
前記信号発生器の前記現在の環境損失特性を測定する回路が、前記第 1 の基板上に作られたテスト回路を少なくとも部分的に備えており、
前記信号測定用受信器の前記現在の環境損失特性を測定する回路が、前記第 2 の基板上に作られたテスト回路を少なくとも部分的に備えている、請求項 6 に記載のシステム。

【請求項 9】

電子テスト装置を校正するための方法であって、
ある時点において RF 信号中の誤差を補正するために前記 RF 信号を最初に校正するステップと、
その後の時点において前記 RF 信号が搬送されている RF 経路を含む回路基板上の湿度及び温度の累積効果により生じた前記 RF 信号の変化を補正するために前記 RF 信号を再

10

20

30

40

50

度校正するステップと、
を含む方法。

【請求項 10】

前記再度校正するステップが、前記回路基板の特性と同様の特性を有する材料で構築したテスト経路に沿って RF 校正信号を送るステップを含んでいる、請求項 9 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に、電子テスト装置の校正に関し、特に、湿度及び温度等の環境の変化 10
に対応した校正に関する。

【背景技術】

【0002】

環境湿度及び温度の変化は、高周波信号発生器、電力計、測定用受信器及びその他の電子テスト装置の校正精度にドリフトを生じてしまう。このような装置は、高温で乾燥した気候から寒冷多湿な気候までにわたり、その仕様に則した性能を提供することが期待されている。このような装置は、代表的には温度変化による影響（寸法的なもの及び電氣的なもの）を受け、環境から水分を吸収する誘電体材料から成るプリント回路基板を用いて構成されている。この結果、これらの基板上に作られた伝送線構造体の挿入損失及び特性インピーダンスが環境条件の変化によって変動することになる。このような変動は、テスト 20
装置の校正精度に影響を与える。テスト装置が校正される環境は、それが使用される環境とは異なる場合もあることから、装置の仕様設定プロセスにおいては一定範囲の環境条件にわたって所定レベルの性能を保証するように許容差を設けなければならない。これらの許容差があることにより、その性能仕様は環境に変動が無かった場合に可能なものよりも劣る結果となっているのである。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

一般に、装置設計には何らかの温度補正手段が組み込まれている。周囲温度を検出することは極めて容易なことであり、装置性能はこの温度の関数として特性付けられる。動作 30
中、周囲温度の変動を補正するための矯正が行われる。多くの装置の仕様は、周囲温度と機器内部温度の関係が安定するまでの一定時間にわたり、その装置の電源を入れた状態にしておくことを義務付けている。その時間長は装置設計に応じて数分から数時間に及ぶ。この温度補正の有効性は、その装置の筐体中の全箇所が同じ温度であるわけではないこと、様々な回路基板アセンブリの温度特性が異なっていること、そして吸湿効果については補正されていないことから、限られているのである。

【課題を解決するための手段】

【0004】

装置誤差には、現在の環境条件のみが影響しているのではなく、過去の環境条件の累積も、その精度変化に影響をあたえているという観測が得られている。この観測を考慮し、 40
システムと方法は、最初に環境に誘発されたそれ自体の誤差に関するパラメータを測定し、その後その測定値に基づいて自発的に調節することにより、その誤差を補正するものである。

一実施形態においては、挿入損失検出システムが長い伝送線と短い伝送線により構成される。RF 信号源及び検出器を用いてこれら 2 本の伝送線の挿入損失の差が測定される。この挿入損失差と 2 本の伝送線の長さの差は、挿入損失検出システムと同じ基板（又は類似基板）上に形成された伝送線の単位長さあたりの損失の測定値を提供するものである。電子テスト装置が校正される時点で単位長さあたりの損失を取得し、そしてこの装置の動作中に一定時間間隔でそれを再度取得することにより、その装置の校正の環境条件による変化を決定することが出来るのである。

