

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5501622号  
(P5501622)

(45) 発行日 平成26年5月28日(2014.5.28)

(24) 登録日 平成26年3月20日(2014.3.20)

(51) Int. Cl.		F I	
GO 1 S 13/34	(2006.01)	GO 1 S 13/34	
GO 1 S 13/44	(2006.01)	GO 1 S 13/44	

請求項の数 22 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2008-549497 (P2008-549497)	(73) 特許権者	598122843
(86) (22) 出願日	平成18年12月22日(2006.12.22)		オートリブ エー・エス・ピー・インク
(65) 公表番号	特表2009-522575 (P2009-522575A)		アメリカ合衆国 ユタ州84405, オグ
(43) 公表日	平成21年6月11日(2009.6.11)		デン市, エアポートロード3350
(86) 国際出願番号	PCT/US2006/048942	(74) 復代理人	110000349
(87) 国際公開番号	W02008/048318		特許業務法人 アクア特許事務所
(87) 国際公開日	平成20年4月24日(2008.4.24)	(74) 代理人	503175047
審査請求日	平成21年9月28日(2009.9.28)		オートリブ株式会社
(31) 優先権主張番号	11/327, 739	(72) 発明者	パグリア、ケニス、ビンセント
(32) 優先日	平成18年1月5日(2006.1.5)		アメリカ合衆国 01886 マサチュー
(33) 優先権主張国	米国 (US)		セッツ州 ウェストフォード ウェストビ
			ュー・ドライブ 146
		審査官	吉田 久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーダセンサ前端用の時間二重化の装置及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

波形発生器、送受信スイッチ及びミキサを具備するレーダであって、  
前記送受信スイッチが、送信状態及び受信状態の持続時間の合計の半分より大きい送信状態にあり、

前記送信状態及び前記受信状態の前記持続時間の合計の逆数でサンプリング周波数が与えられ、

前記サンプリング周波数は、前記波形発生器の出力及び受信信号の間の差周波数の2倍より大きいことを特徴とするレーダ。

【請求項2】

前記波形発生器は、周波数変調連続波(FMCW)信号を生成することを特徴とする請求項1記載のレーダ。

【請求項3】

前記FMCW信号は、周波数変化の正又は負の時間割合のうち少なくとも一方を有することを特徴とする請求項2記載のレーダ。

【請求項4】

前記波形発生器の前記出力は、擬似ランダムコードシーケンスにより位相変調されていることを特徴とする請求項1記載のレーダ。

【請求項5】

前記送受信スイッチは、波形チップ周期の間、少なくとも1回は受信状態にあることを

10

20

特徴とする請求項 4 記載のレーダ。

【請求項 6】

前記波形発生器の出力は、前記送受信スイッチが受信状態にあるときに前記ミキサ入力ポートに印加されることを特徴とする請求項 1 記載のレーダ。

【請求項 7】

前記波形発生器の出力は、前記送受信スイッチが送信状態にあるときにアンテナに印加されることを特徴とする請求項 1 記載のレーダ。

【請求項 8】

前記レーダは、前記ミキサの出力に接続された信号増幅器をさらに具備し、  
該信号増幅器は、出力応答が前記波形発生器の和周波数又は差周波数及び受信信号の一方にある周波数選択フィルタを有することを特徴とする請求項 1 記載のレーダ。

10

【請求項 9】

前記ミキサの前記出力は、対象物の少なくともレンジを決定する信号プロセッサと通信することを特徴とする請求項 1 記載のレーダ。

【請求項 10】

前記信号プロセッサは、前記周波数選択フィルタの出力のスペクトル分析を実行するよう構成されていることを特徴とする請求項 9 記載のレーダ。

【請求項 11】

前記信号プロセッサは、公知の擬似ランダムコードシーケンス及び前記ミキサの出力の間の相互相関を実行するよう構成されていることを特徴とする請求項 9 記載のレーダ。

20

【請求項 12】

前記レーダは、アンテナ組立体をさらに具備することを特徴とする請求項 1 記載のレーダ。

【請求項 13】

一方の前記アンテナ組立体は、前記送信状態及び前記受信状態で使用されることを特徴とする請求項 12 記載のレーダ。

【請求項 14】

前記アンテナ組立体は、少なくとも 2 個のアンテナ放射パターンを有するよう構成されていることを特徴とする請求項 12 記載のレーダ。

【請求項 15】

前記アンテナ組立体は、少なくとも和パターン及び差パターンを有し、  
前記和パターンは、前記送信状態の間、前記波形発生器に接続されており、  
前記和パターン及び前記差パターンは、前記受信状態の間、前記ミキサに接続されていることを特徴とする請求項 14 記載のレーダ。

30

【請求項 16】

前記アンテナ組立体は、最大応答の方位が送信された周波数で変化するように構成されていることを特徴とする請求項 12 記載のレーダ。

【請求項 17】

無線周波数波形を発生する工程と、  
第 1 周期にアンテナに対して前記無線周波数波形を供給する工程と、  
第 2 周期の間、前記アンテナから信号を受信する工程と、  
対象物レンジを決定するために受信された前記信号を処理する工程と  
を具備し、  
前記第 2 周期に対する前記第 1 周期の比が 1 より大きく、  
前記第 1 周期及び前記第 2 周期の和の逆数でサンプリング周波数が与えられ、  
前記サンプリング周波数は、前記受信信号及び前記無線周波数波形の間の差周波数の最大値の 2 倍以上であり、  
前記アンテナは、和アンテナパターン及び差アンテナパターンを生成することを特徴とする、対象物の検出方法。

40

【請求項 18】

50

前記無線周波数波形を発生する工程は、周波数変調連続波信号を発生することを特徴とする請求項 17 記載の方法。

【請求項 19】

前記無線周波数波形を発生する工程は、擬似ランダムコードシーケンスにより変調された搬送波を発生する工程からなることを特徴とする請求項 17 記載の方法。

【請求項 20】

前記アンテナは、少なくとも 2 個の明確なアンテナ応答パターンを有するアンテナ開口であり、

前記アンテナ応答パターンの各々は、最大応答の異なる方位を有することを特徴とする請求項 17 記載の方法。

10

【請求項 21】

前記アンテナは、アンテナ応答開口が前記無線周波数波形の周波数で変化する最大応答の方向を有するアンテナ開口であることを特徴とする請求項 17 記載の方法。

【請求項 22】

前記無線周波数波形の周波数レンジは、方位レンジに関連することを特徴とする請求項 21 記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーダシステムに関し、特に実質的な連続波のレーダシステムに関する。

