

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4819036号  
(P4819036)

(45) 発行日 平成23年11月16日(2011.11.16)

(24) 登録日 平成23年9月9日(2011.9.9)

(51) Int. Cl. F I  
**GO 1 V 3/11 (2006.01)**  
 GO 1 V 3/11 B  
 GO 1 V 3/11 A

請求項の数 26 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2007-511369 (P2007-511369)	(73) 特許権者	506368752
(86) (22) 出願日	平成17年3月30日 (2005. 3. 30)		メトロテク コーポレーション
(65) 公表番号	特表2007-536514 (P2007-536514A)		アメリカ合衆国 94089 カリフォルニア州, サニーベイル, タスマン ドライブ 488
(43) 公表日	平成19年12月13日 (2007.12.13)	(74) 代理人	100091096
(86) 国際出願番号	PCT/US2005/010582		弁理士 平木 祐輔
(87) 国際公開番号	W02005/111662	(74) 代理人	100105463
(87) 国際公開日	平成17年11月24日 (2005.11.24)		弁理士 関谷 三男
審査請求日	平成20年3月24日 (2008. 3. 24)	(74) 代理人	100102576
(31) 優先権主張番号	10/842, 239		弁理士 渡辺 敏章
(32) 優先日	平成16年5月6日 (2004. 5. 6)	(74) 代理人	100100169
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 大塩 剛

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 金属パイプおよびケーブルの位置探索装置中における漏出に起因する干渉を分離させる方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入力信号を受け取り、前記入力信号の搬送波周波数にロックするように結合された第1のデジタル位相ロックループであって、前記搬送波周波数に関連した周波数と位相を有する周期的フィードバック関数と前記入力信号を混合し、混合された信号を供給するミキサと、前記混合された信号を受け取り、前記位相エラー信号を供給するように結合されたアークタンジェント関数と、前記位相エラー信号に応じて前記周期的フィードバック関数を供給するように結合された数値制御発振器と、を備える第1のデジタル位相ロックループと、

前記第1のデジタル位相ロックループからのFM信号を受け取り、前記入力信号の変調周波数にロックするように結合された第2のデジタル位相ロックループであって、前記変調周波数に関連した周波数と位相を有する第2の周期的フィードバック関数と前記FM信号を混合し、第2の混合された信号を供給する第2のミキサと、前記第2の混合された信号を受け取り、第2の位相エラー信号を供給するように結合された第2のアークタンジェント関数と、前記第2の位相エラー信号を受け取り、前記第2の位相エラー信号に応じて前記周波数信号を供給するように結合された第2の数値制御発振器と、を備える第2のデジタル位相ロックループと、

前記入力信号、および前記第2のデジタル位相ロックループからの周波数信号を受け取り、同相信号を供給するように結合された直交復調器とを備えるライン位置探索装置のためのレシーバ。

10

20

## 【請求項 2】

総信号強度信号が、前記混合された信号の大きさに応じて供給される、請求項1に記載のレシーバ。

## 【請求項 3】

前記直交復調器が、前記周波数信号と前記入力信号を混合するように結合された第3のミキサと、前記第3のミキサからの信号を受け取り、対象導体ライン信号強度信号を供給するように結合された実フィルタとを含む、請求項1に記載のレシーバ。

## 【請求項 4】

信号方向信号が、前記対象導体ライン信号強度信号の符号から決定される、請求項3に記載のレシーバ。

10

## 【請求項 5】

前記第3のミキサからの前記信号を受け取り、非抵抗性漏出信号強度信号を供給するように結合された直交フィルタをさらに含む、請求項3に記載のレシーバ。

## 【請求項 6】

前記第1のデジタル位相ロックループと前記第2のデジタル位相ロックループとの間に結合されたダウンサンプラをさらに含む、請求項1に記載のレシーバ。

## 【請求項 7】

前記第2のデジタル位相ロックループと前記直交復調器との間に結合された直交アップサンプラをさらに含む、請求項1に記載のレシーバ。

## 【請求項 8】

対象導体からの信号強度が、前記同相信号から導き出される、請求項1に記載のレシーバ。

20

## 【請求項 9】

位置探索装置の所に存在する電磁界に関連した少なくとも1つの信号を供給する検出器システムと、

前記少なくとも1つの信号を受け取るように結合され、それぞれが、

前記少なくとも1つの信号のうちの1つの搬送波周波数にロックする第1のデジタル位相ロックループと、

前記第1のデジタル位相ロックループからFM信号を受け取り、前記少なくとも1つの信号のうちの前記1つの変調周波数にロックするように結合された第2のデジタル位相ロックループと、

30

前記少なくとも1つの信号のうちの前記1つと、前記第2のデジタル位相ロックループからの周波数信号を受け取り、同相信号を供給するように結合された直交復調器と、

前記同相信号を受け取り、ユーザ情報をユーザに対して提供するように結合されたディスプレイと

を含む少なくとも1つのレシーバと

を備え、

前記第1のデジタル位相ロックループが、

前記搬送波周波数に関連した周波数と位相を有する周期的フィードバック関数と前記少なくとも1つの信号のうちの前記1つを混合し、混合された信号を供給するミキサと、

40

前記混合された信号を受け取り、前記位相エラー信号を供給するように結合されたアークタンジェント関数と、

前記位相エラー信号に応じて前記周期的フィードバック関数を供給するように結合された数値制御発振器と、

を備え、

前記第2のデジタル位相ロックループが、

前記変調周波数に関連した周波数と位相を有する第2の周期的フィードバック関数と前記FM信号を混合し、第2の混合された信号を供給する第2のミキサと、

前記第2の混合された信号を受け取り、前記周波数信号を供給するように結合された第2のアークタンジェント関数と、

50

前記第2の位相エラー信号を受け取り、前記第2の位相エラー信号に応じて前記周波数信号を供給するように結合された第2の数値制御発振器と  
を備える位置探索装置。

【請求項10】

前記検出器システムが、前記電磁界のうちの磁界に対して感受性がある1つまたは複数の検出器と、前記1つまたは複数の検出器が供給する信号から前記少なくとも1つの信号をデジタル化する1つまたは複数のデジタイザとを含む、請求項9に記載の位置探索装置。

【請求項11】

総信号強度信号が、前記複素FM信号の大きさに応じて供給される、請求項9に記載の位置探索装置。

10

【請求項12】

前記直交復調器が、前記少なくとも1つの信号のうちの前記1つを前記周波数信号と混合するように結合された第3のミキサと、前記第3のミキサからの信号を受け取り、対象導体ライン信号強度信号を供給するように結合された実フィルタとを含む、請求項9に記載の位置探索装置。