【 0 0 0 5 】

他の実施形態においては、プリント回路基板上の銅領域により構成された平行板キャパシタの静電容量が測定される。装置の校正時に静電容量及び基板温度が測定され、そのデータは不揮発性メモリに記憶される。動作中、静電容量と温度が再度（一定時間おきに）測定される。校正時に測定された値と動作中に測定された値は、基板の環境挙動をモデリングするアルゴリズムへと送られる。次にこのアルゴリズムは、元の校正された性能から環境に誘引された変化を補正するために使われる補正率を生成する。

【 0 0 0 6 】

上述は以下に説明する本発明の詳細な説明について、より明確な理解を得るために本発明の特徴及び技術的利点の概要を説明したものである。本発明の更なる特徴及び利点は、本発明の請求の対象を構成する以下の説明に記載されている。当業者には明らかなように、開示する概念及び特定の実施形態は、本発明と同じ目的を実施するための改変構造又は他の構造を設計するための基盤として容易に利用することが出来るものである。更に当業者には明らかなように、それらの同等構成は本願請求項に定められる本発明の精神及び範囲から離れるものではない。その構成及び動作方法の両方において、本発明の特性であると信じられる新規の特徴は、その更なる目的及び利点と共に添付図を参照しつつ以下の説明を読むことにより明らかとなる。しかしながら、図の各々は例証及び説明目的に提示したものにしか過ぎず、本発明の限界を定義することを意図したものではない。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 0 7 】

本発明のより完全な理解を得るために、添付図を参照しつつ以下に説明する。

【 0 0 0 8 】

図 1 は R F 機器における代表的回路基板 1 2 の一実施形態を示した図であり、入力 1 0 1 からボード及びその上の様々な回路（図 3 B 参照）を通じて信号出力 1 0 2 へと延びる代表的信号経路 1 1 を示している。所望であれば、入力信号は別の回路上で生成されたものではなく、基板 1 2 上で生成されたものとする事も出来る。

【 0 0 0 9 】

一実施形態における動作では、信号（例えば図 3 A の信号源 3 1 からなど）が R F テスト回路 3 0 0 （図 3 B に図示、図 1 には経路 1 1 として示される）への入力として選択される。一実施形態においては、経路 1 1 からの出力が被試験デバイス（D U T）1 0 3 へと印加される。そして D U T 1 0 3 からの出力がテスト受信器 1 0 4 へと印加されてその D U T が所定範囲内にあるかどうか判定される。代わりに、D U T 1 0 3 が独自の信号を発するものであり、それをテスト受信器 1 0 4 が受けるようになっていても良い。一部の条件下においては、テスト信号発生器及びテスト受信器が同じ測定テストシステムのハウジング中に設けられていても良い。

【 0 0 1 0 】

基板 1 2 の代表的な寸法は、代表的 R F 信号経路 1 1 の長さが 1 5 インチ～2 4 インチ（約 3 8 . 1 c m ～約 6 0 . 9 6 c m）である場合、一般に幅 1 1 . 2 インチ（約 2 8 . 4 5 c m）、高さ 5 . 2 インチ（約 1 3 . 2 1 c m）である。P C 基板 1 2 は通常、F R 4、G E T E K（商標）、又は R o g e r s（商標）4 3 5 0 等のような複数の異なる基板材料のうちの 1 つを用いて構成される。これらの材料は経時により湿気を吸収するものであり、この湿気が、あらゆる所定含水率において温度依存性も持つこれらの基板上に形成された伝送線を搬送される R F 信号の損失特性に影響を与えるのである。

【 0 0 1 1 】

R F システムの設計者は通常、そのような基板の 1 つを含む単一の R F モジュール中に益々多くの機能を盛り込もうとする。基板上の R F 経路は、所望の周波数及び他のパラメータを持つ R F 信号を生成するための増幅器、ミキサ、フィルタ、変調器、スイッチ及びパワースプリッタを一般に含んでいる。信号は接地面及び前後カバー上のガasketを含む内部壁により互いから絶縁されている。G E T E K（商標）におけるこの種の経路の代表的な全体の経路損失は 5 0 0 M H z で 0 . 7 5 ～1 . 5 d B、1 , 0 0 0 M H z で 1 .

