

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3918021号
(P3918021)

(45) 発行日 平成19年5月23日(2007.5.23)

(24) 登録日 平成19年2月23日(2007.2.23)

(51) Int.C1.

F 1

G O 1 J 5/46 (2006.01)
G O 1 J 5/00 (2006.01)G O 1 J 5/46
G O 1 J 5/00

E

請求項の数 21 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平10-527703
 (86) (22) 出願日 平成9年11月28日(1997.11.28)
 (65) 公表番号 特表2001-506363(P2001-506363A)
 (43) 公表日 平成13年5月15日(2001.5.15)
 (86) 國際出願番号 PCT/US1997/020969
 (87) 國際公開番号 WO1998/027414
 (87) 國際公開日 平成10年6月25日(1998.6.25)
 審査請求日 平成16年11月11日(2004.11.11)
 (31) 優先権主張番号 60/032,262
 (32) 優先日 平成8年12月3日(1996.12.3)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者
 レイセオン カンパニー
 アメリカ合衆国 O 2 4 5 1 マサチュー
 セツツ ウォルサム ウィンター ストリ
 ート 8 7 0
 (74) 代理人
 弁理士 三枝 英二
 (74) 代理人
 弁理士 掛樋 悠路
 (74) 代理人
 弁理士 立花 顯治
 (74) 代理人
 弁理士 小原 健志
 (74) 代理人
 弁理士 中川 博司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】可変型マイクロウェーブ コールド／ウォームノイズソース

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

放射計を校正するためにウォーム熱放射温度及びコールド熱放射温度を与える固体ノイズソースであって、

ゲートポート、ドレインポート及びソースポートを備えるF E Tマイクロ波アクティブノイズ等価回路と、

直列フィードバックを行うために、前記F E Tの前記ソースポートに結合されると共に接地されたフィードバックネットワークと、

前記F E Tの前記ドレインポートを終端とし、出力ポートを有する出力インピーダンス整合ネットワークと、

前記F E Tの前記ゲートポートに接続され、入力ポートを有する入力インピーダンス整合ネットワークと、

接地された第1の端部を有する整合負荷と、

前記出力整合ネットワーク及び前記入力整合ネットワークに結合されるバイアスネットワークと、

前記整合負荷の第2のターミナルを前記入力ポートに接続すると共に校正ラインを前記出力ポートに接続するための第1のポジションと、前記整合負荷の第2のターミナルを前記出力ポートに接続すると共に前記校正ラインを前記入力ポートに接続するための第2のポジションとを有しており、前記整合負荷が前記入力ポートの終端となった時に前記出力ポートからウォーム熱放射温度が出力され、前記整合負荷が前記出力ポートの終端となった

時に前記入力ポートからコールド熱放射温度が出力されるポートスイッチとを備えている固体ノイズソース。

【請求項 2】

前記バイアスネットワークは、前記ウォーム熱放射温度及び前記コールド熱放射温度の大きさを制御するように直流バイアスを制御するためのマイクロプロセッサを更に備えている請求項1に記載の固体ノイズソース。

【請求項 3】

前記マイクロプロセッサに結合され、前記直流バイアスを補償し制御するための安定回路を更に備えている請求項2に記載の固体ノイズソース。

【請求項 4】

前記安定回路は、前記FETに熱的接触するサーミスタを備えている請求項3に記載の固体ノイズソース。

【請求項 5】

前記FETは、2GHzより低い値から90GHzより高い値までの周波数で選択的に作動する請求項1に記載の固体ノイズソース。

【請求項 6】

前記ノイズ等価回路は、小さな信号パラメータに依存する直流バイアス及び温度を有するマイクロ波アクティブFETを備えている請求項1に記載の固体ノイズソース。

【請求項 7】

前記コールド熱放射温度及びウォーム熱放射温度は、100°Kよりも低い温度から26°Kよりも高い温度までの範囲を包含するものである請求項1に記載の固体ノイズソース。

【請求項 8】

放射計受信機と、

アンテナから受けた輝度温度を前記放射計受信機に与えることができるアンテナモードと校正モードとの間で選択するために、前記受信機に接続されたスイッチと、

前記スイッチの作動を制御するために前記スイッチに結合されたドライバと、

校正モードにおいて、前記スイッチを介して前記放射計受信機に接続される調整可能なノイズソースとを備えてなり、

前記ノイズソースは、第1のポート、第2のポート及び第3のポートを備えたFETマイクロ波アクティブノイズ等価回路と、

直列フィードバックを行うために、前記ノイズ等価回路における前記第3のポートに結合された一方のターミナル及び接地された他方のターミナルを有するフィードバックネットワークと、

前記ノイズ等価回路における前記第2のポートを終端とし、出力ポートを有する出力インピーダンス整合ネットワークと、

前記ノイズ等価回路における前記第1のポートに接続され、入力ポートを有する入力インピーダンス整合ネットワークと、

前記出力インピーダンス整合ネットワーク及び前記入力インピーダンス整合ネットワークに直流バイアスを供給するバイアス回路と、

接地された第1のターミナルを有する整合負荷と、

前記整合負荷の第2のターミナルを前記入力ポートに接続すると共に校正ラインを前記出力ポートに接続するための第1のポジションと、前記整合負荷の第2のターミナルを前記出力ポートに接続すると共に前記校正ラインを前記入力ポートに接続するための第2のポジションとを有しており、前記整合負荷が前記入力ポートの終端となった時に前記出力ポートからウォーム熱放射温度が出力され、前記整合負荷が前記出力ポートの終端となった時に前記入力ポートからコールド熱放射温度が出力されるポートスイッチとを備えている放射計。

【請求項 9】

前記放射計受信機の出力を校正するために、前記放射計受信機、前記ノイズソース及び前

10

20

30

40

50

記ドライバに結合されたマイクロプロセッサとを備える請求項 8 に記載の放射計。

【請求項 10】

前記マイクロプロセッサは、前記コールド熱放射温度及びウォーム熱放射温度を交互に切り替えるように、前記ノイズソースの前記ポートスイッチを制御するポートスイッチコマンドを発する請求項 9 に記載の放射計。