【請求項13】

信号方向信号が、前記対象導体ライン信号強度信号の符号から決定される、請求項12に記載の位置探索装置。

【請求項14】

前記第3のミキサからの前記信号を受け取り、非抵抗性漏出信号強度信号を供給するように結合された直交フィルタをさらに含む、請求項12に記載の位置探索装置。

20

【請求項15】

前記第1のデジタル位相ロックループと前記第2のデジタル位相ロックループとの間に結合されたダウンサンプラをさらに含む、請求項9に記載の位置探索装置。

【請求項16】

前記第2のデジタル位相ロックループと前記直交復調器との間に結合された直交アップサンプラをさらに含む、請求項9に記載の位置探索装置。

【請求項17】

前記ディスプレイに結合されて方向情報を供給するコンパスをさらに含む、請求項9に記載の位置探索装置。

30

【請求項18】

前記ディスプレイに結合されて位置情報を供給する慣性位置追跡部をさらに含む、請求項9に記載の位置探索装置。

【請求項19】

対象導体からの電磁界強度が、前記同相信号から導き出される、請求項9に記載の位置探索装置。

【請求項20】

隣接する導体に対する漏出に関連する信号を阻止しながら、対象導体に関連する信号を検出する方法であって、

電磁界に応じて入力信号を供給すること、

40

前記入力信号の搬送波信号に第1のデジタル位相ロックループをロックし、位相エラー信号を供給すること、

FM信号に第2のデジタル位相ロックループをロックし、周波数信号を供給すること、および

前記周波数信号を前記入力信号と混合して、同相信号を供給すること

を含む方法であって、

前記第1のデジタル位相ロックループが、

前記搬送波周波数に関連した周波数と位相を有する周期的フィードバック関数と前記少なくとも1つの信号のうちの前記1つを混合し、混合された信号を供給するミキサと、

前記混合された信号を受け取り、前記位相エラー信号を供給するように結合されたアー

50

クタンジェント関数と、

前記位相エラー信号に応じて前記周期的フィードバック関数を供給するように結合された数値制御発振器と、

を備え、

前記第2のデジタル位相ロックループが、

前記変調周波数に関連した周波数と位相を有する第2の周期的フィードバック関数と前記FM信号を混合し、第2の混合された信号を供給する第2のミキサと、

前記第2の混合された信号を受け取り、前記周波数信号を供給するように結合された第2のアークタンジェント関数と、

前記第2の位相エラー信号を受け取り、前記第2の位相エラー信号に応じて前記周波数信号を供給するように結合された第2の数値制御発振器と

を備えることを特徴とする、方法。

【請求項 2 1】

前記複素FM信号の大きさから総信号強度信号を供給することをさらに含む、請求項20に記載の方法。

【請求項 2 2】

前記同相信号から対象導体ライン信号強度信号を供給することをさらに含む、請求項20に記載の方法。

【請求項 2 3】

前記対象導体ライン信号強度信号から信号方向信号を供給することをさらに含む、請求項22に記載の方法。

【請求項 2 4】

直交信号を供給することをさらに含む、請求項20に記載の方法。

【請求項 2 5】

前記直交信号から非抵抗性漏出信号強度信号を供給することをさらに含む、請求項24に記載の方法。

【請求項 2 6】

対象導体の深さを決定する方法であって、

搬送波周波数における、変調周波数で変調されている信号を含む電流信号を前記対象導体に供給すること、

前記対象導体の移動線に実質的に垂直なラインに沿って配置される複数の位置において対象導体ライン信号強度を決定すること、および

前記複数の位置における前記対象導体ライン信号強度から前記深さを決定すること

を含み、前記複数の位置のそれぞれにおける前記対象導体ライン信号強度が、

前記位置における電磁界に応じて入力信号を供給すること、

前記入力信号の搬送波周波数に第1のデジタル位相ロックループをロックし、FM信号を供給すること、

前記FM信号中の前記変調周波数に第2のデジタル位相ロックループをロックし、周波数信号を供給すること、

前記周波数信号を前記入力信号と混合して、同相信号を供給すること、および

前記同相信号から前記対象導体ライン信号強度を決定すること

により、決定される方法であって、

前記第1のデジタル位相ロックループが、

前記搬送波周波数に関連した周波数と位相を有する周期的フィードバック関数と前記少なくとも1つの信号のうちの前記1つを混合し、混合された信号を供給するミキサと、

前記混合された信号を受け取り、前記位相エラー信号を供給するように結合されたアークタンジェント関数と、

前記位相エラー信号に応じて前記周期的フィードバック関数を供給するように結合された数値制御発振器と、

を備え、

10

20

30

40

50

前記第2のデジタル位相ロックループが、  
前記変調周波数に関連した周波数と位相を有する第2の周期的フィードバック関数と前記FM信号を混合し、第2の混合された信号を供給する第2のミキサと、  
前記第2の混合された信号を受け取り、前記周波数信号を供給するように結合された第2のアークトンジェント関数と、  
前記第2の位相エラー信号を受け取り、前記第2の位相エラー信号に応じて前記周波数信号を供給するように結合された第2の数値制御発振器と  
を備えることを特徴とする、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、対象となる隠された導体からの電磁信号の検出に関し、詳細には、対象ではない隣接した導体に対してのこの伝達される信号の漏出(bleedover)からもたらされる、これらの対象となる隠された導体からの検出された信号中における干渉信号の分離に関する。

【背景技術】

【0002】

本出願は、2004年5月6日に出願された米国特許出願第10/842,239号に対する優先権を主張するものである。

【0003】

20

地下のパイプおよびケーブルの位置探索装置(locator)(時にライン位置探索装置(line locator)と称される)が、長年にわたって存在してきており、またよく知られている。ライン位置探索装置のシステムは、一般的に移動レシーバおよびトランスミッタを含んでいる。このトランスミッタは、直接に電気接続することによりまたは誘導を介して対象導体に結合されて、この対象導体に電流信号を供給する。このレシーバは、この電流信号の結果としてこの対象導体に生成される電磁界からもたらされる信号を検出し処理を行い、この電流信号は、このトランスミッタによってこの対象導体に供給される連続的な波の正弦波信号とすることができる。

【0004】

このトランスミッタはしばしば、数メートル、または場合によっては最大何キロメートルにも及ぶ典型的な分離距離でこのレシーバから物理的に分離されることもある。このトランスミッタは、この電流信号をこの対象導体に結合し、その周波数は、選択可能な1組の周波数からユーザが選択することができる。この対象導体に印加される電流信号の周波数については、アクティブ位置探索周波数と称することが可能である。この場合には、この対象導体は、この電流信号に応じて、このアクティブ位置探索周波数の電磁界を生成する。

30

【0005】

異なる位置探索方法と地下の環境により、異なるアクティブ周波数が要求される可能性がある。このアクティブ位置探索周波数の典型的な範囲は、(何キロメートルというこのトランスミッタとレシーバの間の分離距離にわたるこの対象導体の位置についての)数ヘルツから、100KHz以上までに及ぶ可能性がある。このレシーバによって検出される電磁界に対するかなりの無線周波数の干渉が、この範囲にわたる環境には存在する可能性がある。したがって、ライン位置探索システムのレシーバではしばしば、高い同調が行われるフィルタを含めて、この対象導体からのこの所望のアクティブ位置探索周波数における信号の測定に悪影響が及ぼされないように、信号源以外からの干渉を除外してきている。これらのフィルタを同調させて、選択可能なアクティブ位置探索周波数のそれぞれにおける電磁界からもたらされる信号を受け取り、これらのアクティブ位置探索周波数以外の周波数における電磁界からもたらされる信号を阻止することができる。

40

【0006】

ライン位置探索システムにおいては、この電磁界の検出から決定される信号強度パラメ

50

ータは、この電流信号についての導き出された量(すなわち、この対象導体ライン中の線電流)、この導体の中心に対するこのライン位置探索装置のレシーバの位置、このライン位置探索装置のレシーバからのこの導体の深さについての基礎を提供し、また(この検出器が感知することができる磁界の方向に応じて)ピークインジケータまたはヌルインジケータに対する入力として使用することもできる。すべてのライン位置探索システムは、1つまたは複数の測定チャンネル上の信号強度を測定する。

【0007】

金属パイプおよびケーブルの密集した地下の公益事業環境においてはしばしば、この対象導体から他の隣接する地下の導体に対するこのアクティブ位置探索周波数における信号の結合が起きてしまう可能性がある。これらの導体(ライン)は、このライン位置探索システムによって追跡を行う意図はないが、「漏出」と称される、(抵抗性、誘導性、または容量性)様々な手段を介してこの対象導体からこれらの隣接する導体に対する電流の結合は、このライン位置探索システムのオペレータがこの対象導体ライン(例えば、対象となるパイプまたはケーブル)を追跡するのを中止し、その代わりに隣接するラインに従って開始するように間違っただけ方向へ(astray)ライン位置探索装置を誘導してしまう可能性がある。

【0008】

従来のレシーバにおいては、このレシーバがこの対象導体ラインを追跡しているかどうか、またはこのレシーバが間違っただけ隣接する導体を追跡しているかどうかを判定することはほとんど不可能である。複雑な地下の導体トポロジにおいては、隣接する導体中の漏出電流からもたらされる電磁界からの干渉の影響は、電磁界ひずみと称されるかなり非対称な電磁界をもたらす可能性がある。さらに、対象導体ラインと隣接する導体を区別しようとする従来のシステムでは、このトランスミッタからの位相情報の無線伝送または有線伝送を頼りにしており、このトランスミッタは、このような情報を受信することが非実用的であるようなこのライン位置探索装置のレシーバからの距離に配置される可能性がある。

【特許文献1】米国特許出願第10/622,376号

【特許文献2】米国特許出願第10/189,342号

【特許文献3】米国特許出願第10/407,705号

【特許文献4】米国特許第5,194,812号

【特許文献5】米国特許第5,798,644号

【特許文献6】米国特許第6,127,827号

【特許文献7】米国特許第6,215,888号

【特許文献8】米国特許第6,411,073号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

したがって、このトランスミッタおよびレシーバが位相情報を共有するための別の通信チャンネルに頼ることなく、この対象導体ライン(パイプまたはケーブル)だけをその伝送媒体として利用する、信号の生成および処理の方法を使用して、誘導性結合または容量性結合の結果である信号を供給する可能性がある隣接する導体を除いて、この対象導体ラインからの信号強度パラメータを正確に決定することが可能なライン位置探索システムが必要になっている。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明によれば、対象導体ラインから受信される信号と、隣接する導体への漏出の結果として受信される信号とを区別することができるライン位置探索装置とライン位置探索装置のシステムが提示される。本発明の一部の実施形態によるライン位置探索装置用のレシーバは、入力信号を受け取り、この入力信号の搬送波周波数にロックするように結合された第1のデジタル位相ロックループと、この第1のデジタル位相ロックループからのFM信号を受け取り、この入力信号の変調周波数にロックするように結合された第2のデジタル位