10

20

30

40

50

5 ~ 2 . 4 d B , そして 2 , 5 0 0 M H z で 3 . 0 ~ 4 . 8 d B である。損失は P C 基板の誘電材料の種類によって変化する。例えば、F R 4 材料での経路損失は上述の値よりも若干高くなり、R o g e r s (商 標) 4 3 5 0 材料での経路損失はこれらの値の約半分である。

【 0 0 1 2 】

損失の変化は R F 経路の種類にも依存する。基板の外表面にあるマイクロストリップは最も低い損失を持ち、多層基板の内側の、2つのグラウンドプレーン間にあるストリップ線路の損失はより高い。異なる種類の遮蔽と整合にはマイクロストリップ及びストリップ線路構造体両方の利用が必要である。G E T E K (商 標) 設計を用いた場合、R F 経路長にもよるが、温度及び湿度によって環境的に生じた変化のために、基板上の損失は 2 , 5 0 0 M H z では 1 . 5 d B も変動する場合がある。 10

【 0 0 1 3 】

R F 信号発生器設計の一具体例においては、本発明の校正プロセスは観測される 0 . 6 d B の変動の殆どを除去し、校正後すぐに 0 . 1 d B 未満の不確定性レベルにまですることが出来る。しかしながら、校正は煩わしいものであり、通常は一日一度までの実施に留まる。このように一日一回のプロセスでは、環境損失の不確定性がたった 0 . 3 d B 引き下げられるに過ぎないことがわかっている。測定、製造及び歩留まり全ての不確定要素を加算すると、一日に一回校正プロセスを実施する代表的な R F 信号源の精度は $\pm 1 . 0$ d B の精度仕様となる。工場での校正のみでそれ以外では一日一回の校正が実施されない場合、精度仕様は環境条件によって $\pm 1 . 3$ d B となる。本願に記載の補正概念を用いれば、0 . 4 ~ 0 . 5 d B の誤差を排除することが可能となり、これにより R F 信号源全体の精度仕様は 5 0 0 M H z ~ 2 , 5 0 0 M H z で $\pm 0 . 8 \sim 0 . 9$ d B となることが予想されている。より長いトレース及び / 又はより多くのストリップ線路トレースを含む回路設計は、この例よりも大きい改善を見込むことが出来る。環境補正は実施されるテスト毎に実施することが出来ることから、所望であれば初期の (又は後の) デバイス校正をこれまでのように頻繁に実施する必要が無くなる可能性がある。また、この補正は湿度等の環境条件を調整するものであることから、装置上のテストプロトコルを起動する前に回路が乾燥しきるのを待つ必要がない。 20

【 0 0 1 4 】

P C 基板伝送線損失は、湿度及び温度誘引誤差の最も大きい根源であることから、より多数の P C 基板又はより長い P C 基板 R F 経路長を持つシステムは、本願に記載の概念を用いることにより校正精度を大幅に改善することが出来るものである。 30

【 0 0 1 5 】

図 2 は、例えば信号発生器、信号測定用受信器、電力計等の電子装置を校正するための方法の一実施形態 2 0 を示す。図示した実施形態においては、補正すべき装置は周波数範囲が 5 0 0 M H z ~ 2 , 5 0 0 M H z のテスト装置であるが、本願に記載の処理法は、回路基板上の環境効果から影響を受ける R F 信号を持ついずれの装置にも利用することが出来る。

