

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6944672号  
(P6944672)

(45) 発行日 令和3年10月6日(2021.10.6)

(24) 登録日 令和3年9月15日(2021.9.15)

(51) Int.Cl.

GO1R 29/08 (2006.01)

F I

GO1R 29/08

F

請求項の数 9 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2016-247023 (P2016-247023)	(73) 特許権者	504160781 国立大学法人金沢大学 石川県金沢市角間町ヌ7番地
(22) 出願日	平成28年12月20日(2016.12.20)	(73) 特許権者	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(65) 公開番号	特開2018-100904 (P2018-100904A)	(74) 代理人	100109210 弁理士 新居 広守
(43) 公開日	平成30年6月28日(2018.6.28)	(72) 発明者	八木谷 聡 石川県金沢市角間町ヌ7番地 国立大学法人金沢大学内
審査請求日	令和1年11月15日(2019.11.15)	(72) 発明者	坂 拓磨 石川県金沢市角間町ヌ7番地 国立大学法人金沢大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電磁界センサ、電磁界計測システムおよび電磁波の到来方向推定システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

単一平面内に配置された一対の導体ループを備え、  
前記一対の導体ループは、互いに第1の抵抗により接続されており、  
前記第1の抵抗の両端の電圧である第1の電圧を検出することにより電界を計測する電磁界センサ。

【請求項2】

前記一対の導体ループの各導体ループは、同一の形状を有しており、対称に配置されている

請求項1に記載の電磁界センサ。

【請求項3】

単一平面内に配置された一対の導体ループを備え、

前記一対の導体ループの各導体ループは、当該導体ループの一部として第2の抵抗を有し、

前記第2の抵抗の両端の電圧である第2の電圧を検出することにより磁界を計測し、  
前記一対の導体ループの各導体ループは、第1の抵抗により接続されており、  
前記第2の抵抗は、抵抗値が等しく直列に接続された第3の抵抗および第4の抵抗とで構成され、

前記第3の抵抗と第4の抵抗との間に、前記第1の抵抗が接続されており、

前記第1の抵抗の両端の電圧である第1の電圧を検出することにより電界を計測し、

前記第 1 の抵抗が接続された前記第 3 の抵抗の一端と反対側の前記第 3 の抵抗の他端と、前記第 1 の抵抗が接続された前記第 4 の抵抗の一端と反対側の前記第 4 の抵抗の他端との間の電圧である前記第 2 の電圧を検出することにより磁界を計測する  
電磁界センサ。

【請求項 4】

前記第 1 の電圧を増幅して出力する第 1 のアンプを有する  
請求項 1 または 3 に記載の電磁界センサ。

【請求項 5】

前記一对の導体ループの各導体ループにおいて検出された前記第 2 の電圧を増幅し、かつ、増幅された前記第 2 の電圧の平均値を出力する第 2 のアンプを有する  
請求項 3 に記載の電磁界センサ。

10

【請求項 6】

前記電磁界センサを 3 組有し、  
前記 3 組の電磁界センサがそれぞれ配置された前記単一平面は互いに直交し、かつ、前記 3 組の電磁界センサは、前記 3 組の電磁界センサそれぞれの中心で交叉している  
請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の電磁界センサ。

【請求項 7】

請求項 3 に記載の電磁界センサと、  
前記電磁界センサにおいて検出された前記電界および前記磁界からポインティングベクトルを計算する信号処理部とを備える  
電磁界計測システム。

20

【請求項 8】

請求項 3 に記載の電磁界センサと、  
前記電磁界センサにおいて検出された前記電界および前記磁界の少なくとも一部からポインティングベクトルを計算する信号処理部とを備え、  
前記信号処理部は、計算した前記ポインティングベクトルから電磁波の到来方向を推定する  
電磁波の到来方向推定システム。

【請求項 9】

請求項 3 に記載の電磁界センサと、  
前記電磁界センサにおいて検出された前記電界の向きおよび前記磁界の向きからポインティングベクトルを計算する信号処理部とを備え、  
前記信号処理部は、計算した前記ポインティングベクトルから電磁波の到来方向を推定する  
電磁波の到来方向推定システム。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電磁界センサ、電磁界計測システムおよび電磁波の到来方向推定システムに関する。

40

【背景技術】

【0002】

近年、電子機器の普及により電磁波環境は複雑化し、不要電磁波を低減させたり不要電磁波の発生源の位置を推定することにより、電磁干渉の原因を探索することが求められている。不要電磁波の発生源および不要電磁波の伝搬方向等を評価するために、電界および磁界を計測するための電磁界センサが用いられている（例えば、特許文献 1 参照）。

【0003】

特許文献 1 には、電磁界センサとしてアレーアンテナ装置が開示されている。当該アレーアンテナ装置は、電界および磁界をそれぞれ受信する 3 つのアンテナが、空間的に所定角度で互いに交差した構成をしている。これにより、空間における三方向の電界および磁

50

界を計測することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】国際公開第2014/007191号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1に記載のアレーアンテナ装置では、電界計測用の導体と磁界計測用の導体とを使用している。磁界計測用の導体は、導体の両端が対向するように、導体を略環状に形成したアンテナである。電界計測用の導体は、一对の導体からなるダイポールアンテナである。このアレーアンテナ装置では、電界計測用の一对の導体の電位差から求められる電界と、磁界計測用の導体で囲まれた領域の磁界とを計測している。このアレーアンテナ装置では、電界計測用の導体と磁界計測用の導体とが近接しているため、互いに結合し、電界および磁界の双方に互いに影響し合い、電界および磁界の双方を正確に計測することが困難であるという問題が生じている。

10

【0006】

上記課題に鑑み、本発明は、電界および磁界を同じ位置で同時に計測することができる電磁界センサおよび電磁界計測システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

