

(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2014-44112
(P2014-44112A)

(43) 公開日 平成26年3月13日(2014.3.13)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
GO1S 7/40 (2006.01) GO1S 7/40 B 5J070
 GO1S 7/40 A

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2012-186624 (P2012-186624)
 (22) 出願日 平成24年8月27日 (2012.8.27)

(71) 出願人 000166247
 古野電気株式会社
 兵庫県西宮市芦原町9番52号
 (74) 代理人 100118784
 弁理士 桂川 直己
 (72) 発明者 大西 佳文
 兵庫県西宮市芦原町9番52号 古野電気
 株式会社内
 Fターム(参考) 5J070 AB01 AC01 AC02 AC06 AC13
 AD01 AF05 AH05 AH31

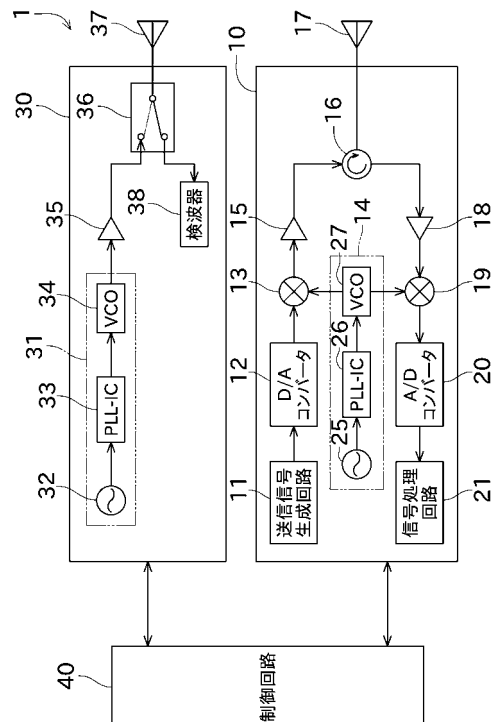
(54) 【発明の名称】 レーダパフォーマンスモニタ、パルス圧縮レーダ装置、及びレーダパフォーマンス測定方法

(57) 【要約】

【課題】非線形の送信信号を生成するための構成や、レーダ部からの基準信号を不要としつつ、非線形信号を送信するレーダ部の性能を適切に確認できるレーダパフォーマンスモニタを提供する。

【解決手段】PM部(レーダパフォーマンスモニタ)30は、検波器38と、応答信号生成部31と、を備える。検波器38は、パルス圧縮レーダ装置1のレーダ部10が送信した、周波数の時間変化が非線形の送信信号を受信する。応答信号生成部31は、検波器38が受信した送信信号への応答として、周波数の時間変化が線形の応答信号を生成し、当該応答信号をレーダ部10へ送信する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

パルス圧縮レーダ装置のレーダ部が送信した、周波数の時間変化が非線形の送信信号を受信する受信部と、

前記受信部が受信した前記送信信号への応答として、周波数の時間変化が線形の応答信号を生成し、当該応答信号を前記レーダ部へ送信する応答信号生成部と、
を備えることを特徴とするレーダパフォーマンスモニタ。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のレーダパフォーマンスモニタであって、
時間と周波数の関係を示すグラフにおいて、

10

前記レーダ部が使用された時間に応じて前記送信信号の波形が遷移する方向と、前記応答信号の傾きと、が一致することを特徴とするレーダパフォーマンスモニタ。

【請求項 3】

請求項 2 に記載のレーダパフォーマンスモニタであって、
時間と周波数の関係を示すグラフにおいて、

前記送信信号の波形は、中心周波数に該当する箇所を対称点とした点対称であり、
前記応答信号の波形は、前記送信信号の中心周波数に該当する箇所に沿う直線であることを特徴とするレーダパフォーマンスモニタ。

【請求項 4】

請求項 1 から 3 までの何れか一項に記載のレーダパフォーマンスモニタであって、
前記応答信号生成部は、前記応答信号の周波数の時間変化率を変更可能であることを特徴とするレーダパフォーマンスモニタ。