【請求項 11】

前記マイクロプロセッサは、校正カーブデータを記憶するためのメモリを備えており、前記マイクロプロセッサは、放射計受信機からの電圧出力を校正するために、前記ノイズソースからの校正カーブ信号及び記憶された前記校正カーブデータに反応する請求項 9 に記載の放射計。

10

【請求項 12】

前記ノイズソースは、該ノイズソースに熱的接触するサーミスタを更に備えており、前記サーミスタは、前記ノイズソースの物理的温度に相当する前記マイクロプロセッサへの信号を発生させる請求項 9 に記載の放射計。

【請求項 13】

前記マイクロプロセッサは、前記放射計受信機からの電圧出力を校正するための複数の基準カーブを記憶するメモリを更に備えている請求項 12 に記載の放射計。

【請求項 14】

請求項 1 から 7 のいずれかに記載の固体ノイズソースを使用する放射計受信機を校正するための方法であって、

20

マイクロプロセッサからの、熱放射温度を調節可能なバイアスコマンドを前記ノイズソースに送るステップと、

熱放射温度を調節可能なバイアスコマンドに応答して、前記ノイズソースの出力において、第 1 のポートからの前記バイアスコマンドと共に変化するコールド熱放射温度の出力、又は、第 2 のポートからの前記バイアスコマンドと共に変化するウォーム熱放射温度の出力を発生させるステップと、

前記コールド熱放射温度またはウォーム熱放射温度を、前記放射計受信機に結びつけるステップと、

前記放射計受信機への前記コールド熱放射温度及びウォーム熱放射温度の結びつきを交互に切り替えるために、前記マイクロプロセッサから前記ノイズソースに伝達される指令に基づいてポートスイッチの位置を交互に切り替えるステップとを備える方法。

30

【請求項 15】

前記放射計受信機からの電圧出力を安定化させるステップを更に備える請求項 14 に記載の方法。

【請求項 16】

前記放射計受信機の校正の間に、ノイズソースに加えられるバイアスコマンドを制御するステップを更に備える請求項 14 に記載の方法。

【請求項 17】

前記ノイズソースの物理的温度における変化のための前記ノイズソースの補償を提供するステップを更に備える請求項 14 に記載の方法。

40

【請求項 18】

最初の参照校正曲線をマイクロプロセッサに記録するステップと、マイクロプロセッサに記録された校正曲線にアクセスすることによって、前記放射計受信機の補正されていない電圧出力を調節するステップとを更に備える請求項 14 に記載の方法。

【請求項 19】

前記ノイズソースは、該ノイズソースと熱的に接触するサーミスタと、校正曲線とを備えており、

前記校正曲線は、補正されたサーミスタ校正曲線を記録するステップと、ノイズソース放射温度ドリフト曲線を記録するステップと、放射計校正曲線を記録するステップとを含む

50

請求項 1 8 に記載の方法。

【請求項 2 0】

2 G H z から 9 0 G H z まで範囲における周波数において前記ノイズソースを作動するステップを更に備える請求項 1 4 に記載の方法。

【請求項 2 1】

前記コールド熱放射温度出力及びウォーム熱放射温度出力は、1 0 0 ° K から 2 6 0 0 ° K までの範囲を包含するものである請求項 1 4 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

本発明は、ノイズソースに基づいて行なう放射計のリファレンス温度の較正に関し、より詳しくは、出力ポートからホット (hot) 熱放射温度を提供し、入力ポートからコールド (cold) 熱放射温度を提供する電子的に調節可能なノイズソースからノイズソースに基づいて行なう放射計のリファレンス温度の較正に関する。10

放射計は、遠い対象物から発される熱放射または輝度温度 (brightness temperature) を測定するために用いられる。対象区域 (segment) は、通常シーン (scene) と称され、地球表面の一部とされ得る。大部分の洗練された計測器具のように、放射計は正確な測定値を保証するために周期的な較正を必要とする。実際上、放射計受信機を調節するために、シーンの輝度温度に多用される少くとも 2 つの公知の温度較正器が用いられている。最も低い較正温度及び最も高い較正温度は、各々コールド (cold) 熱放射温度及びホット (hot) 熱放射温度と称する。

放射計は、一般に、地上に置かれるか、空輸されるか、衛星に基づくシステムであり、多くは 1 0 ° K ~ 3 0 0 ° K の冷えた範囲内の輝度温度を測定する。森林火災や燃える集積場の測定を行なう器具が必要とされる特別な放射計の用途もある。これらの用途においては、放射計は 3 0 0 ° K から 1 0 0 0 ° K を超える範囲の輝度温度を測定する必要がある。地上設置型のシステムでは、低い熱放射温度 "Tc" を発生させるために、液体窒素又は液体ヘリウムを用いるスターリングサイクル冷却器のような閉サイクル冷却器が使用され得る。閉サイクル冷却器システムは、衛星設置型のシステムには実際的ではないと考えられる。図 1 ~ 3 には、地球表面の一部から発せられアンテナ 3 6 により受信される輝度温度 T_a を測定するための従来の 3 つの衛星システムが例示されている。輝度温度 T_a

は、アンテナ - 地球シーン (scene) ライン 1 2 上のアンテナフィード 3 2 を通じて放射計 1 5 0 の放射計受信機 1 6 に送られる。現在、衛星設置型システムは、外部設置型 (図 1 及び 2) 及び内部設置型 (図 3) のいずれかの校正技術を使用している。20

図 1 には、スカイホーンアプローチ (sky horn approach) として知られている外部設置型校正技術が例示されている。スカイホーンアプローチは、アンテナ - 地球シーンライン 1 2 及び校正ライン 1 4 のいずれかを放射計受信機 1 6 に接続する第 1 R F スイッチ 1 0 を備えた放射計 1 5 0 を使用する。校正ライン 1 4 においては、第 2 の R F スイッチ 1 8 がスカイホーン 2 0 と内部ウォームロード (warm load) 2 2 との間での交互の切り替えを行なう。スカイホーン 2 0 は、コールド空間の熱放射温度 T_c (約 2 . 7 ° K) 及び内部のウォームロード T_w (約 3 0 0 ° K) を出力する。ウォームロード 2 2 と熱接触する精密サーミスター 2 4 は、ホット (hot) 熱放射温度 T_w に相当する電気的ホット熱放射温度 T_d を出力する。電気的熱放射温度 T_d は、放射計受信機 1 6 の校正に使用される。スカイホーンアプローチは、放射計受信機 1 6 を校正するのに関し、複雑で高価な方法である。主たる問題点は、アンテナ - 地球シーンライン 1 2 と校正ライン 1 4 が分離されたラインであり、これにより、放射計受信機 1 6 の正確な校正のためには、R F 損失、不整合損失及び各ラインの物理的温度を正確に知る必要があるということである。また、スカイホーン 2 0 を使用すると、校正の複雑さが付加される。これは、地球又は太陽によってもたらされる汚染や宇宙船によるスカイホーンパターンへの干渉が生じ得るからである。30