20

【0007】

上記の課題を解決するため、本発明の一態様にかかる電磁界センサは、単一平面内に配置された一对の導体ループを備える。

【0008】

これにより、同一の位置での電界および磁界を同時に計測することができる。したがって、同一の位置でのポインティングベクトルを計測することができるので、電磁界センサが配置された位置における電界および磁界を計測するとともに、不要電磁波の伝搬経路および電磁波源を検出することができる。

【0009】

また、前記一对の導体ループの各導体ループは、同一の形状を有しており、対称に配置されていてもよい。

30

【0010】

これにより、電磁界センサの中央における電界および磁界を精度よく検出することができる。

【0011】

また、前記一对の導体ループの各導体ループは、第1の抵抗により接続されており、前記第1の抵抗の両端の電圧である第1の電圧を検出することにより電界を計測してもよい。

【0012】

これにより、第1の抵抗の両端にかかる第1の電圧を検出することにより、容易に電界を計測することができる。

40

【0013】

また、前記一对の導体ループの各導体ループは、当該導体ループの一部として第2の抵抗を有し、前記第2の抵抗の両端の電圧である第2の電圧を検出することにより磁界を計測してもよい。

【0014】

これにより、第2の抵抗の両端にかかる第2の電圧を検出することにより、容易に磁界を計測することができる。

【0015】

また、前記一对の導体ループの各導体ループは、第1の抵抗により接続されており、前

50

記第2の抵抗は、抵抗値が等しく直列に接続された第3の抵抗および第4の抵抗とで構成され、前記第3の抵抗と第4の抵抗との間に、前記第1の抵抗が接続されており、前記第1の抵抗の両端の電圧である第1の電圧を検出することにより電界を計測し、前記第1の抵抗が接続された前記第3の抵抗の一端と反対側の前記第3の抵抗の他端と、前記第1の抵抗が接続された前記第4の抵抗の一端と反対側の前記第4の抵抗の他端との間の電圧である前記第2の電圧を検出することにより磁界を計測してもよい。

【0016】

これにより、第1の抵抗の両端にかかる第1の電圧を安定して検出することができる。

【0017】

また、前記第1の電圧を増幅して出力する第1のアンプを有してもよい。

10

【0018】

これにより、第1の電圧の値が微小である場合であっても、第1のアンプにより第1の電圧を増幅して、電界を精度よく計測することができる。

【0019】

また、前記一对の導体ループの各導体ループにおいて検出された前記第2の電圧を増幅し、かつ、増幅された前記第2の電圧の平均値を出力する第2のアンプを有してもよい。

【0020】

これにより、第2の電圧の値が微小である場合であっても、第2のアンプにより第2の電圧を増幅して、磁界を精度よく計測することができる。

【0021】

20

また、前記電磁界センサを3組有し、前記3組の電磁界センサがそれぞれ配置された前記単一平面は互いに直交し、かつ、前記3組の電磁界センサは、前記3組の電磁界センサそれぞれの中心で交叉していてもよい。

【0022】

これにより、三次元空間における同一の位置で電界および磁界を同時に計測することができる。したがって、不要電磁波の伝搬経路および電磁波源を三次元で探すことができる。

【0023】

また、本発明の一態様にかかる電磁界計測システムは、上述した特徴を有する電磁界センサと、前記電磁界センサにおいて検出された前記電界および前記磁界からポインティングベクトルを計算する信号処理部とを備える。

30

【0024】

これにより、上述した特徴を有する電磁界センサを備える電磁界計測システムを得ることができる。

【0025】

また、本発明の一態様にかかる電磁波の到来方向推定システムは、電磁界センサと、前記電磁界センサにおいて検出された前記電界および前記磁界の少なくとも一部からポインティングベクトルを計算する信号処理部とを備え、前記信号処理部は、計算した前記ポインティングベクトルから電磁波の到来方向を推定する。

【0026】

40

これにより、上述した特徴を有する電磁界センサを備え、電磁界センサにおいて検出された電界および磁界の少なくとも一部から計算したポインティングベクトルを用いて電磁波の到来方向を推定することができる。

【0027】

また、本発明の一態様にかかる電磁波の到来方向推定システムは、電磁界センサと、前記電磁界センサにおいて検出された前記電界の向きおよび前記磁界の向きからポインティングベクトルを計算する信号処理部とを備え、前記信号処理部は、計算した前記ポインティングベクトルから電磁波の到来方向を推定する。

【0028】

これにより、上述した特徴を有する電磁界センサを備え、電界および磁界の向きから計

50

算したポインティングベクトルを用いて電磁波の到来方向を推定することができる。

【発明の効果】

【0029】

本発明により、電界および磁界を同じ位置で同時に計測することができる電磁界センサおよび電磁界計測システムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】実施の形態1にかかる電磁界計測システムの概略構成図

【図2】実施の形態1にかかる電磁界センサの概略構成図

【図3】実施の形態1にかかる電磁界センサにおける電界および磁界の計測位置を示す図 10

【図4】実施の形態2にかかる電磁界計測システムの概略構成図

【図5】実施の形態2にかかる電磁界計測システムにおける第1のアンプの概略構成図

【図6】実施の形態2にかかる電磁界計測システムにおける第2のアンプの概略構成図

【発明を実施するための形態】

【0031】

以下、図面を用いて、本発明にかかる実施の形態について説明する。なお、図面において、同一の符号が付された構成要素は、同一または同種の構成要素を示す。

【0032】

また、以下で説明する実施の形態は、本発明の好ましい一具体例を示す。以下の実施の形態で示される数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置、接続形態、ステップおよびステップの順序等は、一例であり、本発明を限定する主旨ではない。また、以下の実施の形態における構成要素のうち、本発明の最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、より望ましい形態を構成する任意の構成要素として説明される。