20

【請求項 5】

請求項 1 から 4 までの何れか一項に記載のレーダパフォーマンスモニタであって、
前記応答信号生成部は、前記応答信号の周波数を変更する機能である周波数スイープ機能を有している位相同期回路を備えることを特徴とするレーダパフォーマンスモニタ。

【請求項 6】

請求項 1 から 5 までの何れか一項に記載のレーダパフォーマンスモニタと、
前記送信信号を送信するとともに前記応答信号を受信して、当該応答信号に対して、前記送信信号に基づいたパルス圧縮処理を行うレーダ部と、
を備えることを特徴とするパルス圧縮レーダ装置。

30

【請求項 7】

パルス圧縮レーダ装置のレーダ部から周波数の時間変化が非線形の送信信号を送信する送信工程と、

前記パルス圧縮レーダ装置のレーダパフォーマンスモニタで前記送信信号を受信する受信工程と、

前記レーダパフォーマンスモニタから、前記送信信号への応答として、周波数の時間変化が線形の応答信号を前記レーダ部へ送信する応答工程と、

前記応答信号に対して、前記送信信号に基づいたパルス圧縮処理を行う解析工程と、
を含むことを特徴とするレーダパフォーマンス測定方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、主要には、レーダパフォーマンスモニタに関する。詳細には、周波数の時間変化が非線形の信号を送信するレーダ装置に取り付けられるレーダパフォーマンスモニタに関する。

【背景技術】

【0002】

レーダ装置が備える発振器や検波器等は、使用とともに劣化したり、外部からの強い信号によって損傷したりすることがある。そこで、レーダ装置の送信強度及び受信感度が良

50

好であるか否かを確認するために、当該レーダ装置にレーダパフォーマンスモニタが設けられることがある。

【0003】

レーダパフォーマンスモニタは、レーダ装置のレーダ部が送信した送信信号を受信し、応答信号をレーダ部へ送信する。この応答信号を解析した結果がレーダ装置の性能の確認等に用いられる。特許文献1は、この種のレーダパフォーマンスモニタを開示する。

【0004】

特許文献1のレーダパフォーマンスモニタは、応答信号として、レーダ部の受信帯域を含む所定の周波数範囲内で周波数を連続的に変化させる信号（いわゆるチャープ信号）を送信する。この構成により、例えば応答信号の周波数が変化した場合であっても、応答信号の送信帯域がレーダ部の受信帯域外となることを防ぐことができる。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2011-43351号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、近年では、パルス長が比較的長く、周波数が連続的に変化する信号を送信信号として送信し、受信時にパルス圧縮処理を行う構成のパルス圧縮レーダ装置が知られている。パルス圧縮レーダ装置の送信信号としては、周波数が線形に変化する信号（線形信号）だけでなく、周波数が非線形に変化する信号（非線形信号）が用いられることがある。

20

【0007】

ここで、従来では、非線形信号を送信するパルス圧縮レーダ装置が備えるレーダパフォーマンスモニタは、送信信号と同様の応答信号を送信する必要があると考えられていた。これは、非線形の送信信号を送信する場合、送信信号と応答信号とで周波数がズレていると、レーダ部がパルス圧縮処理を行ってもピークの落ちた信号（又はピークのない信号）が検出されるからである。

【0008】

そのため、レーダパフォーマンスモニタは、非線形の送信信号を生成するための構成（D/Aコンバータやミキサ等）を備える必要があった。更に、レーダパフォーマンスモニタは、送信信号と応答信号の周波数を一致させるために、レーダ部から基準信号を受信する必要があった。このように、非線形信号を送信するパルス圧縮レーダ装置が備えるレーダパフォーマンスモニタは、非常に複雑な構成となっていた。

30

【0009】

本発明は以上の事情に鑑みてされたものであり、その主要な目的は、非線形の送信信号を生成するための構成や、レーダ部からの基準信号を不要としつつ、非線形信号を送信するレーダ部の性能を適切に確認できるレーダパフォーマンスモニタを提供することにある。

