

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7362301号
(P7362301)

(45)発行日 令和5年10月17日(2023.10.17)

(24)登録日 令和5年10月6日(2023.10.6)

| | |
|-------------------------|---------------------|
| (51)国際特許分類 | F I |
| G 0 1 S 13/88 (2006.01) | G 0 1 S 13/88 2 0 0 |
| G 0 1 S 13/30 (2006.01) | G 0 1 S 13/30 |
| G 0 1 S 13/28 (2006.01) | G 0 1 S 13/28 2 0 0 |
| G 0 1 V 3/12 (2006.01) | G 0 1 V 3/12 B |

請求項の数 7 (全18頁)

| | | | |
|----------|----------------------------------|----------|--|
| (21)出願番号 | 特願2019-104995(P2019-104995) | (73)特許権者 | 000004651 日本信号株式会社 東京都千代田区丸の内一丁目5番1号 |
| (22)出願日 | 令和1年6月5日(2019.6.5) | (74)代理人 | 100181146 弁理士 山川 啓 |
| (65)公開番号 | 特開2020-197489(P2020-197489 A) | (74)代理人 | 100109221 弁理士 福田 充広 |
| (43)公開日 | 令和2年12月10日(2020.12.10) | (72)発明者 | 千賀 敦夫 栃木県宇都宮市平出工業団地1-1-2 日本信号株式会社宇都宮事業所内 |
| 審査請求日 | 令和4年4月4日(2022.4.4) | 審査官 | 山下 雅人 |

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 地中レーダー装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

1回の探査信号送信の期間中に複数種の送信信号を、送信タイミングが重ならないように送信する送信部と、

前記複数種の送信信号に対応した受信信号を受信する受信部と、

前記受信信号と参照信号との相関処理に基づき前記複数種の送信信号ごとに探査を行う信号処理部と

を備え、

前記信号処理部は、前記送信信号の送信タイミングに対する前記参照信号の発信タイミングのずらし度合を、対応する前記複数種の送信信号ごとに変えている、

地中レーダー装置。

【請求項2】

前記信号処理部は、前記複数種の送信信号に応じた複数の相関処理部を有し、並列処理する、請求項1に記載の地中レーダー装置。

【請求項3】

前記信号処理部は、1回の探査信号送信での送信期間を分割した繰り返し間隔の1回分において1回の相関処理を行い、

前記送信部は、1回の前記繰り返し間隔中に、前記複数種の送信信号を構成する各送信信号を複数回送信する、請求項1及び2のいずれか一項に記載の地中レーダー装置。

【請求項4】

前記信号処理部は、前記複数種の送信信号に応じて前記参照信号の発信タイミングのずらし度合を変えることにより、前記繰り返し間隔の1回分において1回の相関処理として行われるサンプリングの間隔を変えている、請求項3に記載の地中レーダー装置。

【請求項5】

前記複数種の送信信号において、一の送信信号と他の送信信号とで、波長帯域が異なっている、請求項1～4のいずれか一項に記載の地中レーダー装置。

【請求項6】

前記送信部は、1回の探査信号送信で前記複数種の送信信号ごとに、異なる回数の送信を行う、請求項1～5のいずれか一項に記載の地中レーダー装置。

【請求項7】

前記送信部からの送信信号としてチャープ信号を用いる、請求項1～6のいずれか一項に記載の地中レーダー装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電波を利用して信号を送受信する地中レーダー装置に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、地中レーダー装置として、複数種の信号（チャープ信号）を送受信するものが知られている（特許文献1参照）。

【0003】

特許文献1に開示の技術では、複数種の信号を送信し、これに対応して複数種の相関信号を生成するものとなっているが、同時並行的に検波処理できるとは限らない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2016-90297号公報

【発明の概要】

【0005】

本発明は上記した点に鑑みてなされたものであり、複数種の信号（チャープ信号）の送受信において、同時並行的に検波処理を行うことができる地中レーダー装置を提供することを目的とする。

【0006】

上記目的を達成するための地中レーダー装置は、1回の探査信号送信で複数種の送信信号を送信する送信部と、複数種の送信信号に対応した受信信号を受信する受信部と、を備え、送信部は、複数種の送信信号を任意の間隔でずらして送信する。

【0007】

上記地中レーダー装置では、送信部が、1回の探査信号送信で複数種の送信信号を送信し、かつ、複数種の送信信号を任意の間隔でずらして送信することで、異なる信号特性を有する複数種の信号間での干渉を回避しつつ、同時並行的に検波処理を行うことができる。

【0008】

本発明の具体的な側面では、受信信号と参照信号との相関サンプリングに基づき信号処理を行う信号処理部を備える。この場合、相関サンプリングに基づき、複数種の送信信号ごとに検波処理ができる。

【0009】

本発明の別の側面では、信号処理部は、複数の送信信号に応じた複数の相関処理部を有し、並列処理する。この場合、複数種の送信信号について、同時並行的に検波処理ができる。

【0010】

本発明のさらに別の側面では、信号処理部は、1回の探査信号送信での送信期間を分割

10

20

30

40

50

した繰り返し間隔の1回分において1回の相関処理を行い、送信部は、1回の繰り返し間隔中に、複数種の送信信号を構成する各送信信号を1回又は複数回送信する。この場合、1回の繰り返し間隔中において複数種の送信信号について発信できる。

【0011】

本発明のさらに別の側面では、信号処理部は、複数種の送信信号に応じて、サンプリング間隔を変えている。この場合、各送信信号の特性に応じた送信ができる。

【0012】

本発明のさらに別の側面では、送信部は、1回の探査信号送信で複数種の送信信号のうち一の送信信号について繰り返し発信する合間のタイミングで、他の送信信号を発信する。この場合、信号間での干渉を回避しつつ、複数種の信号送信が可能となる。

10

【0013】

本発明のさらに別の側面では、複数種の送信信号において、一の送信信号と他の送信信号とで、波長帯域が異なっている。この場合、目標とする地中の測定距離や、測定精度に応じた検波が可能になる。

【0014】

本発明のさらに別の側面では、送信部は、1回の探査信号送信で複数種の送信信号ごとに、異なる回数の送信を行う。この場合、各送信信号の適性等に応じた回数の送信ができる。

【0015】

本発明のさらに別の側面では、送信部からの送信信号としてチャープ信号を用いる。この場合、分解能を確保しつつ探索深度を深くできる。

20

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】第1実施形態に係る地中レーダー装置の一構成例について説明するためのブロック図である。

【図2】(A)～(C)は、地中レーダー装置の動作の一例を説明するタイムチャートである。

【図3】相関サンプリングの処理について一例を説明するための概念図である。

【図4】(A)～(C)は、地中レーダー装置の動作の一変形例を説明するタイムチャートである。

30

【図5】相関処理部における相関サンプリングの処理について一例を説明するためのフローチャートである。

【図6】第2実施形態に係る地中レーダー装置の一構成例について説明するためのブロック図である。

【図7】(A)～(D)は、地中レーダー装置の動作の一例を説明するタイムチャートである。

【図8】(A)～(C)は、複数の相関処理部ごとのサンプリングの一例について示す概念図である。

【図9】(A)～(D)は、地中レーダー装置の動作の一変形例を説明するタイムチャートである。

40

【図10】(A)～(C)は、第3実施形態に係る地中レーダー装置の動作の一例を説明するタイムチャートである。

【図11】図10に例示した地中レーダー装置において送信部から発信する送信信号の周波数と出力の関係について一例を示すグラフである。

【図12】(A)～(D)は、地中レーダー装置の動作の一変形例を説明するタイムチャートである。

【図13】図12に例示した地中レーダー装置において送信部から発信する送信信号の周波数と出力の関係について一例を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0017】

