

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4141502号
(P4141502)

(45) 発行日 平成20年8月27日 (2008. 8. 27)

(24) 登録日 平成20年6月20日 (2008. 6. 20)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 B 7/00 (2006. 01)
A 6 1 B 5/06 (2006. 01)G O 1 B 7/00 R
A 6 1 B 5/06

請求項の数 15 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平9-534204
 (86) (22) 出願日 平成9年3月18日 (1997. 3. 18)
 (65) 公表番号 特表2000-508067 (P2000-508067A)
 (43) 公表日 平成12年6月27日 (2000. 6. 27)
 (86) 国際出願番号 PCT/IL1997/000100
 (87) 国際公開番号 WO1997/036143
 (87) 国際公開日 平成9年10月2日 (1997. 10. 2)
 審査請求日 平成16年3月17日 (2004. 3. 17)
 (31) 優先権主張番号 60/014, 084
 (32) 優先日 平成8年3月26日 (1996. 3. 26)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者

バイオセンス・ウェブスター・インコーポ
 レイテッド
 アメリカ合衆国、 9 1 7 6 5 カリフォ
 ルニア州、 ダイヤモンド・バー、 ダイ
 アモンド・キャニオン・ロード、 3 3 3
 3

(74) 代理人

弁理士 加藤 公延

(72) 発明者

ゴバリ, アサフ
 イスラエル国、 2 6 2 7 2 キリヤット・
 ハイム、ドライブ・ツィファー・ストリー
 ト 2 1

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 目的物を追跡するための装置および方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁場を発生することにより目的物を追跡するための装置において、
 複数の発信機コイルと、
 前記発信機コイルに連結されて、複数の駆動周波数で磁場を発生するように当該コイルを
 駆動する駆動回路であって、前記複数の発信機コイルのそれぞれは、当該駆動回路の駆動
 により単一で個別の駆動周波数において磁場を発生させる、駆動回路と、
 前記複数の発信機コイルの少なくとも1個に付属して、その他のコイルにより発生される
 磁場に応じて当該少なくとも1個のコイルにより発生される磁場を概ね消去するための回
 路と、
 を具備する装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の装置において、
 前記消去するための回路は 1 個以上の調整コイルを備える、装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の装置において、
 前記 1 個以上の調整コイルは前記複数の発信機コイルの少なくとも 1 個と絡み合っている
 、装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の装置において、

前記駆動回路が、前記複数の発信機コイルの少なくとも 1 個に付属する前記 1 個以上の調整コイルの 1 個を前記複数の発信機コイルの他の 1 個における個別の駆動周波数においてさらに駆動する、装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の装置において、

前記消去するための回路は適応電流供給源を含む、装置。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の装置において、

前記適応電流供給源は、前記複数の発信機コイルの少なくとも 1 個に前記複数の発信機コイルの他の 1 個における個別の駆動周波数において電流を発生させる、装置。

10

【請求項 7】

請求項 6 に記載の装置において、

前記消去するための回路は、前記適応電流供給源に連結された電流アナライザをさらに含む、装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の装置において、

前記電流アナライザは、前記複数の発信機コイルの少なくとも 1 個に前記複数の発信機コイルの他の 1 個における個別の駆動周波数において流れる寄生電流を測定して、前記適応電流供給源が発生させる電流を調節することにより当該寄生電流を最小にする、装置。

20

【請求項 9】

請求項 1 に記載の装置において、

前期駆動回路は、前記複数の発信機コイルの各々においてその単一で個別の駆動周波数における一定電流を維持する、装置。

【請求項 10】

所望の狭い周波数帯域幅を有する磁場を発生することにより目的物を追跡するための方法において、

所望の狭い周波数帯域幅において所与の周波数における電流で 1 個の発信機コイルを駆動する工程と、

1 個以上の不所望の周波数において誘導された電流成分を測定するために前記コイル中に流れる電流を解析する工程と、

30

前記発信機コイルを前記 1 個以上の不所望周波数の補正電流で適応駆動する工程であって、当該補正電流成分は前記 1 個以上のそれぞれの不所望周波数において測定される誘導電流成分に対して振幅がほぼ同じであるが位相が反対である、工程と、
を具備する方法。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の方法において、

追跡する目的物の近傍に複数で個別の所望の狭い周波数帯域幅を有する複数の磁場を発生させる工程と、

目的物上の位置決め可能な部位に 1 個以上のセンサーコイルを配置する工程と、

前記磁場に応じて各センサーコイルにより発生された信号を受け取る工程と、

40

前記信号を解析して目的物の位置および方向の座標を決定する工程と、

を具備する方法。

【請求項 12】

目的物を追跡するための方法において、

複数で個別の周波数における電流で複数の発信機コイルを駆動して追跡する目的物の近傍に磁場を発生させる工程と、

目的物上の位置決め可能な部位に 1 個以上のセンサーコイルを配置する工程と、

前記磁場に応じて各センサーコイルにより発生された信号を受け取る工程と、

前記信号を解析して目的物の未補正の位置および方向の座標を決定する工程と、

前記複数の発信機コイル間の相互インダクタンスによる誤差を考慮して当該位置および方

50

向の座標を補正する工程と、
を具備する方法。

【請求項 1 3】

請求項 1 2 に記載の方法において、

前記位置および方向の座標を補正する工程は、

相互インダクタンスにより目的物の未補正の位置において発生される寄生磁場を決定する工程と、

前記寄生磁場に応じて各センサーコイルにより発生される寄生信号成分を計算する工程と、

各センサーコイルから受け取った信号から前記寄生信号成分を差し引くことにより補正された信号を計算する工程と、

前記補正された信号を解析して補正された位置および方向の座標を決定する工程と、
を具備する方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載の方法において、