相ロックループと、この入力信号、およびこの第2のデジタル位相ロックループからの周波数信号を受け取り、同相信号を供給するように結合された直交復調器とを含んでいる。

【0011】

本発明の一部の実施形態においては、ライン位置探索装置のシステムは、搬送波周波数における、変調周波数で変調されている少なくとも1つの信号を含む電流信号を対象導体に供給するように結合されたトランスミッタと、位置探索装置を含んでいる。一部の実施形態においては、この位置探索装置は、この位置探索装置の位置に存在する電磁界に関連した少なくとも1つの信号を供給する検出器システムと、この少なくとも1つの信号を受け取るように結合され、少なくとも1つのレシーバのそれぞれが、この少なくとも1つの信号のうちの1つの搬送波周波数にロックする第1のデジタル位相ロックループと、この第1のデジタル位相ロックループからのFM信号を受け取り、この少なくとも1つの信号のうちの1つの変調周波数にロックするように結合された第2のデジタル位相ロックループと、この少なくとも1つの信号のうち1つ、およびこの第2のデジタル位相ロックループからの周波数信号を受け取り、同相信号を供給するように結合された直交復調器を含む少なくとも1つのレシーバと、この同相信号を受け取り、ユーザに情報を提供するように結合されたディスプレイとを含んでいる。

10

【0012】

本発明の一部の実施形態による、隣接する導体に対する漏出に関連する信号を阻止しながら、対象導体に関連する信号を検出する方法は、電磁界に応じて入力信号を供給すること、この入力信号の搬送波周波数にロックし、FM信号を供給すること、このFM信号中の変調周波数にロックし、周波数信号を供給すること、およびこの周波数信号をこの入力信号と混合して同相信号を供給することを含んでいる。

20

【0013】

本発明の一部の実施形態による、対象導体の深さを決定する方法は、変調周波数において変調されている、搬送波周波数における信号を含む電流信号をこの対象導体上に供給すること、この対象導体の走行線に実質的に直角な線に沿って配置された複数の位置における対象導体ラインの信号強度を決定すること、およびこれらの複数の位置におけるこの対象導体ラインの信号強度からこの深さを決定することを含んでいる。本発明の一部の実施形態によれば、これらの複数の位置のそれぞれにおけるこの対象導体ラインの信号強度は、この位置における電磁界に応じて入力信号を供給し、この入力信号の搬送波信号にロックし、FM信号を供給し、このFM信号中の変調周波数にロックし、周波数信号を供給し、この周波数信号をこの入力信号と混合して同相信号を供給し、この同相信号からこの対象導体ラインの信号強度を決定することにより、決定することができる。

30

【0014】

これらの実施形態および他の実施形態については、以下の図面を参照して以下でさらに説明している。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

これらの図面中において、同じ記号を有する要素は、同じまたは類似した機能を有する。これらの図面中における要素は、縮尺して示されてはいない。

40

【0016】

図1Aは、ライン位置探索装置を伴うライン位置探索環境を示すものである。このライン位置探索装置は、位置探索装置110およびトランスミッタ101を含んでいる。位置探索装置110は、本発明によるレシーバの一実施形態を含むことが可能であり、あるいは従来の位置探索装置であってもよい。レシーバの主なデジタル実装形態の一実施例については、本発明と同じ譲受人に譲渡され、その全体が参照により本明細書に組み込まれているJames W. Waite、Johan D. Overbyによる、「Method and Apparatus for Digital Detection of Electromagnetic Signal Strength and Signal Direction in Metallic Pipes and Cables」という名称の米国特許出願第10/622,376号('376出願)に記載されている。

【0017】

50

位置探索装置110は、オペレータ又はユーザ116によって操作されて、対象導体ライン104の位置探索を行う。対象導体ライン104は、トランスミッタ101に直接に結合される。多数のシステムにおいては、トランスミッタ101は、電流信号を対象導体ライン104上へと結合する。以上で説明したように、この電流信号は、アクティブ位置探索周波数における1つの周波数を有し、このアクティブ位置探索周波数は、1組の標準化された周波数のうちの1つの周波数とすることができる。図1Aに示されるように、対象導体ライン104は、地下に存在する可能性がある。トランスミッタ101は、地上の中継ボックスにおいて直接に、あるいは知られている位置において対象導体ライン104まで掘ることによって対象導体ライン104に結合することができる。トランスミッタ101はまた、誘導的に、対象導体ライン104に電氣的に結合することもできる。

10

## 【0018】

位置探索装置110は、検出器112およびディスプレイ114を含んでいる。検出器112は、電磁界を決定するためのどのような検出器であってもよい。例えば、検出器112は、時間的に変化する磁界が存在する中で電気信号を供給するコイルを含んでいてもよい。電気信号は、位置探索装置110中において処理することができ、この処理の結果については、ディスプレイ114上でオペレータ又はユーザ116に対して伝えることができる。

## 【0019】

検出器112は、この場合に対象導体ライン104中の電流信号によって生成される磁界118を検出することができる。しかし、同じ周波数の電流が、抵抗性結合、容量性結合、または誘導性結合により、隣接する導体ライン126へと結合されてしまう可能性がある。隣接する導体ライン126は、この場合には磁界120を生成する可能性がある。検出器112によって位置探索装置110に供給される信号は、この場合には対象導体ライン104からの磁界118と隣接する導体ライン126からの磁界120の両方からの寄与を反映することになる。対象導体ライン104の深さまたは対象導体ライン104中の電流の計算が、この場合には不正確になる可能性がある。

20

## 【0020】

抵抗性結合に起因した、隣接する導体ライン126からの干渉を取り除くことについては、その全体が参照により本明細書に組み込まれている、Volker Fraedrich、Gerhard Fischerによる「Method and Device for Locating a Metal Line」という名称の米国特許第6,411,073号('073特許)に説明されている。この'073特許は、トランスミッタ101と位置探索装置110が共通の位相基準を共有できるようにする、「信号選択(Signal Select)」と呼ばれるトランスミッタ101によって生成されるFM変調方法を伴うライン位置探索システムについて開示している。その後'376出願は、この信号方向パラメータのこのレシーバの位置での堅牢な測定方法について説明しており、この方法により、このオペレータは、グラウンド帰路信号が隣接する導体上に存在するときの状況を検出することができるようになる。これらの場合には、位置探索装置110は、負の信号方向表示をこのユーザに提示しており、この測定された電磁界強度は、対象導体ライン104の磁界118によるものでなくて、グラウンド帰路電流を伝える導体からの抵抗性の漏出に起因するものであることが指し示されている。

30

## 【0021】

しばしば、抵抗性結合が隣接する導体ライン間で生ずる場合がある。抵抗性結合が生ずる場合、この隣接した導体ライン中に誘導される電圧信号は、この対象導体ライン中に存在する電流信号とは反転して(180°位相がずれて)いる。これは、この隣接する導体ラインへと伝搬している電流は、このライン位置探索システムのトランスミッタの位置の同じグラウンドステーク(ground stake)へのもっと簡単な(すなわち、より低インピーダンスの)帰路を探し求めているという理由による。慣例によって、トランスミッタ101からの発信信号については、正方向として解釈され、トランスミッタ101への着信信号については、負方向として解釈される。信号強度に加えてこの信号方向を監視することにより、ユーザは、正から負への方向変化を介して、起こり得る抵抗性結合の状況を検出することができる。

40

50



## 【 0 0 2 2 】

対象導体ライン104から導体ライン126への漏出が誘導性または容量性である場合には、この問題は、幾分異なったものになる。誘導性および容量性の漏出は、対象導体ライン104が良質のものであり、グラウンドと対象導体ライン104のケーブルシース(cable sheath)との間の抵抗が高い場合に、または代わりにこのアクティブ位置探索周波数が高い(容量性結合が問題になり、このインピーダンスしきい値を低下させる)場合に、長距離の位置探索(すなわち、位置探索装置110がトランスミッタ101からかなり離れている場合)において生ずる可能性がある。容量性または誘導性の漏出においては、この隣接する導体ライン(例えば、導体ライン126)上の信号は、この結合の伝達関数に対応する位相シフトを受ける。この結合が、主として誘導性または容量性である状況においては、この信号は、トランスミッタ101が送信する電流信号から90°位相がずれている。

10

## 【 0 0 2 3 】

時には、この漏出信号(この隣接する導体ラインからの電磁界の検出から生成される信号)は、対象導体ライン104からの電磁界の検出によって位置探索装置110中に生成される信号よりもかなり強く、位置探索装置110において検出される測定された電磁界強度で完全に優位を占めることもある。漏出信号を搬送する隣接する導体ライン、例えば図1Aにおける導体ライン126は、この対象導体ラインよりも浅いときに、特に問題のある測定状況が引き起こされる。このレシーバにおける組み合わせられた信号(例えば、位置探索装置110において磁界118と磁界120の両方の検出からもたらされる信号)は、トランスミッタ101によって対象導体ライン104に印加された電流信号の周波数と正しく同じ周波数、すなわちこのアクティブ位置探索周波数を有する(このシステムは、LTI(Linear Time Invariant線形時不変)であり、したがって観察される位相変化だけが、この漏出結合それ自体に起因している)。場合によっては、このより浅い隣接する導体ライン中の漏出信号からもたらされる電磁界は、対象導体ライン104によって生成される電磁界よりも強い可能性があり、この場合には、このレシーバで測定される信号は、トランスミッタ101によって対象導体ライン104に付与された位相から90°位相シフトする傾向があることになる。