【 0 0 1 6 】

プロセス 2 0 2 においては、環境補正処理を特定のパラメータに基づきその回路上で起動させる時間かどうか判定される。これらのパラメータは、回路が期待される環境条件に合わせて設計及び特性付けされている場合に判定される。このステップは、所望であれば省くことが可能であり、補正処理が連続的、又は周期的に実施されるようになっていても良い。補正処理が実施されない場合、最後の正しいテストプロトコルを適用することにより、ステップ 2 0 7 を介した、選択されたテスト周波数を使ってテスト信号が生成される (又は測定デバイスの場合には測定される) 。環境補正が実施される場合、プロセス 2 0 4 において校正信号周波数がテストプロトコルの選択された周波数に基づいて選択される。プロセス 2 0 5 においては、校正信号が以下に説明するように印加されて R F 回路トレース上の累積環境効果が測定される。この累積環境効果の測定結果を用い、プロセス 2 0 6 において、環境条件に基づく R F 信号への損失誤差が決定される。プロセス 2 0 7 に 40 50

おいては、正しい補正值が選択テスト周波数においてテストプロトコルへと適用される、又は環境条件の効果に対して受信回路を補正することにより、その受信回路が調整される。次にプロセス 208 において、そのテスト RF 信号に対して選択されたテストプロトコルに基づいて実際の装置（図示せず）にテストが実施される。

【0017】

留意すべきは、補正は内部的に実施することが出来るため、プロセス 204 ~ 207 はいずれの時点でも実施することが出来るという点であり、実際、システムが実際のテストに使用されていない時点に実施することが出来、従って不正確な測定を低減すると共に補正に関わる不稼動時間を削減することでシステムの精度を更に維持することが出来る。

【0018】

図 3 A は、等価回路経路 34 において測定された基板損失変化を用いて実際の RF 経路 300（図 3 B）における損失の変化を測定するシステム及び方法の一実施形態 30 を描いたものである。PC 基板は、この基板の特定の環境において経時により吸収された湿気からの損失変化を累積していることから、この PC 基板（又は所望であれば別の基板）中に代表経路 34（本願においては長い経路と称する）を作ることが可能であり、これと短い経路 33 との間の比率を測定することにより先の校正からの環境的差異を効果的にモニタすることが出来る。長い（即ち模擬）経路は、実際の RF 経路と同じ基板上（又は一定時間にわたり湿気に晒される場合と同じ物理特性を持つ基板上）に作られており、従ってこれは実際の RF 経路が経時により経験する湿度及び温度効果を表すものである。

【0019】

この処理は、数ある方法のうちの一つによって実現することが出来る。例えば、校正用信号源 31 が RF パワースプリッタ 32 へと印加され、パワースプリッタは短いトレース 33 及び長いトレース 34 を介して校正信号を送る。自己校正プロセス 302 の制御下にある RF スイッチ 35 は、入れ替わりに制御プログラム 301 の制御下に置かれ、短い経路（トレース）と長い経路（トレース）との間で切り替えられる。各トレースからの出力は RF レベル検出器 36 により検出され、A/D 変換器 37 によってデジタル値へと変換され、マイクロプロセッサ 38 へと送られる。次に制御プログラム 301 は短いトレースと長いトレースとの間の比率を求めることにより、環境条件が実際のテスト回路 300（図 3 B に図示）をどのように変えてしまったのかの損失近似値が得られる。留意すべきは、長い経路 34 及び短い経路 33 は、補正を実施する実際の回路（回路 300）と同じ基板上にあるものでも、環境条件に対し、補正を実施する実際の RF 回路 300 の基板に使われている材料と同様に反応する材料を用いた別の基板上に作られたものであっても良い点である。

【0020】

図 3 B は、環境条件に関わりなく、適正なテスト結果を出すように制御プログラム 301 下で調整された補正対象 RF 回路 300 を説明するものである。よって図 3 B に示したように、信号源又はシンセサイザ 310 が入力増幅器 311 に設けられ、入力増幅器はフィルタ 312、変調器 313 及びその他の信号調整回路 314 を経て出力増幅器 315 へと繋がっている。回路 300 における出力増幅器 315 又は他のいずれかの要素は、基板上に作用する湿気と温度の測定された差異に基づいて図 3 A の回路が決定した現在の環境条件に合わせて補正を実施するために制御プログラム 301 により調整されている。このように、テスト回路 300 の出力 102 は、ある期間にわたって累積された環境効果に対して補正されているのである。