前記寄生磁場を決定する工程は、複数の発信機コイルに流れる電流を解析して不所望周波数における誘導電流成分を測定することを含む、方法。

【請求項 1 5】

請求項 1 3 に記載の方法において、

前記寄生磁場を決定する工程は、複数の発信機コイル間の相互インダクタンスを理論的に計算することを含む、方法。

【発明の詳細な説明】

本出願は本明細書において参考文献として含まれる 1 9 9 6 年 3 月 2 6 日出願の米国仮特許出願第 6 0 / 0 1 4 , 0 8 4 号に基づく恩典を主張する。

発明の技術分野

本発明は磁場を発生し、かつ、検出するための装置に一般に関するものであり、特に、目的物の位置および方向を追跡するための非接触式電磁的方法および装置に関する。

発明の背景

非接触式電磁追跡システムは当該技術分野の広範な用途範囲において周知である。例えば、米国特許第 4 , 0 5 4 , 8 8 1 号は目的物の近くに電磁場を発生するための 3 個のコイルを用いる追跡システムを記載している。これら 3 種の発生された場は時間、周波数または位相の開ループ多重化により互いに区別される。さらに、3 個の直交センサーコイルを流れる信号電流が繰返し演算方法に基づく目的物の位置決定のために用いられる。

また、本明細書において参考文献として含まれ、本出願の出願人を出願人とする 1 9 9 3 年 7 月 2 0 日出願の米国特許第 5 , 3 9 1 , 1 9 9 号は医療プローブまたはカテーテルに関する三次元情報を発生するためのシステムを記載している。この場合、センサーコイルがカテーテル内に配置されて、外部的に加えられる磁場に応じて信号を発生する。これらの磁場は、既知の相互離間位置における外部規準フレームに固定される 3 個の発信機 (radiator) コイルにより発生される。これら発信機コイルによる場に応じて発生されるそれぞれの信号の振幅が検出されてセンサーコイルの位置計算に用いられる。好ましくは、各発信機コイルは他の発信機コイルとは別の既知周波数において場を発生する駆動回路により駆動され、これによって、センサーコイルにより発生される信号が異なる発信機コイルに対応する成分に周波数により分離される。

また、本明細書において参考文献として含まれ、本出願の出願人を出願人とする 1 9 9 5 年 1 月 2 4 日出願の未公開国際特許出願等第 P C T / U S 9 5 / 0 1 1 0 3 号はカテーテル先端部に関する 6 成分の位置および方向情報信号を発生するシステムを記載している。このシステムはカテーテルにおいて位置決め可能な位置、例えば、その先端部近傍の複数の非同心状センサーコイルと外部基準フレーム内に固定された複数の発信機コイルを使用する。これらのコイルは発信機コイルにより発生された磁場に応じて信号を発生し、その信号によって 6 種類の位置および方向の座標成分の計算が可能になる。上記 ' 5 3 9 号特

10

20

30

40

50

許出願の場合のように、発信機コイルは、例えば、1000Hz、2000Hzおよび3000Hzのように、それぞれ異なる周波数において同時に動作する。

上記の追跡システムは位置応答信号を周波数成分に分離することに依存しており、そのような各成分は既知の狭い帯域周波数を発信する既知の位置における単一の発信機コイルに対して特異的に対応するように考えられる。しかしながら、実際には、上記発信機コイルは例えば相互誘導作用によって所望の帯域幅外の周波数においても磁場を発生し、これらの相互誘導された場によって、追跡している目的物の位置の決定に誤差が生じる。

発明の概要

本発明の目的は目的物の追跡精度を高めるために目的物の追跡システムに用いられる改善された電磁発信機コイルとそのための駆動回路を提供することである。

10

本発明の別の目的は磁場発生コイルと、これに付随して狭い帯域幅の周波数領域を有する場を発生する駆動回路を提供することである。

本発明の一態様において、狭められた場の帯域幅が異なる周波数において場を発生する複数のコイル間の相互誘導作用を消去することにより達成される。

本発明のさらに別の目的は相互誘導作用を考慮した位置決定補正により、目的物追跡システムにより決定される位置精度を改善するための方法を提供することである。

本発明の好ましい実施形態においては、複数の発信機コイルが複数のそれぞれ異なる駆動周波数において磁場を発生する。

本発明の好ましい実施形態においては、各発信機コイルの近傍に1個以上の付加的な調整コイルが備えられている。好ましくはこれらの調整コイルは発信機コイルの巻き線と互いに絡み合っている(interwound)いる。各発信機コイルの調整コイルは、駆動回路により駆動されて振幅および周波数においてほぼ等しく他の発信機コイルにより当該発信機コイルの軸に沿って誘導される磁場成分に反対方向の磁場を発生する。