20

## 【 0 0 2 4 】

従来のレシーバにおいては、トランスミッタ101は通常、自走する発振器ドライバを含んでいるので、位置探索装置110においてトランスミッタ101の位相を知り、または決定することは不可能である。しかし、位置探索装置110によって測定される電磁界強度は、対象導体ライン104からの電磁界と、このグラウンド帰路からの電磁界との検出からの同相信号の効果を含んでおり、このグラウンド帰路からの電磁界は、抵抗性漏出に起因して180°位相がずれており、また誘導性または容量性に結合された導体ラインからの電磁界の検出による直交信号でもある。かなりの結合を伴う複雑な地下の公益事業シナリオにおいては、これらの信号の正味の大きさは、非同心円の磁界、すなわち一般的に電磁界ひずみと呼ばれる効果をもたらす可能性がある。

30

## 【 0 0 2 5 】

一部の従来技術のライン位置探索システムでは、漏出を回避する十分に低い値までこのアクティブ位置探索周波数を低下させることにより、容量性または誘導性の漏出により引き起こされるかなりの電磁界ひずみを回避してきている。しかし、何キロメートルにもわたる長距離の位置探索では、このアクティブ位置探索周波数は、一般に約10ヘルツよりも低くして、あまり漏出がないように回避する必要がある。このようなシステムの例については、米国特許第5,798,644号および第6,127,827号中に説明されている。

40

## 【 0 0 2 6 】

他のシステムは、様々な検出器コイル構成から導き出される電磁界強度信号を比較することにより、電磁界ひずみの存在を検出する。検出された後に、いくつかの技法を使用して、このひずみについてのこの対象導体ラインの位置探索位置を調整することができる。標準的なピークおよびヌルのコイル構成については、米国特許第6,215,888号中に示唆されており、この構成からこの測定される電磁界強度は、データベースに記憶される電磁界強度のモデルと比較することができる。この場合には、より正確な対象導体ラインの位置

50

決めが、この電磁界強度の選択されたモデルを利用して、これらの測定された電磁界強度をもたらすはずの最も可能性が高い地下のケーブルトポロジを推論することにより可能になる。他の方法については、Metrotech Corporationに譲渡され、その全体が参照により本明細書に組み込まれているRussell Bigelowによる米国特許出願第10/189,342号('342出願)中において説明されている。この'342出願は、3つ以上のコイルからの信号強度測定値をひずみのない電磁界からもたらされるはずの測定値と比較する数値アプローチについて言及している。電磁界ひずみを取り扱う他のアプローチは、位置測定方法を使用して、このグラウンドの表面上でこの磁界をマッピングし、非同心円の電磁界、すなわちひずみの良好な表示を検出するものである。慣性位置追跡デバイスを含むライン位置探索装置については、Metrotech Corporationに譲渡され、その全体が参照により本明細書に組み込ま

10

**【 0 0 2 7 】**

このような以前のシステムにおいては、この位置探索装置110における電磁界から検出される測定された電磁界強度パラメータは、この放射する対象導体ラインと他の隣接する結合された導体ラインの両方の組合せの可能性がある。このような結合が存在するときには、この存在するひずみの程度は、この対象導体ライン位置探索についての全般的な品質における主要なファクタである。抵抗性に結合された状況においては、米国特許第6,411,073号および'376出願は、この信号方向パラメータが、並列に結合された導体中に存在するグラウンド帰路電流から対象導体ラインを分離するのに役に立つことを教示している。このレシーバにおける信号の方向は、この信号選択変調からこのトランスミッタにおいて付与される信号へと導き出され、それによって共通の位相基準が、このレシーバにおいて使用可能である。

20

**【 0 0 2 8 】**

米国特許第5,194,812号('812特許)中において説明される方法は、このトランスミッタからこのレシーバへのこの位置探索信号の無線(または地上の有線)伝送を介してノイズ低減を達成している。この無線リンクが、堅牢であり、知られていない位相遅れをそれ自体受けていない限り、位相基準が、このレシーバに対して使用可能である。同期信号検出が、低域通過フィルタが続くアナログミキサを使用してこのレシーバにおいて実現され、ノイズの低減がもたらされる。この'812特許は、他の隣接する導体ラインに対する誘導性または容量性の結合によって引き起こされるひずみのデカップリングについては論じていない。また、この信号位相基準伝送の方法は、信号を遮断する傾向があり、範囲が限られており、それにより長距離の範囲のライン位置探索では、その機能が制限される。GPSのような共用されたタイムベースを介した、トランスミッタとレシーバの間の時間同期化(およびしたがって位相基準への同期化)もまた、伝送経路の問題によって制限される。

30

**【 0 0 2 9 】**

本発明によれば、位置探索装置110における電磁界の検出からもたらされる信号を同相信号と直交信号へと分離するレシーバを含む位置探索装置110が提示される。このようにして、この対象導体ラインに印加された電流信号と、抵抗性に結合された漏出とからもたらされるこれらの信号は、誘導性または容量性の漏出からもたらされる信号から分離される。本発明の実施形態は、('376出願中で説明されるような)信号選択復調に関連するレシーバ処理を拡張して、誘導性または容量性の結合によって引き起こされる望ましくない(ひずみを引き起こす)信号から(この対象導体信号およびグラウンド帰路信号から)、抵抗性に結合された信号の明確に識別可能な分離を可能にする。

40

**【 0 0 3 0 】**

最もよく起きる形態の結合は、抵抗性であり、この場合にはこの位置探索の全体の長さ

50

ル)以上の長いケーブル上には、対象ではない導体ラインがその全体の経路にわたって平行に横たわる可能性はあまりなく、したがって簡単な(すなわち、低インピーダンスの)グラウンド帰路としてのその機能は限られている。それどころか、その開始点および終点の近くには、しばらく同じ方向に向かうケーブルが存在することになるが、その走行の大部分においては、これらの他のケーブルは、限られた同じ場所に位置する長さによって局所的に隣接するにすぎないはずである。これは、どのような結合も主として誘導的なものになることを意味している。容量性結合、すなわちこの第3の可能性は、乾燥した低導電率のグラウンド区域において役割を果たす可能性がある。このケーブルの走行についての大部分の上の結合が誘導性である場合、この結合は相互誘導を介しての疎結合であるので、この場合には $90^\circ$ に近い位相差があるはずである。容量性結合では、この結合された回路における位相は、 $-90^\circ$ になるはずである。

10

**【0031】**

多数の従来のケーブル位置探索装置のレシーバにおいては、このトランスミッタの位相に関する確固たる位相基準が達成されていないので、この抽出された信号位相は、結合タイプの尺度として使用されてきてはいない。'376出願は、この信号選択位相基準をレシーバにおいて正確に回復することができるように、ネストされた(二重の)デジタル位相ロックループ(DPLL)の開発について言及している。本明細書中で説明される本発明の一部の実施形態では、類似したアプローチを利用して、トランスミッタ101によって適用される安定なバージョンのFM変調周波数を回復し、さらに直交復調器へのミキサ入力として回復されたFM変調周波数信号の使用を可能にする。この直交復調された同相信号は、すべての抵抗性結合された( $0^\circ$ および $180^\circ$ )の信号を含んでおり、この復調された直交信号は、この正味の誘導性結合および容量性結合( $\pm 90^\circ$ )を表す。さらに、この同相信号の符号は、信号の方向としても解釈され、'376出願に説明されているように、抵抗性結合された信号の正味の方向を表している。

20

**【0032】**

本発明の一部の実施形態においては、この信号選択変調された位置探索信号の位置探索装置110における処理については、平均化および/または低域通過フィルタリングによってさらに機能を拡張することができ、(誘導性または容量性に結合された導体ラインに起因したほぼすべての寄与を取り除いた)対象導体ライン電磁界強度と、(すべての結合された導体ラインに起因した電磁界強度を含む)総電磁界強度と、信号方向の安定な推定が可能になる。これらの実施形態の一部においては、異なる周波数の2つの信号の間の位相を直接に比較してこの信号方向を推定することは必ずしも必要ではない。これは、デジタルシステムにおける位相比較の精度が、この信号処理におけるオーバーサンプリングの程度によって部分的に推進される点で重要な結果である。平均化を介したパラメータの推定は、サンプル値の比較よりも堅牢であり、このシステムは、ナイキストレート(Nyquist rate)(非オーバーサンプリング)に近いサンプルレートでは、高い信頼性で動作することができる。

30

**【0033】**

一部の実施形態においては、これらの電磁界強度値をこの対象導体ライン上の横方向の位置 $x$ の関数としてディスプレイ114にユーザ116に対してプロットの形で提示することができ、ここで $x$ は、このケーブルに直角な座標である。この総電磁界強度とこの対象導体の電磁界強度との間に大きな差があるこれらの区域は、結合された1本または複数本の導体ラインの影響を示すものである。この座標 $x$ が、テープによる測定、レーザによる距離測定、慣性センシング、GPSナビゲーション、または他の測量方法を介して高い信頼性で得られるときには、この結合された導体ラインの影響が効果的に取り除かれている、対象導体ラインの電磁界強度を使用して、この地下導体のこれらの座標( $x$ 位置および深さ)を正確に三角測量し、またはベクトル化する(vector)ことができる。