50

〔第1実施形態〕

以下、図1等を参照して、第1実施形態に係る地中レーダー装置について一例を説明する。図1は、本実施形態に係る地中レーダー装置100の構成について説明するためのブロック図である。

【0018】

図1に示すように、地中レーダー装置100は、互いに周波数の異なる送信信号S1や送信信号S2を、例えば地表から地中に向けて送信し、自ら送信した送信信号S1、S2が地中に埋設された埋設物である探査対象物OB1や探査対象物OB2で反射され、当該反射による反射成分を受信信号R1、R2として受け、受け取った時間（時間の長さが深さに対応する）や強度の大きさ等によって、探査対象物OB1、OB2の位置（深さ）を測定する。なお、図示の例では、探査対象物OB1が探査対象物OB2よりも遠い位置（深い位置）にあり、送信信号S1が送信信号S2よりも遠くまで到達することで、探査対象物OB1を反射した反射成分として受信信号R1が検知されている。一方、送信信号S2が探査対象物OB1よりも近い位置（浅い位置）にある探査対象物OB2で反射され、反射した反射成分として受信信号R2が検知されている。また、ここで、地中レーダー装置100での信号受信についての相関処理により、例えば図3のようないわゆるAスコープ波形を取得することになる。つまり、受信信号R1、R2のパターンすなわち応答波のパターンに基づいて探査結果が示される。

10

【0019】

以下、上記のような探査を行うための地中レーダー装置100を構成する各要素について、より具体的に説明することで、地中レーダー装置100の機能や特性について説明する。

20

【0020】

図1に示すように、本実施形態に係る地中レーダー装置100は、信号処理部10と、送信部20と、受信部30と、表示部40とを備える。

【0021】

信号処理部10は、地中レーダー装置100の各種信号処理を行う主制御装置であり、送信制御部11と、送信用のチャープ信号発生部11gと、相関処理用の複数のチャープ信号発生部11a、11bと、複数の増幅器12a、12bと、複数の相関処理部15a、15bと、複数の変換処理部16a、16bと、複数のフィルター処理部17a、17bとを備える。

30

【0022】

本実施形態では、送信側であるチャープ信号発生部11gは、複数種の送信信号として、異なる波長帯域で構成される第1の送信信号S1と第2の送信信号S2とが送信可能になっている。すなわち、複数種の送信信号において、一の送信信号と他の送信信号とで、波長帯域が異なっている。さらに、上記送信側の特性に応じて、受信側は、複数（2つ）の相関処理部15a、15bを有しており、複数の送信信号S1、S2に応じた相関処理が可能になっている。なお、これらについてのより具体的な一例は、後述する。

【0023】

送信部20は、信号処理部10からの指令に基づいて地中に向けて、探査用の送信信号S1、S2を送信する（あるいは発信する）ための装置であり、増幅器21と、送信アンテナ22とを備える。

40

【0024】

受信部30は、送信部20から地中に向けて発信された送信信号S1、S2の反射成分である応答波を含む受信信号R1、R2を受信するための装置であり、受信アンテナ31と、増幅器32とを備える。

【0025】

なお、送信部20のうち、増幅器21は、送信用のチャープ信号発生部11gで発生させたチャープ信号を増幅するためのアンプであり、送信アンテナ22は、増幅器21で増幅されたチャープ信号を、送信信号S1、S2として装置外部に向けて送信する。

50

【 0 0 2 6 】

また、受信部 30 のうち、受信アンテナ 31 は、外部からの各種信号を受信する。これにより、送信部 20 から外部へ向けて発信された送信信号 S1, S2 の反射成分としてのチャープ信号も、受信信号 R1, R2 の一部として取得されることで、地中レーダー装置 100 における埋設物の検出のための信号処理が可能となる。なお、増幅器 32 は、受信アンテナ 31 から取得された受信信号 R1, R2 を増幅するためのアンプである。増幅器 32 を経た受信信号 R1, R2 は、相関処理部 15a, 15b に送られる。なお、受信部 30 において受信した受信信号 R1, R2 については、後述する相関処理のタイミング制御に関する特性等から、各相関処理部 15a, 15b への出力に際して、特に、分岐させなくてもよい構成とすることが可能である。

10

【 0 0 2 7 】

表示部 40 は、信号処理部 10 での各種処理を経た受信信号に基づいて、探査結果の表示を行う。

【 0 0 2 8 】

以下、信号処理部 10 のうち、各種信号発生の各処理を担う部分についてより具体的に説明する。

【 0 0 2 9 】

送信用のチャープ信号発生部 11g は、地中に向けて送信する送信信号 S1, S2 として用いるチャープ信号を発生させ、発生させたチャープ信号を送信部 20 へ送る。各チャープ信号は、ある程度の帯域幅を有して形成されている。ここでは、既述のように、チャープ信号発生部 11g は、複数種のチャープ信号として、第 1 の送信信号 S1 と第 2 の送信信号 S2 とを発生させ、これらの信号は、互いに異なる周波数帯域の高周波成分で形成されているものとする。より具体的な一例として、ここでは、第 1 の送信信号 S1 は、50 MHz ~ 300 MHz の高周波成分となっており、第 2 の送信信号 S2 は、50 MHz ~ 800 MHz の高周波成分となっているものとする。つまり、相対的には、第 2 の送信信号 S2 のほうが、第 1 の送信信号 S1 よりも高い周波数帯域を含んで構成されたものとなっており、かつ、双方には共通する帯域が含まれている。なお、各信号 S1, S2 が、上記のように、ある程度の帯域幅を有して形成することにより、地中レーダー装置 100 は、ある程度の分解能を確保しつつ探索深度を深くできる。波長帯域が異なる複数種の送信信号 S1, S2 のうち、全体として、相対的に低い波長帯域で構成される第 1 の送信信号 S1 は、より深い範囲についての地中探査が可能になる。一方、相対的に高い波長帯域で構成される第 2 の送信信号 S2 は、探査範囲が浅くなるが、より分解能の高い探査が可能になる。

20

30

【 0 0 3 0 】

さらに、本実施形態では、上記のような複数種の送信信号である第 1 の送信信号 S1 と、第 2 の送信信号 S2 とについて、間隔をずらして送信している。これにより、送信信号 S1, S2 において共通する帯域が含まれていても、信号の送受信における信号間での干渉を回避できる。

【 0 0 3 1 】

相関処理用のチャープ信号発生部 11a, 11b は、地中の埋設物からの反射波を受信した受信信号を相関処理するための参照信号 SRa, SRb として用いるチャープ信号をそれぞれ発生させ、対応する相関処理部 15a, 15b にそれぞれ送る。

40

【 0 0 3 2 】

信号処理部 10 のうち、送信制御部 11 は、送信用のチャープ信号発生部 11g と、相関処理用の 2 つのチャープ信号発生部 11a, 11b にタイミング制御信号を送出するタイミング制御部である。送信制御部 11 からのタイミング制御信号は、チャープ信号発生部 11g から発生される送信用のチャープ信号（送信信号 S1, S2）に対して、チャープ信号発生部 11a, 11b から発生される相関処理用のチャープ信号（参照信号 SRa, SRb）をナノ秒（ns）レベルで少しずつずらしながら発生させる。なお、以上により、相関処理部 15a, 15b において、受信部 30 からの受信信号 R1, R2 に

50

対して参照信号 $S R a$, $S R b$ で個別に相関処理をすることができるようになっている。

【 0 0 3 3 】

上記のほか、図示の例では、チャープ信号発生部 1 1 b と相関処理部 1 5 a , 1 5 b との間に、参照信号 $S R a$, $S R b$ を増幅するためのアンプとして、増幅器 1 2 a , 1 2 b が設けられている。