【0033】

(実施の形態1)

[電磁界計測システムの構成]

はじめに、電磁界センサ部10を有する電磁界計測システム1の構成について、図1を用いて説明する。図1は、本実施の形態にかかる電磁界計測システム1の概略構成図である。

【0034】

図1に示すように、電磁界計測システム1は、電磁界センサ部10と、信号処理部20と、電磁界センサ部10と信号処理部20とを接続する配線30とを備えている。

【0035】

電磁界センサ部10は、直交する3つの方向に組み合わされた電磁界センサ11、12および13によって構成されている。電磁界センサ11は、図1に示すように、導体ループ13aおよび導体ループ13bとを有している。導体ループ11aおよび導体ループ11bは、図1に示すx軸に直交する単一平面内において、z軸方向に並んで配置されている。これにより、電磁界センサ11は、x軸方向の磁界およびz軸方向の電界を検出する。同様に、電磁界センサ12は、図1に示すように、導体ループ12aおよび導体ループ12bとを有している。導体ループ12aおよび導体ループ12bは、図1に示すy軸に直交する単一平面内において、x軸方向に並んで配置されている。これにより、電磁界センサ12は、y軸方向の磁界およびx軸方向の電界を検出する。電磁界センサ13は、図1に示すように、導体ループ13aおよび導体ループ13bとを有している。導体ループ13aおよび導体ループ13bは、図1に示すz軸に直交する単一平面内において、y軸方向に並んで配置されている。これにより、電磁界センサ13は、z軸方向の磁界およびy軸方向の電界を検出する。

【0036】

また、電磁界センサ11、12および13の交差する位置には、回路ボックス111が配置されている。回路ボックス111には、後述するように、電磁界センサ11、12お

10

20

30

40

50

よび13の一部を構成する抵抗、配線、出力端子が設けられている。

【0037】

なお、電磁界センサ部10は、電磁界センサ11、12および13をそれぞれ単独で用いたものであってもよいし、2つまたは上述したように3つを組み合わせたものであってもよい。

【0038】

信号処理部20は、電磁界センサ部10において検出された電界および磁界からポインティングベクトルを計算する。信号処理部20は、例えば、アナログ値の信号をデジタル値に変換するAD変換部(図示せず)と、演算部(図示せず)とを有している。演算部は、例えばMPU(Micro Processing Unit)である。なお、演算部は、MPUに限定されることなく、他の演算回路であってもよい。

10

【0039】

信号処理部20は、AD変換部により電磁界センサ部10で計測された電界および磁界(アナログ値)をサンプリングしデジタル値に変換する。そして、デジタル値に変換された電界および磁界を用いて、演算部により後述するポインティングベクトルの計算を行う。なお、信号処理部20の構成は一般的なものであるため、詳細な説明は省略する。信号処理部20の構成は、上述した構成に限らず他の構成であってもよい。

【0040】

配線30は、電磁界センサ部10における電磁界センサ11、12および13と信号処理部20とを接続する配線である。より詳細には、配線30は、電磁界センサ部10の回路ボックス111から信号処理部20へと配線されている。電磁界センサ11、12および13で検出された電界信号および磁界信号は、配線30を介して信号処理部20に出力される。なお、配線30は、電磁界センサ11、12および13それぞれに設けてもよいし、1つの配線30を電磁界センサ11、12および13のいずれにも接続されるように設けてもよい。また、配線30に代えて、無線により電磁界センサ部10で検出された電界および磁界を信号処理部20へ出力してもよい。

20

【0041】

[電磁界センサの構成]

ここで、電磁界センサ11、12および13の構成の詳細について、図2を用いて説明する。図2は、本実施の形態にかかる電磁界センサ11、12および13の概略構成図である。なお、電磁界センサ11、12および13の構成は同一であるため、以下では電磁界センサ13を例として説明する。

30

【0042】

上述したように、電磁界センサ13は、導体ループ13aと導体ループ13bとを有している。

【0043】

図2に示すように、導体ループ13aは、導線130a、抵抗132aおよび抵抗133aを有している。抵抗132aおよび抵抗133aは、導線130aの両端を接続するように、導線130aの両端の間に直列に設けられている。

【0044】

具体的には、導線130aは、直径1mmの銅線により、図2に示すように、x軸方向に長尺な矩形の略環状に形成されている。ここで、略環状とは、完全に綴じられた環ではなく、全体として環の形状をしているが一部が開放されている形状をいう。導線130aの長辺の長さは例えば105mm、短辺の長さは例えば50mmである。また、導線130aの両端は、2つの長辺のうち一方の中央付近において対向している。導線130aの対向する両端の間隔は、例えば5mmである。そして、対向する両端の間に、抵抗132aおよび133aが直列に配置されている。

40

【0045】

同様に、導体ループ13bは、導線130b、抵抗132bおよび133bを有している。抵抗132bおよび抵抗133bは、導線130bの両端を接続するように、導線1

50

30 bの両端の間に直列に設けられている。つまり、図2に示すように、導線130 bは、x軸方向に長尺な矩形状の略環状に形成されており、2つの長辺のうちの一方の中央付近において両端が対向している。そして、対向する両端の間に、抵抗132 bおよび抵抗133 bが直列に配置されている。

【0046】

また、導体ループ13 aと導体ループ13 bとは、対称の構成をしている。つまり、導線130 aと130 bは、それぞれ同一の形状であり、例えば5 mmの距離を設けて点対称および線対称に配置されている。抵抗132 a、132 b、133 aおよび133 bは、それぞれ同一の形状であり、点対称および線対称に配置されている。また、抵抗132 a、132 b、133 aおよび133 bの抵抗値は、同一であり、例えば500 である。