40

**【0034】**

本発明の一部の実施形態では、非線形の最適化方法の使用をスムーズに実行して、この対象導体ラインの電磁界強度から、この深さ、位置、および対象導体ライン104中を流れ

50

る電流を同時に推定する。この対象導体ラインの電磁界強度は、対象導体ライン104の周囲の同心円電磁界の物理モデルにさらに忠実に従うので、これらの推定値は、誘導性または容量性の結合に起因する磁界ひずみの存在中では、さらに信頼性が高くなる。

【0035】

結合された導体ラインとそれによるひずみの存在のさらなる確認として、一部の実施形態においては、2つ以上のアクティブな信号選択変調された周波数(一方は低く、もう一方は高い周波数)を、トランスミッタ101により対象導体ライン104上に入力することができる。結合された導体ラインでは、このインピーダンスは、周波数を増大させると共に低下し、したがってこの総電磁界強度と対象電磁界強度との間の差は、周波数が高くなればなるほど大きくなることになる。本明細書中で説明している本発明の一部の実施形態では、この対象導体ライン上に複数の同時に信号選択変調された周波数を生成するための効率的なトランスミッタアルゴリズムを利用することができる。2つ以上の周波数における電磁界ひずみの程度の比較をサポートするために、このレシーバ信号処理を拡張して、複数の並列な信号選択復調アルゴリズムが実装される。

10

【0036】

図1Bは、トランスミッタ101から接続箱またはジャンクションボックス102への順方向電流と、この接続箱またはジャンクションボックス102からこのトランスミッタ101のグラウンドステークへ戻る逆方向グラウンド帰路電流と、隣接する導体ライン106上の誘導電流とを伴うライン位置探索シナリオの図である。図1Bに示される導体トポロジは、対象導体ライン104および隣接する導体ライン106を示している。図1Bはまた、対象導体ライン104に電子的に結合された直接接続トランスミッタ101も示している。

20

【0037】

直接接続トランスミッタ101を使用したライン位置探索では、図1Bに示されるような対象導体ライン104に対するガルバニック接続が利用される。多くの場合に、この導体ラインの終点において接続箱またはジャンクションボックス102を介して対象導体ライン104に対するアクセスが存在することがあるので、そのために対象導体ライン104の遠端(すなわち、対向端のトランスミッタ101)は、アース107に接地することができる。例えば、電気通信ケーブルの場合には、有効な導体ラインの追跡が、この遠端におけるこの銅ケーブルまたは光ファイバケーブルの周囲においてこの金属シースを接地することにより達成することができ、そのために閉ループAC回路が対象導体ライン104およびアース107の組合せによって示されるように生成される。

30

【0038】

トランスミッタ101は、対象導体ライン101中に電流信号を生成する。本発明の実施形態によれば、この電流信号は、搬送波信号上に1つまたは複数の変調された信号を含んでいる。一部の実施形態においては、このトランスミッタ101によって生成される電流信号は、周波数に依存する可能性のある、結合された隣接する導体に関連する影響をより明確に区別することができるようにするために、複数の周波数の信号を含んでいてもよい。

【0039】

典型的な位置探索シナリオにおいては、対象導体ライン104に隣接する他の導体ラインは、地下に存在していてもよい。この物理的レイアウトに応じて、これらの導体ラインは、トランスミッタ101からの直接の、または結合された電流を搬送するAC回路の一部分を形成することもできる。図1Bに示されるように、ジャンクションボックス102における共用グラウンド接続を介して、導体ライン105は、対象導体ライン104に電氣的に結合することができる。ここで示されるように、導体ライン105は、対象導体ライン104に抵抗性に結合されており、すなわち対象導体ライン104中を進む電流は、トランスミッタ101へのより低インピーダンスのグラウンド帰路として導体ライン105を使用する。

40

【0040】

トランスミッタ101によって生成される信号の結果でもある他の電流が、導体ライン106中を流れている。この電流は、対象導体ライン104から導体ライン106への誘導性または容量性の結合のおかげで導体ライン106へと結合される。実際において、別の電流ループが

50

疎結合のグラウンド108を介して設定され、そのために結合された導体ライン105中の信号の方向は、依然として正であり、すなわちこの対象導体ラインと同じ方向である。

【0041】

したがって、領域103中の信号強度を測定するライン位置探索装置は、導体ライン104、105、および106から生ずるこれらの磁界に起因する信号の組合せを調べる。対象導体ライン104だけが、この位置探索周波数において電流信号を搬送している場合にはそうであるように、電磁界が、対象導体ライン104の軸の周囲においてもはや同心円になっていないので、これらの信号の和は、ひずみのある電磁界である。一部の位置探索装置では、対象導体ライン104上の順方向の信号から逆方向の導体ライン105中の信号を区別することが可能になっている。本発明の実施形態はまた、導体ライン106上に存在するこの結合された信号を明白に識別することもできる。

10

【0042】

図2は、図1Bに示される回路に対する簡略化された等価回路を示している。とりわけ図2は、どのようにして相互誘導が結合された導体ライン106中においてAC電流を生成するかを示している。図2に示されるように、これらのグラウンド経路も同様に疎結合されている。図2は、この状況の簡略化された概略図であり、(このガルバニック電流または直接に結合された電流についての)電流 $I_i$ を搬送する結合された導体ライン106と電流 $I_o$ を搬送する対象導体ライン104しか示していない。トランスミッタ101は、この概略図において信号ジェネレータとして表される。

【0043】

20

図3Aは、この問題をさらに等価電気回路図に帰したものであり、導体ライン104および106が、相互インダクタンス301を介して一緒に結合されている。誘導性結合の場合には、図3Bにグラフで示されるようにこの誘導電流 $I_i$ は、この主要なループ $I_o$ 中の電流に90°だけ遅れることがよく知られている。

【0044】

導体ライン104と106の間の結合が、誘導性の代わりに容量性である場合にも、この状況は非常に類似していることに留意されたい。しかしこの場合には、隣接する導体ライン106中の電流は、この主要ループの対象導体ライン104中の電流よりも90°だけ先に進む(lead)ことになる。

【0045】

30

本発明の実施形態によれば、トランスミッタ101によって対象導体ライン104(図1)に印加される電流信号は、前述のアクティブライン位置探索周波数である搬送波周波数を含んでいる。さらにFM変調周波数は、この電流信号に課することもできる。一部の実施形態においては、このFM変調周波数は、この搬送波周波数の整数倍である。

【0046】

図4は、本発明によるレシーバ410のブロック図を示している。前述のように、レシーバ410は、位置探索装置110に含まれる。レシーバ410は、電磁界強度を検出し、1つまたは複数の入力信号401を供給する検出器409を含んでいる。一部の実施形態においては、検出器409は、磁界検出器、ならびにフィルタおよびデジタイザを含んでいてもよい。一部の実施形態においては、位置探索装置110は、特定の方向に向けられた電磁界の磁界を検出するように方向付けられた検出器409を伴う複数の個々のレシーバ410を含むことができる。レシーバ410は、まずデジタル位相ロックループ(DPLL)402中の搬送波周波数、すなわちアクティブ位置探索周波数にロックし、次いでデジタルPLL404中のFM変調周波数にロックして、隣接する導体に対する誘導性または容量性の漏出による影響を実質的には受けない信号(この対象導体ラインの強度)を供給する。

40

【0047】

次いでレシーバ410において、処理は、まずこの搬送波信号からの信号選択FM信号を復調し、次いでその後この検出された基準位相によって元の入力信号を復調する。次いで入力信号401は、搬送波デジタルPLL402中において最初に受け取られる。デジタルPLL402からの出力信号は、FM復調デジタルPLL404に結合される。したがって、デジタルP

50

L L 402および404は、まずこの搬送波周波数に、次にこのFM変調周波数にロックし、このFM変調周波数は、デジタルP L L 402の動作からもたらされるエラー項である。一部の実施形態においては、このFM変調周波数がこの搬送波周波数の一部分の可能性があるので、ダウンサンプラ403をデジタルP L L 402とデジタルP L L 404との間に設けて、処理効率を改善することができる。搬送波デジタルP L L 402、ダウンサンプラ403、およびFM復調デジタルP L L 404の一部の実施形態については、'376出願においてさらに説明されている。

#### 【 0 0 4 8 】

デジタルP L L 404からの出力信号は、直交復調器406に結合され、ここでこの出力信号を利用して、入力信号401を復調する。直交復調器406からの結果として生ずる出力信号は、この対象導体ライン信号強度である同相信号と、誘導性または容量性の漏出ライン信号強度である直交信号407とを含んでいる。一部の実施形態においては、同相信号408と直交信号407のサンプリングレートを調整するために、直交アップサンプラ405を含めることができる。レシーバ410中で生成される信号は、ユーザ116およびディスプレイ114に表示するためにさらに処理することができる。