図 2 には、アンテナスキャナ 2 6 を使用する衛星設置型システムのための他の外部設置型校正技術が例示されている。アンテナスキャナ 2 6 は、校正モードの間に使用される機械的メカニズムであり、反射プレート 2 8 又は吸収ターゲット 3 0 を、各々がコールド熱放

10

20

30

40

50

射温度 T_c 又はウォーム熱放射温度 T_w を供給するように、アンテナフィード 32 に接続する。アンテナフィード 32 は、放射計受信機 16 に接続されている。輝度温度 T_a

が測定されるアンテナモードの間、アンテナスキャナ 26 は、アンテナ - 地球シーンライン 12 を放射計受信機 16 に接続する。アンテナスキャナ 26 は、単一の RF パスを使用するという点においてスカイホーンアプローチより優れている。しかしながら、アンテナスキャナ 26 は、複雑で嵩高く、放射計 150 にかなりの寸法と重量を付加する。

図 3 には、衛星設置型システムに使用され得る内部設置型の校正技術が例示されている。内部的アプローチは、前に述べ図 1 に示したスカイホーンアプローチに極めて近似している。しかし、内部的技術は、スカイホーンアプローチで使用されるスカイホーン 20 に代えて、約 270°K のコールド熱放射温度 T_c を発生させるために熱電気的クーラー 34 を使用し得る。しかしながら、内部的アプローチで使用されるウォーム及びコールド熱放射温度 T_c 及び T_w は、 30°K しか離れていない。コールド及びウォーム熱放射温度 T_c 及び T_w 間の 30°K の相違は、約 100°K から 300°K の各輝度温度の全範囲（燃焼しているものを除く）をカバーしきれない。その結果、放射計受信機 16 の測定精度は、コールド熱放射温度 T_c 以下に低下しがちである。

したがって、ウェーブガイド又は同軸ポートからコールドからホットに至る熱放射温度を提供し得る調節可能な校正ノイズソースが要請されている。マイクロ波集積回路 (MIC) 及び / 又はモノリシックマイクロ波修正回路 (MMIC) 技術を使用して製造されるノイズソースが要請されている。これらの要請及び他の要請は、本発明に係る調節可能な校正用ノイズソースによって、満たされる。

発明の概要

本発明は、電子的に調節可能なノイズソースを使用した放射計校正システム及び放射計の校正方法に係るものである。ノイズソースは、ゲートポート、ドレインポート及びソースポートを有したノイズ等価回路として設計されたトランジスタを備えている。ノイズソースのための直列フィードバック (series feedback) を提供するソースインダクタンスは、ノイズ等価回路のソースポートに接続された 1 つの端部と、地上に接続された他の端部とを備えている。バイアス回路は、ノイズ等価モデルに適用される DC バイアスの程度を制御する。ノイズソースにおけるインピーダンスを整合させるために、出力インピーダンス整合ネットワークがドレインポートに接続され、入力インピーダンス整合ネットワークがノイズ等価モデルのゲートポートに接続される。出力及び入力インピーダンスネットワークは、各々出力ポート及び入力ポートを備えている。ノイズソースは、調節可能なコールド熱放射温度が入力ポートで発生させられているときに、整合されたロードを出力ポートに終端させる。これに代えて、調節可能なホット熱放射温度が出力ポートで発生させられているときに、整合されたロードを入力ポートに終端させるためポートスイッチを使用してもよい。

本発明によれば、地上設置型、空輸型、衛星設置型の放射計のための調節可能なノイズソースが提供される。

本発明によればまた、ミリメータ波及びマイクロ波スペクトルで機能するノイズソースが提供される。

本発明によればさらに、集積回路として構成されたノイズソースが提供される。

本発明によればさらに、放射計受信機への送信機能又は受信機のリニアリティを測定するためのノイズソースを有した校正システムが提供される。

本発明によればさらに、ノイズ測定値 (noise figure measurements) を提供するビルトインテストが可能なノイズソースを備えた校正システムが提供される。