10

【0047】

なお、導線130 aと130 bは、同一の形状でなくてもよいし、点対称および線対称に配置されていなくてもよい。また、導線130 aと130 bは、点対称および線対称のいずれかに配置されていてもよい。抵抗132 a、132 b、133 aおよび133 bは、それぞれ同一の形状でなくてもよく、点対称および線対称に配置されていなくてもよい。また、抵抗132 a、132 b、133 aおよび133 bは、点対称および線対称のいずれかに配置されていてもよい。また、抵抗132 a、132 b、133 aおよび133 bの抵抗値は、同一でなくてもよい。

【0048】

導体ループ13 aの抵抗132 aと133 aとの間、および、導体ループ13 bの抵抗132 bと133 bとの間には、抵抗135が接続されている。つまり、抵抗135により、導体ループ13 aと導体ループ13 bとが接続されている。抵抗135は、例えば1 M である。抵抗132 a、132 b、133 a、133 bおよび135は、回路ボックス111の内部に配置されている。

20

【0049】

なお、本実施の形態において、抵抗135は、第1の抵抗に相当する。抵抗132 aと133 aとの和、および、抵抗132 bと133 bとの和は、それぞれ第2の抵抗に相当する。抵抗132 aおよび133 aは、それぞれ第3の抵抗に相当する。抵抗132 bおよび133 bは、それぞれ第4の抵抗に相当する。

30

【0050】

また、導線130 aと抵抗132 aとの間には端子A、導線130 aと抵抗133 aとの間には端子A'が設けられている。つまり、抵抗132 aにおいて、抵抗135が接続された一端と反対側の他端側に端子Aが設けられている。また、抵抗133 aにおいて、抵抗135が接続された一端と反対側の他端側に端子A'が設けられている。端子Aと端子A'との間の電圧を検出することにより、抵抗132 aおよび133 aにかかる電圧を検出することができる。これにより、導体ループ13 aのループ面に垂直に通過する磁界、つまり、導体ループ13 aを横切る磁界を計測する。なお、導体ループ13 aのループ面とは、導体ループ13 aにより形成される平面のことをいう。

【0051】

同様に、導線130 bと抵抗132 bとの間には端子B、導線130 bと抵抗133 bとの間には端子B'が設けられている。つまり、抵抗132 bにおいて、抵抗135が接続された一端と反対側の他端側に端子Bが設けられている。また、抵抗133 bにおいて、抵抗135が接続された一端と反対側の他端側に端子B'が設けられている。端子Bと端子B'との間の電圧を検出することにより、抵抗132 bおよび133 bにかかる電圧を検出することができる。これにより、導体ループ13 bのループ面に垂直に通過する磁界を計測する。

40

【0052】

また、抵抗135の両端には、それぞれ端子Cおよび端子C'が設けられている。端子Cと端子C'との間の電圧を検出することにより、抵抗135にかかる電圧を検出するこ

50

とができる。これにより、導体ループ13aと13bとの間の電界を計測する。

【0053】

なお、本実施の形態において、端子Cと端子C'との間の電圧は、第1の電圧に相当する。また、端子Aと端子A'との間の電圧、および、端子Bと端子B'との間の電圧は、それぞれ第2の電圧に相当する。

【0054】

電磁界センサ11および12は、電磁界センサ13と同様の構成であるため、詳細な説明は省略する。

【0055】

このような構成により、電磁界センサ部10により、例えば150kHz～30MHz程度の周波数の電磁界を計測することができる。なお、上述した導線130aおよび130bの大きさ、抵抗132a、132b、133a、133bおよび135の値を変更することにより、検出可能な電磁界の周波数帯域を変更してもよい。

【0056】

なお、電磁界センサ11、12および13は上述したように同一の構成としてもよいし、電磁界センサ11、12および13のうちのみが同一の構成であってもよい。また、電磁界センサ11、12および13のすべてが異なる構成であってもよい。

【0057】

[電磁界計測の原理]

次に、電磁界計測システム1による電磁界計測の原理について図3を用いて説明する。図3は、本実施の形態にかかる電磁界センサ11、12および13における電界および磁界の計測位置を示す図であり、(a)は電磁界センサ13における電界および磁界の計測位置を示す図、(b)は(a)に示した電磁界センサ13における座標軸と電磁界センサ13における電界および磁界の方向を示す図である。

【0058】

電界は2つの導体間の単位長さ当たりの電位差であるので、電磁界計測システム1では、電磁界センサ13における2つの導体である導体ループ13aと導体ループ13bとの電位差を計測する。

【0059】

具体的には、電磁界センサ13において、電界は、図3の(a)に示すように、電磁界センサ13の中心P、すなわち、導体ループ13aと導体ループ13bとの間に生じる電位差を検出することにより計測する。つまり、電磁界センサ13では、電界は、抵抗135にかかる電圧を検出し計算(校正)することにより得られる。より具体的には、電磁界センサ13において端子Cと端子C'との間の電圧を検出する。そして、検出された電圧を用いて、後述する校正を行う。これにより、電磁界センサ13は、図3の(b)に示すようにy軸方向の電界 $E_y$ を計測することができる。

【0060】

なお、抵抗135は、導体ループ13aと導体ループ13bとの間の電圧を検出しやすくするために設けられたものであり、導体ループ13aと導体ループ13bとの間の電圧を検出することができるのであれば、抵抗135を設けない構成としてもよい。

【0061】

また、電磁界センサ13と同様に、電磁界センサ11および12は、それぞれz軸方向の電界およびx軸方向の電界を計測する。電磁界センサ11、12および13を組み合わせることにより、x軸方向、y軸方向およびz軸方向のそれぞれの電界 $E_x$ 、 $E_y$ および $E_z$ を同時に計測することができる。また、電磁界センサ11、12および13の構成を同一の構成とし、それぞれの中心で交叉させて、導体ループ13aおよび13bが配置された平面が互いに直交するように組み合わせることにより、同一位置における電界 $E_x$ 、 $E_y$ および $E_z$ を同時に計測することができる。