#### 【 0 0 4 9 】

図5は、本発明による搬送波デジタルP L L 402の一実施形態を示している。搬送波デジタルP L L 402は、数値制御発振器(numerically controlled oscillator)503によって生成される周期的関数と入力信号401を混合するミキサ501を含んでいる。位相エラー信号504は、ミキサ501からの複雑な出力信号を受け取る逆タンジェント関数502によって作成される。この入力信号の実数項による虚数項の簡単な除算はまた、逆タンジェント関数502がゼロ近辺でほぼ線形であるので、位相エラーの簡単な推定値を形成することもできる。逆タンジェント関数502からの位相エラー信号504は、ミキサ501に対する周期的関数出力の位相および周波数を調整する数値制御発振器503に入力され、位相および周波数についての値を出力することもできる。一部の実施形態においては、数値制御発振器503は、二次ループ式を使用して、ミキサ501に対するフィードバックを制御することができ、それによってデジタルP L L 402をロック状態に徐々に収束させることができる。このロック状態においては、差信号505は周波数 $F_c$ における入力信号401と平均搬送波の間の差を表し、FM信号の表現として解釈され、FM デジタルP L L 404へと転送される。

#### 【 0 0 5 0 】

図6は、本発明によるレシーバ410の他の実施形態を示している。この図に示されるように、入力信号401は、直交復調器406および搬送波デジタルP L L 402に入力される。図5に関して論じられたように、搬送波デジタルP L L 402は、ミキサ501、アークタンジェント関数502、および数値制御発振器503を含んでいる。搬送波デジタルP L L 402からのFM信号は、FM デジタルP L L 404に入力される。この場合にも図5に示されるデジタルP L L 402におけるように、FM デジタルP L L 404は、ミキサ611、アークタンジェント関数ブロック612、および数値制御発振器613を含んでいる。図6に示されるように、ミキサ611は、デジタルP L L 402からFM信号を受け取り、数値制御発振器613からのFM変調された信号出力を混合する。数値制御発振器(NCO)613は、アークタンジェント関数ブロック612によって生成されるFM位相エラー信号に従って、ミキサ611中で混合された周期的関数の周波数と位相を調整する。一部の実施形態においては、数値制御発振器613は、二次ループ式を使用して、ミキサ611に対するフィードバックを制御し、それによってデジタルP L L 404は、ロックされた状態に収束することができるようになる。デジタルP L L 404中のミキサ611に入力される周期的フィードバック関数は、直交復調器406にも入力される。

#### 【 0 0 5 1 】

一部の実施形態において、デジタルP L L 402からの複雑なFM信号の大きさ601をフィルタ602に入力して、総信号強度信号603を供給することができる。総信号強度信号603は、対象導体ライン104、図1Bに示される導体ライン105など抵抗性に結合された隣接する導体、および図1Bに示される導体ライン106など誘導性に結合された隣接する導体からの寄与を含んでいる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 2 】

図6に示されるように、直交復調器は、ミキサ614、同相フィルタ616、および直交フィルタ615を含んでいる。ミキサ614は、デジタルPLL404によって生成される正弦波関数と入力信号401を混合する。ミキサ614からの出力信号は、この場合には実数部と虚数部を有するDC信号である。この実数部または同相部分は、対象導体ライン104、または対象導体ライン104に抵抗性に結合された導体を起源とする信号の結果である。したがって、同相フィルタ616は、ミキサ614から出力される信号出力の実数部を分離する。同相フィルタ616からの出力信号は、フィルタ604に入力することができる。フィルタ604からの出力信号は、対象導体ライン104と、対象導体ライン104に抵抗性に結合される可能性のある導体からの信号強度を示す。フィルタ604からの出力信号の符号は、'136出願中で説明されているようにこの信号方向を指し示す。この符号をフィルタ605中で決定して、信号方向信号を供給することができる。

10

## 【 0 0 5 3 】

ミキサ614からの出力信号の直交部分は、直交フィルタ(quad filter)615中で分離し、フィルタ617中でフィルタをかけることができる。フィルタ617からの出力信号は、対象導体ライン104に誘導性または容量性に結合される隣接する導体から検出される信号に起因した信号強度を供給する。

## 【 0 0 5 4 】

したがって、この入力信号401と、直交するこの検出されたFM信号を混合することにより、対象導体ライン104に容量性または誘導性で結合される導体に起因する信号から、対象導体ライン104と対象導体ライン104に抵抗性に結合されている可能性のあるこれらの導体からの寄与の分離が可能になる。図4に示されるように、一部の実施形態においては、直交アップサンプリング405を含めて、入力信号401のサンプルレートまでこのサンプルレートを戻すことが可能である。

20

## 【 0 0 5 5 】

図6に示されるように、この搬送波信号とこのFM信号との間のトランスミッタ101によって設定される位相基準は、デジタルPLL402と404との組合せにより回復され、この位相基準を使用して、対象導体ライン104と他の抵抗性に結合されたエレメントに起因した信号強度からこの漏出信号強度を分離することができる。直交復調器は、このタスクにとってかなり適しており、複雑な正弦波による乗算を表しており、実数部と虚数部へのこの入力信号の分解をもたらす。この虚数部は、この実数部と90°位相がずれた誘導性または容量性に結合された信号に対応する。この実数部は、この対象導体と、この逆方向に帰路電流を流すこれらの導体とから生ずるこれらの抵抗性に結合された信号を表す。

30

## 【 0 0 5 6 】

図6に示すレシーバ610の実施形態は、総信号強度信号603、対象導体ラインの信号強度606(直交復調器406の実数部)、および信号方向を同時に計算する信号処理システムの一実施形態を示す。レシーバ610の主な目的は、ひずみを取り除かれた信号強度606の推定値を提供することであってもよいので、一部の実施形態では、非抵抗性漏出信号強度の決定についての決定を含まないこともあり、したがってバイアスされない深さおよび電流の測定についての基礎としての役割を果たすことができる。フィルタ604から出力される対象導体ライン強度信号の符号は、入力信号401の抵抗性に結合された成分の信号方向であり、この信号方向を使用して、この対象信号がこのトランスミッタから発信されているか、または導体ライン105上に存在する電流などのグラウンド帰路電流であるかが決定される。このトポロジにおいては、この信号方向パラメータには、フィルタがかけられ、したがってこれは、基準搬送波信号と変調された信号との間の位相比較を必要とするさらに従来の方法とは異なり、真の平均を表す。フィルタ602、604、および605は、低域通過特性を有する可能性があり、ディスプレイ114(図1A)を介してこのユーザに提示される信号強度値を緩和するように設計することができる。

40

## 【 0 0 5 7 】

総信号強度信号603は、ライン位置探索システムによって従来提供されているものであ

50

る。当技術分野においてしばしば指摘されてきているように、総信号強度信号603に存在する信号ひずみは、対象導体ラインの深さおよび位置のバイアスされた推定値をもたらす可能性がある。一部の実施形態においては、電磁界ひずみの相対量は、フィルタ604から出力される対象導体ライン信号強度信号と、フィルタ602から出力される総信号強度信号との比較によって決定することができる。総信号強度信号603がフィルタ604から出力される対象導体ライン信号強度と実質的に同じであるときに、この測定値には、ひずみがないとすることが可能である。

【0058】

対象導体ライン104の電磁界強度を表すフィルタ604からの対象導体ライン信号強度信号から、誘導性または容量性の結合に起因した信号漏出の影響を取り除いて、最適化アルゴリズムを使用して、極小に収束する実質的なリスクなしに対象導体ライン104のバイアスされない深さと対象導体ライン104中の電流を計算することが可能であり、このひずみのある総信号強度信号603がこの計算中で使用される場合にこれは該当する可能性がある。レシーバ610中において生成される前述の信号をディスプレイ620に入力することができる。ディスプレイ620は、プロセッサ622およびユーザインターフェース624を含むことができる。プロセッサ622は、例えばこの信号方向および対象導体ライン信号強度信号に基づいて様々なパラメータおよび結果を計算することができる。次いでユーザインターフェース624は、結果をユーザ116に対して表示することができる。

【0059】

例えば、図7は、対象導体ライン104の深さを決定するための幾何学的配置を示している。この紙面から外部に向かって流れ出る対象導体ライン104上の電流 $I_g$ を用いてこのユーザは、任意の基準位置701を設定し、この導体ラインを横切って直角に方向702に向かって歩く。3つの未知数、すなわち電流 $I_g$ 、センターライン位置 $x_l$ 、および深さ $z$ が存在する。フィルタ604からの対象導体ライン信号強度信号の数個から多数の独立な測定値については、このユーザが、例えばディスプレイ620中のプロセッサ622を用いてこの導体ラインを横切って歩くときに自動的に収集される。図7において、これらの測定値の $x$ -位置には、このグラウンド表面に沿った中実のマークによって注釈が付けられ(note)、信号処理技術分野における当業者にはこれらの測定値間の $x$ -増分を任意に小さくすることができ、この使用可能な命令サイクルによってしか制限されないことが明らかである。