【 0 0 3 4 】

次に、信号処理部 1 0 のうち、信号の受信後の各処理を担う部分についてより具体的に説明する。

【 0 0 3 5 】

信号処理部 1 0 のうち、相関処理部 1 5 a , 1 5 b は、例えば、相関器 $C R a$, $C R b$ と、演算処理部 $P R a$, $P R b$ とを備え、受信信号 $R 1$, $R 2$ と参照信号 $S R a$, $S R b$ との間での相関処理をする。すなわち、相関処理部 1 5 a , 1 5 b は、受信信号 $R 1$, $R 2$ と参照信号 $S R a$, $S R b$ との相関サンプリングに基づき信号処理を行う装置であり、具体的には、相関器 $C R a$, $C R b$ において、受信部 3 0 からの受信信号 $R 1$, $R 2$ を入力するとともに、チャープ信号発生部 1 1 b からの参照信号 $S R a$, $S R b$ を入力し、入力された情報に関して演算処理部 $P R a$, $P R b$ において畳み込みの処理を含む各種処理が適宜なされることで相関処理され、相関信号を生成する。ここでは、相関処理部 1 5 a , 1 5 b において、各相関処理に応じた波形（例えば図 3 最下段参照）を形成するための相関信号が生成されるものとする。

【 0 0 3 6 】

上記のほか、図 1 の例では、相関処理部 1 5 a , 1 5 b の出力側に、変換処理部 1 6 a , 1 6 b が設けられている。変換処理部 1 6 a , 1 6 b は、例えば相関信号を増幅するためのアンプ（増幅器）や、相関処理部 1 5 a , 1 5 b から出力されるアナログの相関信号を入力して A / D 変換する A / D 変換器等で構成されている。

【 0 0 3 7 】

また、変換処理部 1 6 a , 1 6 b の出力側に設けたフィルター処理部 1 7 a , 1 7 b は、受信部 3 0 で受信した受信信号 $R 1$, $R 2$ を補償するためのフィルター処理を行う。

【 0 0 3 8 】

ここで、一般に、本願と同様に、地中に向けて異なる特性を有する複数種の信号を送受信することで、目的に応じた探査をする場合、当該複数種の信号間での干渉を回避することが必要となる。そのための方法として、例えば 1 回の探査において、まず、第 1 の信号に基づく探査を行った後、第 1 の信号と異なる特性を有する第 2 の信号に基づく探査を行う、すなわち、異なる 2 つの信号に基づく探査を交互に行うようにする、といった手法をとること考えられる。しかしながら、このような場合、2 種類の信号のそれぞれについて個別探査時間を要するため、1 種類の信号に基づく探査に比べて 2 倍の時間を要することになってしまう。これに対して、本実施形態の地中レーダー装置 1 0 0 では、送信部 2 0 が、1 回の探査信号送信の中で、複数種の送信信号 $S 1$, $S 2$ を送信するに際して、送信信号 $S 1$, $S 2$ を任意の間隔でずらして送信し、それを受信側で送信信号ごとに対応する参照信号によってそれぞれ相関処理を並列的に行うことで、異なる信号特性を有する複数種の信号間での干渉を回避しつつ、同時並行的に検波処理を行って、上記のような問題の改善や解消を図っている。

【 0 0 3 9 】

以下、図 2 等を参照して、上記態様となる一構成例について、説明する。図 2 (A) ~ 図 2 (C) は、地中レーダー装置 1 0 0 の動作の一例を説明するタイムチャートである。より具体的に説明すると、これらのうち、まず、図 2 (A) は、送信部 2 0 から送信される送信信号 $S 1$, $S 2$ の様子を示している。また、図 2 (B) は、第 1 のチャープ信号発生部 1 1 a から発信される第 1 の参照信号 $S R a$ の様子を示しており、図 2 (C) は、第 2 のチャープ信号発生部 1 1 b から発信される第 2 の参照信号 $S R b$ の様子を示している。

【 0 0 4 0 】

まず、図 2 (A) を参照して、送信タイミングについて説明する。図 2 (A) に示すよ

10

20

30

40

50

うに、ここでの一例では、1回の探査信号送信の期間 T_M が、複数個（ N 個： N は、2以上）の繰り返し間隔 T_S で構成されている。各繰り返し間隔 T_S において、同一の動作として、1回の送信信号 S_1 の送信と、1回の送信信号 S_2 の送信とがなされており、これを複数回すなわち N 回繰り返すことで、1回の探査あるいは一地点の探査に相当する1つの期間 T_M となっている。言い換えると、1回の期間 T_M において、 N 回の送信信号 S_1 が送信され、その合間に N 回の送信信号 S_2 が送信されることで、2種類の送信信号 S_1 、 S_2 が同時並行的に送信される。なお、以上について、期間 T_M で示す1回の探査信号送信での送信期間を分割した繰り返し間隔 T_S の1回分において1回のサンプリングが行われる。

【0041】

ここで、各繰り返し間隔 T_S は、第1の送信信号 S_1 の送信を行う第1送信期間 T_{gA} と、第2の送信信号 S_2 の送信を行う第2送信期間 T_{gB} とに分割されており、送信信号 S_1 の送信タイミングと送信信号 S_2 の送信タイミングとが重なることの無いように制御されている。以上のように、送信部20は、期間 T_M に示す1回の探査信号送信で複数種の送信信号 S_1 、 S_2 のうち一の送信信号である送信信号 S_1 について繰り返し発信する合間のタイミングで、他の送信信号である送信信号 S_2 を発信している。これにより、信号 S_1 、 S_2 間での干渉を回避しつつ、複数種の信号送信が可能となる。

【0042】

次に、図2(B)を参照して、第1の参照信号 S_{Ra} の発信タイミングについて説明する。図2(B)に示すように、第1の参照信号 S_{Ra} は、第1の送信信号 S_1 の送信タイミングに呼応したタイミングで発信される。より具体的には、図示のように、1回の期間 T_M において N 回繰り返される送信信号 S_1 の送信のうち、1回目の送信では、送信信号 S_1 と同時に参照信号 S_{Ra} が発信されるが、2回目の送信では、送信信号 S_1 の送信から t 秒だけ遅れたタイミングで参照信号 S_{Ra} が発信される。3回目の送信では、2回目と比べてさらに t 秒だけ遅れたタイミング、すなわち送信信号 S_1 の送信から $2 \times t$ 秒だけ遅れたタイミングで参照信号 S_{Ra} が発信される。以後、同様にずらしたタイミングで参照信号 S_{Ra} が発信され、1回の期間 T_M において最後の送信すなわち N 回目の送信では、最大のずらし量として送信信号 S_1 の送信から $(N-1) \times t$ 秒だけ遅れたタイミングで参照信号 S_{Ra} が発信される。ただし、全ての参照信号 S_{Ra} の発信タイミングについて、第1送信期間 T_{gA} の範囲内でタイミングずれが収まるようにしている。なお、以後、 t をずらし時間とする。 t を変更することは、結果として、各信号のサンプリングを行う間隔（サンプリング間隔）を変えていることに相当する。サンプリング間隔を変えることで、各送信信号 S_1 、 S_2 の特性に応じた相関処理ができる。

【0043】

同様に、図2(C)に示すように、第2の参照信号 S_{Rb} の発信タイミングについては、1回目では、送信信号 S_2 と同時に参照信号 S_{Rb} が発信されるが、2回目以降では、 t 秒ずつ遅れたタイミングで発信される。ただし、全ての参照信号 S_{Rb} の発信タイミングについて、第2送信期間 T_{gB} の範囲内でタイミングずれが収まるようにしている。

【0044】

なお、 t 秒の間隔については、求める精度や適用する信号の周波数といった仕様態様等に応じて任意の値で調整可能であるものとしてよいが、例えば数ナノ秒程度とすることが考えられる。