20

本発明の他の好ましい実施形態においては、駆動回路が各コイルに付随して駆動電流をその中に生じる。この電流は、各コイルに対応して、そのコイルの特定の駆動周波数における主成分と他の周波数における二次的成分から構成されている。これらの二次的成分は振幅および周波数においてほぼ等しく他の発信機コイルにより発生される磁場により対応するコイル内に誘導される電流に対して位相が180度ずれているために、その誘導電流による作用をほぼ相殺することができる。

本発明のそのような好ましい実施形態の一例においては、駆動回路が感知装置を備えており、この装置が特定コイルにおける誘導電流の振幅、周波数および位相を計測する。この駆動回路はさらに適応電流供給源を備えており、この装置が上記感知装置により計測された振幅、周波数および位相データを受けとって、当該誘導電流の作用を相殺するために位相ずれ二次電流成分を発生する。

30

本発明のさらに別の実施形態においては、駆動回路が理想電流供給源を備えており、この装置が各コイルにおけるその特定駆動周波数において一定電流を維持するように機能する。

本発明の他の好ましい実施形態においては、目的物追跡システムが追跡される目的物上の位置決め可能な点に近接する1個以上のセンサーコイルと、複数の発信機コイルを備えており、これらの発信機コイルが駆動回路によって駆動される時に目的物の近傍においてそれぞれの異なる駆動周波数で磁場を発生する。センサーコイルはそれらの磁場に応じて信号を発生し、それらの信号が信号処理回路に受け取られてコンピュータ等の処理装置により解析される。これらの信号は各発信機コイルの駆動周波数において当該コイルから発生される磁場に応じる位置信号成分と、発信器コイル間の相互誘導により生じる磁場に応じる寄生信号成分を含む。コンピュータは、好ましくは、以下に述べるような繰返し法を用いて、信号処理することにより位置信号成分を寄生信号成分から分離して、当該位置信号成分を目的物の位置決定に用いる。

40

このような本発明の好ましい実施形態の一例においては、位置成分と寄生成分を含む信号が目的物の位置および方向の座標を概算するために用いられる。次に、コイル間の相互誘導作用により発信機コイルによりその位置において発生される磁場の強度が理論的に計算

50

されて、寄生成分の理論的強度を決定するために用いられる。その後、補正された信号が元信号から理論的な寄生成分強度を差し引くことにより得られ、これらの補正信号が目的物の補正された位置および方向を計算するために用いられる。これらの工程はその補正された位置および方向が収斂するまで反復的に (iteratively) 繰返される。

本発明の好ましい実施形態においては、当該技術分野において既知の方法を用いて、目的物追跡システムにおける発信機コイル間の相互インダクタンスが経験的測定方法により決定できる。例えば、一対の発信機コイルの相互インダクタンスが、第1のコイルの駆動回路をその一定駆動周波数において磁場を発生するように駆動し、次いで、第2のコイルに流れる電流を計測することにより決定される。その後、これらの相互インダクタンスを用いて寄生成分の理論的強度を算出して、上述の方法に従って補正信号を計算する。また、

10

上記のように決定した相互インダクタンスを用いて駆動回路を制御して、相互誘導された電流に対して180度位相のずれた駆動電流を発生する。

従って、本発明の好ましい実施形態によれば、複数の発信機コイルとこれらに連結する駆動回路から成る磁場を発生するための装置が提供でき、当該駆動回路がコイルを駆動して複数の駆動周波数で磁場を発生させ、各発信機コイルが概ね単一の駆動周波数において場を発生する。

好ましくは、上記磁場を発生するための装置は、上記複数の発信機コイルの少なくとも1個に付属して当該少なくとも1個のコイルがその他のコイルにより発生される磁場に応じて発生する磁場を概ね消去するための回路を備えている。

好ましくは、上記磁場を消去するための回路は1個以上の調整コイルを備えており、当該調整コイルは上記複数の発信機コイルの少なくとも1個と互いに絡み合っているのが好ましい。さらに、上記駆動回路は上記複数の発信機コイルの少なくとも1個に付属する1個以上の調整コイルの1個を当該複数の発信機コイルの他の1個の各駆動周波数において駆動するのが好ましい。

20

好ましくは、上記磁場を消去するための回路は適応電流供給源を備えており、当該電流供給源は上記複数の発信機コイルの少なくとも1個の中に当該複数の発信機コイルの他の1個の各駆動周波数において電流を発生する。

好ましくは、上記回路はさらに上記適応電流供給源に連結する電流アナライザを備えており、この電流アナライザは上記複数の発信機コイルの少なくとも1個の中に当該複数の発信機コイルの他の1個の各駆動周波数において流れる寄生電流を測定して、適応電流供給