本発明によればまた、地球シーンの測定を最大化するために校正時間間隔を調節し得る放射計が提供される。

【図面の簡単な説明】

本発明は、添付図面を参照した以下の詳細な説明によってより完全に理解されるであろう。

図 1 は、衛星設置型放射計を校正するための従来のスカイホーンアプローチを示す概略図

10

20

30

40

50

である。

図2は、アンテナスキャナを使用する従来の校正技術を示す概略図である。

図3は、熱電気クーラーを使用する従来の内部設置型校正技術の概略図である。

図4は、調節可能なノイズソースを伴った本発明に係る衛星設置型放射計校正システムの概略図である。

図5A～図5Dは、図4に示した放射計校正システムに使用される校正曲線を示す。

図6A、6B、6Cは、マイクロプロセッサにより図7に示す調節可能なノイズソース及びドライブに送信される校正及びポートスイッチコマンドを示す。

図7は、調節可能なノイズソースの概略図である。

図8は、マイクロウェーブ集積回路として構成された調節可能なノイズソース（ポートスイッチ、ポートドライブ、及びロードを除く）を示す概略図である。 10

図9は、各々最小ノイズ値18GHzでバイアスされた3つのタイプのFETのノイズ温度特性を示すグラフである。

図10は、種々のソースインダクタンスを有するInP HENT（FET）から出力された入力ノイズ温度を比較するためのグラフである。

図11は、図11に示されたInP HENTから出力されたコールド及びホット熱放射温度を示す測定値及びシミュレートデータのグラフである。

図12は、18GHzで作動するFETにおいて測定されたコールド熱放射温度を示すグラフである。

図13は、18GHzで作動するFETにおいて測定されたホット熱放射温度を示すグラフである。 20

図14は、18GHzにおけるコールドノイズソース（ポート1）反射係数の大きさの測定された変化を示すグラフである。

図15は、18GHzにおけるウォームノイズソース（ポート2）反射係数の大きさの測定された変化を示すグラフである。

図16は、放射計受信機のノイズ測定値を示すグラフである。

発明の詳細な説明

図4を参照すれば、そこにおいて全図を通して同符号は同部分を示し、本発明の放射計を較正するための調整可能なノイズソース100が開示されている。

放射計較正システム150にノイズソース100が取り入れて記載されているが、当業者は、この種の適用態様は、本発明のノイズソースを利用するための多くの態様の一つに過ぎないということを認めるだろう。それゆえに、記載されているノイズソース100は、制限して解釈されてはならない。 30

例えば米国仮出願番号第60/032290号に記載されているFETを使用しているノイズソースは、ウォーム（warm）およびコールド（cold）の熱放射温度出力部をFETのゲート・ポートに有する。本発明の発明者のうちの2人である、ロバート・ロエダー及びマシュー・スミスは、米国仮出願番号第60/032290号に記載されたノイズソースの共同発明者であり、それが本明細書中に取り入れられている。

衛星に基づく放射計の校正と関連して生じる主たるエラーは、以下の要因から起こる：（1）コールド較正輝度（brightness）温度；（2）ウォーム較正輝度温度；（3）放射計受信機転送機能；（4）地上修正アルゴリズム；及び（5）アンテナ（空中線）輝度温度。 40

主な要因となるエラーの各々は、放射計較正システム150のために全範囲に亘る正確な機構を確立する際に、別々にアドレスされ、結合されなければならない。コールド及びウォーム較正輝度温度及び放射計受信機転送機能と関連するエラーは、ノイズソース100によってアドレスされる。ノイズソース100の詳細な説明は、放射計較正システム150とノイズソースとの相互作用を記述した後に説明する。

図4を参照すれば、ノイズソース100を含む衛星に基づく放射計較正システム150のプロック図が示されている。地球の表層の或るセグメントから発された輝度温度“Ta”は、アンテナ反射鏡36によって受信されて、アンテナ給電装置32に伝送される。アンテナ給電装置32は、アンテナ・地球シーン（scene）ライン12に輝度温度“Ta”を出力する。アンテナ 50

- 地球シーンライン12は、セレクタスイッチ62に接続され、セレクタスイッチ12は、アンテナ - 地球シーンライン12又は較正ライン64の何れかを、放射計受信機16の入力端子66に切り替える。較正ライン64は、ノイズソース100を放射計受信機16に接続する。セレクタスイッチ62は、好ましくは低損失RF(無線周波数)のフェライトスイッチである。

ドライバ68は、マイクロプロセッサ70から受け取ったコマンドに従ってセレクタスイッチ62を駆動し、制御する。最初、マイクロプロセッサ70は、ライン80上の外部のソース(図示せず)から“テストコマンド”信号を受信する。前記テストコマンドは、較正シーケンスを開始させる。

図4、図6A、図6Bおよび図6Cを参照すれば、マイクロプロセッサ70は、アンテナ・モード82又は較正モード84(図6A)の何れかを駆動するために、ドライバ68に、ライン72上のアンテナ/校正コマンドを伝送する。アンテナモード82においては、セレクタスイッチ62は、アンテナ - 地球シーンライン12を、放射計受信機16の入力端子66に接続するように駆動される。較正モード84では、セレクタスイッチ62は、較正ライン64を、放射計受信機16の入力端子66に接続するように駆動される。短い継続時間の選ばれた時間間隔での較正モードの選択は、輝度温度“Ta”の測定値を最大にする。

マイクロプロセッサ70は、ライン74上のポートスイッチコマンド信号86(図6B)をもノイズソース100に送信する。ノイズソース100は、ポートスイッチコマンド信号86に応答して、かわるがわるに、固定されたコールド熱放射温度“Tc”または固定されたウォーム熱放射温度“Tw”を出力する。温度は、図6Cに示すように、ウォームからコールドまで段階的に下がり得る。この段階的なモードが、放射計受信機転送機能を測定するために用いられる。ウォームおよびコールド熱放射温度“Tc”，“Tw”間の交替は、較正モード84の間に生じる。アンテナモード82の間は、ノイズソース100は、コールド熱放射温度“Tc”またはウォーム熱放射温度“Tw”を出力しない。

再び図4を参照すれば、ノイズソース100は、ノイズソースと熱的に接触し且つマイクロプロセッサ70にライン78によって接続された補正高精度サーミスタ(corporation precision thermistor)76を有している。補正高精度サーミスタ76は、ノイズソース100の物理的温度“Td”における変化のための補償を提供する。熱的絶縁被覆71は、ノイズソース100を取り囲むために使用され得る。前記補償、DCバイアス、および補償高精度サーミスタ76は、後に詳細に説明する。

放射計較正システム150を使用する前に、ノイズソース100が、まず最初に室内の放射計(図示せず)において校正される。放射計較正システム150の前記最初の較正の間に、一連の参照較正曲線が作り出され、該曲線がマイクロプロセッサ70に記録される。前記較正曲線は、較正モード84の間に、マイクロプロセッサ70によってアクセスされ、放射計受信機16からのライン98上の補正されてない出力電圧を調節し、ライン99上に補正された出力電圧を出力する。

図5A、5B、5Cおよび5Dを参照すれば、前記較正曲線には、高精度サーミスタ較正曲線88、ノイズソース放射温度ドリフト曲線90、放射計較正曲線92および補正された放射計較正曲線94が、含まれている。前記較正曲線は、2つの公知の較正温度“Tc”および“Tw”を使用することに基づいた較正手順を図示している。

高精度サーミスタ曲線88(図5A)は、サーミスタ76によって検知された信号ライン78に沿ってマイクロプロセッサ70に加えられるノイズソース100の物理的温度“Td”に対する電圧“Vd”の変化を図示している。“Vd”は、公知の物理的温度“Td”に対応する校正されたサーミスタ出力電圧である。