40

【課題を解決するための手段及び効果】

【0010】

本発明の解決しようとする課題は以上の如くであり、次にこの課題を解決するための手段とその効果を説明する。

【0011】

本発明の第1の観点によれば、以下の構成のレーダパフォーマンスモニタが提供される。即ち、このレーダパフォーマンスモニタは、受信部と、応答信号生成部と、を備える。前記受信部は、パルス圧縮レーダ装置のレーダ部が送信した、周波数の時間変化が非線形の送信信号を受信する。前記応答信号生成部は、前記受信部が受信した前記送信信号への応答として、周波数の時間変化が線形の応答信号を生成し、当該応答信号を前記レーダ部

50

へ送信する。

【0012】

これにより、非線形の送信信号に対して線形の応答信号を送信しても応答信号のピーク部分を検出可能であることから、レーダ部の性能を確認するという機能を適切に発揮させつつ、レーダパフォーマンスモニタの構成を簡単にすることができる。

【0013】

前記のレーダパフォーマンスモニタにおいては、時間と周波数の関係を示すグラフにおいて、前記レーダ部が使用された時間に応じて前記送信信号の波形が遷移する方向と、前記応答信号の傾きと、が一致する。

【0014】

これにより、時間の経過により送信信号又は応答信号の周波数が変化した場合であっても、応答信号生成部が送信する信号を変更することなく、レーダパフォーマンスモニタとしての機能を発揮させることができる。

【0015】

前記のレーダパフォーマンスモニタにおいては、時間と周波数の関係を示すグラフにおいて、前記送信信号の波形は、中心周波数に該当する箇所を対称点とした点対称であり、前記応答信号の波形は、前記送信信号の中心周波数に該当する箇所に沿う直線であることが好ましい。

【0016】

これにより、送信信号又は応答信号の周波数の変化に応答信号を追従させなくて良いという効果を、パルス圧縮レーダ装置において通常用いられる波形の送信信号において実現することができる。

【0017】

前記のレーダパフォーマンスモニタにおいては、前記応答信号生成部は、前記応答信号の周波数の時間変化率を変更可能であることが好ましい。

【0018】

これにより、レーダ部が送信する送信信号が切り替えられたり、レーダパフォーマンスモニタが他のレーダ装置に取り付けられたりした場合であっても、容易に対応することができる。

【0019】

前記のレーダパフォーマンスモニタにおいては、前記応答信号生成部は、前記応答信号の周波数を変更する機能である周波数スイープ機能を有している位相同期回路を備えることが好ましい。

【0020】

これにより、簡単な制御で、周波数の変化が線形の信号を生成することができる。

【0021】

前記のパルス圧縮レーダ装置においては、以下の構成とすることが好ましい。即ち、このパルス圧縮レーダ装置は、前記のレーダパフォーマンスモニタと、レーダ部と、を備える。前記レーダ部は、前記送信信号を送信するとともに前記応答信号を受信して、当該応答信号に対して、前記送信信号に基づいた波形に基づいたパルス圧縮処理を行う。

【0022】

これにより、簡単な構成のレーダパフォーマンスモニタを備えたパルス圧縮レーダ装置が実現できる。

【0023】

本発明の第2の観点によれば、以下のレーダパフォーマンス測定方法が提供される。即ち、このレーダパフォーマンス測定方法は、送信工程と、受信工程と、応答工程と、解析工程と、を含む。前記送信工程では、パルス圧縮レーダ装置のレーダ部から周波数の時間変化が非線形の送信信号を送信する。前記受信工程では、前記パルス圧縮レーダ装置のレーダパフォーマンスモニタで前記送信信号を受信する。前記応答工程では、前記レーダパフォーマンスモニタから、前記送信信号への応答として、周波数の時間変化が線形の応答