20

【背景技術】

【0002】

レーダの原理は周知である。航空機、車両、物体、天候又は他の自然現象等の検出システム用に提供するように構成された、送信器、アンテナ、送信される波形及び信号処理技法の多様な構成が存在する。各構成は、対象物までのレンジ、対象物の寸法、移動速度、応答時間、並びにレンジ、速度及び方向の所望の分解能等の要素を考慮に入れてもよい。

【0003】

図 1 は、送信アンテナ 2、受信アンテナ 3、電力分割器 4、又はミキサ 5 に送信信号のサンプルを提供する他の回路を有する周波数変調連続波 (FMCW) レーダ 1 を示す。波形発生器 6 は、送信される信号波形を提供する。送信される信号は、対象物 9 で反射される。反射された信号は、受信アンテナ 3 で受信され、ミキサ 5 内で送信信号のサンプルと混合される。発生波形及び反射された信号間の差周波数は、ミキサ 5 により形成され、受信器 7 の残余部分で増幅され濾波される。受信器は、ミキサ 5、及び適当なミキサ出力を選択し増幅するフィルタ及び増幅器 8 を有してもよい。信号プロセッサ 10 は、対象物に関連した所望のレーダ応答を抽出する。

30

【0004】

図 2 は、線形 FMCW 送信信号周期中の時間関数として、送信信号 11 及び受信信号 12 の相対的関連性を示す。この線形 FMCW 送信は周期的に反復され、送信波形の上側周波数から下側開始周波数までの過渡に関連した時間周期を除き、送信波形及び受信波形間の差周波数は、以下の式で与えられる。

40

【数 1】

$$\Delta f = K \Delta t + f_d$$

(1)

【0005】

周波数変化の時間の割合、すなわちランプ (ramp) 速度  $K$  は、正の値でも負の値でもよい。ランプの持続時間  $T_{\text{Ramp}}$  及びランプ速度  $K$  は、FMCW 信号の時間・バンド幅の積を決定する。レーダのレンジ分解能は、ランプ全体の送信バンド幅の逆数であるほぼ  $1 / T_{\text{Ramp}} K$  である。 $f_d$  は、対象物のドップラ偏移周波数である。ランプのシーケンスは同じランプ速度  $K$  及び持続時間  $T_{\text{Ramp}}$  を有してもよいし、或いは、シーケンスは、使用される信号処理のタイプ及び受信信号から抽出される特定情報に依存して、ランプからランプまで

50

の異なる  $K$  及び  $T_{\text{Ramp}}$  の値を有してもよい。

【 0 0 0 6 】

受信器 7 は、信号出力スペクトルが式 ( 1 ) により与えられる周波数を有し、信号プロセッサ 1 0 への入力としての受信器信号出力を有する、当業界では公知のホモダインすなわちスーパーヘテロダインのタイプであってもよい。ランプ期間の端におけるランプ周波数の上限及び下限間の過渡に関連した周波数成分は、通常、レーダ設計用に期待された最大差周波数よりほぼ大きく、受信器 7 又は信号プロセッサ 1 0 での濾波により無くなる。

【 0 0 0 7 】

受信器 7 の出力信号は、要求された出力データを得るために信号プロセッサ 1 0 によって処理される。対象物及びレーダが互いに対して静止している状況では、受信器 7 の出力は、対象物までの距離と、式 ( 1 ) の右辺の第 1 項に従ったレーダパラメータとの関数である周波数である。信号周波数は、スペクトルアナライザ、周波数カウンタ、高速フーリエ変換 ( F F T ) を演算するコンピュータ等を有してもよい。レーダ及び対象物の間に相対運動がある場合、式 ( 1 ) の右辺の第 2 項に従ったドップラ周波数偏移と、ドップラ偏移の大きさ及びレーダの使用に対する関連性に依存して、レンジ依存周波数成分からのドップラ偏移を分離する多数の手段とが、当業界で公知である。

【 0 0 0 8 】

レーダの一用途は、障害物又は他の車両までの距離、接近速度、及び接近する物体の方向の決定等の、安全すなわち運転手への警告に関する自動車用途である。最小の費用で、車両用途に関連した設置の制約と両立し得る方法で、これらの機能を実行することが望ましい。F M C W 波形は、この用途では 2 本のアンテナ、すなわち送信アンテナ及び受信アンテナを使用する構成において使用されてきた。2 本のアンテナの使用により、送信波形及び受信波形間の分離が増大し、受信器の過負荷、送信ノイズの感度低下等の問題を回避する。別の構成において、信号アンテナは送信用に使用されており、送信信号及び受信された受信器の入力の間での分離は、サーキュレータの使用によって得られる。

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 9 】

しかし、いくつかの状況においては、送信信号の受信器入力からの分離が不十分になり、受信器のダイナミックレンジが、付近の物体からの戻り信号により過負荷になることを防止するには十分ではなく、或いは、サーキュレータを介して結合される送信背景ノイズが、所望の信号強度を超えるおそれがある。

【 0 0 1 0 】

従って、自動車用及び他の用途用の改良されたレーダ提供手段が望まれている。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 1 】

解決手段は、波形発生器、送受信スイッチ及びミキサを有するレーダであって、送受信スイッチが、送信状態及び受信状態の持続時間の合計の半分より大きい送信状態にあるレーダにより提供される。

【 0 0 1 2 】

また、解決手段は、無線周波数波形を発生する工程と、第 1 周期にアンテナに対して無線周波数波形を供給する工程と、第 2 周期の間、アンテナから信号を受信する工程と、対象物レンジを決定するために受信された信号を処理する工程とを具備し、第 2 周期に対する第 1 周期の比が 1 より大きい、対象物を検出する方法により提供される。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 3 】

以下、添付図面を参照して一例として本発明を説明する。

【 0 0 1 4 】

本発明の典型的な実施形態は図面を参照してより理解されるが、これらの実施形態は限定を意図したものではない。むしろ、本発明は、特許請求の範囲に記載された本発明の本

10

20

30

40

50

質の範囲内である全ての变形、等価物及び変更をカバーするものである。

【 0 0 1 5 】

ほぼ連続波形がアンテナ開口により送受信され、受信器のゲートをオンにしながら送信機のゲートをオフにすることにより、受信信号のサンプリングが得られるレーダ構成を開示する。周波数変調連続波 ( F M C W )、周波数偏移キーイング ( F S K )、擬似ノイズ位相コード ( P N )、ランダム周波数ホッピング ( R F H ) 等の多様な波形のタイプを使用可能である。一形態において、送信信号に関連した時間周期は、受信器が戻り信号を受信できる時間に等しいか長くしてもよい。