【0021】

図 4 A は測定された静電容量及び温度変化を、RF 経路において予測される実際の損失を推定するためのモデルへの入力として用いるシステム及び方法の一例を示したものである。多層プリント回路基板である構造体 40 は環境から湿気を取り込む。この湿気が基板に入り込むと、水の誘電率は基板材料よりも高いことから基板材料の誘電率が変わってしまう。銅領域 405 とグランドプレーン 403 との間にキャパシタが形成される。基板誘電体層 401 がこのキャパシタ用の誘電体を形成する。このキャパシタ構造体における静

10

20

30

40

50

電容量の変化を検出することにより、表面マイクロストリップ伝送線損失に影響を与える基板誘電体層 401 中の含水率に関する情報が提供される。同様に銅領域 406 及びグラウンドプレーン 403 及び 404 の間にも、キャパシタ誘電体を形成する基板誘電体 402 によりキャパシタが形成される。このキャパシタ構造体の静電容量の変化を検出することにより、内部ストリップ線路損失に影響を与える基板誘電体 402 中の含水率に関する情報が提供される。

【0022】

静電容量測定回路 41 は、表面プリント回路トレースにより銅領域 405 へと、そしてめっきされたプリント回路パイア 407 により銅領域 406 へと接続される。温度測定回路 410 はプリント回路基板の温度を検出する。静電容量測定回路 41 及び温度測定回路 410 はいずれも Analog Devices, Inc. が販売する ADC モデル AD7747 を用いて有利に製作することが出来る。この ADC は 2 チャンネル静電容量・デジタル変換器であり、高分解能の静電容量測定を提供すると共にオンチップ温度センサを含んでいる。

10

【0023】

図 4B は、環境補正システム 400 を示す。マイクロプロセッサ 42 は温度センサ 41 及び静電容量センサ 41 からの入力を受ける。この情報は、校正プロセス 45 においてシステム 400 に繋がるプリント回路基板上にある RF 回路 420 用の校正データが生成される時に校正プロセス 45 へと送られる。この校正データは代表的には RF 周波数の関数としての RF 利得であり、これがマイクロプロセッサ 42 を介して制御プロセス 48 において利用され、RF 回路 420 中のハードウェア制御設定が作られる。校正プロセス 45 へと送られる静電容量及び温度データは、RF 回路校正データが生成された時点における基板の環境条件を表すものである。

20

【0024】

通常動作においては、マイクロプロセッサ 42 は温度及び静電容量データを周期的に収集し、このデータを湿度予測アルゴリズム 44 へと送る。湿度予測アルゴリズム 44 は、プリント回路基板における含水率の校正時からの変化の予測値を損失モデル 46 へと提供するものである。損失モデル 46 は、元の RF 回路校正データが生成されてからの湿度変化及び温度変化を取得し、RF 回路性能の変化を動作周波数の関数として予測する一群のデータ 47 を生成する。データ 47 は次に校正プロセス 45 により生成された RF 回路校正データと共に動作制御プロセス 48 において利用され、RF 回路において環境効果補正が施された校正済みオペレーションを生成するための設定が作られる。

30

【0025】

テスト装置におけるプリント回路基板を製作するためには様々な誘電体基板材料を利用することが出来ることから、異なる構成の回路基板には異なる湿度予測アルゴリズム 44 が必要となる場合がある。損失モデル 46 は、回路基板構成のみに依存するだけではなく、RF 回路設計自体にも依存するものである。従って、各設計に一意の損失モデルが必要となる。このモデルは RF 回路性能を測定するために、代表的には制御された環境特性評価テスト中に湿度及び温度変化を相関させることにより生成される。