10

20

30

40

50

信号を前記レーダ部へ送信する。前記解析工程では、前記応答信号に対して、前記送信信号に基づいたパルス圧縮処理を行う。

【0024】

これにより、非線形の送信信号に対して線形の応答信号を送信しても応答信号のピーク部分を検出可能であることから、レーダパフォーマンスモニタとしての機能を適切に発揮させつつ、レーダパフォーマンスモニタの構成を簡単に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本発明の一実施形態に係るパルス圧縮レーダ装置の構成を示すブロック図。

【図2】パルス圧縮処理を説明する図。

10

【図3】送信信号と応答信号の周波数の時間変化を示すグラフ。

【図4】応答信号の表示例を示すレーダ映像。

【図5】線形と非線形の応答信号をパルス圧縮処理した処理後信号を示すグラフ。

【図6】送信信号又は応答信号の周波数が変化したときの様子を示すグラフ。

【図7】パルス圧縮レーダ装置の変形例を示すブロック図。

【図8】従来のパルス圧縮レーダ装置を示すブロック図。

【発明を実施するための形態】

【0026】

次に、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。図1は、本発明の一実施形態に係るパルス圧縮レーダ装置1の構成を示すブロック図である。

20

【0027】

本実施形態のパルス圧縮レーダ装置1は、船舶に搭載されるタイプのレーダ装置であり、パルス長の長い電波（送信信号）を送信するとともに、その受信信号にパルス圧縮処理を行って解析することで、物標の位置や速度を検出することができる。また、パルス圧縮レーダ装置1は、電波の送受信を行うレーダ部10と、レーダ部10の性能を確認するためのPM部（レーダパフォーマンスモニタ）30と、制御回路40と、を備えている。

【0028】

レーダ部10は、送信信号を送信するための構成として、送信信号生成回路11と、D/Aコンバータ12と、ミキサ13と、局部発振器14と、送信アンプ15と、サーキュレータ16と、レーダアンテナ17と、を備える。

30

【0029】

送信信号生成回路11は、予め設定された波形（周波数の時間変化）の送信信号を生成する。本実施形態では、送信信号生成回路11は、非線形の送信信号を生成して、D/Aコンバータ12へ出力する。D/Aコンバータ12は、送信信号生成回路11が生成した送信信号をデジタル信号からアナログ信号へ変換して、ミキサ13へ出力する。

【0030】

局部発振器14は、発振器25と、PLL（位相同期回路）-IC26と、VCO（電圧制御発振器）27と、を備えている。

【0031】

発振器25は、所定の周波数の信号を発生させることができる。PLL-IC26は、VCO27を制御して、このVCO27から局部発振器信号（局発信号）を出力する。

40

【0032】

ミキサ13は、D/Aコンバータ12から入力された送信信号を、局部発振器14が出力する局発信号と混合する。これにより、送信信号の周波数を送信周波数まで引き上げることができる。ミキサ13は、周波数が引き上げられた送信信号を送信アンプ15へ出力する。送信アンプ15は、この送信信号を増幅し、サーキュレータ16を介して、レーダアンテナ17から外部へ送信する。この送信信号は、前述のように非線形の信号である（図3の $R^*(t)$ を参照）。

【0033】

レーダアンテナ17は、上記のように送信信号を送信し、この送信信号が物標（エコー

50

源)に反射して戻ってきた反射信号を受信信号として受信するように構成されている。また、レーダアンテナ17は、所定の回転速度で水平面内を回転しながら、電波の送受信を繰り返し行うように構成されている。以上の構成で、自船を中心として水平面内を360°にわたってスキャンし、周囲の物標の様子を取得することができる。

【0034】

サーキュレータ16は、送信アンプ15からの高エネルギーの送信信号が受信側の回路に入力されないように、かつ、受信信号が受信側の回路に適切に入力されるように、信号の経路を適宜切り替えることができる。

【0035】

次に、レーダアンテナ17が受信した受信信号を処理する構成について説明する。レーダ部10は、受信信号を処理するための構成として、受信アンプ18と、ミキサ19と、A/Dコンバータ20と、信号処理回路21を備えている。