【 0 0 1 6 】

別の形態において、送信器及び受信器は、転送 ( transfer ) スイッチを介して共通のアンテナ開口に接続されている。この結果、発生した信号の送信はある時間周期遮断され、発生した信号波形も、受信器ミキサへのローカル発振器入力として使用され、信号が送信されない時間の間、受信信号を復調する。或いは、送信器及び受信器は、別のアンテナに接続されるか、サーキュレータを介して共に接続されてもよい。この結果、アンテナ転送スイッチは使用されなくてもよい。別の形態において、転送スイッチは、送信周期の間、発生した波形をアンテナに、そして受信周期の間、受信器ミキサに接続するのに使用されてもよい。

【 0 0 1 7 】

F M C W 波形が使用される際、受信信号は、反射する対象物までの距離と式 ( 1 ) に従った対象物の放射方向の速度の関数である周波数だけ送信信号と異なる。受信器で処理した後、発生した波形及び受信した信号波形の間の差周波数を表わす出力信号が得られる。

【 0 0 1 8 】

送信器がオフに切り替えられ、受信器が信号を受容するよう構成される周期に得られる受信信号のサンプルは、差周波数の値を決定するために処理することができる。交代する送信周期及び受信周期のシーケンスが F M C W 波形内で規則的であるところでは、受信器出力値の時間シーケンスは、受信信号のデータサンプルであると考えてもよい。サンプリング周波数は、F M C W ランプ内で生ずる信号の送信及び受信の持続時間の合計の時間の逆数で与えられる。すなわち、データサンプルは、受信周期あたり少なくとも1回得ることができる。各サンプルの持続時間は、受信時間の持続時間よりも短くてもよく、アナログ・デジタルコンバータ ( A D C ) の開口時間に関連してもよい。典型的には、送信周波数から受信器内で信号処理するために使用される周波数への受信信号の下方変換処理は、信号の濾波、持続時間の特性の変更を含んでもよい。サンプルはまた、受信信号の位相の瞬間的計測とを考えてもよい。

【 0 0 1 9 】

ナイキスト基準 ( Nyquist criterion ) を満足するサンプリング周波数、すなわち、例えば式 ( 1 ) により与えられる受信器の出力での最大期待差周波数の2倍以上であるサンプリング周波数は、対象物までのレンジ、レーダに対する対象物の放射方向の速度、及び他のパラメータ等の特性を決定するよう処理できる受信信号スペクトルのサンプルの時間シーケンスという結果となる。適当なアンテナが使用されると、対象物への方位も得ることができる。「対象物」の用語は一般に、無線波を反射又は散乱する任意の物体を代表して使用され、対象物からの戻り信号は、レーダの受信装置により処理される信号である。対象物は、物理的状況により、自動車、壁、航空機、気象効果等であってもよい。

【 0 0 2 0 】

F S K 波形が使用されると、受信信号のサンプルは、送信信号が少なくとも2周波数の各々に存在する時間の間、少なくとも1回得られる。ランダム周波数ホッピング ( R F H ) 波形は、任意の周波数での反復周期が長く、複数の周波数を有する F S K 波形として考えてもよい。

【 0 0 2 1 】

擬似ランダム又は擬似ノイズ ( P N ) 変調信号が使用されると、各チップの時間の間、受信信号のサンプルが少なくとも1回得られる。ここで、「チップ」とは、送信信号の位

10

20

30

40

50

相が一定である時間である。

【 0 0 2 2 】

一形態において、アンテナ開口は、レーダの作動が意図されている時間にわたる方位の合計と比べて放射パターン半電力ビーム幅が狭いものに対して設けてもよい。このアンテナ開口は、最大アンテナゲインの方位が信号波長の関数であるように構成される。この結果、最大アンテナゲインの方位は、単一 F M C W 送信の間、又は R F H 波形の場合には周波数から周波数まで変化する。

【 0 0 2 3 】

別の形態において、送信アンテナ及び受信アンテナは、異なってもよいし、共有開口の部分であってもよく、複数の送受信アンテナビームは、同時に又は順次形成されてもよい。

10

【 0 0 2 4 】

さらに別の形態において、サーキュレータは、単独又は単一経路スイッチと結合して、送信器部品及び受信器部品間の分離を提供するのに使用されてもよい。

【 0 0 2 5 】

F M C W、F S K、又は R F H 波形の発生手段は、位相がロックされたループ、直接デジタルシンセサイザ ( D D S )、分散フィルタ等のうちの一つであってもよい。

【 0 0 2 6 】

受信信号は、アナログ回路若しくはデジタル回路、又はその組合せにより処理することができる。この信号処理はまた、関連するメモリ及びコンピュータコードを有する 1 個以上のコンピュータにより実行され、数学的操作を実行し、アナログ回路又はデジタル回路により実行されるのと同等の関数を演算することができる。本明細書では、例示は本明細書では特定タイプの回路について言及しているが、各関数を実行する回路のタイプ、使用可能な回路のタイプの組合せを制限する意図はない。

20

【 0 0 2 7 】

コンピュータ又はデジタル回路が使用される一形態において、受信信号は、当業界で公知であるように、A D C でアナログフォーマットからデジタルフォーマットに変換されてもよい。変換処理は、アンテナによる受信後、任意の点で実行されてもよい。A D C の位置の選択は、特定の用途に依存する。

【 0 0 2 8 】

図 3 に示される一例において、レーダ 2 5 は、F M C W、F S K 又は R F H 波形であってもよい連続又はほぼ連続の波形を発生する波形発生器 3 0 と、ミキサ 4 2、増幅器及びフィルタ 4 7 を有する受信器 4 6 と、信号プロセッサ 4 8 とを有してもよい。送信増幅器 3 8 がアンテナ 3 6 に接続されると、エネルギーが伝送され、受信器 4 6 が無効にされ ( disabled ) すなわち切断されるので、送信エネルギーは受信されず、受信器の過負荷すなわち感度低下を回避することができる。エネルギーが伝送されない場合、受信器 4 6 及びデジタルプロセッサ 4 8 をアクティブにし、アンテナ 6 の出力 3 7 に現れる信号を受信することができる。アンテナの給電点 3 7 は、受信目的のアンテナ 3 6 の出力であり、送信目的のアンテナ 3 6 の入力として使用してもよい。受信器は、例えば、スイッチ 3 4 によって受信器 4 6 及びアンテナ 3 6 間の接続を遮断することにより、スイッチ 3 2 によって