【0062】

また、電磁界計測システム1では、電磁界センサ13における2つの導体である導体ル

10

20

30

40

50

ープ13aおよび導体ループ13bのそれぞれのループ面に鎖交する磁界を、導体ループ13aおよび導体ループ13bそれぞれの電圧を計測することにより計測する。ここで、ループ面に鎖交する磁界とは、ループ面を垂直に横切る磁束、すなわち、導体ループ13aおよび導体ループ13bのループ面を垂直に横切る磁界をループ面積で積分(平均)したものをいう。ループ面に鎖交する磁界のことを、ループの中心の磁界ということもある。

【0063】

具体的には、電磁界センサ13において、図3の(a)に示すように、導体ループ13aと導体ループ13bのそれぞれのループの端子間における電圧を検出し、導体ループ13aと導体ループ13bのそれぞれのループ面に鎖交する磁界を計算(校正)する。そして、導体ループ13aと導体ループ13bのそれぞれのループ面に鎖交する磁界を平均することにより、電磁界センサ13の中心の磁界を計測することができる。なお、電磁界センサ13では、導体ループ13aと導体ループ13bのそれぞれのループの端子間で検出された電圧の平均値から、電磁界センサ13における磁界を計算してもよい。

10

【0064】

電磁界センサ13において、導体ループ13aのループ面に鎖交する磁界は、抵抗132aおよび133aにかかる電圧を検出し計算することにより得られる。また、導体ループ13bのループ面に鎖交する磁界は、抵抗132bおよび133bにかかる電圧を検出し計算することにより得られる。より具体的には、導体ループ13aのループ面に鎖交する磁界は、端子Aと端子A'との間の電圧を検出して計算することにより得られる。導体ループ13bのループ面に鎖交する磁界は、端子Bと端子B'との間の電圧を検出して計算することにより得られる。そして、端子Aと端子A'との間の電圧と端子Bと端子B'との間の電圧との平均を計算する。すなわち、端子Aと端子A'との間の電圧と端子Bと端子B'との間の電圧とを用いて後述する校正を行うことにより、導体ループ13aと導体ループ13bとの間で導体ループ13aと導体ループ13bとから等しい距離にある点Pにおける磁界、つまり、電磁界センサ13における磁界が得られる。

20

【0065】

これにより、電磁界センサ13は、図3の(b)に示すようにz軸方向の磁界 $H_z$ を計測することができる。

【0066】

なお、抵抗132aおよび133aは、導体ループ13aのループ面に鎖交する磁界を計測するための電圧を検出しやすくするために設けられた抵抗である。また、抵抗132bおよび133bは、導体ループ13bのループ面に鎖交する磁界を計測するための電圧を検出しやすくするために設けられた抵抗である。導体ループ13aおよび導体ループ13bのそれぞれのループ面に鎖交する磁界を計測するための電圧を検出することができるのであれば、抵抗132a、133a、132bおよび133bを設けない構成としてもよい。

30

【0067】

また、電磁界センサ13と同様に、電磁界センサ11および12は、それぞれx軸方向の磁界およびy軸方向の磁界を計測する。電磁界センサ11、12および13を組み合わせることにより、x軸方向、y軸方向およびz軸方向のそれぞれの磁界 $H_x$ 、 $H_y$ および $H_z$ を同時に計測することができる。また、電磁界センサ11、12および13の構成を同一の構成とし、それぞれの中心位置において組み合わせることにより、同一位置における磁界 $H_x$ 、 $H_y$ および $H_z$ を同時に計測することができる。

40

【0068】

ここで、電磁界の校正の手順について説明する。

【0069】

まず、電磁界センサ11、12および13のそれぞれにおいてループの端子間に生じる電圧を検出するために、基準電界または基準磁界を電磁界センサ11、12および13のそれぞれに印加する。そして、電磁界センサ11、12および13のそれぞれにおいて、

50

ループの端子間に生じる電圧を計測する。これにより、電磁界センサ 1 1、1 2 および 1 3 のそれぞれについて、電界または磁界と検出される電圧との関係、すなわち、アンテナ係数が得られる。

【 0 0 7 0 】

そして、電磁界センサ 1 1、1 2 および 1 3 のそれぞれにおいて実際に検出された電圧にアンテナ係数を乗算し、電磁界センサ 1 1、1 2 および 1 3 で計測された電界または磁界を計算する。

【 0 0 7 1 】

なお、検出された電圧に、出力されるはずのない成分の電圧が含まれている場合には、電磁界センサ 1 1、1 2 および 1 3 の各成分の間でクロストークが生じていることになる。なお、成分とは、x 軸方向、y 軸方向および z 軸方向のそれぞれに対応する電界 ( E<sub>x</sub>、E<sub>y</sub>、E<sub>z</sub> ) および磁界 ( H<sub>x</sub>、H<sub>y</sub>、H<sub>z</sub> ) のことをいう。クロストークの有無、および、クロストークが発生している成分を検出することより、各電磁界センサの性能を評価することができる。

10

【 0 0 7 2 】

また、x 軸方向、y 軸方向および z 軸方向それぞれの電界 ( E<sub>x</sub>、E<sub>y</sub>、E<sub>z</sub> ) および磁界 ( H<sub>x</sub>、H<sub>y</sub>、H<sub>z</sub> ) を印加したときの、各軸方向の電界および磁界に対応する 6 成分の出力電圧は、6 × 6 行列の形で表すことができる。この行列を用いることで、実際に計測された 6 成分の出力電圧から、電磁界センサ 1 1、1 2 および 1 3 で検出された電磁界 6 成分を精度よく求めることができる。