30

源を用いて発生した電流を調節することによりその寄生電流を最小にする。

さらに、本発明の好ましい実施形態の一例によれば、所望の狭い周波数帯域幅を有する磁場を発生するための方法が提供でき、当該方法は、所望周波数において電流で発信機コイルを駆動する工程と、当該コイルに流れる電流を解析して1個以上の不所望周波数の誘導電流成分を測定する工程と、当該1個以上の不所望周波数の補正電流成分で発信機コイルを適応駆動する工程とから成り、当該補正電流成分が1個以上の不所望周波数の各々において上記誘導電流成分に対してほぼ同一振幅で位相が反対である。

また、本発明の好ましい実施形態の一例によれば、目的物を追跡するための方法が提供でき、当該方法は、前記方法に従って、追跡する目的物の近傍に複数の所望の狭い周波数帯域幅をそれぞれ有する複数の磁場を発生する工程と、目的物上の位置決め可能な部位に1

40

個以上のセンサーコイルを配置する工程と、上記磁場に応じて各センサーコイルにより発生された信号を受け取る工程と、当該信号を解析して目的物の位置および方向の座標を決定する工程とから成る。

さらに、本発明の好ましい実施形態の一例によれば、目的物を追跡するための方法が提供でき、当該方法は、複数の周波数において電流で複数の発信機コイルをそれぞれ駆動して追跡する目的物の近傍に磁場を発生する工程と、目的物上の位置決め可能な部位に1個以上のセンサーコイルを配置する工程と、上記磁場に応じて各センサーコイルにより発生された信号を受け取る工程と、当該信号を解析して目的物の未補正の位置および方向の座標を決定する工程と、上記複数の発信機コイル間の相互インダクタンスによる誤差を考慮して当該位置および方向の座標を補正する工程とから成る。

50

好ましくは、上記位置および方向の座標は、相互インダクタンスにより目的物の未補正の位置において発生される寄生磁場を決定する工程と、当該寄生磁場に応じて各センサーコイルにより発生される寄生信号成分を計算する工程と、各センサーコイルから受け取った信号から寄生信号成分を差し引くことにより補正された信号を計算する工程と、当該補正された信号を解析して補正された位置および方向の座標を決定する工程により補正される。

好ましくは、上記寄生磁場を決定する工程は、複数の発信機コイルに流れる電流を解析して不所望周波数の誘導電流成分を測定する工程から成る。

また、上記寄生磁場を決定する工程は、複数の発信機コイル間の相互インダクタンスを理論的に計算する工程から成る。

従って、本発明の好ましい実施形態の一例によれば、磁場を発生するための装置が提供でき、当該装置は、

複数の発信機コイルと、

これらに連結する駆動回路を備えており、当該駆動回路は各コイルを駆動して複数の駆動周波数で磁場を発生し、

上記複数の発信機コイルの各々が概ね単一の駆動周波数でそれぞれ場を発生する。

好ましくは、上記装置は複数の発信機コイルの少なくとも1個に付属する回路を備えており、当該回路はその少なくとも1個のコイルにより発生される磁場をその他のコイルにより発生される場に応じて概ね消去する。この回路は、好ましくは、1個以上の調整コイルを備えており、当該コイルは上記複数のコイルの少なくとも1個と絡み合っているのが好ましい。

好ましくは、上記駆動回路はさらに上記複数の発信機コイルの少なくとも1個に付属する1個以上の調整コイルの1個を上記複数の発信機コイルの他の1個の各駆動周波数で駆動する。

好ましくは、上記消去するための回路は適応電流供給源を備えており、当該電流供給源は上記複数の発信機コイルの少なくとも1個において当該複数の発信機コイルの他の1個の各駆動周波数で電流を発生する。

好ましくは、上記消去するための回路はさらに上記適応電流供給源に連結する電流アナライザを備えており、当該電流アナライザは上記複数の発信機コイルの少なくとも1個において当該複数の発信機コイルの他の1個の各駆動周波数で流れる寄生電流を測定して、上記適応電流供給源を用いて発生した電流を調節することにより当該寄生電流を最小にする。

好ましくは、上記駆動回路は上記複数の発信機コイルの各々においてそれぞれの単一の駆動周波数で一定電流を維持するように構成されている。

さらに、本発明の好ましい実施形態の一例によれば、所望の狭い周波数帯域幅を有する磁場を発生するための方法が提供でき、当該方法は、

所望の狭い周波数帯域幅において一定周波数において電流で1個の発信機コイルを駆動する工程と、

1個以上の不所望の周波数において誘導された電流成分を測定するために上記コイル中に流れる電流を解析する工程と、

上記発信機コイルを上記1個以上の不所望周波数の補正電流で適応駆動する工程とから成り、当該補正電流成分が上記1個以上のそれぞれの不所望周波数において測定される誘導電流成分に対して振幅がほぼ同じであるが位相が反対である。

また、本発明の好ましい実施形態の一例によれば、目的物を追跡するための方法が提供でき、当該方法は、前記方法に従って、追跡する目的物の近傍に複数の所望の狭い周波数帯域幅をそれぞれ有する複数の磁場を発生する工程と、