ライン64上のノイズソース放射温度ドリフト曲線90(図5B)およびライン98上の放射計較正曲線92(図5C)は、補正された放射計較正曲線94(図5D)に結合される。補正された放射計較正曲線94は、ライン98上の放射計受信機16によって生成された補正されていない出力電圧の必要な補正量と、マイクロプロセッサー70への入力量とを示す。放射計較正曲線92(図5C)は、較正モード84の間における、放射計較正性能を図示している。図における不確定性は、ノイズソース100の前記物理的温度“Td”における変動による。高精度サーミスタ曲線88によって示されたデータを利用しているマイクロプロセッサ70は、補正され

10

20

30

40

50

た電圧をライン99上に発生させるために、補正されてないライン98上の電圧を調節する。こうして補正された電圧出力は、ノイズソース100の物理的温度“Td”を考慮に入れるこ¹⁰とによって正しい出力を示す。較正曲線88、90、92および94におけるシフトは、放射計較正システム150の補正手順を図示するために誇張されている。さらに、アンテナモード82において作動するときに、較正曲線88、90、92および94によって表されたデータはまた、放射計受信機16の出力信号を調節するために利用される。

図7を参照すれば、調整可能なノイズソース100が図示されている。ノイズソース100は、ノイズ等価モデル114として構成され、ゲートポート116、ドレインポート118およびソースポート120を備える電界効果型トランジスタ(FET)を有している。ノイズ等価モデル114は、マイクロ波アクティブ回路であり、DCバイアスがかけられた時に、ウォームおよびコールド熱放射温度“TwII”および“Tc”のようなノイズ温度を発生するように設計されている。

“ノイズ温度”の語は、特定の周波数fでのノイズパワー・スペクトル密度のための表現であって、プランクの黒体公式(blackbody formula)に由来する。温度Tでの発振器の平均エネルギーは、以下の通りである

$$\langle \epsilon \rangle = \frac{hf}{\exp(hf/kT) - 1} \quad (1)$$

ここで、fは周波数である；hはプランク定数である；そして、kは熱伝導率である。高温および低周波では、 $\langle \epsilon \rangle$ は kT に近づくのでバンド幅B内のパワーは、 $P=kTB$ (ナイキストの公式(Nyquist's formula))となるだろう。量 $=P/kB$ は、熱的ノイズパワー・スペクトル密度の便利な単位として扱われ、“ノイズ温度”と称される。ノイズソース100は、一端がノイズ等価モデル114のソースポート120に連結され、他端が接地されたソースインダクタンス122を有している。ソースインダクタンス122は、ノイズ100のための連続フィードバック(直列フィードバック)を提供し、そこでは、ソースインダクタンス122は、20-700pHの範囲が典型的である。

バイアス回路128は、較正モード84の間、ノイズソース100に加えられるDCバイアスを発生させる。バイアス回路128は、電圧“Vgs”140(ゲートポート116とソースポート120とにかくる電圧)と電圧“Vds”142(ドレインポート118とソースポート120とにかくる電圧)とを発生させる。マイクロプロセッサ70は、DCバイアスの大きさを調節し、コールドおよびホット熱放射温度“Tct”及び“Tw”の値を変える。特に、前記DCバイアスは、マイクロプロセッサ70(図4)から転送されたライン74上のポートスイッチコマンド信号に応答する。

ノイズ等価モデル114と連絡し、マイクロプロセッサ70(図4)と接続する安定補償回路(stabilizing compensation circuit)130は、DCバイアスのさらなる制御を提供する。安定補償回路130は、高精度サーミスタ76を備え、ノイズソース100の物理的温度(physical temperature)“Td”を測定する。安定補償回路130を使用しない場合、ノイズソース100の物理的温度“Td”的変動がノイズソースの性能に悪影響を及ぼし得る。

出力整合インピーダンスネットワーク(output matching impedance network)124は、ウォーム熱輻射温度“Tw”を出力する出力ポート144を備える。出力整合インピーダンスネットワーク124は、出力ポート144及びノイズ等価回路114のドレインポート(drain port)118のインピーダンスに整合するように構成及び寸法決めされた、複数の出力伝達ライン及び/又は集中素子(lumped elements)(図8)をさらに備える。出力整合ネットワーク124は、ドレインポート118に接続された一端部を有する。複数の出力伝達ライン及び/又は集中素子は、厚さ約0.015インチのAl₂O₃基板上に約35GHz迄の周波数で製造され得る。

入力整合インピーダンスネットワーク112は、コールド熱輻射温度(cold thermal radiation temperature)“Tc”を出力する入力ポート146を備える。入力整合ネットワーク112は、入力ポート146及びノイズ等価回路114のゲートポート(gate port)11のインピーダ

10

20

30

40

50

ンスに整合するように構成及び寸法決めされた、複数の入力伝達ライン及び／又は集中素子（図8）をさらに備える。入力整合インピーダンスネットワーク112は、ノイズ等価モデル114のゲートポート116に接続された一端部を有する。複数の入力伝達ライン及び／又は集中素子は、厚さ約0.015インチのAl₂O₃基板上に製造され得る。

ポートドライバ151は、マイクロプロセッサ70から受け取ったポートスイッチコマンドに従って、ポートスイッチ148を起動及び制御する。ポートドライバ151は、好適には低損失RFフェライトスイッチを用いて構成される。ポートスイッチ148は、出力ポート144及び入力ポート146を校正ライン64（図4参照）に接続する、複数のコントラクト（contract）を有する。

ポートスイッチ148は、コールド熱輻射温度”T_c”又はホット熱輻射温度”T_w”のいずれかを選択する。ポートスイッチ148のコンタクトは、校正ライン64が出力ポート144に接続すると整合された負荷152が入力ポート146を終端させ（terminate）、又は、校正ライン64が入力ポート146に接続すると整合された負荷153が出力ポート144を終端させるように、所定の法則に従って構成される。

整合された負荷152が入力ポート146を終端させると、ホット熱輻射温度”T_w”が出力ポート144を出る。そして、整合された負荷153が出力ポート144を終端させると、コールド熱輻射温度”T_c”が入力ポート146を出る。2つの整合された負荷152及び153は、グランドに接続された一端部と、出力ポート144又は入力ポート146のいずれかに接続された他端部とを有している。ノイズソース100により発生される典型的なノイズ温度は、100°K未満から2600°Kを超える範囲を有する。