20

【 0 0 7 3 】

また、電磁界計測システム 1 は、上述したように、同一位置における電界および磁界を同時に計測することができるため、計測した電界および磁界を用いて信号処理部 2 0 においてポインティングベクトルを計算してもよい。ポインティングベクトルは、電磁界のエネルギー密度の流れを示す指標であり、ポインティングベクトルの方向は電磁界のエネルギーの移動方向を表す。

【 0 0 7 4 】

ポインティングベクトルは、電界ベクトルを

【 数 1 】

$E = (E_x, E_y, E_z) \dots (式 1)$

30

磁界ベクトルを

【 数 2 】

$H = (H_x, H_y, H_z) \dots (式 2)$

とすると、以下の ( 式 3 ) のように、電界ベクトルと磁界ベクトルとの外積で表すことができる。

【 0 0 7 5 】

【 数 3 】

$P = E \times H \dots (式 3)$

【 0 0 7 6 】

より詳細には、電界ベクトルおよび磁界ベクトルは時間により変化するものであり、ある瞬間 ( 時刻 t ) におけるポインティングベクトル ( 瞬時ポインティングベクトル ) は、以下の ( 式 4 ) のように表される。

40

【 0 0 7 7 】

【 数 4 】

$P(t) = E(t) \times H(t) \dots (式 4)$

ここで、E ( t ) および H ( t ) は、それぞれ時刻 t における電界ベクトルおよび磁界ベクトルを示している。

【 0 0 7 9 】

この瞬時ポインティングベクトルにより、ある時刻 t における電磁界のエネルギーおよ

50

び電磁界のエネルギーの移動方向を検出することができる。

【 0 0 8 0 】

また、瞬時ポインティングベクトルを一定時間計測し、平均値を計算することにより、ポインティングベクトルの時間平均を計測することができる。ポインティングベクトルの時間平均は、電磁波源から放射されるエネルギーの伝搬方向を示す。したがって、ポインティングベクトルを計算することにより、電磁波源から放射されるエネルギーの伝搬方向を検出することができる。

【 0 0 8 1 】

なお、ポインティングベクトルの計算は、上述したように時間軸において行ってもよいし、周波数軸において行ってもよい。

10

【 0 0 8 2 】

以上のポインティングベクトルの計算を信号処理部 2 0 において行うことにより、電磁界計測システム 1 は、ある時刻  $t$  における電磁界センサ部 1 0 の位置での電界および磁界を計測することができる。さらに、信号処理部 2 0 により、電磁界センサ部 1 0 が配置された位置における電界および磁界の計測結果から、不要電磁波の伝搬経路および電磁波源を推定してもよい。例えば、直交偏波を持つ平面波に対しては、 $x$  軸方向の磁界  $H_x$ 、 $y$  軸方向の磁界  $H_y$  および  $z$  軸方向の電界  $E_z$  から  $x - y$  平面の角度を検出することができる。同様に、 $y$  軸方向の磁界  $H_y$ 、 $z$  軸方向の磁界  $H_z$  および  $x$  軸方向の電界  $E_x$  から  $y - z$  平面の角度を検出することができる。 $z$  軸方向の磁界  $H_z$ 、 $x$  軸方向の磁界  $H_x$  および  $y$  軸方向の電界  $E_y$  から  $z - x$  平面の角度を検出することができる。また、これらの  $x - y$  平面、 $y - z$  平面および  $z - x$  平面の角度を組み合わせることにより電磁波源の位置を推定してもよい。

20

【 0 0 8 3 】

また、信号処理部 2 0 は、電磁界センサ部 1 0 において検出された電界および磁界の向きからポインティングベクトルを計算してもよい。例えば、上述した電界および磁界の校正を、電界の絶対値  $E_x$ 、 $E_y$ 、 $E_z$  および磁界の絶対値  $H_x$ 、 $H_y$ 、 $H_z$  ではなく電界の相対値  $a E_x$ 、 $a E_y$ 、 $a E_z$  ( $a$  は係数) および磁界の相対値  $b H_x$ 、 $b H_y$ 、 $b H_z$  ( $b$  は係数) を用いて計算してもよい。これにより、少なくとも電磁波源の位置に関する角度情報を検出することができるので、電磁波源の方向を推定することができる。

【 0 0 8 4 】

このように、電磁界センサ部 1 0 および信号処理部 2 0 は、電磁波の到来方向を推定する電磁波の到来方向推定システムとして用いてもよい。

30

【 0 0 8 5 】

なお、電磁界の変化により導体ループ 1 3 a および 1 3 b を流れる電流は微小であるため、電磁界センサ部 1 0 において検出される電界計測のための電圧および磁界計測のための電圧は微小である。したがって、電磁界センサ 1 1、1 2 および 1 3 により検出したこれらの電圧をアンプにより増幅して信号処理部 2 0 に出力してもよい。

【 0 0 8 6 】

[ 効果等 ]

以上、本実施の形態にかかる電磁界センサおよび電磁界計測システムによると、同一の位置での電界および磁界を検出することができるので、ポインティングベクトルを計測することができる。したがって、電磁界センサが配置された位置における電界および磁界を計測することができる。さらに、信号処理部 2 0 により、電磁界センサが配置された位置における電界および磁界を計測した結果から、不要電磁波の伝搬経路および電磁波源を推定してもよい。

40

【 0 0 8 7 】

( 実施の形態 2 )

次に、実施の形態 2 にかかる電磁界計測システム 2 について、図 4 ~ 図 6 を用いて説明する。図 4 は、本実施の形態にかかる電磁界計測システム 2 の概略構成図である。図 5 は、本実施の形態にかかる電磁界計測システム 2 における第 1 のアンプ 3 1 の概略構成図で