目的物上の位置決め可能な部位に1個以上のセンサーコイルを配置する工程と、

上記磁場に応じて各センサーコイルにより発生された信号を受け取る工程と、

当該信号を解析して目的物の位置および方向の座標を決定する工程とから成る。

さらに、本発明の好ましい実施形態の一例によれば、目的物を追跡するための方法が提供

10

20

30

40

50

でき、当該方法は、
複数の周波数において電流で複数の発信機コイルをそれぞれ駆動して追跡する目的物の近傍に磁場を発生する工程と、
目的物上の位置決め可能な部位に１個以上のセンサーコイルを配置する工程と、
上記磁場に応じて各センサーコイルにより発生された信号を受け取る工程と、
当該信号を解析して目的物の未補正の位置および方向の座標を決定する工程と、
上記複数の発信機コイル間の相互インダクタンスによる誤差を考慮して当該位置および方向の座標を補正する工程とから成る。

好ましくは、上記位置および方向の座標は、
相互インダクタンスにより目的物の未補正の位置において発生される寄生磁場を決定する工程と、

10

当該寄生磁場に応じて各センサーコイルにより発生される寄生信号成分を計算する工程と、
各センサーコイルから受け取った信号から寄生信号成分を差し引くことにより補正された信号を計算する工程と、
当該補正された信号を解析して補正された位置および方向の座標を決定する工程により補正される。

好ましくは、上記寄生磁場は、複数の発信機コイルに流れる電流を解析して不所望周波数の誘導電流成分を測定することにより決定される。

また、上記寄生磁場は、複数の発信機コイル間の相互インダクタンスを理論的に計算することにより決定される。

20

【図面の簡単な説明】

本発明の以下の好ましい実施形態を下記の添付図面に基づいて詳細に説明する。

図１は本発明の好ましい一実施形態に従って動作する目的物追跡システムの概略図である。

図２は本発明の好ましい一実施形態に従う発信機コイルの概略図である。

図３は本発明の別の好ましい実施形態に従うコイル駆動回路の概略図である。

図４は本発明の好ましい一実施形態に従って目的物を追跡する方法の概略的フローチャート図である。

好ましい実施形態の詳細な説明

30

図１は本発明の好ましい実施形態に従って動作する、医療用カテーテルのような、プローブ２０を追跡するためのシステムを概略的に示している。本明細書に参考文献として含まれるBen-Haimに付与された米国特許第５，３９１，１９９号および本出願と出願人を同一にする１９９５年１月２４日出願の未公開国際特許出願第ＰＣＴ／ＵＳ９５／０１１０３号に記載されるように、このシステムは複数の発信機コイル２２，２４および２６を備えている。これらのコイルはプローブ２０の近傍においてそれぞれの周波数 f_1 ， f_2 および f_3 でそれぞれの磁場 H_1 ， H_2 および H_3 を発生する。このプローブはさらにセンサーコイル２７，２８および２９を備えており、これらのセンサーは各磁場に応じて電流信号を発生する。これらの信号はプローブ２０の位置および方向によって決まるそれぞれの振幅を有する各周波数 f_1 ， f_2 および f_3 における成分から構成されている。

40

このシステムはさらに各発信機コイルに連結する駆動回路３０，３２および３３を備えており、当該回路はコイル２２，２４および２６をそれぞれの駆動周波数 f_1 ， f_2 および f_3 で駆動する。好ましくは、センサーコイル２７，２８および２９により発生する信号は信号処理回路３４によって処理されて、コンピュータ３６によりプローブ２０の位置および方向の座標を計算するために用いられる。

簡明のために、図１では、３個の発信機コイル２２，２４および２６と３個のセンサーコイル２７，２８および２９がプローブ２０内に示されている。しかしながら、本発明が２個，４個またはそれ以上の発信機コイルと１個，２個またはそれ以上のセンサーコイルから成る追跡システムにも同様に適用可能であることが理解されると考える。さらに、本発明は他の種類の目的物の追跡にも使用可能である。

50

相互インダクタンスの作用が無い場合は、周波数 ω_1 においてセンサーコイル 27, 28 および 29 により発生される信号は各センサーコイルのそれぞれの軸に沿うプローブ 20 における場 H_1 による磁束放射 (projection) の時間的導関数の振幅に比例する。同様に、周波数 ω_2 および ω_3 で発生される信号は H_2 および H_3 の放射に比例する。このような単一発信機コイルによる磁場の方向と振幅は当該技術分野において既知の方法により容易に計算できるので、単一の発信機コイルによるセンサーコイル信号を当該発信機コイルに対するセンサーコイルの距離と方向に直接関係付けることが可能になる。