図8に、マイクロ波集積回路として実現される調整可能ノイズソース（adjustable noise source）の構成図を例示する。マイクロ波集積回路には、マイクロ波集積回路（MIC）又はモノリシックマイクロ波集積回路（MMIC）技術のいずれかが利用される。ノイズソース100は、2GHz未満から90GHzを超える動作周波数を有する、マイクロ波及びミリメータ波のスペクトルで動作するように設計され得る。

図9を参照して、一連のグラフは、3つのタイプのFETについてのノイズ温度性能を例示している。これらのノイズ温度性能のそれぞれは、最小ノイズ指數（minimum noise figure）に対して18GHzでバイアスされている。FETのタイプには、0.25μmのGaAs MESFET、0.25μmのGaAs PHEMT及び0.15μmのInP HEMTが含まれる。FETは、ノイズ回路モデルにより使用可能にされ、HP-EE-SO-FのLibra（商標）において実現される。

”T_{rev}”（リバース有効性ノイズ（reverse available noise）としても参照される）は、コールド又はウォーム熱輻射温度”T_c”及び”T_w”のいずれかであるソース温度”T_s”（図7）を予測するために用いられ得る。ソース温度”T_s”は、リバース有効性ノイズ”T_{rev}”が、適切なフォワード又はリバースパワーゲイン（power gain）を用いて、ノイズ等価モデル114を介して変換される反対のポートの終端による周囲温度ノイズ（ambient temperature noise）に追加される場合、コールド又はウォーム熱輻射温度”T_c”及び”T_w”を示す。このように計算されたソース温度”T_s”は、ポート1ソース温度”T_{out1}”及びポート2ソース温度”T_{out2}”として参照され得る。

図10は、様々なソースインダクタンス122を有するInP HEMT（FET）から出力される入力ノイズ温度を比較するグラフを示す。グラフにはまた、T_{cmin} = T₀（F_{min} - 1）で定義される実効最小ノイズ温度（effective minimum noise temperature）である、”T_{emim}”の測定値が含まれる。グラフはまた、50Ωの抵抗を有する入力ポート146における短絡回路のノイズ電流等価ノイズ温度である”T_{eq}”を示す。

図11は、InP HEMTから出力された、コールド”T_{out1}”及びウォーム”T_{out2}”熱輻射温度”T_c”及び”T_w”の測定及び模擬データを示すグラフである。グラフにおいて、ソース温度”T_s”は、電圧”V_{gs}”140の関数であり、ここで、”V_{gs}”142は1ボルトに相当し、ソースインダクタンス122は0.24nHに相当する。

図12は、18GHzで動作するInP HEMTからの測定されたコールド熱輻射温度

10

20

20

30

40

50

” T_c ” のグラフを示す。測定の一部は、米国標準技術研究所 (NIST) において、極低温導波ノイズ標準 (cryogenic waveguide noise standard) と称される $18 \sim 26$ GHz の代替放射計 (substitution radiometer) を用いて行われた。残りの測定は、 $0.01 \sim 18$ GHz の HP 8970B / HP 8971B ノイズ指数測定システムのノイズパワー測定モードを利用して行われた。

図 13 は、入力が 50Ω の負荷で終端された出力ポートからの、 18 GHz で測定されたウォーム熱輻射温度のグラフを示す。

図 14 は、コールドノイズソース (ポート 1) の反射係数の大きさの測定変動を示すグラフである。測定変動は、いくつかの用途についてはサーチュレータを使用する必要があり、図 12 に示す温度データ間の差を生じさせる原因の一端となっている。しかしながら、意図された動作領域において、反射計数はバイアスのもとに最小の変動を示している。

図 15 は、ホットノイズソース (ポート 2) の反射の大きさの測定変動を示すグラフである。

図 16 において、放射計受信機 16 のノイズ指数測定値のグラフを示す。ノイズ指数測定値は、標準温度 $290^\circ K$ での、ノイズソース 100 の出力における、入力終端に起因するノイズパワーの部分に対する単位バンド幅あたりの総ノイズパワーの比率を定量的に決定するプロセスである。ノイズ指数 (F) の式は、以下の式によって表され得る。

$$F = T_r / T_o + 1 \quad (2)$$

ここで、” T_r ” は受信機のノイズ温度であり、” T_o ” は放射計受信機 16 の温度を表す。” T_o ” は、放射計受信機 16 における RF コンポーネントに搭載された高精度受信機サーミスタ (図示せず) を用いて測定される。

以下に示す式は図 7 を参照して導出され、リニア放射計受信機 16 を利用したノイズ指数測定の計算に関連する：

リニア放射計受信機において - -

$$\frac{V_o - V_c}{V_{in} - T_c} = \frac{V_w - V_c}{T_w - T_c} \quad (3)$$

$T_{in} = T_c$ 或いは T_w (放射計受信機に付与される) (4)