【0045】

以上のようなタイミング制御とすることで、第1の送信信号 S_1 については、第1の参照信号 S_{Ra} に基づく相関処理が可能となり、第2の送信信号 S_2 については、第2の参照信号 S_{Rb} に基づく相関処理が可能となる。また、この際、送信あるいは発信のタイミングをずらしていることで、両者の間での干渉等を回避できる。

【0046】

図3は、上記態様における相関サンプリングの処理について一例を説明するための概念図であり、図示の例では、第1の送信信号 S_1 及びこれに対応する第1の参照信号 S_{Ra}

10

20

30

40

50

に基づく相関処理からいわゆる A スコープ波形を取得する様子を示している。

【 0 0 4 7 】

具体的には、図示のように、送信部 2 0 から送信された送信信号 S 1 についての反射成分としての受信信号 R 1 を受信部 3 0 において受けると、相関処理部 1 5 a において、当該受信信号 R 1 に対して所定のタイミングずれて発信される参照信号 S R a との間で重畳処理等を含む相関処理がなされ、さらに、信号処理部 1 0 の各部で必要な各種処理が施されて最終的に相関信号 S が形成される。

【 0 0 4 8 】

なお、第 2 の送信信号 S 2 及びこれに対応する第 2 の参照信号 S R b に基づく相関処理においても、図 3 に例示した第 1 の送信信号 S 1 及び第 1 の参照信号 S R a に基づく相関処理の場合と同様にして、A スコープ波形を取得することができる。したがって、第 1 の送信信号 S 1 に基づく探査と、第 2 の送信信号 S 2 に基づく探査とを、同時並行的に行うことができる。言い換えると、信号処理部 1 0 は、複数の送信信号 S 1 , S 2 に応じた複数の信号処理部 1 5 a , 1 5 b を有し、並列処理するものとなっている。

10

【 0 0 4 9 】

また、図 2 (A) ~ 図 2 (C) に対応する図 4 (A) ~ 図 4 (C) において、地中レーダー装置 1 0 0 の動作の一変形例を示すように、参照信号の発信タイミングのずらし度合については、対応する送信信号に応じて異なってもよい。図 4 の例では、参照信号 S R a について t_A 秒ずつ遅れたタイミングで発信させているのに対して、参照信号 S R b について t_B 秒ずつ遅れたタイミングで発信させており、 $t_A > t_B$ としている。すなわち、より高い周波数を含む第 2 の送信信号 S 2 についての参照信号 S R b のずらし時間 t_B (送信信号 S 2 に対するサンプリング間隔) を、第 1 の送信信号 S 1 についての参照信号 S R a のずらし時間 t_A (送信信号 S 1 に対するサンプリング間隔) よりも短くしている。なお、この場合、第 2 送信期間 T_{gB} を、第 1 送信期間 T_{gA} よりも短くすることができることになる。

20

【 0 0 5 0 】

以下、図 5 のフローチャートを参照して、本実施形態における制御動作について一例を説明する。なお、図 5 は、図 3 に例示した第 1 の送信信号 S 1 及びこれに対応する第 1 の参照信号 S R a に基づく相関処理からいわゆる A スコープ波形を取得する工程についての処理動作を示している。

30

【 0 0 5 1 】

地中レーダー装置 1 0 0 を起動させると、まず、信号処理部 1 0 は、初期設定として、参照信号の発信タイミングのずらし度合をゼロ ($n = 0$) とする処理を行い (ステップ S 1 0 1)、タイミング差 T_r を設定して、送信制御部 1 1 からチャープ信号発生部 1 1 g 及びチャープ信号発生部 1 1 a に対して、第 $n + 1$ 回目としての送信信号 S 1 及びこれに対応する参照信号 S R a を送信あるいは発信させるための信号出力をする (ステップ S 1 0 2)。ステップ S 1 0 2 に示す一例では、初期時刻を t_{r0} として、タイミング差 T_r を、 $T_r = t_{r0} + t \times n$ で設定している。なお、図 2 ~ 図 4 の例示では、初期時刻 $t_{r0} = 0$ の場合について示していることになる。

【 0 0 5 2 】

次に、信号処理部 1 0 は、ステップ S 1 0 2 での出力に対する相関処理部 1 5 a での相関処理の結果としての相関信号に相当する出力信号 S を、第 $n + 1$ 回目の信号 S (n) として受け取る (ステップ S 1 0 3)。次に、信号処理部 1 0 は、ステップ S 1 0 3 の動作が、既定の回数 (N 回) まで完了したか、すなわち $n = N - 1$ に達したかを確認し (ステップ S 1 0 4)、達していなければ (ステップ S 1 0 4 : No)、 n の値を 1 追加して (ステップ S 1 0 5)、ステップ S 1 0 2 からの動作を繰り返し、達していれば (ステップ S 1 0 4 : Yes)、ステップ S 1 0 3 で取得した出力信号 S すなわち出力信号 S (0) ~ S (N - 1) を、相関信号として出力し (ステップ S 1 0 6)、処理を終了する。すなわち、出力信号 S (0) ~ S (N - 1) に基づき、1 回の探査信号送信の期間 T_M における第 1 の送信信号 S 1 についての A スコープ波形が取得される。

40

50

【 0 0 5 3 】

なお、上記と同一の期間 T_M における第 2 の送信信号 S_2 についての A スコープ波形についても、同様の処理を同時並行的に行うことで取得できる。

【 0 0 5 4 】

また、上記に例示した期間 T_M や、時間 t 、回数 N 等は、適宜設定可能であり、任意の間隔や回数等に設定できる。

【 0 0 5 5 】

以上のように、本実施形態に係る地中レーダー装置 100 では、期間 T_M に示す 1 回の探査信号送信で複数種の送信信号 S_1 、 S_2 を送信する送信部 20 と、複数種の送信信号 S_1 、 S_2 に対応した受信信号 R_1 、 R_2 を受信する受信部 30 とを備え、送信部 20 が、複数種の送信信号 S_1 、 S_2 を任意の間隔ですらして送信する。すなわち、地中レーダー装置 100 では、送信部 20 が、1 回の探査信号送信で複数種の送信信号 S_1 、 S_2 を送信し、かつ、複数種の送信信号 S_1 、 S_2 を任意の間隔ですらして送信する。これにより、異なる信号特性を有する複数種の信号 S_1 、 S_2 間での干渉を回避しつつ、同時並行的に検波処理を行うことができる。

10

【 0 0 5 6 】

〔 第 2 実施形態 〕

以下、図 6 等を参照して、第 2 実施形態に係る地中レーダー装置について一例を説明する。なお、本実施形態に係る地中レーダー装置 200 は、第 1 実施形態に係る地中レーダー装置 100 (図 1 参照) について変形したものであるから、地中レーダー装置 100 の構成要素と同等のものについては、同一の名称や符号を適用し、詳しい説明を省略する。

20

【 0 0 5 7 】

例えば、第 1 実施形態に係る地中レーダー装置 100 では、2 つの送信信号 S_1 、 S_2 に応じて 2 つの参照信号 SR_a 、 SR_b による相関処理を行う構成としていた。これに対して、図 6 に例示する本実施形態に係る地中レーダー装置 200 は、互いに異なる 3 つの送信信号 S_1 、 S_2 、 S_3 に応じて 3 つの参照信号 SR_a 、 SR_b 、 SR_c による相関処理を行う構成となっている点において、第 1 実施形態の場合と異なっている。なお、本実施形態に係る地中レーダー装置 200 は、信号処理部 210 と、送信部 20 と、受信部 30 と、表示部 40 とを備える。