しかしながら、実際は、発信機コイル 22 により発生される磁場 H_1 はプローブ 20 の直ぐ近傍の空間内に限られておらず、コイル 24 および 26 の近傍においても 0 でない振幅で存在する。当該技術分野において周知のように (例えば、Lorrain および Corson の電磁場および電磁波 (Electromagnetic Fields and Waves) 第 2 版、1970 年、第 343 頁 ~ 第 345 頁参照)、コイル 22 に流れる電流 I_1 によりコイル 24 を通る磁束 Φ_2 は、

$$\Phi_2 = M_{12} I_1 \quad (1)$$

と表すことができ、式中の M_{12} はコイル 22 および 24 の相互インダクタンスである。この時、コイル 24 に誘導される電圧は、

$$V_{12} = -M_{12} \frac{dI_1}{dt} \quad (2)$$

となる。

ここで、コイル 24 のインダクタンスが L でその抵抗値がゼロとすると、コイルにおける全電圧値は、

$$V_2 = -L \frac{dI_2}{dt} \quad (3)$$

となる。

駆動回路 30 および 32 はコイル 22 および 24 のそれぞれの周波数 ω_1 および ω_2 正弦波電流により当該コイル 22 および 24 を駆動するのが好ましいから、以下の式 (4) により与えられる振幅を有する付加的な電流 I_{12} がコイル 24 に周波数 ω_1 で流れる。

$$I_{12} = \frac{M_{12} \omega_1}{L \omega_2} I_1 \quad (4)$$

この発信機コイル 24 を流れる電流 I_{12} は周波数 ω_1 において発生する寄生磁場 H_{12} を生じ、この磁場の振幅は ω_1 / ω_2 である時に M_{12} / L の比にほぼ比例する。また、 M_{12} は幾何学的係数および各コイルの巻き線数によって決まる。例えば、互いに距離 R で離間する半径 a の 2 個の同一平面ループの場合 (J.D.Jackson の Classical Electrodynamics、第 2 版、第 263 頁参照)、

$$M_{12} = \mu_0 \pi a^2 \left[\left(\frac{a}{R} \right)^3 + \frac{9}{4} \left(\frac{a}{R} \right)^5 + \frac{375}{64} \left(\frac{a}{R} \right)^7 + \dots \right] \quad (5)$$

単位長さ当たり n_1 および n_2 の巻き線から成り、ほぼ同一の長さ l で内径 r_1 および外径 r_2 であるコイル 22 および 24 において、磁場 H_1 がコイル 24 の全ての巻き線にわたってほぼ均一である場合に、上式 (5) を調整してこれらのコイルにおける相互インダクタンスが、

$$M_{12} = \mu_0 \pi n_1 n_2 l^2 R^2 \left[\frac{1}{5} \left(\frac{r_2^5 - r_1^5}{R^5} \right) + \frac{9}{28} \left(\frac{r_2^7 - r_1^7}{R^7} \right) + \dots \right] \quad (6)$$

のように得られる。

従って、例えば、米国特許第 5,391,199 号および未公開国際特許出願第 PCT/US95/01103 号に記載されるようなコイル 22 および 24 が 2.5 ミリの内径と約 6.0 ミリの外径を有し互いに 3.9 センチの距離で離間する追跡システムにおいては、 $I_{12} = 0.0025 (\omega_1 / \omega_2) I_1$ となり、この値は $\omega_1 = 2 \omega_2$ の場合に 0.5 % の誤差に

10

20

30

40

50

なる。従って、周波数 f_1 においてセンサーコイル 27, 28 および 29 により発生される信号は H_1 による位置信号成分と H_{12} による寄生信号成分の両方を含むことになる。このことによって、プローブ 20 の位置決定において 1 % までの誤差が生じることになる。さらに、周波数 f_1 における付加的な寄生信号成分はコイル 26 と他の発信機コイルのいずれかにおける相互インダクタンスによっても生じる。同様に、周波数 f_2 および f_3 におけるセンサーコイル信号もまた寄生成分を含むことになる。

このため、図 2 に示す本発明の好ましい実施形態においては、1 個以上の調整コイル 40 が発信機コイル 24 に近接配置されており、好ましくは、絡み合っている。駆動回路 32 はコイル 24 を当該コイルの駆動周波数 f_2 において電流 I_2 で駆動する。回路 32 はさらに周波数 f_1 において電流 $I_2^{(1)}$ で調整コイル 40 を駆動する。この電流 $I_2^{(1)}$ は磁場 $H_2^{(1)}$ をコイル 24 の軸に沿って発生し、この磁場は磁場 H_{12} に対して振幅が等しく位相が 180 度ずれている。これにより、相互誘導された電流 I_{12} が場 $H_2^{(1)}$ により誘導される等しい反対方向の電流によって概ね相殺される。

簡明のため、図 2 および上述の説明は単一周波数において駆動される単一の調整コイルのみに関するものであるが、本発明の好ましい実施形態においては、コイル 22, 24 および 26 のそれぞれが少なくとも 1 個の調整コイルと絡み合っており、適当な電流および周波数で駆動されて他のコイルによる相互誘導される電流を概ね相殺できることが理解されるところである。