【0026】

静電容量及び温度センサの配置は、環境補正の精度に影響を与える可能性がある。基板誘電体による水分吸収は、比較的ゆっくりとしたプロセスであり、吸収速度は基板の部位によって異なる。例えば、水分の浸入は PC 基板の端部付近でより高速に生じる。最高精度を得るには、センサデータが高い精度で重要な回路領域の状態を反映することになるようにセンサを配置しなければならない。

40

【0027】

また、テスト信号出力（信号発生器）の校正について説明して来たが、受信回路（測定用受信器）、電力計、又は校正パラメータに感度を持つ他の種類の装置も校正することが可能である。實際上、所望であれば信号発生器、信号受信器又はその両方を同じシステムで校正することが出来る。

50

【 0 0 2 8 】

本発明及びその利点を詳細にわたり説明して来たが、本願請求項に定義される本発明の精神及び範囲から離れることなく、本明細書に様々な変更、代替及び改変を加えることが出来ることは言うまでも無い。更に、本願の範囲は、本明細書に記載したプロセス、機械、生産物、組成物、手段、方法及びステップの特定の実施形態に限定することを意図したものではない。当業者であれば本発明の開示から容易に明らかなように、本明細書に記載した対応する実施形態と実質的に同じ機能を実施する、又は実質的に同じ結果に到達する、現在存在する、又はこれから開発されるいずれのプロセス、機械、生産物、組成物、手段、方法又はステップも、本発明に基づいて利用することが出来るものである。よって本願請求項は、その範囲中にそのようなプロセス、機械、生産物、組成物、手段、方法又はステップを含むことを意図したものである。 10

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 9 】

【図 1】基板上の R F 信号トレースの一実施形態を示す図である。

【図 2】電子装置を校正するための方法の一実施形態を示す図である。

【図 3 A】環境損失誤差を測定するために等価回路経路を用いたシステム及び方法の一実施例を示す図である。

【図 3 B】本発明の概念を利用した回路の一実施例を示す図である。

【図 4 A】静電容量及び温度の測定値を用いて誘電特性変化を求め、その誘電特性変化をモデルに適用して環境的に誘引された性能（利得）変化を求めるための実施例を示す図である。 20

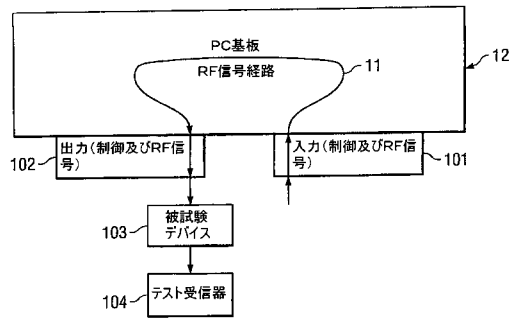
【図 4 B】本発明の静電容量及び温度測定値の概念を利用した回路の一実施例及び方法のブロック図である。

【符号の説明】

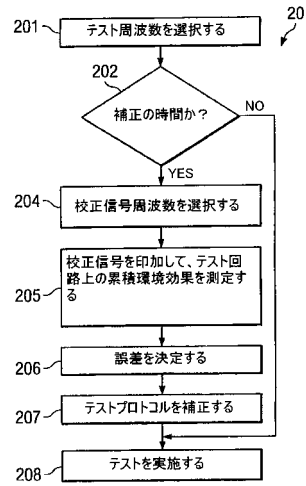
【 0 0 3 0 】

- 3 1 : 信号源
- 3 2 : R F パワースプリッタ
- 3 5 : R F スイッチ
- 3 6 : R F レベル検出器
- 3 7 : A / D 変換器
- 3 8 : マイクロプロセッサ
- 3 0 1 : 制御プログラム
- 3 0 2 : 自己校正プロセス