$T_{in} = 0$ において

$$VR = V_c = T_c \left[\frac{V_w - V_c}{T_w - T_c} \right] \quad (5)$$

及び

$$Tr = V_c \left[\frac{T_w - T_c}{V_w - V_c} \right] - T_c \quad (6)$$

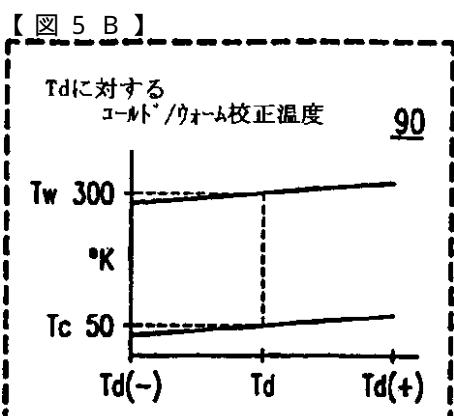
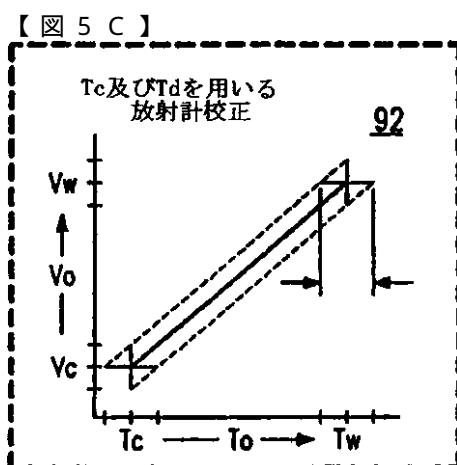
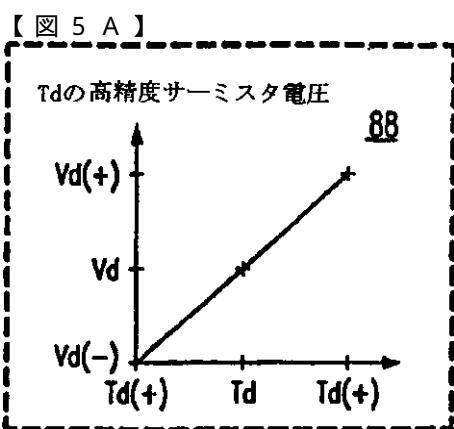
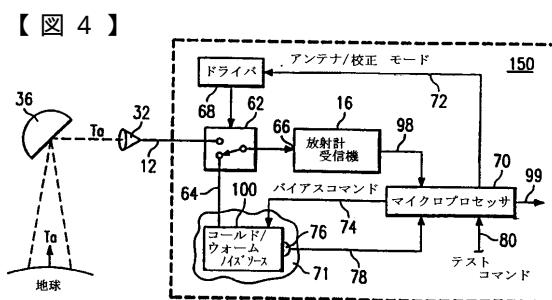
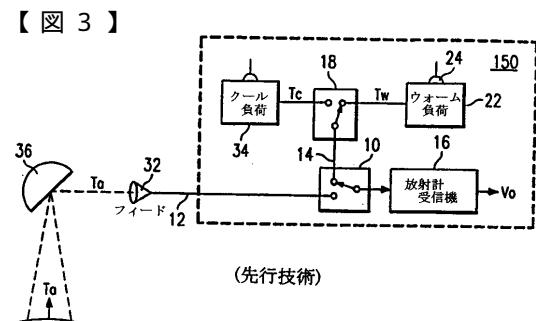
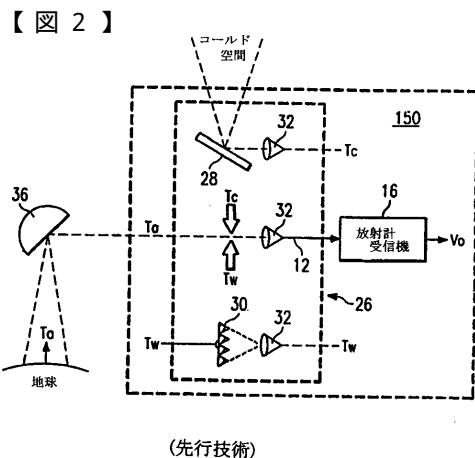
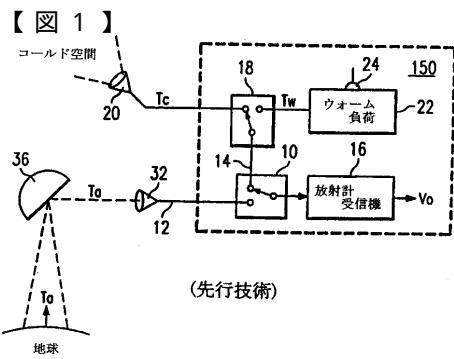
ノイズ指数は、