図 3 は本発明の別の好ましい実施形態を概略的に示しており、同実施形態においては、駆動回路 32 がコイル 24 を駆動して相互誘導される電流を概ね相殺するように構成されている。すなわち、回路 32 はコイル 24 をその駆動周波数 f_2 で駆動するシステム電流供給源 50 と、電流アナライザ 54 により決められた振幅と位相を有し、コイル 22 および 26 のそれぞれの周波数 f_1 および f_3 でコイル 24 を駆動する電流を発生する適応電流供給源 52 を備えている。この電流アナライザはコイル 24 における電流を当該技術分野において既知の方法でサンプリングして、そのサンプリングした電流を周波数成分に分離する。さらに、アナライザ 54 は適応電流供給源 52 を用いて発生される f_1 および f_3 の電流の振幅および位相を調節して、コイル 24 からサンプリングされる電流において周波数 f_1 および f_3 で感知される成分を最小化する。すなわち、一般的に、発生される f_1 および f_3 の電流は相互誘導電流 I_{12} および I_{32} に対してほぼ同等の振幅で位相が 180 度ずれている。さらに、コイル 22 および 26 もまた同様の適応駆動回路により駆動されることが理解できるところである。

本発明の他の好ましい実施形態においては、信号処理回路 34 とコンピュータ 36 が発信機コイル間の相互インダクタンスによりセンサーコイル 27, 28 および 29 によって発生される寄生信号成分の振幅および位相を決定するように機能して、当該寄生成分を考慮してプローブ 20 の位置決定を補正する。

このような本発明の好ましい実施形態の一例においては、各コイルによる磁場の振幅および位相は調和検出法によって検出できる。すなわち、この方法によれば、信号をサンプリングして、各信号の一定整数周期、すなわち、 $2\pi f_s / \omega = N$ が測定される。この式中、 f_s はサンプリング周波数であり、 N はサンプリング点の数である。この方法においては、信号サンプリングが磁場の周波数に同期している。すなわち、 N が小さな数であれば、サンプリングは磁場に同期しているのが好ましく、周期的な磁場のピーク値において生じるように同期するのが好ましい。このようにして周波数 f において得られる信号は、

$$U = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A \sin(n\omega f_s + \phi) \sin(2\pi n/N) = A \cos \phi \quad (7)$$

$$V = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A \sin(n\omega f_s + \phi) \cos(2\pi n/N) = A \sin \phi$$

のように表現できる。

相互インダクタンスの存在下においては、j 番目のセンサーコイルにより発生される信号は、発信機コイル周波数 ω_j において以下のようなそれぞれの振幅 U_{ij} および V_{ij} を有する各周波数成分から構成されている。

$$U_{ij} = A_{ij} \cos \phi_j + \sum_{k \neq i}^3 A_{ijk}^m \cos \phi_{ik}^m \quad (8)$$

$$V_{ij} = A_{ij} \sin \phi_j + \sum_{k \neq i}^3 A_{ijk}^m \sin \phi_{ik}^m \quad (9)$$

10

上式 (8) および式 (9) において、 A_{ij} および ϕ_j は、相互インダクタンスの作用を無視した、j 番目の発信機コイルの磁場による周波数 ω_j でセンサーコイル 28 (ここでは、j 番目のセンサーコイルとして定められる) から受け取られる位置信号成分における振幅と位相をそれぞれ表している。さらに、 A_{ijk}^m および ϕ_{ik}^m は i 番目および k 番目の発信機コイル間の相互インダクタンスによる周波数 ω_j で j 番目のセンサーコイルにより発生される寄生信号成分のそれぞれの振幅と位相である。

センサーコイル 27, 28 および 29 とプローブ 20 の位置を正確に決定するために、図 4 に示す方法を用いてコイルから受け取った信号を処理するのが好ましい。最初 (60) に、信号を、調和検出法のような当該技術分野において知られる方法を用いて、周波数 ω_1, ω_2 および ω_3 における成分 U_{ij} および V_{ij} に分離する。次に、相互インダクタンスの作用が無視できる、すなわち、全ての A_{ijk}^m がゼロであるとして、これらの信号の振幅 A_{ij} を決定 (62) する。発信機コイルのみによって決まる位相 ϕ_j および ϕ_{ik}^m をそれぞれの発信機コイルの位相を計算することによって導き出す (64)。次いで、振幅 A_{ij} を用いてコイル 27, 28 および 29 の位置および方向を、例えば、未公開国際特許出願第 PCT/US95/01103 号に記載されるように推定する (66)。

20

推定した各センサーコイルの位置について A_{ijk}^m の理論値を計算する (68)。この計算を行なうために、発信機コイル間の相互インダクタンスにより発生する寄生磁場 H_{ik} を各センサーコイルの推定された位置において決定する。これらの寄生磁場は、各センサーコイルの軸に沿う寄生磁場の放射に基づいて、発信機コイルの座標フレームからセンサーコイルの座標フレームに変換される。この場の放射は以下の関係式を用いて各センサーコイルにより発生される寄生信号成分の理論的振幅を計算するために用いられる。

30

$$A_{ijk}^m = \sum_{p=1}^3 M_{jp} \bar{A}_{ipk}^m \quad (10)$$

上式中、

$$\bar{A}_{ipk}^m$$

の 3 個の値は発信機コイルの基準座標フレームにおける理論的な信号振幅値であり、 M_{jp} は方向マトリクスの各成分である。

40

各センサーコイルの位置における寄生磁場 H_{ik} の振幅および方向を決定するために種々の方法を使うことができる。本発明の好ましい一実施形態においては、コイル間の相互インダクタンスおよび結果として生じる磁場を当該技術分野において周知の方法を用いて幾何学的考察に基づいて理論的に計算する。また、別の好ましい実施形態においては、一対の発信機コイルの相互インダクタンスを、当該コイルの一方の駆動回路をその駆動周波数で磁場を発生するように起動して、その周波数において他の一方のコイルに流れる電流を測定することにより決定する。さらに、これらの測定した相互インダクタンスを用いて、上述の説明のように、結果として生じる寄生磁場を計算する。