30

40

【 0 0 2 9 】

レーダ 2 5 は波形発生器 3 0 により供給される波形を増幅するよう作用する送信増幅器 3 8 を有するが、送信増幅器 3 8 は、その機能が当業界では周知であるので、他の図では明示されていない。

【 0 0 3 0 】

一形態において、第 1 転送スイッチ 3 2 は、波形発生器 3 0 の波形の出力を、ミキサ 4 2 の第 1 入力 4 0 に、又は図 3 に示されるように送信増幅器 3 3 を介して第 2 転送スイッチ 3 4 の 2 個の入力端子のうちの 1 個への接続点に接続する。第 2 転送スイッチ 3 4 の出

50

力は、アンテナ 3 6 に印加され、送信される信号を供給する。第 2 転送スイッチ 3 4 の第 2 入力端子は、ミキサ 4 2 の第 2 入力 4 4 に接続される。ミキサ 4 2 の出力 4 9 は、受信器増幅器及びフィルタ 4 7 に接続される。受信器 4 6 の出力は、信号プロセッサ 4 8 に接続される。

【 0 0 3 1 】

レーダのこの説明は、明確化のために意図的に簡略化されており、受信器の詳細、タイミング及び同期化回路、当業界では公知であるようにレーダ機器において典型的であるこれらの関数としての同様の回路等の代表的要素は省略されている。

【 0 0 3 2 】

第 1 転送スイッチ 3 2 及び第 2 転送スイッチ 3 4 が「 T 」で示される位置にある場合、  
波形発生器 3 0 の出力はアンテナ 3 6 に接続され、波形はアンテナ 3 6 により空中に放射  
される。信号を受信する場合、第 1 転送スイッチ 3 2 及び第 2 転送スイッチが「 R 」で  
示される位置にある。この状態では、アンテナ 3 6 がミキサ 4 2 の第 2 入力 4 4 に接続され  
、波形発生器 3 0 は、受信器 4 6 のミキサ 4 2 の第 1 入力 4 4 に接続される。転送スイ  
ッチ 3 2 , 3 4 の状態は「 T 」から「 R 」に周期的に変化するので、所定時間後、両スイ  
ッチは、「 T 」状態又は「 R 」状態のいずれかにある。時間の大部分で、転送スイッチ 3 2  
 , 3 4 は「 T 」状態にある。

【 0 0 3 3 】

詳細には、状態遷移のシーケンスは、受信器を過負荷にしない、又は信号受信の持続時  
間を制限しないように、同時ではない。この結果、ミキサは、サンプリング位相検出器と  
して作動することができる。しかし、本説明において、送信状態及び受信状態間の 2 個の  
スイッチの同時の又は瞬間的な過渡は、サンプルを表わすには十分である。さらに、受信  
信号の 2 個以上のサンプル S は、「 R 」状態に間に得ることができる。

【 0 0 3 4 】

図 4 は、送信 F M C W 波形 5 0 と、レーダアンテナ位置から所定距離 D の対象物（図示  
せず）で反射した送信波形 5 0 に関する受信信号 5 2 とを示す。簡略化のために、単一の  
受信信号 5 2 が示されるが、レーダから異なる距離に複数の対象物がある場合には、複数  
の受信信号が現われてもよい。複数の信号が存在する場合、受信器 4 6 の出力は、複数  
の対象物からの戻りという結果となる周波数スペクトル含有情報を有すると考えられる。出  
力スペクトル内の各周波数は、レンジ分解間隔に関連した 1 個以上の対象物により戻され  
たエネルギーを表わす。レンジ分解間隔により表わされる距離は、有効信号バンド幅に依  
存する。F M C W 波形の場合、レーダに対して放射方向の速度を有する対象物のドップラ  
偏移は、式（ 1 ）で表わされるように対象物までの往復遅延時間の結果生ずる発生波形と  
、対象物の戻り信号との間の周波数差に追加されることを理解すべきである。レンジ及び  
ドップラ偏移成分の分離が必要な場合、当業界で公知である処理技法が使用される。

【 0 0 3 5 】

転送スイッチ 3 2 , 3 4 が「 R 」状態にある時間では、受信信号のサンプルが得られ、  
この操作は図 4（ A ）に矢印を先頭にする垂直線 S で示される。サンプル間の時間間隔は  
、信号処理において公知であるように、ナイキスト基準を満足する周波数で周期的である  
。ナイキスト周波数は、周波数スペクトルの一義的な分析が必要な最大周波数の 2 倍であ  
る。所望の最大周波数は、送信波形 5 0 及び受信信号 5 2 の間の差周波数 4 8 であり、レ  
ーダの最大設計レンジに対して式（ 1 ）から計算することができる。ここで、チャープ速  
度 K、作動周波数  $f_0$ 、並びに対象物の放射方向の最大速度及びレンジは、具体的なシステ  
ム設計の特徴である。

【 0 0 3 6 】

ミキサ 4 2 は、波形発生器 5 0 の信号及び受信信号 5 2 の合計周波数及び差周波数の積  
の双方を生成する。2 個の信号間の差周波数は、式（ 1 ）で与えられる。合計周波数は、  
受信器 4 6 内で濾波することにより無くすることができる。

【 0 0 3 7 】

図 4（ B ）は図 4（ A ）の詳細であり、F M C W ランプ内での受信周期「 R 」に対する

10

20

30

40

50

送信周期「T」の関係を示す。波形発生器30は、「T」が付された周期、アンテナ36に接続され、転送スイッチ32, 34が送信位置にある場合、アンテナ36は送信信号を放射する。ナイキストサンプル速度で周期的に、送信器がアンテナ36から切断され、転送スイッチ32, 34が「R」位置にある場合、アンテナ出力37は受信器46に接続される。対象物で反射されアンテナ36で受信された信号は、対象物に関する情報を得るために、受信器46及び信号プロセッサ48によりさらに処理される。受信間隔「R」内では、受信信号のサンプルは、送信信号がない場合に得ることができ、このことはサンプル点Sの周期的発生より図示されている。これは、サンプリングされる波形の周期の持続時間と比較して短いサンプリング時間を有するADCの作用の結果であろう。