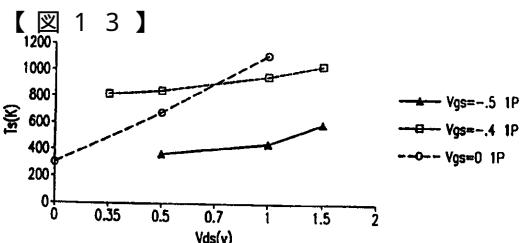
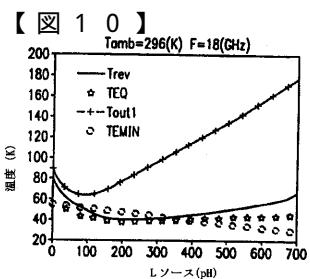
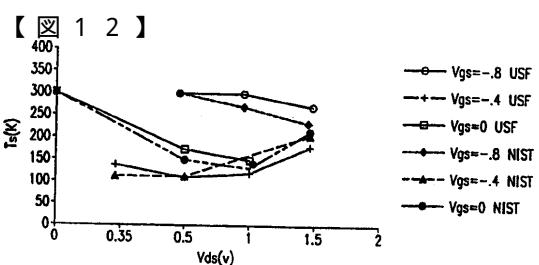
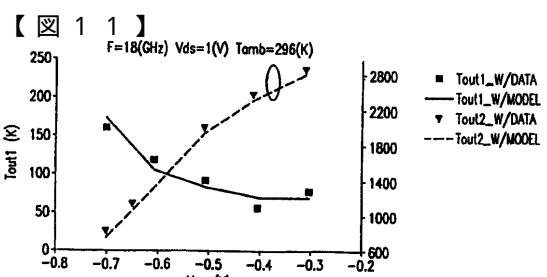
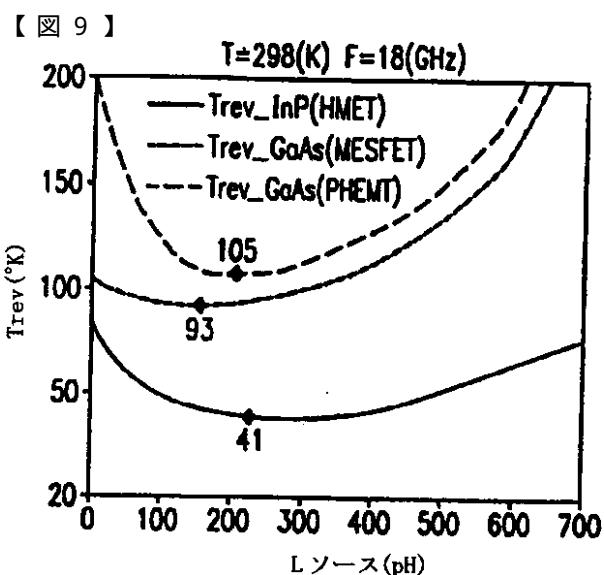
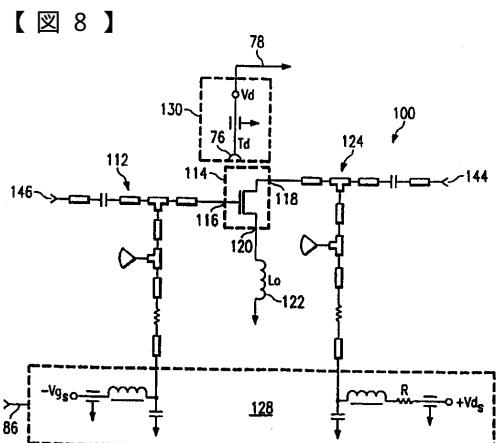
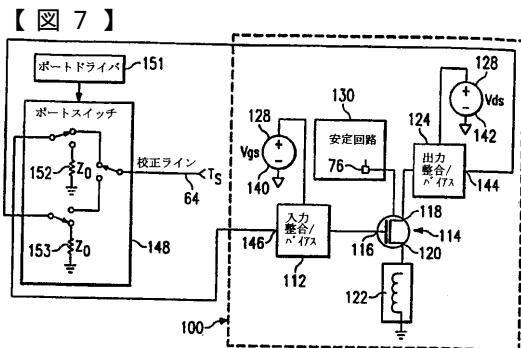
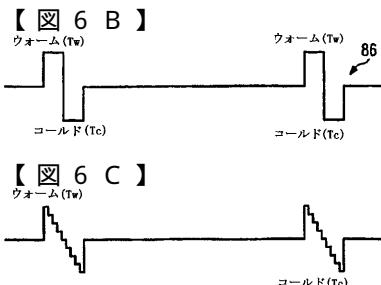
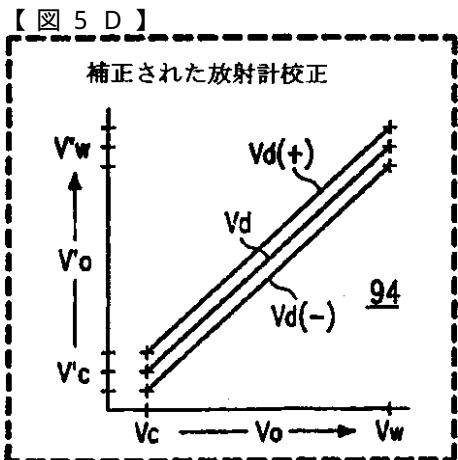
$$F = T_r / T_o + 1 \quad (7)$$

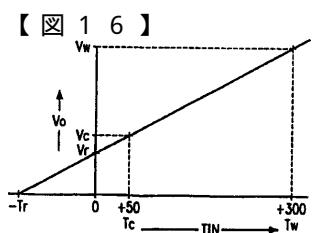
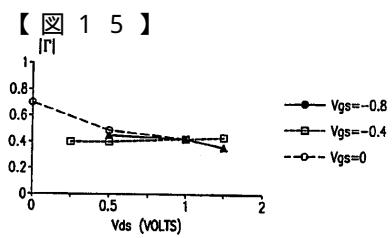
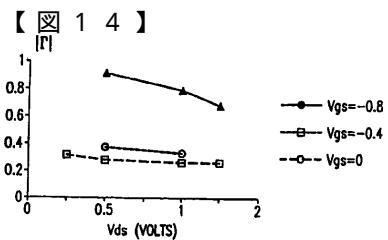
(但し $T_o \approx 290^\circ$ (周囲))

ここで、” V_c ” ” V_r ” 及び ” V_w ” は、放射計の出力電圧であり、それぞれ ” T_c ” ” T_r ” 及び ” T_w ” に対応する。

本発明を例示的な実施形態を参照して説明したが、この例示をもって、以下の請求の範囲で規定される本発明の精神及び範囲に含まれ得る変形、改良、及び等価物を包含することを意図するわけではない。







フロントページの続き

(74)代理人

弁理士 館 泰光

(74)代理人

弁理士 斎藤 健治

(74)代理人

弁理士 藤井 淳

(74)代理人

弁理士 関 仁士

(74)代理人

弁理士 中野 瞳子

(73)特許権者

ユニヴァーシティ オブ サウス フロリダ

アメリカ合衆国 フロリダ州 33620 7900 タンパ エフエイオー126 イー. フ
アウラー アヴェニュー 4202

(74)代理人

弁理士 三枝 英二

(74)代理人

弁理士 掛樋 悠路

(74)代理人

弁理士 立花 顯治

(72)発明者 ローダー ロバート エス.

アメリカ合衆国 34698 フロリダ ドゥネディン ネルソン ストリート 1242

(72)発明者 スミス マシュー シー.

アメリカ合衆国 33777 フロリダ ラルゴ クイン コート 8063

(72)発明者 ダンリービー ローレンス ピー.

アメリカ合衆国 34639 フロリダ ランド オブ レイクス レイク パジェット ドライ
ブ 3275

(72)発明者 ラルディザバル スティーブン エム.

アメリカ合衆国 33647 フロリダ タンパ ミスティ ブルー レーン 18105

審査官 高 場 正光

(56)参考文献 特開平05-293088 (JP, A)

R. H. Frater 外1名, 'An Active "Cold" Noise Source', IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE
AND TECHNIQUES, 1981年 4月, Vol.MTT-29, No.4, pp.344-347L. P. Dunleavy 外4名, "DESIGN AND CHARACTERIZATION OF FET BASED COLD/HOT NOISE SOURC
ES", IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, 1997年 6月, Vol.3, TH
2B-6, pp.1293-1296M. C. Smith 外1名, "Microwave Active Cold/Warm Noise Source for Calibration of Radio
meter Sensors", Proceedings of SPIE, 1998年 4月13日, Vol.3378, pp.123-131

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01J 5/00 - 5/48

G01J 1/00 - 1/60