10

【0036】

受信アンプ18は、受信信号の信号レベルを増幅する処理を行う。この受信アンプ18を経由することで、微弱な受信信号の信号レベルを後段の処理が行える程度まで増幅することができる。受信アンプ18によって、増幅された受信信号は、ミキサ19へ出力される。

【0037】

ミキサ19は、ミキサ13と同様に、受信信号と局部発振器14の局発信号とを混合することで、受信信号の周波数を引き下げることができる。ミキサ19は、周波数が引き下げられた受信信号をA/Dコンバータ20へ出力する。A/Dコンバータ20は、周波数が引き下げられた受信信号をアナログ信号からデジタル信号へ変換する。

20

【0038】

信号処理回路21は、A/Dコンバータ20から入力された受信信号に送信信号等を考慮してパルス圧縮処理を行う。パルス圧縮処理とは、図2に示すように、受信信号と、送信信号の複素共役と、に基づいて、パルスを圧縮(復号)して処理後信号を得る処理である。信号処理回路21は、この処理後信号に基づいて、レーダ映像を作成する。

【0039】

具体的には、信号処理回路21は、レーダアンテナ17が送信信号を送信したタイミングと、反射信号を受信したタイミングと、の時間差に基づいて物標までの距離を求める。また、信号処理回路21は、信号を探知した際のレーダアンテナ17の向きに基づいて当該物標の方向を取得する。以上のようにして、信号処理回路21は、レーダ映像を生成し、図略の表示部にレーダ映像を表示する。

30

【0040】

次に、PM部30について説明する。PM部30は、応答信号生成部31と、応答アンプ35と、スイッチ36と、PMアンテナ37と、検波器(受信部)38と、を備えている。

【0041】

応答信号生成部31は、応答信号を生成するための構成として、発振器32と、PLL-IC33と、VCO34と、を備えている。

40

【0042】

発振器32は、所定の周波数の信号を発生させることができる。PLL-IC33は、VCO34を制御して、このVCO34から応答信号を出力する。本実施形態では、VCO34は、時間に応じて周波数が変化するとともに、その変化量が一定である線形の応答信号を出力する(図3のE(t)を参照)。

【0043】

なお、本実施形態では、レーダ部10が非線形信号を送信する構成であるにもかかわらず、PM部30が線形信号を送信する構成である。しかし、レーダ部10の性能を適切に検出することができる(理由は後述)。

【0044】

50

また、PLL-IC33は、出力する信号の周波数を変更可能な機能である周波数スイープ機能を有しているため、時間とともに周波数が変化する上記の信号を容易に生成することができる。応答信号生成部31が生成した線形の応答信号は、応答アンプ35へ出力される。

【0045】

応答アンプ35は、この応答信号を増幅し、スイッチ36へ出力する。スイッチ36は、応答信号をPMアンテナ37へ伝達する状態と、PMアンテナ37が受信した信号(レーダ部10が送信した送信信号)を検波器38へ出力する状態と、を切り替えることができる。

【0046】

スイッチ36は、通常は、PMアンテナ37が受信した信号を検波器38へ出力する状態となっている。そして、PM部30は、レーダ部10の送信信号を受信したと検波器38が判断した場合、スイッチ36を切り替えて、応答信号をレーダ部10(レーダアンテナ17)へ送信する。

【0047】

レーダ部10は、この応答信号を受信し、上記のパルス圧縮処理等を行ってレーダ映像を作成する。ユーザは、このレーダ映像を確認することで、レーダ部10の性能を確認することができる。図4は、応答信号のレーダ映像の例を示している。この例では、PM部30は、応答信号を連続して複数回送信しており、後に送信する応答信号程、信号の強度を低下させている。この構成により、応答信号のエコーの表示数に基づいて、レーダ部10の受信感度を確認することができる。なお、送信信号の強度に応じてPM部30が応答信号の送信タイミングを変化させることで、レーダ部10の送信強度を確認することもできる。