【 0 0 5 8 】

地中レーダー装置 200 の信号処理部 210 は、送信制御部 211 と、送信用のチャープ信号発生部 211g と、相関処理用の 3 つのチャープ信号発生部 11a、11b、11c と、3 つの増幅器 12a、12b、12c と、3 つの相関処理部 15a、15b、15c と、3 つの変換処理部 16a、16b、16c と、3 つのフィルター処理部 17a、17b、17c とを備える。

30

【 0 0 5 9 】

信号処理部 210 のうち、チャープ信号発生部 211g は、送信用のチャープ信号として 3 つの送信信号 S_1 、 S_2 、 S_3 を発生させ、3 つのチャープ信号発生部 11a、11b、11c は、これらの送信信号 S_1 、 S_2 、 S_3 にそれぞれ対応する相関処理用の 3 つのチャープ信号として、参照信号 SR_a 、 SR_b 、 SR_c を発生させ、3 つの増幅器 12a、12b、12c は、参照信号 SR_a 、 SR_b 、 SR_c をそれぞれ増幅させる。送信制御部 211 は、チャープ信号発生部 211g と、3 つのチャープ信号発生部 11a、11b、11c に対してタイミング制御信号を送出する。

40

【 0 0 6 0 】

また、3 つの相関処理部 15a、15b、15c は、相関器 CR_a 、 CR_b 、 CR_c と、演算処理部 PR_a 、 PR_b 、 PR_c とを備え、それぞれ相関信号を生成する。

【 0 0 6 1 】

第 1 実施形態と同様、本実施形態においても、参照信号 SR_a 、 SR_b 、 SR_c をナノ秒 (ns) レベルで少しずつずらしながら発生させることにより、相関処理部 15a、15b において、受信部 30 からの受信信号に対して参照信号 SR_a 、 SR_b 、 SR

50

cで個別に相関処理をすることができるようになっている。

【0062】

以下、図7のタイムチャートを参照して、地中レーダー装置200の動作の一例を説明する。なお、図7は、図2若しくは図4に対応するタイムチャートである。

【0063】

すなわち、まず、図7(A)は、送信部20から送信される送信信号S1, S2, S3の様子を示している。また、図7(B)は、第1のチャープ信号発生部11aから発信される第1の参照信号SRaの様子を示しており、図7(C)は、第2のチャープ信号発生部11bから発信される第2の参照信号SRbの様子を示しており、図7(D)は、第3のチャープ信号発生部11cから発信される第3の参照信号SRcの様子を示している。

10

【0064】

まず、図7(A)に示すように、1回の探査信号送信の期間 T_M が、N個の繰り返し間隔 T_S で構成され、各繰り返し間隔 T_S において、同一の動作として、1回の送信信号S1の送信と、1回の送信信号S2の送信と、1回の送信信号S3の送信とがなされており、これを複数回すなわちN回繰り返すことで、1つの期間 T_M となっている。つまり、3種類の送信信号S1, S2, S3が同時並行的に送信される。また、送信信号S1~S3の送信タイミングが重なることの無いように、繰り返し間隔 T_S は、第1送信期間 T_{gA} と第2送信期間 T_{gB} と第3送信期間 T_{gC} とに分割されている。

【0065】

次に、チャープ信号発生部11a~11cにおける参照信号SRa~SRcに関して、図7に示すように、参照信号SRaについて t_A 秒ずつ遅れたタイミングで発信させ、参照信号SRbについて t_B 秒ずつ遅れたタイミングで発信させ、参照信号SRcについて t_C 秒ずつ遅れたタイミングで発信させており、 $t_A > t_B > t_C$ としている。すなわち、3つのうち、最も高い周波数を含む第3の送信信号S3についての参照信号SRcのずらし時間を最も短くし、第1の送信信号S1についての参照信号SRaのずらし時間を最も長くし、第2の送信信号S2についての参照信号SRbのずらし時間を、これらの中間としている。なお、この場合、送信期間 T_{gA} , T_{gB} , T_{gC} についても、 $T_{gA} > T_{gB} > T_{gC}$ となる。例えばこれらの比率について、 $T_{gA} : T_{gB} : T_{gC} = 4 : 2 : 1$ 程度とすることが考えられる。

20

【0066】

なお、以上の場合、最大のずれ量であるサンプリングレンジ TrA , TrB , TrC も上記に応じて異なる。なお、サンプリングレンジ TrA は、 $TrA = (N - 1) \times t_A$ で表される。同様に、 $TrB = (N - 1) \times t_B$ であり、 $TrC = (N - 1) \times t_C$ である。例えば図8(A)に示す相関処理部15aのサンプリングの一例($N = 15$ としている。以下、同様。)、図8(B)に示す相関処理部15bのサンプリングの一例、図8(C)に示す相関処理部15cのサンプリングの一例に示されるように、サンプリングレンジ TrA , TrB , TrC は、 $TrA > TrB > TrC$ となる。また、この場合、周波数が高く(波長が短く)サンプリングレンジが短いものほど、細かくデータが取れる、すなわち解像度(分解能)が高くなる。一方、周波数が低くサンプリングレンジが長いものほど、遠く(深く)まで検知することができる。

30

40

【0067】

本実施形態に係る地中レーダー装置200においても、期間 T_M に示す1回の探査信号送信で複数種の送信信号として3種の送信信号S1, S2, S3を送信する送信部20と、3種の送信信号S1, S2, S3に対応した受信信号を受信する受信部30とを備え、送信部20が、3種の送信信号S1, S2, S3を任意の間隔でずらして送信する。すなわち、地中レーダー装置100では、送信部20が、1回の探査信号送信で3種の送信信号S1, S2, S3を送信し、かつ、3種の送信信号S1, S2, S3を任意の間隔でずらして送信する。これにより、異なる信号特性を有する3種の信号S1, S2, S3間での干渉を回避しつつ、同時並行的に検波処理を行うことができる。

【0068】

50

また、上記では、参照信号 $S R a \sim S R c$ に関するずらし時間 t_A, t_B, t_C に差を設けていたが、図 9 (A) ~ 図 9 (D) のタイムチャートに示すように、地中レーダー装置 200 の動作についての一変形例として、参照信号 $S R a \sim S R c$ に関するずらし時間 t を統一させる (共通にする) 構成としてもよい。なお、図示の場合、送信期間 T_g についても併せて統一されている。

【0069】

〔第3実施形態〕

以下、図 10 等を参照して、第3実施形態に係る地中レーダー装置について一例を説明する。なお、本実施形態に係る地中レーダー装置は、第1及び第2実施形態に係る地中レーダー装置 100, 200 について変形したものであるから、地中レーダー装置 100, 200 の構成要素と同等のものについては、同一の名称や符号を適用し、詳しい説明を省略する。特に、本実施形態に係る地中レーダー装置の構成については、地中レーダー装置 100 又は地中レーダー装置 200 と同様であり、その制御態様が異なるのみであるので、各部の構成に関しては、適宜これらに例示した図を参照するものとし、図示及び説明を省略する。

10

【0070】

例えば、第1実施形態に係る地中レーダー装置 100 では、2つの送信信号 S_1, S_2 について、1回の繰り返し間隔 T_S において1回ずつ送信している、すなわち1回の探査信号送信の期間 T_M において N 回ずつ送信していた (図2等参照)。これに対して、本実施形態に係る地中レーダー装置は、1回の前記繰り返し間隔 T_S 中に、各送信信号 S_1, S_2 を異なる回数送信している点において、第1実施形態等の場合と異なっている。図 10 (A) ~ 図 10 (C) は、第3実施形態に係る地中レーダー装置の動作の一例を説明するタイムチャートであり、図 2 (A) ~ 図 2 (C) に対応する図である。図示の場合、送信部 20 (図1参照) は、1回の繰り返し間隔 T_S 中において、送信信号 S_1 を1回送信しているのに対して、送信信号 S_2 を3回送信している。この場合、期間 T_M で示す1回の探査信号送信での送信期間を分割した繰り返し間隔 T_S の1回分においてなされる1回の相関処理において、送信信号 S_2 については3回送信分の処理がなされることで、3倍の電力に相当するものについての受信がなされることになる。なお、図示の例では、参照信号 $S R a, S R b$ に関するずらし時間 t を統一させているが、無論、これらを送信信号ごとに変更してもよい。