**【0038】**

「R」間隔の持続時間は、「T」間隔の持続時間よりも実質的に短い。発生信号は、スイッチ32により受信間隔「R」の間、ミキサ42のローカル発信器入力ポート40に印加してもよい。発生信号が入力ポートに印加される時間周期は、受信間隔「R」の持続時間と等しいか短い。

**【0039】**

一形態において、発生信号30がミキサ42の入力ポート40に印加される時間周期は、受信間隔「R」の持続時間よりも短くてもよいので、発生信号は、図4(B)に示されるようにサンプリングパルス「S」で表わされる。この形態では、ミキサ(代表的には二重平衡ミキサ)の公知の作動に従うと、ミキサ42の出力49は、信号が入力ポート40, 44の各々に現れる場合にのみえられる。このように、受信信号がサンプリングパルス「S」によりサンプリングされる時間周期は短くなり、ミキサは、アンテナ37により受信され、送受信スイッチ34によりミキサ44の入力に印加される信号のサンプリング位相検出器として作用してもよい。ミキサは、サンプリング及び保持位相検出器として作用すると考えてもよい。アナログ・デジタルコンバータサンプルは、受領時間に対して遅延してもよい。

**【0040】**

さらに別の形態において、「R」間隔及び「T」間隔は、ほぼ等しくなることを許容されてもよい。この場合、送受信スイッチは、送信状態及び受信状態の持続時間の合計の半分より大きい送信状態にある。送受信スイッチ32, 34のスイッチング速度、コスト、感度及び他の要素の間で、トレードオフの設計がなされる。「R」間隔及び「T」間隔の比は、一設計ではほぼ等しい状態と、別の設計では「R」間隔が「T」間隔より非常に短い状態の間にある。「R」間隔の最小持続時間は、受信回路の過渡応答時間及びスイッチのスイッチング時間等の考慮によってのみ制限される。このため、「T」間隔を「R」間隔及び「T」間隔の差で割ったものとして定義される負荷時間率(duty factor)は、百分率で表わすと、50%から約100%のレンジである。自動車のレーダ用途では、例えば約95%以上の負荷時間率が使用されてもよい。

**【0041】**

受信信号は、ミキサ42、受信器46、又は信号プロセッサ48の入力でADCによりアナログからデジタルの形態に変換されてもよい。図5は、ADCの出力における信号の波形を示す。破線は、受信器が連続的に操作される環境下でのレーダの戻りを表わす周波数の連続波形を表わす。連続信号への階段状近似は、サンプル間隔でのADCによる波形の周期的サンプリングを表わす。信号の大きさは、サンプル間隔中、一定と考えてもよい。当業界で公知であるように、サンプリング周波数がナイキスト基準を満足する場合、信号波形は、一義的に表わされ分析される。

**【0042】**

サンプルパルスSの反復周波数はナイキスト基準を満足するように選択され、更なる信号処理は、対象物からの戻りに関連して受信信号を波形発生器30で生成された波形と混合することの結果の差周波数を一義的に決定してもよい。受信レーダ信号の相対信号強度は、対象物のレーダ断面、レーダアンテナ放射パターンに対する対象物の方位、及びレーダからのレンジを含む多数の要素に依存することが当業者には理解されよう。長いレンジ

10

20

30

40

50

での「折り返し」対象物による曖昧さを避けるために対象物までの設計最大レンジは、各用途で異なり、問題の最大レンジが考慮される場合にのみ得られるであろうナイキスト周波数より大きなサンプリング周波数を選択する結果となる。

【 0 0 4 3 】

単一アンテナ開口を有するレーダ 2 5 の作動は、レーダ取付けに要する物理的面積を減らし、後述するように、適当なアンテナは、対象物のレンジと同様に、対象物の方位の決定を許容することができる。或いは、2 個以上のアンテナを、送信又は受信のいずれかに使用してもよい。

【 0 0 4 4 】

別の形態において、FMCW 波形を、図 6 に示されるように階段状周波数波形で表わしてもよい。周波数変化の平均速度はランプ速度 K であり、サンプル S は、離散的周波数段が形成される速度と同じ速度を有するサンプル速度であってもよい。

【 0 0 4 5 】

レーダアンテナ基準基線方向と対象物との角度方向も望ましいさらに別の形態において、対象物の方位は、当業界で公知であるように、具体的なアンテナ構成に関連した多数の手段で決定することができる。これらアンテナ構成には、周波数及び時間遅延走査アレーアンテナ、台実装型皿アンテナ、モノパルス及びシーケンシャルローピングアンテナ、位相アレー等が含まれる。送信構成及び受信構成の双方において、方位の関数としてのアンテナの信号応答の変形は、自由空間放射パターンとして公知である。アンテナ効率に関連した乗数 (multiplicative) 要素を除き、送信用及び受信用のアンテナ放射パターンの形態は同一である。このため、説明を簡略化するために、特定の環境では一方又は他方のみを説明する。

【 0 0 4 6 】

一例において、図 7 に示されるように、モノパルスアンテナ構成が使用される。ここで、スイッチ位置は、送信状態「T」状態で得られるであろう位置で図示されている。モノパルスアンテナは、2 個の個別放射要素 3 6 a , 3 6 b を有してもよい。各放射要素 3 6 a , 3 6 b は、ほぼ同じ放射パターンを有しており、アンテナ基線に沿って離間している。ハイブリッドカップラ 3 7 又は他の類似する装置は、波形発生器 3 0 の出力をアンテナ 3 6 a , 3 6 b に供給するので、信号は、合計放射パターンを形成するように同相で放射される。アンテナ 3 6 a , 3 6 b で受信される信号は、アンテナ 3 6 a , 3 6 b で受信された信号の合計値がポートに現われ、受信信号の差の値がポートに現れるように構成されたハイブリッドカップラ 3 7 を通って戻る。当業界で公知であるように、ポートにおけるアンテナ出力の受信用の放射パターンは、アンテナ 3 6 a , 3 6 b の基線に対して直交する対称平面に沿った最大値を有し、ポートにおける受信放射パターンは、同じ平面に沿って最小値を有する。ポートに対するポートの位相の感知は、照準に対する信号方向を決定するのに使用することができる。角度は、ポート及びポートの信号の大きさの比によって決定することができる。このタイプのモノパルスアンテナは、対象物の方位を計算するのに和アンテナ出力及び差アンテナ出力の比が使用される開ループモードで、又は、アンテナの対称平面が対象物を指すことにより、対称軸から外れた対象物に関するエラー信号が最小になるようにアンテナが方位に配置される閉ループモードすなわち追跡モードで使用することができる。閉ループモードにおいて、次に、対称平面が指す方向によって、方位が決定される。作動の開ループモード及び閉ループモードのいずれかについて、方位平面と同様に仰角平面内で計測するように、追加のアンテナを使用してもよい。