【0048】

次に、本実施形態の構成と、従来の構成と、を比較して説明する。

【0049】

初めに、従来のパルス圧縮レーダ装置1について簡単に説明する。従来のPM部30は、図8に示すように、本実施形態のPM部30の構成に加え、応答信号生成回路61と、D/Aコンバータ62と、ミキサ63と、を備える。また、従来のパルス圧縮レーダ装置1は、レーダ部10の局部発振器14とPLL-IC33とを接続する回路が形成されている。

【0050】

応答信号生成回路61は、送信信号生成回路11と同様に、非線形の応答信号を生成することができる。D/Aコンバータ62は、この応答信号をデジタルからアナログへ変換する。ミキサ63は、局部発振器14の出力する局発信号等に基づいて、応答信号の周波数を引き上げる。

【0051】

このように、従来の構成は、複雑な応答信号を生成するための装置が必要となる。また、従来のPM部30は、レーダ部10と周波数を揃えるために、レーダ部10から局発信号を受信する回路が必要となる。

【0052】

従来のパルス圧縮レーダ装置1は、上記の構成により送信信号と同一の周波数(同一の波形)の応答信号を送信することができる。従って、この応答信号に上述のパルス圧縮処理を行うことにより、高精度な処理後信号を得ることができる(図5の破線を参照)。

【0053】

次に、本実施形態の送信信号と応答信号の波形について詳細に説明する。図3に示すように、送信信号($R^*(t)$)は、中心周波数を示す箇所を対称点とした点対称の波形となっている。一方、応答信号($E(t)$)は、送信信号の中心周波数を示す箇所と交わり、かつ、送信信号の中心周波数を示す箇所の傾きと同じ傾きとなるように(沿うように)設定された波形となっている。つまり、応答信号は、送信信号の中心周波数の近傍におい

10

20

30

40

50

て、当該送信信号に近似した波形となっている。

【0054】

これにより、この応答信号にパルス圧縮処理を行うことで、ピークを持った処理後信号を得ることができる(図5の実線を参照)。図5に示すように、従来の構成の方がエコーを高精度に検出することができる。しかし、レーダパフォーマンスモニタにおいては、ピークの位置が分かれば(即ち、ピークの位置がノイズフロアより高ければ)十分であるため、本実施形態の構成であってもレーダ部10の性能を適切に確認することができる。

【0055】

そして、本実施形態の構成は、従来のような応答信号生成回路61、D/Aコンバータ62、ミキサ63、局部発振器14とPLL-IC33とを接続する回路、が不要である。従って、本実施形態の構成を採用することで、レーダ部10の性能を確認するという機能を適切に発揮させつつ、レーダパフォーマンスモニタの構成を簡単にすることができる。

10

【0056】

従来の構成は、局部発振器14(発振器25)が出力した信号をPLL-IC33へ出力しているが、水晶発振器が使用された時間に応じて、送信信号と応答信号の周波数がズレてしまう場合がある(経時変化特性)。この場合、図6に示すように、送信信号($R^*(t)$)と応答信号($E'(t)$)とはズレ量が少しではあるが、処理後信号が大幅に歪んだりピークが大幅に劣化したり(なくなったり)することが考えられる。なお、水晶発振器は、時間の経過だけでなく、例えば周囲の温度の変化等によっても信号の周波数がズレることがある。

20

【0057】

そのため、応答信号のエコーが弱くなった(消えた)場合、送信信号又は応答信号の周波数のズレによるのか、レーダ部10の受信系統によるのか、が不明であり、レーダ部10の性能を適切に確認することができなくなる。

【0058】

これに対し、本実施形態では図6に示すように、送信信号($R^*(t)$)の周波数が遷移する方向(中心周波数における傾き)と、応答信号($E(t)$)の傾きと、が一致している。従って、送信信号の周波数がズレた場合であっても、送信信号は応答信号に沿って遷移するだけなので、処理後信号は同様の形状を示す。つまり、本実施形態の構成は、特別な同期処理を行うことなく、発振器の経時変化特性等の影響を無くすることができる。