20

30

【0071】

以下、図 11 のグラフを参照して、図 10 に例示した地中レーダー装置において送信部 20 から発信する送信信号 S_1, S_2 の周波数と出力の関係について一例を示す。図 11 のグラフにおいて、横軸は、送信させる信号の周波数帯域 (単位: $M H z$) を示しており、縦軸は、出力強度を示しており、ここでは、電力 (単位: W) をもって出力強度を示している。また、破線 X_1 で示す直線は、送信部 20 における送信最適出力を示している。一方、破線 $D T_1$ は、法律上における単位時間あたりの出力限界値を示している。なお、図示のように、法律上は、 $322 M H z$ を境界として、低い周波数帯のほうが単位時間あたりに、より大きく出力してもよいものとなっている。なお、図示の例では、送信部 20 における送信最適出力についての破線 X_1 が示すように、 $322 M H z$ よりも高い周波数帯

40

【0072】

図 11 において、曲線 $Q A$ は、送信信号 S_1 の波長帯域及びその出力分布を示している。同様に、曲線 $Q B$ は、送信信号 S_2 の波長帯域及びその出力分布を示している。すなわち、図示の例では、送信信号 S_1 がより高い周波数帯域を含むものとなっている。

【0073】

本実施形態の構成の場合、送信信号 S_1 及び送信信号 S_2 を、共通の送信部 20 から出力する構成となっているため、曲線 $Q A, Q B$ に示すように、送信部 20 の能力に最も適した出力で各信号 S_1, S_2 を送信する。しかしながら、一般には、送信信号 S_1 及び送信信号 S_2 を、必ずしも同じ出力値とする必要はなく、例えば上記した法律上における単

50

位時間あたりの出力限界を考慮した場合であっても、送信信号 S 2 については、例えば破線の曲線 Q I B に示すように、さらに大きく（例えば 3 倍程度に大きく）してもよい。そこで、本実施形態では、単位時間あたりにおける送信信号 S 1 の送信回数と送信信号 S 2 の送信回数とを異なるものとするこゝで、実質的に送信信号の出力強度を変更している。図示の例では、より低い周波数帯域で構成される送信信号 S 2 の送信回数を送信信号 S 1 の送信回数よりも多く（3 倍）している。これにより、送信信号 S 2 に関する出力を、曲線 Q B の状態から実質的に曲線 Q I B に示すような状態に相当するものにできる。

【0074】

なお、上記の例では、法律上の観点から、より低い周波数帯域で構成される信号の送信回数を多くしているものについて説明したが、これとは逆に、より高い周波数帯域を含む信号の送信回数を多くしてもよい。

10

【0075】

本実施形態の一変形例として、例えば図 12 (A) ~ 図 12 (D) のタイムチャートに示すように、3 種の送信信号 S 1, S 2, S 3 の送信を行うに際して、これらの間での単位時間あたりの送信回数を異なるようにしてもよい。さらに、これらの間において、参照信号 S R a, S R b, S R c に関するずらし時間 t_A , t_B , t_C を互いに異なるものとしてもよい。

【0076】

図示の例では、1 回の繰り返し間隔 T_S 中において、送信信号 S 1 を 1 回送信しているのに対して、送信信号 S 2 を 3 回送信しており、送信信号 S 3 を 2 回送信している。また、図 11 のグラフに対応する図 13 のグラフにおいて、送信信号 S 1, S 2, S 3 にそれぞれ対応する曲線 Q A, Q B, Q C に示すように、各出力は、破線 X 1 で示す送信最適出力に対応させつつ、送信信号 S 2, S 3 については、実質的に曲線 Q I B, Q I C に示すような状態に相当するものになっている。

20

【0077】

なお、図 12 に示すように、各送信信号 S 1, S 2, S 3 に対応する参照信号 S R a, S R b, S R c のずらし時間 t_A , t_B , t_C については、上記波長帯域の特性に応じて、 $t_A > t_C > t_B$ となっている。

【0078】

また、具体的仕様にもよるが、例えば地中探査においては、通常において、送信から受信まで最長で 100 ナノ秒程度の時間差に相当する距離（深さ 3 m 程度）を探査範囲とすることから、一例として、低周波数側の最大ずれ等を考慮しつつ、1 つの繰り返し間隔 T_S を、10 個程度の送信期間に分割することが考えられる。上記の例では、1 つの繰り返し間隔 T_S を、1 つの送信期間 T_{gA} と、3 つの送信期間 T_{gB} と、2 つの送信期間 T_{gC} との 7 つの送信期間に分割している。

30

【0079】

本実施形態に係る地中レーダー装置においても、期間 T_M に示す 1 回の探査信号送信で複数種の送信信号を送信する送信部と、複数種の送信信号に対応した受信信号を受信する受信部とを備え、送信部が、複数種の送信信号を任意の間隔でずらして送信することにより、異なる信号特性を有する複数種の信号間での干渉を回避しつつ、同時並行的に検波処理を行うことができる。特に、本実施形態では、複数種の送信信号間において、単位時間あたりの送信回数を異なるものとする、すなわち 1 回の探査信号送信で複数種の送信信号ごとに、異なる回数の送信を行う。これにより、各送信信号の適性等に応じた回数の送信ができる。

40

【0080】

〔その他〕

この発明は、上記の実施形態に限られるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々の態様で実施することが可能である。

【0081】

まず、上記では、種々の態様に於いて、送信信号を任意の間隔でずらして送信するとい

50

った表現をしているが、信号送信の態様等を一に定めることで、特定の間隔でずらして送信する場合も、任意の間隔でずらした結果の一つであり、本願の範疇である。

【0082】

また、周波数帯域等についても、一例を示したものであり、上記以外の種々の値をとることができる。

【0083】

また、上記では、送信部20からの送信信号S1等は、高周波成分でかつ、ある程度の帯域幅を有するチャープ信号であるものとしているが、帯域幅については、種々の態様が考えられる。また、信号として、チャープ状のものに限らずパルス状のものを利用する態様において、本願発明を適用してもよい。

10

【0084】

また、上記では、複数種の送信信号を、2種又は3種としたが、4種以上として、これに応じて4つ以上の相関処理を並行して行う構成としてもよい。

【0085】

また、上記では、増幅器について、増幅器12の性能等については、目的等に応じて種々異なってもよく、また、一部が無い態様や、別の箇所に配置されるといった場合においても、本願発明の適用が可能である。さらに、増幅器以外の構成要素についても、上記の例以外の様々な配置が考えられる。

【符号の説明】

【0086】

10...信号処理部、11...送信制御部、11a, 11b, 11c...チャープ信号発生部、11g...チャープ信号発生部、12a, 12b, 12c...増幅器、15a, 15b, 15c...相関処理部、16a, 16b, 16c...変換処理部、17a, 17b, 17c...フィルター処理部、20...送信部、21...増幅器、22...送信アンテナ、30...受信部、31...受信アンテナ、32...増幅器、40...表示部、100, 200...地中レーダー装置、210...信号処理部、211...送信制御部、211g...チャープ信号発生部、CRa, CRb, CRc...相関器、DT1...破線、OB1, OB2...探査対象物、PRa, PRb, PRc...演算処理部、QA, QB, QC, QIB, QIC...曲線、R1, R2...受信信号、S...出力信号(相関信号)、S1, S2, S3...送信信号、SRa, SRb, SRc...参照信号、TM...1回の探査信号送信の期間、TS...繰り返し間隔、Tg, TgA, TgB, TgC...送信期間、Tr...タイミング差、X1...破線、tr0...初期時刻、t, tA, tB, tC...ずらし時間