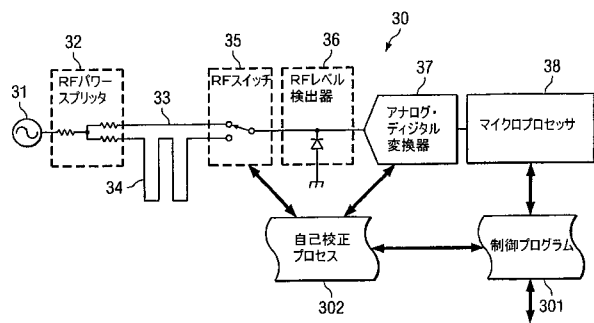
【図 1】



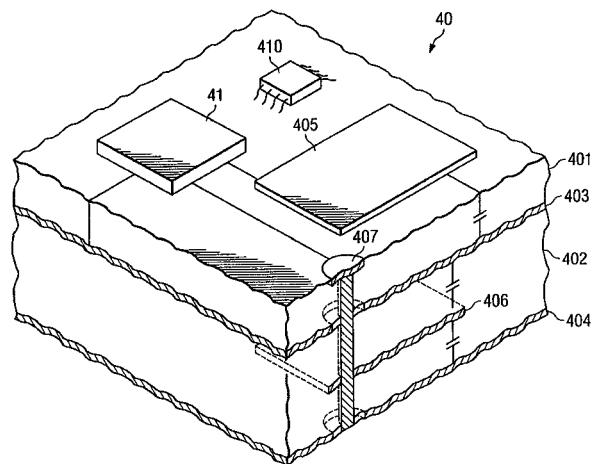
【図 2】



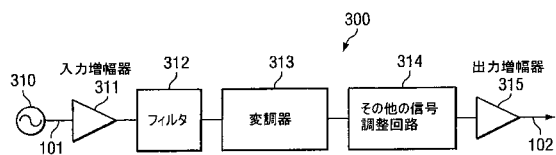
【図 3 A】



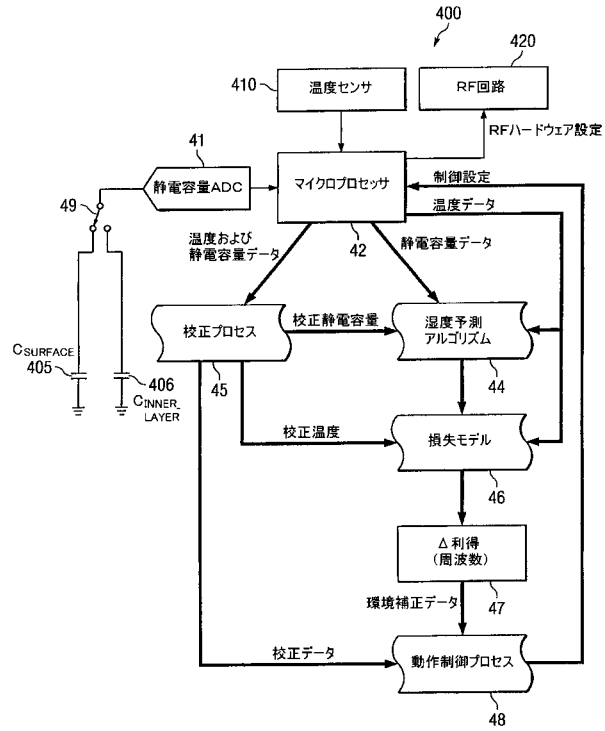
【図 4 A】



【図 3 B】



【図 4 B】



フロントページの続き

- (72)発明者 フレッド・エイチ・アイヴス
アメリカ合衆国ワシントン州 9 9 0 3 7 , ヴェラデイル , サウス・サンクレスト・ドライブ 4 0
2 7
- (72)発明者 ジェイムズ・ビー・サマーズ
アメリカ合衆国ワシントン州 9 9 2 1 6 , スポケイン・ヴァリー , イースト・セヴンス・アヴェニ
ュー 1 4 3 1 1
- (72)発明者 ブラッド・エルウッド・アンダーセン
アメリカ合衆国ワシントン州 9 9 2 1 6 , スポケイン・ヴァリー , ノース・メイヒュー・ロード
5 0 1 5