30

【0059】

以上に説明したように、本実施形態のPM部30は、検波器38と、応答信号生成部31と、を備える。検波器38は、パルス圧縮レーダ装置1のレーダ部10が送信した、周波数の時間変化が非線形の送信信号を受信する。応答信号生成部31は、検波器38が受信した送信信号への応答として、周波数の時間変化が線形の応答信号を生成し、当該応答信号をレーダ部10へ送信する。

【0060】

これにより、非線形の送信信号に対して線形の応答信号を送信しても応答信号のピーク部分を検出可能であることから、レーダ部の性能を確認するという機能を適切に発揮させつつ、レーダパフォーマンスモニタの構成を簡単にすることができる。

40

【0061】

以上に本発明の好適な実施の形態を説明したが、上記の構成は例えば以下のように変更することができる。

【0062】

応答信号生成部31の構成は、上記で説明した例に限られず、図7に示すように、DDS(ダイレクトデジタルシンセサイザ)51を用いて応答信号を生成する構成であっても良い。

【0063】

また、PLL-IC33は、周波数スイープ機能を有していない構成であっても良い。

50

また、各種発振器は、水晶発振器だけでなく、ルビジウム等を用いた他の原子発振器であっても良いし、リングオシレータ等のデジタル制御発振器であっても良い。

【0064】

送信信号生成回路11が生成する波形は上記で示した例でなくても良い。

【0065】

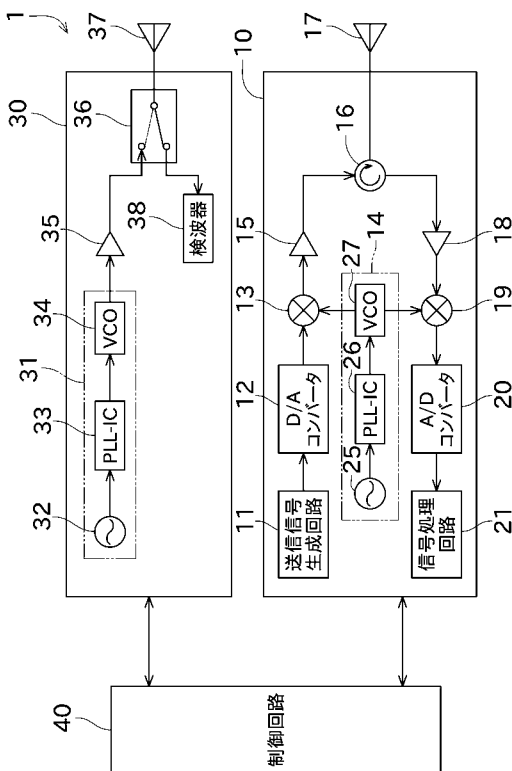
本発明は、船舶用レーダ装置に限られず、灯台等に設置され、移動体の位置等を監視するレーダ装置であっても良い。また、船舶以外の移動体、例えば、航空機、自動車等に搭載される構成であっても良い。

【符号の説明】

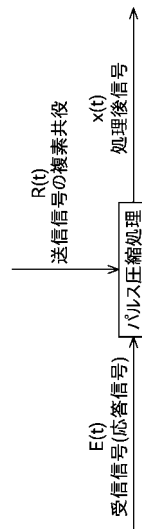
【0066】

- 1 パルス圧縮レーダ装置
- 10 レーダ部
- 30 PM部(レーダパフォーマンスモニタ)
- 31 応答信号生成部
- 35 応答アンプ
- 36 スイッチ
- 37 PMアンテナ
- 38 検波器(受信部)
- 40 制御回路