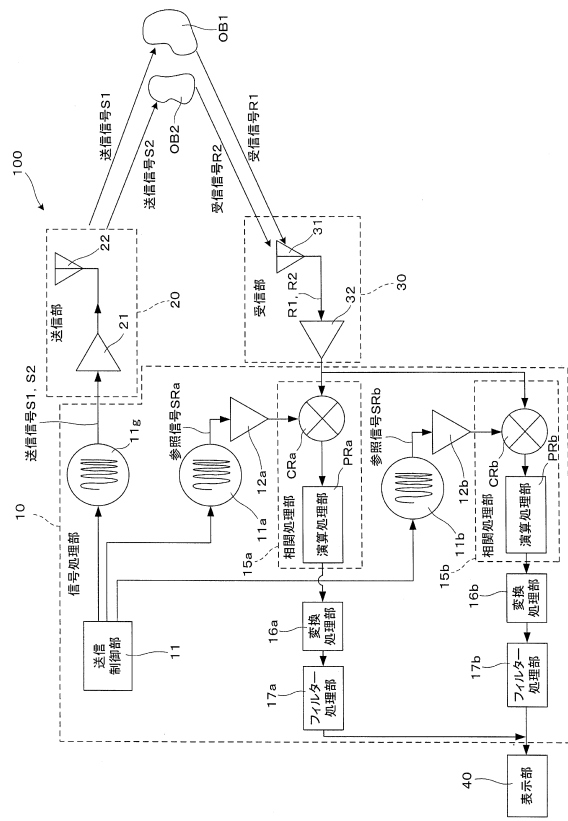
20

30

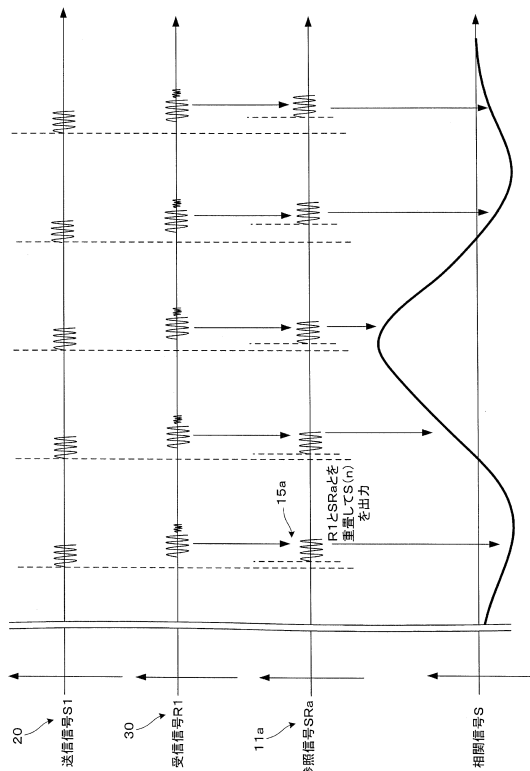
40

50

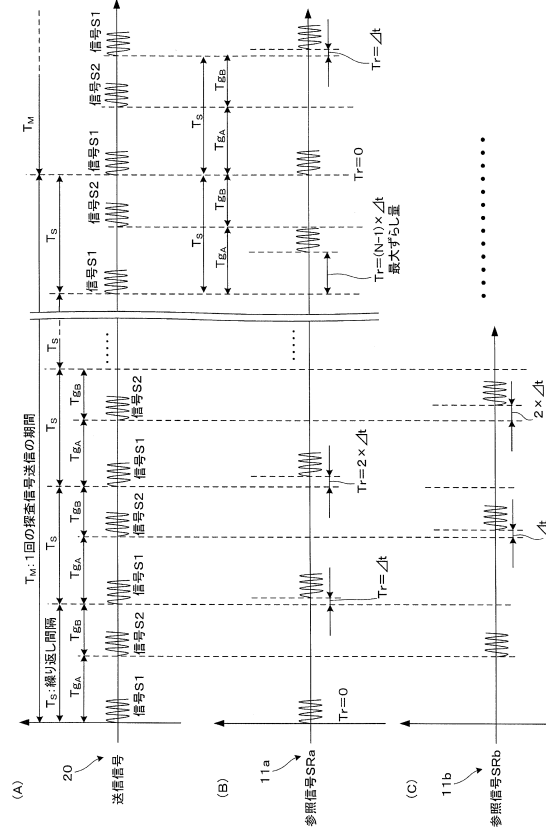
【図面】
【図 1】



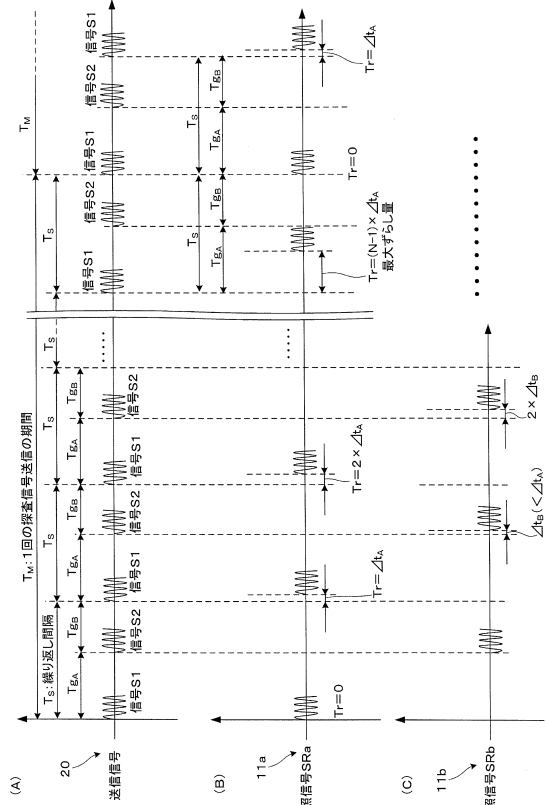
【図 3】



【図 2】



【図 4】



10

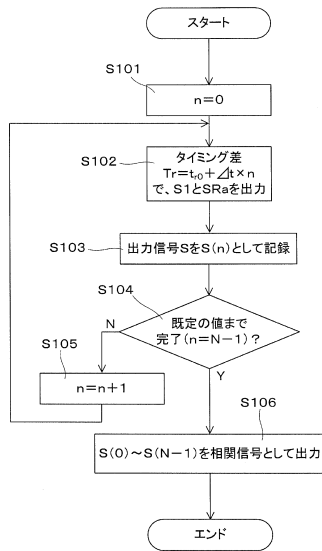
20

30

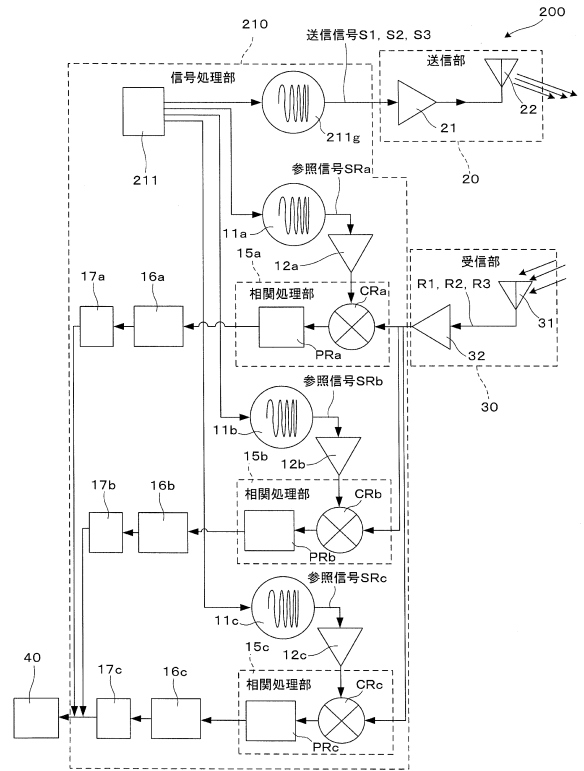
40

50

【図5】



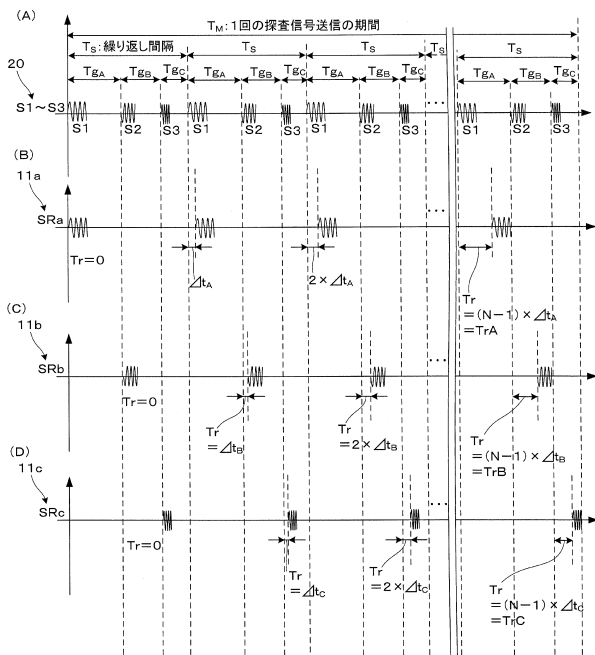
【図6】



10

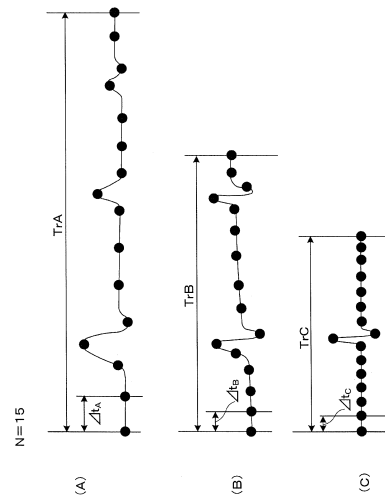
20

【図7】



30

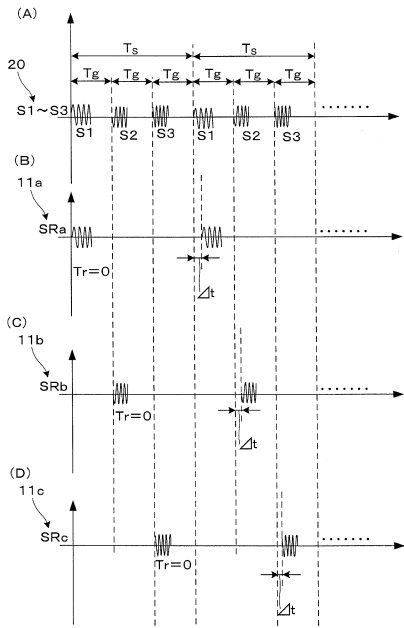
【図8】



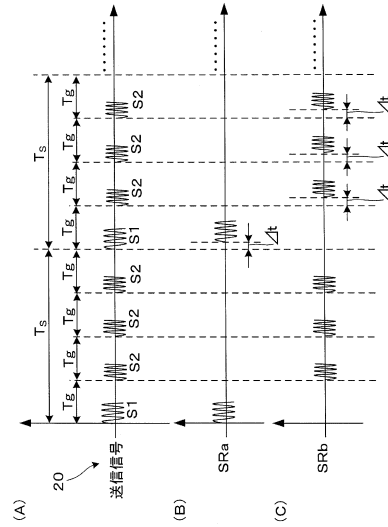
40

50

【図 9】



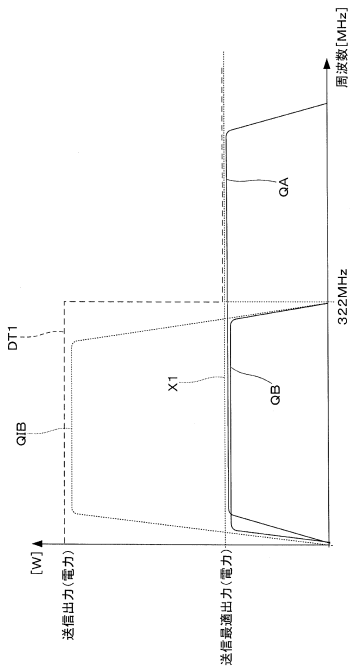
【図 10】



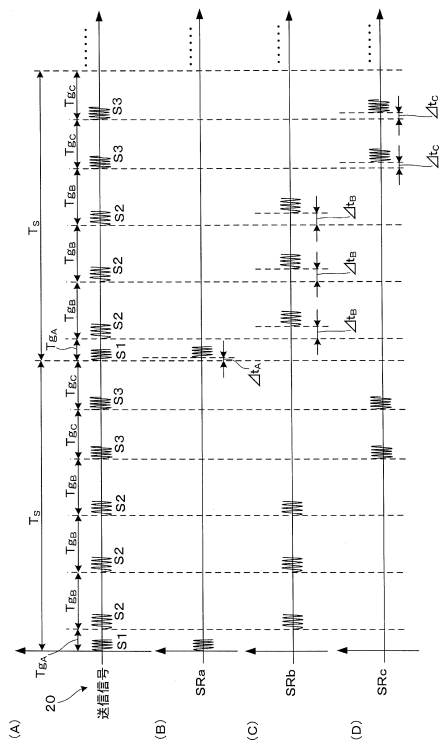