最後に、式 (8) および式 (9) に係数 A_{ijk}^m の理論値を代入して 9 個の A_{ij} 成分の補正値を決定し (70)、これらの値を用いてプローブの位置および方向の座標を補正する (

50

72)。上記の工程(68)、(70)および(72)はプローブの位置および方向の座標が収束するまで反復的に繰返されるのが好ましい。

上述の方法は3個の発信機コイルおよび3個のセンサーコイルから成るシステムに基づいて説明したが、本発明の方法はより多数または少数のコイルまたはアンテナを使用する他の電磁式目的物追跡システムにも同等に適用することができる。

【図1】

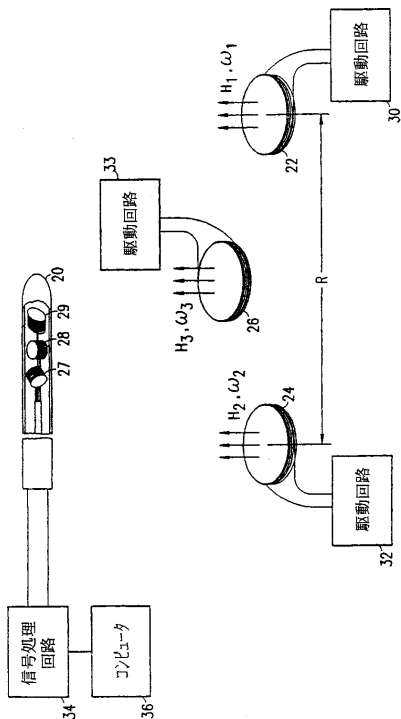


FIG. 1

【図2】

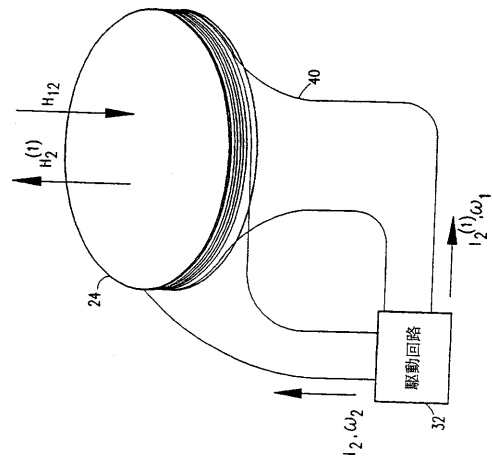
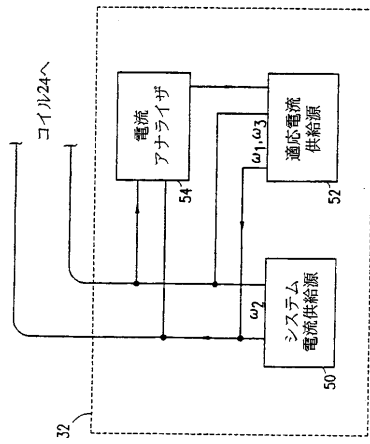
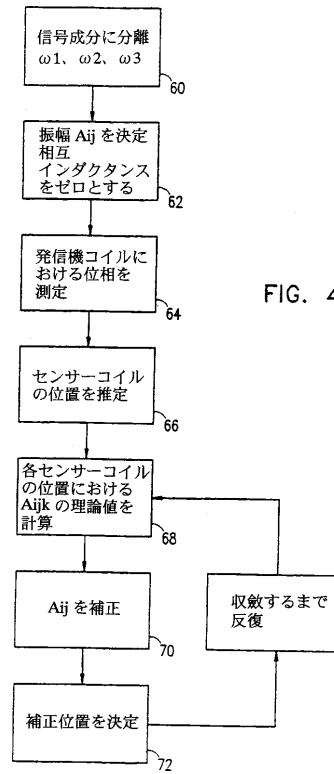


FIG. 2

【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

(72)発明者 オサギー, ダニエル

イスラエル国、3 4 7 3 1 ハイファ、オレン・ストリート 1 8

(72)発明者 フェンスター, マイヤー

イスラエル国、4 9 6 0 0 ペタック・チクバ、ブランデ・ストリート 6 1

審査官 横林 秀治郎

(56)参考文献 特開平 0 2 - 0 1 3 8 7 3 (J P , A)

特表平 1 0 - 5 0 7 1 0 4 (J P , A)

実開昭 5 7 - 0 9 3 8 5 3 (J P , U)

米国特許第 0 4 0 5 4 8 8 1 (U S , A)

特表平 0 8 - 5 0 4 6 5 3 (J P , A)

米国特許第 0 5 4 5 3 6 8 7 (U S , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G01B 7/00 ~ 7/34

A61B 5/04 ~ 5/06