【 0 0 4 7 】

受信器構成は、図 7 に示されるように、信号が同時に処理されるように和チャンネル (s) 及び差チャンネル (d) の 2 チャンネルを有してもよい。各チャンネルは、信号がミキサ 4 0 s , 4 0 d の入力ポートに印加されるように、波形発生器 3 0 からの波形信号が電力分割器 4 7 により電力分割されたミキサ 4 0 s , 4 0 d を有してもよい。ミキサ 4 0 s , 4 0 d の出力は受信器チャンネル 4 6 s , 4 6 d に印加され、受信器チャンネルの出力は信号プロセッサ 4 8 s , 4 8 d に印加される。信号プロセッサ 4 8 s , 4 8 d の出力

10

20

30

40

50

は、各チャンネルにおいて各差周波数での受信信号の大きさを表わす信号であってもよい。各差周波数は、対象物までのレンジを表わす。対象物の方位は、モノパルスプロセッサ 49 において信号プロセッサ 48 s, 48 d の出力の比を計算し、アンテナ構成に関連した適当なスケール要素を適用することにより、決定することができる。図 7 の構造において、追加の転送スイッチ 34 d が存在し、ハイブリッドカプラ 37 の出力が「R」状態のミキサ 40 d の入力に接続され、ハイブリッドカプラの出力が「T」状態のミキサ 40 d の入力から切断されるように作用する。「T」状態において、スイッチ 34 d は、ハイブリッドカプラ 37 の出力を終端抵抗に接続してもよい。

#### 【0048】

別のモノパルス構造において、ハイブリッドカプラ 37 のポート及びポートは、連続するランプのために同じミキサ 40 に印加され、連続するランプのための信号プロセッサ 48 出力の比は、同じスペクトル周波数用に計算される。これは、シーケンシャルローピングと称される。

#### 【0049】

対象物の方位はまた、レーダ 70 の放射要素として接続された周波数走査型方向アンテナ 60 の使用により決定できる。一例において、図 8 に示されるような周波数走査型アンテナは、一ランプ周期内で対象物のレンジ及び方位を決定するために FMCW 波形と共に使用することができる。図 3 に示されるレーダ 25 のアンテナ構成 36 は、図 8 に示される構成と置換してもよい。この構造において、多様なアンテナ 82 はアンテナ開口 60 を形成する。アンテナ 36 を除いたレーダ 25 は、要素 70 として指示される。

#### 【0050】

代表的には、アンテナは基線に沿って等しい間隔で離間するが、等しくない間隔、すなわち一表面に合致するアンテナを使用してもよい。この例において、波形発生器 30 が生成した信号は、伝送線 80 に沿って伝送され、直列のアレー状の各アンテナに結合される。連続する各アンテナ間の伝送線の長さ L は、送信周波数の変化に関連する位相シフトの変化率を決定する。アレー状に連続するアンテナ間の位相シフトの差は、特定比周波数でアンテナビーム最大値が生ずる角度を決定する。このため、当業界で公知であるように、送信周波数の変化は、ビーム最大値の方位の変化という結果となる。各アンテナに印加される信号の大きさは、「一様な重み付け」として知られた同等であってもよく、又は、テーラーの立ち上がり余弦等の公知の大きさ重み付け関数に従ってもよい。一様でない重み付け関数を使用する目的は、主アンテナビーム幅の外側にあるアンテナの応答であるアンテナサイドローブの大きさを制御することである。

#### 【0051】

位相シフトを変更することにより、アンテナ開口の最大応答は異なる方位に向けることができ、このようなアンテナが受信する信号と同様にこのようなアンテナが送信する信号の大きさは、位相シフトの関数であり、対象物の方位に関連する。

#### 【0052】

位相シフトが周波数の関数であるように位相シフトがアンテナ開口を横切る場合、最大応答の方位角は周波数の関数である。図 4 に示される FMCW 波形は、ランプ内で時間と共に変化する周波数を有する。従って、図 8 に示されるタイプのアレーアンテナは、周波数の関数である最大アンテナ方位放射パターンを有する。このようにして、レーダ信号の方位の計測は、ランプの時間限定された断片におけるランプ中に受信された信号を処理すること、各時間断片を送信周波数に関連させること、及びアンテナ放射パターンの最大応答の方位に対応させることにより、ランプの持続時間内で行うことができる。

#### 【0053】

「方位」の用語が使用される場合、例えば受信信号の仰角を決定するために他のアンテナ構成を同等に使用することができ、これらのパラメータを同時に又は順次決定できることが当業者には理解されよう。従って、「方位」の用語は、「仰角」を含むものと理解すべきである。

#### 【0054】

10

20

30

40

50

図9は、FMCWランプを4個の時間間隔P1~P4に分割した例を示す。各時間間隔Pは、最大アンテナ放射パターンの方位A1~A4セクタにそれぞれ関連する。各時間間隔において、信号は、対象物までのレンジを決定するよう処理される。検出された対象物は、最大アンテナ放射パターンの方位Aに関連する。すなわち、ナイキスト速度で受信信号のサンプルS1群は、P1で指示された時間周期に関連すると共に、セクタA1内で方位を有する対象物に関連する。サンプルS2群は、時間周期P2に関連すると共に、セクタA2内で方位を有する対象物に関連する等である。

【0055】

時間周期P1に関連するサンプルS1群は、対象物までのレンジR1を決定するように信号プロセッサ48で処理され、対象物は方位A1に関連する。方位セクタA1には異なるレンジに関連して2個以上の対象物があるが、明確化のために、図9の各方位セクタには1個の対象物のみが図示される。同様に、1個の対象物が、レンジR2内に時間周期P2に関連してあるので、方位セクタA2に関連する。

10

【0056】

方位セクタAはアンテナの特性の理想化されたものを表わし、応答関数は、各方位レンジの中心での最大値から、例えば隣接するセクタA1及びA2間の境界での代表的には電力の半分値である低い値まで変化できることを理解すべきである。方位セクタA2の中間点における方位セクタA1の実際の応答関数は、A2の応答関数よりも著しく小さい。このような訳で、方位セクタA1及びA2にけるレンジR1を表わす信号の大きさは、適当な方位セクタを決定するため、方位をより良好に見積もる等のために、比較してもよい。