【0060】

長い直線的な対象導体ライン104を仮定すると、ひずみのない信号についての信号強度振幅は、次式によって与えられる。

【0061】

【数1】

$$h_n := \frac{I}{\left[ 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(x_n - x_l)^2 + z^2} \right]} \cdot \left( \cos \left( \operatorname{atan} \left( \frac{x_n - x_l}{z} \right) \right) \right)$$

【0062】

式中で $I_g$ は、このケーブル中の知られていない電流の振幅であり、この振幅は、すべての測定値 $h_n$ について一定である。円筒形の電磁界では、 $h_n$ は、(式 $x_n = x_l$ に示されるように)このケーブルに対するこの測定ポイントからの半径に逆比例することに留意されたい。この $x$ -方向の(知られている $x$ 間隔における)グラウンドに沿った一連の振幅測定値だけが知られている。簡単にするために、本発明者らは、座標 $x$ がこのケーブル軸に垂直であるものと仮定することができるが、一部の実施形態においては、電磁界強度測定値を1組の任意の $x$ 、 $y$ 、および $z$ 位置(ここで $y$ は、このケーブルの方向である)において取得できるように、この解析を拡張することができる。一部の実施形態においては、これらの $x$ 、 $y$ 、および $z$ 位置は、位置探索装置110に含まれる位置決定システムによって決定することができる。

10

20

30

40

50



## 【 0 0 6 3 】

図8Aは、知られていない距離だけ分離された2本の埋設された対象導体ライン104および106を示している。この実線は、抵抗性に結合された対象導体中のガルバニック電流を表す。この破線は、平行な導体ライン中に誘導された電流を表し、この平行な導体ラインは、異なる深さの地下にあってもよい。図8Aはまた、図8B中に示されるx-ベクトル補正された電磁界強度プロットの自動生成を可能にする、一実施形態のハンドヘルド位置探索装置110中の主要な測定センサを示している。

## 【 0 0 6 4 】

図8Bは、この電磁界強度の大きさ(点線)、ならびに漏出分離方法からもたらされる同相(破線)成分出力および直交(実線)成分出力を示している。この電磁界強度の大きさは、相互インダクタンスによって電流を流す対象導体と平行導体の両方からの信号から構成される。この信号強度の大きさを使用してこの対象導体ラインの深さおよび位置をベクトル化する場合には、推定エラーが結果として生じることになる。

## 【 0 0 6 5 】

図8Aに示されるように、本発明によるレシーバ410を有するハンドヘルドライン位置探索装置110が、ディスプレイ620に結合され、このディスプレイは、プロセッサ622およびユーザインターフェース624を含んで、この総電磁界強度を表示することができ、この総電磁界強度からこのユーザは、大まかな座標で対象導体ライン104の存在について推論することができる。しかし、この総電磁界強度信号は、導体ライン106の存在によってひずみを受け、この導体ライン106は、誘導性漏出に起因した導体ライン104と同じ方向に電流 $I_1$ を流す。対象導体ライン104および106は、知られていない距離  $x$ だけ分離されている。この図6に示される信号処理レシーバ410中で実装されるような漏出分離方法は、導体ライン104および106から生じるこれらの信号の分離を可能にし、(また基準コイル804によって測定され)、それによって対象導体ライン104の位置探索の推定における改善を可能にする。

## 【 0 0 6 6 】

検出器409中において入力信号401が導き出される基準コイル804に加えて、位置探索装置110は、3-軸の慣性位置追跡システム802と、電子地球コンパス803と、ガイダンスコイル805とを含む可能性がある。それぞれが小さな間隔 $x$ で測定値を提供することができるこれらのデバイスを用いて、一般的に横方向のこの導体ラインの歩行横断を距離の単位で校正される導体ラインに沿った厳密に垂直方向の横断に変換することが可能である。地球コンパス803は、このユーザが辿るべき一般的なヘッディングを提供し、またこの地球コンパスを使用してこの歩行導体ラインを直線経路に戻して補正する。(追跡部に3-軸加速の一体化を行うことにより導き出されるような)慣性位置により、このシステムプロセッサの機能は、(3次元空間における)経路に沿った絶対距離を計算することができるようになる。長い直線的な導体の同心円の電磁界においては、この歩行線が厳密に垂直であるときにはヌル応答を有することになる。したがって、このガイダンスコイルの測定された電磁界強度を使用して、この歩行経路をこの対象パイプまたは対象ケーブルを横切って垂直に補正することができる。

## 【 0 0 6 7 】

明らかに、この対象ケーブルを横切る垂直な経路にこの測定位置を補正する他のこのような手段についても、レーザ距離計と、レーダーまたは超音波位置測定デバイスデバイスと、巻き尺のような簡単な測定ツールを使用して可能である。

## 【 0 0 6 8 】

このようにして、この「ウォークオーバー位置探索(walkover locate)」中の基準コイル804の位置を補正して、それによって図8Bに示すような電磁界強度のプレゼンテーションを可能にすることができる。この横座標 $x$ に沿った位置は、任意の開始位置 $X_{ref}$ を用いたこの導体ラインを横切る垂直な方向を表す。トレース808は、記録された1組の総信号強度信号603から導き出されるような信号強度の全体的な大きさである。トレース809は、記録された1組の信号強度606から導き出されるような、直交復調器の同相出力からの実質的

10

20

30

40

50

にひずみのない信号を表す。慣例によってこの正方向 $y$ は、この対象導体ライン方向のことを意味するので、このトレース809は負であり、図8Aに提示される例におけるように、この電流は、負の $y$ 方向に流れている。この $x$ 軸上の各測定ポイントにおいて、直交復調器406の同相フィルタ616がかけられた同相出力の符号は、この信号方向として解釈される。比較するために、トレース807は、この導体ライン上の横断位置の関数としてのフィルタがかけられた直交出力である。トレース807は、この場合には対象導体ライン104からの位相に関して $90^\circ$ 位相がずれた結合された導体ライン106から発生する信号を表している。

【0069】

$z$ 、 $x_1$ 、および $I_g$ についての同時解法は、非線形最小平均二乗問題である。この解法の一実施形態は、最適化アルゴリズム、例えばLevenberg-Marquardtアルゴリズムを使用し、また3次元中のデータ(知られていない $x_1$ 、 $z$ 、および $I$ )を同時に適合させることである。すべての3つの量の初期条件は、大まかな電磁界情報に基づいて推論される。このLevenberg-Marquardtアルゴリズムは、複数の反復を使用して、これらの量 $|h_n - h_n'|$ の二乗の和を最小にしており、式中で $h_n'$ は、この $x$ 軸に沿った信号強度のこれらの測定値である。

【0070】

(両方の導体からの総電磁界強度を表す)1組の信号強度結果であるトレース808が、式1におけるこれらの測定値として解釈される場合には、このセンターラインエラー810によって示されるようなバイアスされた結果が存在することになる。さらに悪い振る舞いは、この結合された導体ラインの存在の結果として、 $1/r$ 電磁界中におけるひずみに起因したこの悪い1組の値に収束することになることである。しかし、対象導体ライン電磁界強度結果の組であるトレース809がこの最適化ルーチンに対する入力を形成するときには、 $x_1$ 、 $z$ 、および $I_g$ についての良好な振る舞いの同時解法を得ることができ、また良好な収束特性を有することができる。この場合には、バイアスは、センターライン位置または深さ位置に導入されない。

【0071】

本明細書中で説明しているこれらの実施形態は、本発明の単なる実施例にすぎない。この開示の範囲および趣旨に含まれる本発明の他の実施形態についても、本明細書中に開示される本発明の明細書および実行についての考察から、当業者には明らかであろう。この明細書および実施例は、例示的なものにすぎず、限定的ではないものと考えることが意図されている。したがって、本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲によってしか限定されない。