50

ある。図6は、本実施の形態にかかる電磁界計測システム2における第2のアンプ32の概略構成図である。

【0088】

本実施の形態にかかる電磁界計測システム2が実施の形態1に示した電磁界計測システム1と異なる点は、電磁界センサ部10と信号処理部20との間に第1のアンプ31と第2のアンプ32とを備える点である。

【0089】

図4に示すように、電磁界計測システム2は、実施の形態1に示した電磁界計測システム1と同様、電磁界センサ部10と、信号処理部20と、配線30とを備えている。また、配線30には第1のアンプ31と第2のアンプ32が設けられている。なお、電磁界センサ部10および信号処理部20の基本的な構成については実施の形態1に示した電磁界計測システム1における電磁界センサ部10および信号処理部20と同様であるため、詳細な説明を省略する。

【0090】

第1のアンプ31は、電磁界センサ部10から、電界を計測するための電圧を増幅して出力するための電界プリアンプである。つまり、第1のアンプ31は、端子CおよびC'に接続される。図5に示すように、第1のアンプ31は、端子Cが接続された増幅器34aと、端子C'が接続された増幅器34bと、端子Cと増幅器34aとの間においてグラウンドに接続された抵抗35aと、端子C'と増幅器34bとの間においてグラウンドに接続された抵抗35bと、増幅器34および34bから出力された電圧が入力される増幅器36とを有している。

【0091】

増幅器36は、端子Cにおける電圧 $V_C$ を増幅器34aで増幅した電圧と、端子C'における電圧 $V_{C'}$ を増幅器34bで増幅した電圧との差を増幅して出力する。したがって、第1のアンプ31からは、端子Cと端子C'の電位差 $V_C - V_{C'}$ に比例する電圧が出力される。第1のアンプ31から出力される電圧を用いて、導体ループ13aと13bとの間における電界を計算することができる。これにより、端子Cにおける電圧 $V_C$ および端子C'における電圧 $V_{C'}$ の値が微小である場合であっても、電磁界センサ部10により電界を精度よく計測することができる。

【0092】

第2のアンプ32は、電磁界センサ部10から、磁界を計測するための電圧を増幅して出力するための磁界プリアンプである。第2のアンプ32は、端子AおよびA'と、端子BおよびB'に接続される。図6に示すように、第2のアンプ32は、端子AおよびA'が接続された増幅器37aと、端子BおよびB'が接続された増幅器37bと、増幅器37aおよび37bから出力された電圧が入力される増幅器38とを有している。

【0093】

増幅器37aは、端子Aにおける電圧 $V_A$ と端子A'における電圧 $V_{A'}$ との差 $V_A - V_{A'}$ を増幅して出力する。増幅器37bは、端子Bにおける電圧 $V_B$ と端子B'における電圧 $V_{B'}$ との差 $V_B - V_{B'}$ を増幅して出力する。増幅器38は、増幅器37aにおいて電位差 $V_A - V_{A'}$ が増幅された電圧と、増幅器37bにおいて電位差 $V_B - V_{B'}$ が増幅された電圧とを加算して出力する。第2のアンプ32からは、端子Aと端子A'の電位差 $V_A - V_{A'}$ と端子Bと端子B'の電位差 $V_B - V_{B'}$ とに比例する電圧の平均値が出力される。

【0094】

第2のアンプ32から出力された電圧を用いて計算することにより、導体ループ13aにおいて検出される磁界と導体ループ13bにおいて検出される磁界との平均、すなわち、導体ループ13aと13bとの間における磁界を計算することができる。これにより、端子Aにおける電圧 $V_A$ 、端子A'における電圧 $V_{A'}$ 、端子Bにおける電圧 $V_B$ および端子B'における電圧 $V_{B'}$ の値が微小である場合であっても、電磁界センサ部10により磁界を精度よく計測することができる。

10

20

30

40

50

## 【0095】

なお、第1のアンプ31および第2のアンプ32は、電磁界センサ11、12および13それぞれの中心に位置するように設けられていてもよい。第1のアンプおよび第2のアンプが電磁界センサ11、12および13の中心に位置していない場合、電磁界センサ11、12および13からアンプまでの配線30の長さおよび引き回し位置が非対称となり、電磁界センサ11、12および13の各ループにおける電磁界を乱す可能性があるためである。第1のアンプおよび第2のアンプが電磁界センサ11、12および13の中心に位置するように設けられることにより、各電磁波センサにおいて2つのループの電界および磁界の対称性を保つことができるので、電磁界の計測精度を向上することができる。例えば、第1のアンプ31および第2のアンプ32は、電磁界センサ部10の回路ボックス111の内部に設けられていてもよい。

10

## 【0096】

(その他の実施の形態)

以上、本発明にかかる電磁界センサおよび電磁界計測システムについて、実施の形態に基づいて説明したが、本発明は実施の形態に限定されるものではない。実施の形態に対して当業者が思いつく変形を施して得られる形態、および、複数の実施の形態における構成要素を任意に組み合わせて実現される別の形態も本発明に含まれる。

## 【0097】

例えば、上述した実施の形態では、電磁界センサ部は、3つの電磁界センサを、各電磁界センサが配置された単一平面が互いに直交するように組み合わせた構成としたが、電磁界センサ部は1つの電磁界センサで構成されてもよいし、2つの電磁界センサで構成されてもよい。

20

## 【0098】

また、上述した実施の形態では、電磁界センサを構成する導体ループは、矩形状としたが、矩形状に限らず、例えば円形状など他の形状であってもよい。また、電磁界センサを構成する一対の導体ループの形状は、同一の形状であってもよいし異なる形状であってもよい。また、一対の導体ループの配置は、点対称および線対称、または、点対称および線対称のいずれかに配置されてもよいし、他の配置であってもよい。