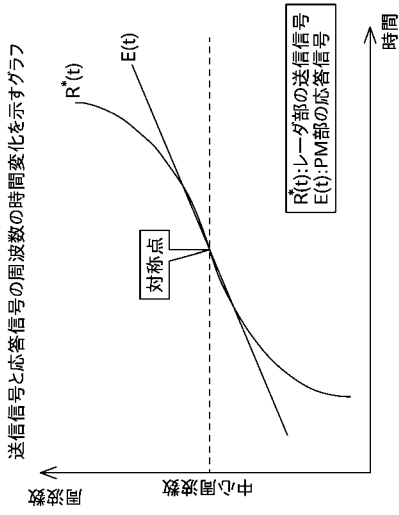
【図1】



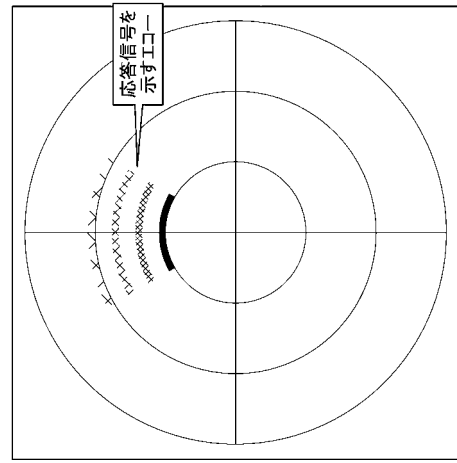
【図2】



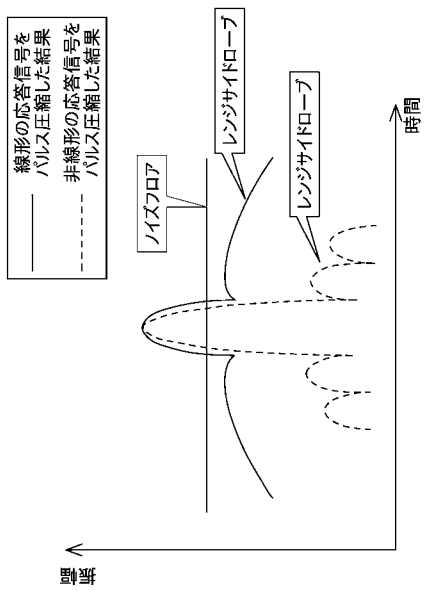
【 図 3 】



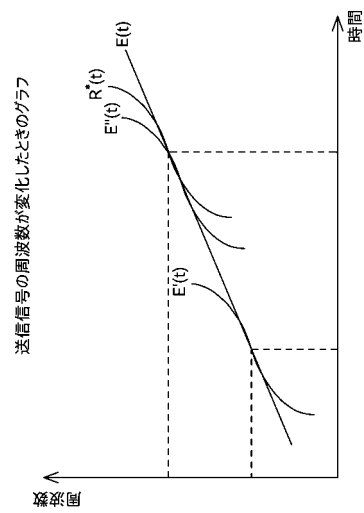
【 図 4 】



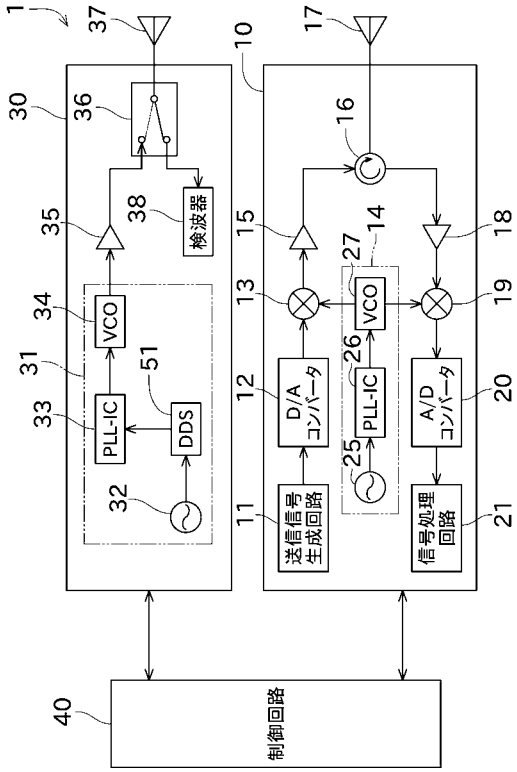
【 図 5 】



【 図 6 】



【図7】



【図8】