【図面の簡単な説明】

【0072】

【図1A】ライン位置探索装置のシステムの利用を示す図である。

【図1B】特定の導体トポロジにおけるライン位置探索中に生成することが可能な電気回路の一例を示す図である。

【図2】図1Bに示される回路に対する簡略化された等価回路を示す図である。

【図3】図3Aは、図2に示される状況の等価電気回路を概略的に示す図であり、図3Bは、これらの電流信号を示す図である。

【図4】本発明による位置探索装置を示すブロック図である。

【図5】本発明による位置探索装置の実施形態中において利用することができるデジタル位相ロックループを示す図である。

【図6】本発明による位置探索装置の他の実施形態を示す図である。

【図7】(この紙面に向かい、また紙面から外に向かう)たった1本のパイプまたはケーブルを有する地下の位置探索シナリオについての断面図である。

【図8】図8Aおよび図8Bは、知られていない距離だけ分離された2本の埋設された導体ラインのラインの位置と深さの決定を示す図である。

【符号の説明】

【0073】

101... トランスミッタ、102... ジャンクションボックス、103... 領域、104... 対象導体ライン

10

20

30

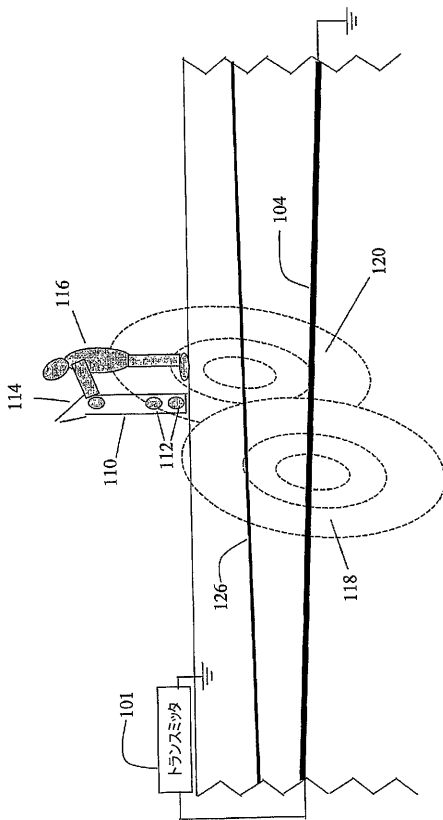
40

50

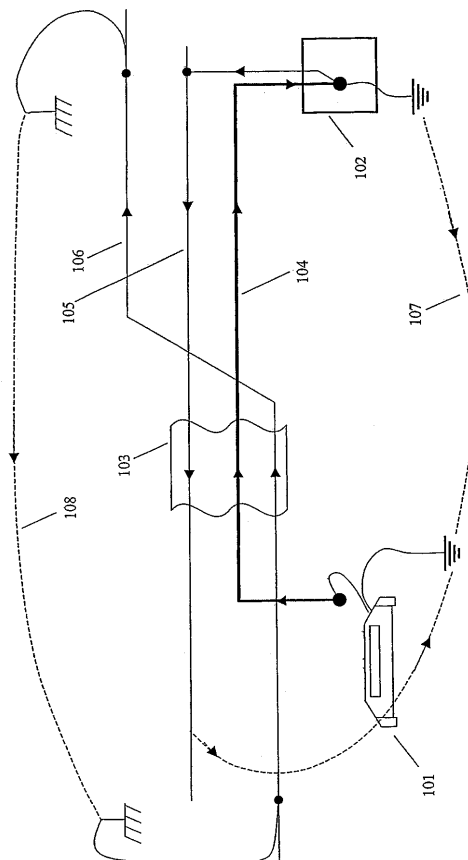
、105,106... 導体ライン、107... アース、108... グラウンド、110... 位置探索装置、112... 検出器、114... ディスプレイ、116... ユーザ、118... 磁界、120... 磁界、126... 導体ライン、301... 相互インダクタンス、401... 入力信号、402... デジタルPLL、403... ダウンサンプラ、404... デジタルPLL、405... アップサンプラ、406... 直交復調器、407... 直交信号、408... 同相信号、409... 検出器、410... レシーバ、501... ミキサ、502... アークタンジェント関数、503... 数値制御発振器、504... 位相エラー信号、505... 差信号、601... FM信号の大きさ、602... フィルタ、603... 総信号強度信号、604... フィルタ、605... フィルタ、606... 対象導体ライン信号強度、610... レシーバ、611... ミキサ、612... アークタンジェント関数ブロック、613... 数値制御発振器、614... ミキサ、615... 直交フィルタ、616... 同相フィルタ、617... フィルタ、620... ディスプレイ、622... プロセッサ、624... ユーザーインターフェース、701... 基準位置、702... 方向、802... 3-軸の慣性位置追跡システム、803... 電子地球コンパス、804... 基準コイル、805... ガイダンスコイル、807,808,809... トレース、810... センターラインエラー

10

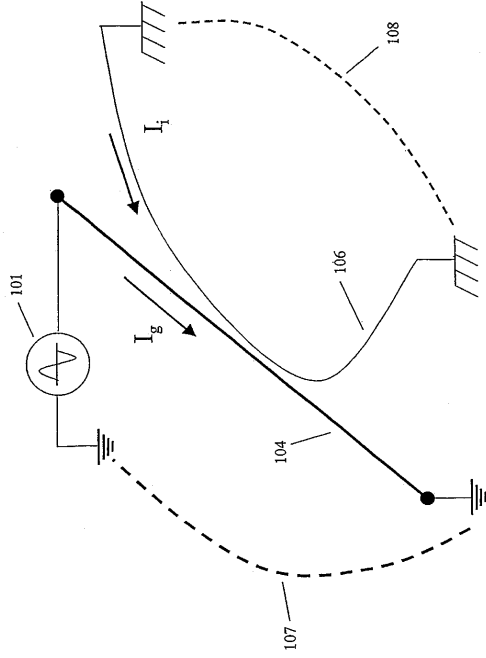
【図1A】



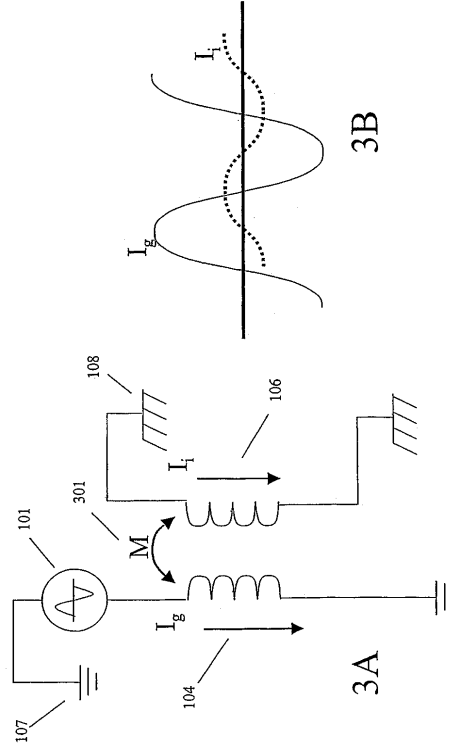
【図1B】



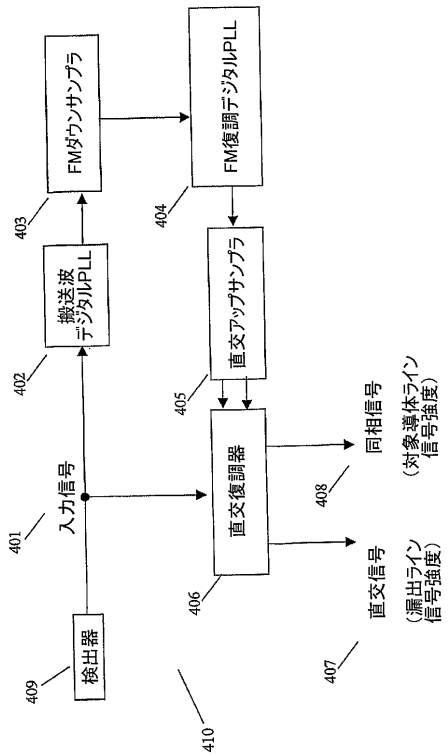
【図2】



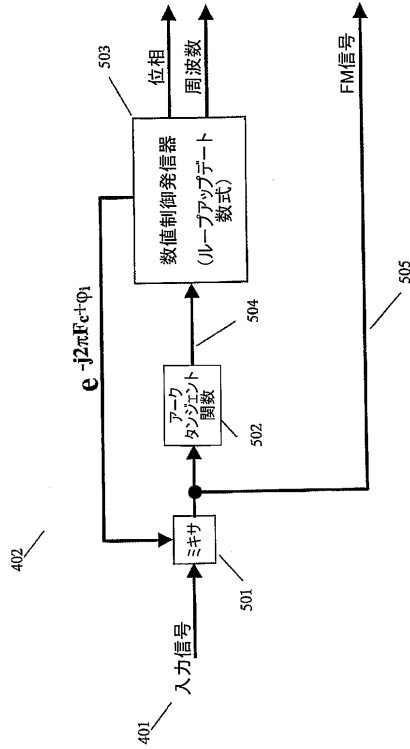
【図3】



【図4】



【図5】





---

フロントページの続き

(72)発明者 スクラップ, フベルト

ドイツ連邦共和国 デー - 9 6 1 0 6 エベム, アダム リーゼ シュトラーセ 1 6

(72)発明者 オーバビー, ジョアン, ディー.

アメリカ合衆国 9 4 0 8 9 カリフォルニア州, サニーベイル, モース アヴェニュー 1 0 6  
3, ナンバー 2 5 - 3 0 1

審査官 田中 秀直

(56)参考文献 特開平 0 1 - 2 2 7 0 8 8 ( J P , A )

特開 2 0 0 2 - 1 8 9 0 8 3 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)

G01V 3/00-3/12