## 【0099】

また、一対の導体ループの一部を構成する複数の抵抗は、同一の抵抗値であってもよいし異なる抵抗値であってもよい。また、一対の導体ループを接続する抵抗は、導体ループの一部を構成する抵抗と同一の抵抗値であってもよいし、異なる抵抗値であってもよい。

30

## 【0100】

さらに、電磁界計測システムは、電界を計測するために検出する一対の導体ループ間の電圧を増幅するための第1のアンプを備えてもよいし、備えなくてもよい。また、電磁界計測システムは、磁界を計測するために検出する電圧を増幅するための第2のアンプを備えてもよいし、備えなくてもよい。また、第1のアンプおよび第2のアンプは、電磁界センサ部の中心に設けられてもよいし、他の位置に設けられてもよい。

## 【0101】

また、上述した実施の形態では、電磁界センサから信号処理部まで配線を設け、電磁界センサ部で検出された電界および磁界を、配線を通じて信号処理部へ出力する構成としたが、配線に代えて無線により電磁界センサで検出された電界および磁界を信号処理部へ出力してもよい。

40

## 【0102】

また、電磁界計測システムにおいて、信号処理部は、上述したようにAD変換部および演算部を備える構成であってもよいし、他の構成であってもよい。また、信号処理部は、計測した電界および磁界、計算したポインティングベクトルを記憶する記憶部をさらに備えてもよい。

## 【産業上の利用可能性】

## 【0103】

50

本発明にかかる電磁界センサおよび電磁界計測システムは、広帯域の周波数の電磁波を検出することが必要な鉄道、車などに用いられる電磁界センサおよび電磁界計測システムとして有用である。

【符号の説明】

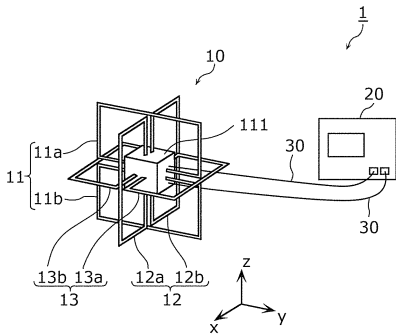
【0104】

- 1、2 電磁界計測システム
- 10 電磁界センサ部
- 11、12、13 電磁界センサ
- 11a、11b、12a、12b、13a、13b 導体ループ
- 20 信号処理部
- 30 配線
- 31 第1のアンプ
- 32 第2のアンプ
- 34a、34b、36、37a、37b、38 増幅器
- 35a、35b 抵抗
- 111 回路ボックス
- 130a、130b 導線
- 132a、132b 抵抗(第2の抵抗、第3の抵抗)
- 133a、133b 抵抗(第2の抵抗、第4の抵抗)
- 135 抵抗(第1の抵抗)

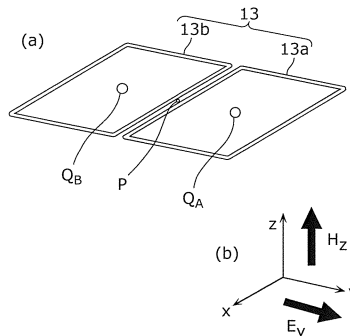
10

20

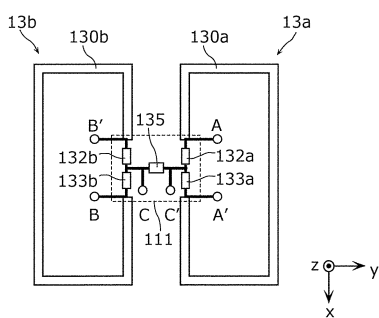
【図1】



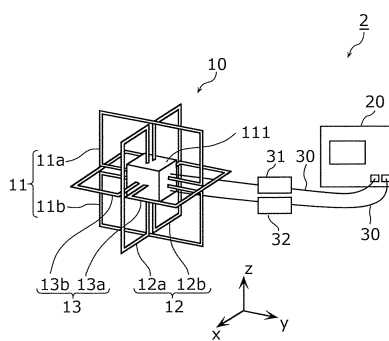
【図3】



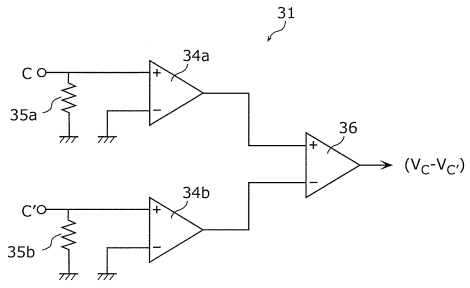
【図2】



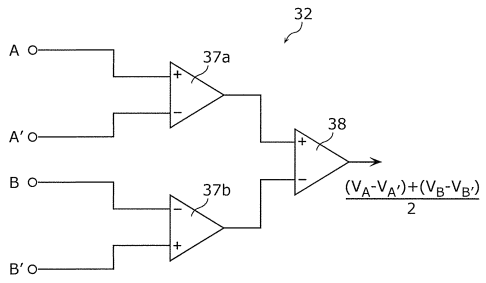
【図4】



【 図 5 】



【 図 6 】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 大前 彩  
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
- (72)発明者 ウンベルト パオレッティ  
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

審査官 續山 浩二

- (56)参考文献 特開平09-166653(JP,A)  
特開2007-187539(JP,A)  
特開2014-085176(JP,A)  
特表2013-508689(JP,A)  
特開2008-128847(JP,A)  
国際公開第2016/189999(WO,A1)  
特開2010-078597(JP,A)  
特開2002-228698(JP,A)  
特開平05-060815(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01R 29/08