20

【0057】

同様に、周波数走査型アンテナの応答関数の最大値の方向が周波数で連続的に変化するので、時間周期P内の周波数の変動は、周期P中の最大アンテナ応答の方位の変動に対応する。この変動の効果は、周期P内の信号の大きさを変調することであり、このような変調は、信号重み付けの一類型と考えることができる。

【0058】

別の例において、波形発生器30が発生する波形は、FSK信号であってもよい。ここで、発生した波形は第1周波数 $f_1$ 及び第2周波数 $f_2$ のうち的一方であり、発生した波形の周波数は、第1周波数及び第2周波数の間で交代する。物理的構成は、例えば図3及び図7のいずれかであってもよい。受信信号は、波形発生器が第1周波数及び第2周波数の各々にある時間周期中に少なくとも1回、短い時間周期でサンプリングされる。第1周波数及び第2周波数の各々における送信信号及び受信信号間の位相が決定され、第1周波数で受信される信号及び第2周波数で受信される信号間の位相シフトの差が決定される。

30

【0059】

図10に示されるさらに別の例において、波形発生器30は単一の周波数を生成してもよく、アンテナ36を介して信号を送信するように信号発生器がアンテナに接続されると、位相変調器110が信号経路内に介在する。位相変調器110は、位相変調器を横断して信号の離散的位相シフトを与える当業界では公知の任意のタイプであってもよい。

【0060】

一形態において、位相変調器110は、シフトレジスタ112により制御されてもよい。このシフトレジスタ112は、「0」又は「1」の2進法信号の擬似ランダム(擬似ノイズとして公知の)シーケンスを生成する帰還タイプであってもよい。2進法信号を位相変調器110の入力に印加することに対応して、発生した波形の位相シフトは、基準としての入力波形に関して0°から180°まで離散的に変化してもよい。この位相シフト構造は、当業界で公知であるように位相シフトの他の増分を使用することもできるが、2進法位相シフトキーイング(BFSK)波形の一例である。擬似ランダム(PN)シーケンスを構成する2進法信号のシーケンスはシフトレジスタ112によって繰り返し生成されてもよいし、或いは、シーケンスが、計算デバイスに関連するランダムアクセスメモリ内に保存され、保存されたプログラムの実行の結果、出力してもよい。別の形態において、PNシーケンスは、コンピュータの保存プログラムを実行することにより直接計算されても

40

50

よい。

【 0 0 6 1 】

最大限長さシーケンス等の時間を異ならせるドップラ応答関数を有する多様な P N シーケンスが公知である。

【 0 0 6 2 】

レンジ間隔にわたって一義的な対象物応答が必要ななら、P N シーケンスの繰り返しの回復持続時間を、一義的な応答が望ましいレンジ間隔の少なくとも 2 倍に設定してもよい。波形のレンジ分解能は、公知であるように、一変調位相シフト間隔の持続時間とほぼ等しい時間間隔である。波形が 0 ° 状態又は 180 ° 状態とられる各変調間隔は「チップ」として公知であり、このチップ持続時間は、電磁波伝搬時間として表現される波形のレンジ分解能にほぼ等しい。

10

【 0 0 6 3 】

転送スイッチ 3 2 , 3 4 は、チップあたり少なくとも 1 回、「T」状態から「R」状態までレーダを移行するよう作動し、図 1 0 に示されるように時間的に一連のサンプルという結果となる。この時間一連のサンプルはミキサ 4 2 の入力に印加されるので、信号は、受信器 4 6 の残余部分により処理される周波数に変換されてもよい。

【 0 0 6 4 】

ミキサ 4 2 のポート 4 0 の一つに印加される波形は、波形発生器 3 0 が発生する未変調波形であり、ミキサ 4 2 の出力は、未変調波形及び受信信号サンプルの和及び差の積を有する。適当なミキサ出力は、フィルタ及び増幅器 4 7 により濾波され、増幅され、調整され、信号プロセッサ 1 1 6 に印加される。

20

【 0 0 6 5 】

信号プロセッサ 1 1 6 は、受信器 4 6 からのデジタル化された出力を受領するか、アナログ・デジタル変換を実行する。送信された P N シーケンスの保存された複製は、受信されたサンプル及び保存された P N シーケンスの間の相互相関操作を実行するために使用される。当業界で公知であるように、送信された P N シーケンスの時間遅延した複製である対象物の戻りは、保存された P N シーケンスの開始及び受信された P N シーケンスの間の時間差に等しい、遅延における最大値を達成する P N シーケンスとの相関係数を有する。この遅延は、対象物までのレンジの計測結果である。レーダに関する対象物の移動の効果は、対象物戻り信号にドップラ偏移を与えることであり、残りの効果は、相互相関処理内

30

【 0 0 6 6 】

シフトレジスタ、FFT等を使用して、相互相関処理を実行する任意の公知の方法を使用することができる。この処理は、特殊目的のハードウェア内で、又はランダムアクセスメモリ及び保存された応用プログラムを使用するコンピュータ内で実行することができる。

【 0 0 6 7 】

チップあたり少なくとも 1 回の受信波形の短いサンプルを使用することにより、高い平均送信電力及び低いピーク対平均電力の比を維持しながら、単一のアンテナを使用してレーダを作動させることができる。

40

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 6 8 】

【 図 1 】従来のレーダのブロック図である。

【 図 2 】 F M C W レーダのランプの時間・周波数特性及び対象物からの戻り信号との関係を示すグラフである。

【 図 3 】単一のアンテナ開口を有するレーダのブロック図である。

【 図 4 】 ( A ) 周期的間隔で受信 F M C W 波形のサンプリングを示す時間・周波数グラフであり、( B ) 送信波形、波形を受信する期間、及び受信波形の周期的サンプリングの関係を示す、( A ) のグラフの詳細を示すグラフである。