10

20

【図 11】



【図 12】

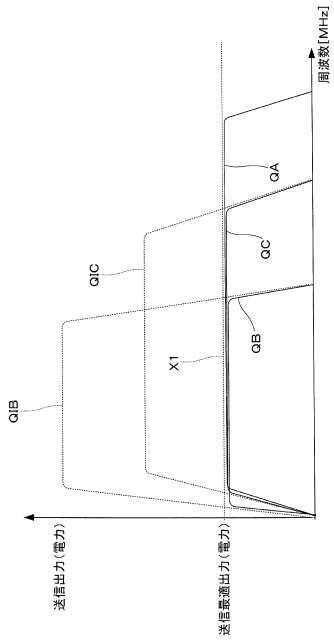


30

40

50

【 1 3】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2016-156620(JP,A)
特開2016-090297(JP,A)
特開2018-128425(JP,A)
特開2002-082162(JP,A)
特開2012-042214(JP,A)
特開2003-302465(JP,A)
特開2018-185280(JP,A)
特開2016-099143(JP,A)
特開2008-249541(JP,A)
特開平04-081685(JP,A)
特表2014-514567(JP,A)
米国特許出願公開第2014/0253366(US,A1)
米国特許出願公開第2009/0243613(US,A1)
米国特許出願公開第2007/0024487(US,A1)
米国特許出願公開第2002/0163346(US,A1)
特開平09-033661(JP,A)
特開2013-124888(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01S 7/00 - 7/42
G01S13/00 - 13/95
G01V 3/12