【 図 5 】受信器の出力での連続波形、及び連続波形を間隔 S でサンプリングすることによ

50

り得られた連続波形の階段状の代表を示すグラフである。

【図6】 間隔Sでサンプリングした階段状FMCW波形の時間・周波数のグラフである。

【図7】 モノパルスアンテナと共に作動するよう構成された単一開口レーダを示すブロック図である。

【図8】 周波数走査アンテナと共に作動するよう構成された単一開口レーダを示すブロック図である。

【図9】 対象物が各セクタに示された、アンテナ方位セクタ及びFMCW波形の断片の間の連絡を示す図である。

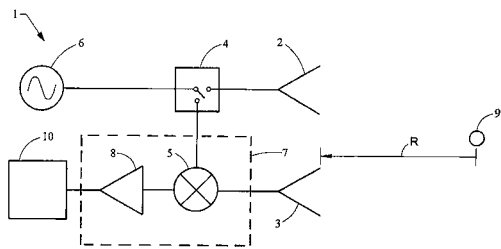
【図10】 波形発生器及びアンテナ間の位相変調器を有する信号開口レーダのブロック図である。

【符号の説明】

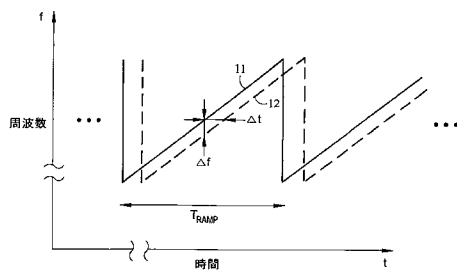
【0069】

- 25 レーダ
- 30 波形発生器
- 32, 34 送受信スイッチ
- 36, 60 アンテナ
- 42 ミキサ
- 47 増幅器
- 48 信号プロセッサ

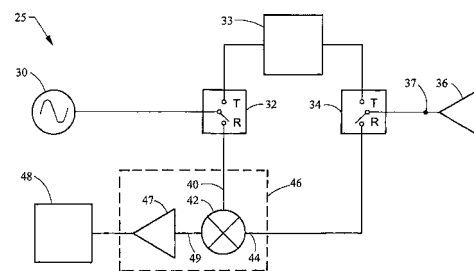
【図1】



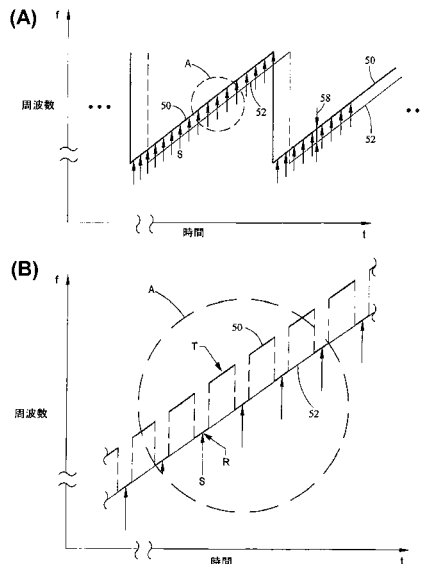
【図2】



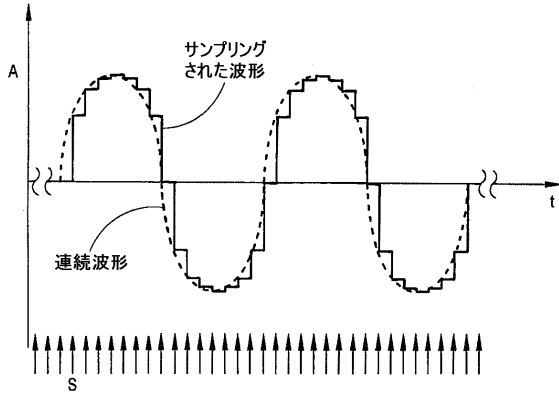
【図3】



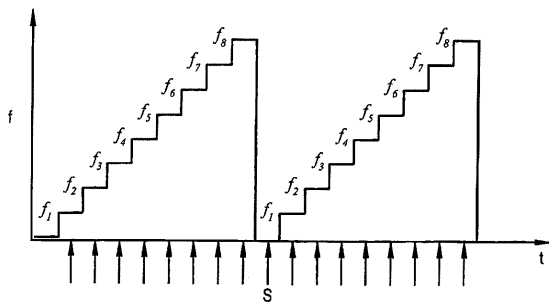
【図4】



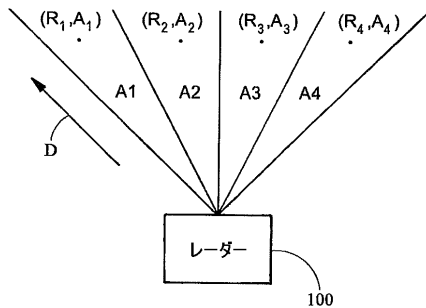
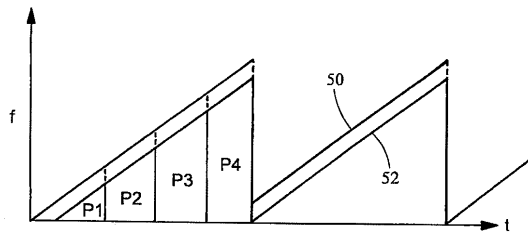
【図5】



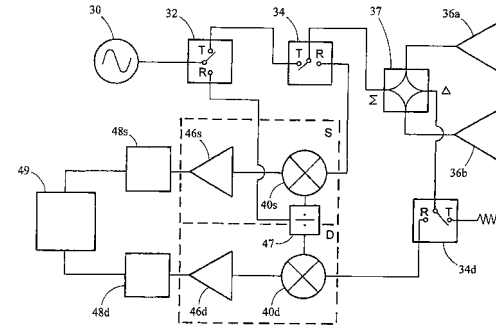
【図6】



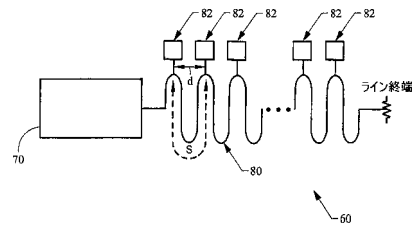
【図9】



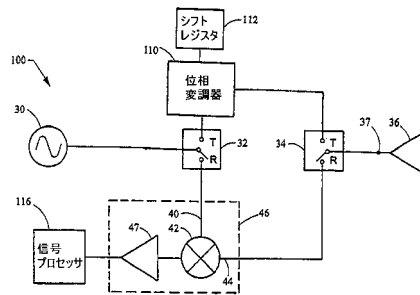
【図7】



【図8】



【図10】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2005/069037(WO, A1)

特開平11-148972(JP, A)

特開2001-51049(JP, A)

特開2002-122661(JP, A)

特開2002-168946(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 13/00~13/95、

7/00~7/42