

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年7月13日(13.07.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/119092 A1

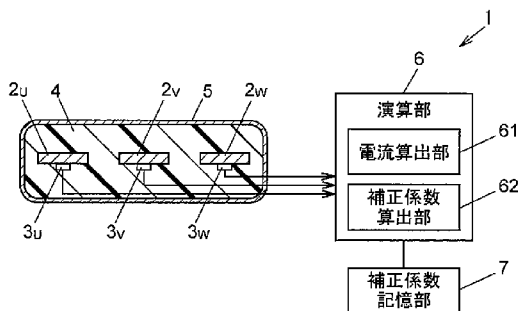
- (51) 国際特許分類:
G01R 15/20 (2006.01) G01R 19/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/050302
- (22) 国際出願日: 2016年1月7日(07.01.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 日立金属株式会社(HITACHI METALS, LTD.) [JP/JP]; 〒1088224 東京都港区港南一丁目2番70号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 二口 尚樹(FUTAKUCHI, Naoki); 〒1088224 東京都港区港南一丁目2番70号 日立金属株式会社内 Tokyo (JP). 秋元 克弥(AKIMOTO, Katsuya); 〒1088224 東京都港区港南一丁目2番70号 日立金属株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 平田 忠雄(HIRATA, Tadao); 〒1690074 東京都新宿区北新宿二丁目21番1号 新宿フロントタワー29階 平田国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

[続葉有]

(54) Title: CURRENT DETECTION DEVICE AND CORRECTION FACTOR CALCULATION METHOD

(54) 発明の名称: 電流検出装置及び補正係数算出方法

[図2]



- 6 Computing unit
7 Correction factor storage unit
61 Current calculation unit
62 Correction factor calculation unit

(57) Abstract: [Problem] To provide a current detection device and correction factor calculation method whereby a current flowing through a bus bar covered with a magnetic shield can be detected with high accuracy. [Solution] A current detection device 1 is provided with: a plurality of bus bars 2; a plurality of magnetic detection elements 3 which are arranged respectively in correspondence to the plurality of bus bars 2, and which output voltages corresponding to the strength of magnetic fields generated by currents flowing through the bus bars 2; a magnetic shield 5 arranged to surround parts of the bus bars 2 and the respective magnetic detection elements 3; a correction factor calculation unit 62 which, on the basis of the voltages output by the plurality of magnetic detection elements 3 when two or more arbitrarily defined bus bars 2 of the plurality of bus bars 2 are supplied with inversely phased currents, calculates correction factors for correcting mutual interference between the plurality of magnetic detection elements 3; a correction factor storage unit 7 which stores the correction factors calculated by the correction factor calculation unit 62; and a current calculation unit 61 which, using the correction factors stored in the correction factor storage unit 7, calculates the currents flowing through the plurality of bus bars 2 on the basis of the output voltages of the plurality of magnetic detection elements 3.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/119092 A1



MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, 添付公開書類:
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, — 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

【課題】磁性体シールドで覆われたバスバを流れる電流を高精度に検出することができる電流検出装置及び補正係数算出方法を提供する。 【解決手段】電流検出装置 1 は、複数のバスバ 2 と、複数のバスバ 2 のそれぞれに対応して配置され、バスバ 2 に流れる電流により発生する磁界の強度に応じた電圧を出力する複数の磁気検出素子 3 と、各バスバ 2 の一部及び各磁気検出素子 3 を囲むように配置された磁性体シールド 5 と、複数のバスバ 2 のうち任意の 2 つ以上のバスバ 2 に逆位相の電流を通電したときに複数の磁気検出素子 3 が出力する電圧に基づいて複数の磁気検出素子 3 の相互干渉を補正するための補正係数を算出する補正係数算出部 6 2 と、補正係数算出部 6 2 が算出した補正係数を記憶する補正係数記憶部 7 と、補正係数記憶部 7 に記憶された補正係数を用い、複数の磁気検出素子 3 の出力電圧に基づいて複数のバスバ 2 を流れる電流を算出する電流算出部 6 1 とを備える。

明 細 書

発明の名称：電流検出装置及び補正係数算出方法

技術分野

[0001] 本発明は、電流検出装置及び補正係数算出方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、導電体アレイのそれぞれの導電体が互いに隣接して配置されていても、それらの導電体のうちの一つの導電体を流れる電流を正確に検知できるようにした電流測定装置が提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。

[0003] 特許文献 1 に記載された電流測定装置は、互いに平行に配置された 3 つの導電体からなる導電体アレイのそれぞれの導電体を挟むように配置された 4 つの磁界センサの出力信号を読み取る読取ユニットと、読取ユニットによって読み取られた出力信号ならびに所定の磁界が各磁界センサの出力信号に与える影響を表す補正係数に基づいて、それぞれの導電体を流れる電流を演算する演算ユニットとを備える。演算ユニットの演算に用いられる補正係数は、1 つの導電体にのみ通電して他の導電体には通電しない状態で予め算出され、記録されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献 1：特表 2004-507747 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかし、特許文献 1 に記載の電流測定装置では、導電体の近傍に磁性体シールドが存在すると、磁界センサの出力信号が磁性体シールドによる磁界の影響を受けるため、正確に補正係数を算出することができないという問題があった。

[0006] そこで、本発明は、磁性体シールドで覆われたバスバに流れる電流を高精度に検出することができる電流検出装置及び補正係数算出方法を提供するこ

とを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明は、上記の目的を達成するため、複数のバスバと、前記複数のバスバのそれぞれに対応して配置され、前記バスバに流れる電流により発生する磁界の強度を検出し、前記磁界の強度に応じた電圧を出力する複数の磁気検出素子と、前記複数のバスバの一部及び前記複数の磁気検出素子を囲むように配置された磁性体シールドと、前記複数のバスバのうち任意の2つ以上のバスバに位相が逆位相となる電流を通電したときに前記複数の磁気検出素子が出力する電圧に基づいて、前記複数の磁気検出素子の相互干渉を補正するための補正係数を算出する補正係数算出部と、前記補正係数算出部が算出した前記補正係数が記録された記録媒体と、前記記録媒体に記録された前記補正係数を用い、前記複数の磁気検出素子が出力した電圧に基づいて、前記複数のバスバを流れる電流を算出する電流算出部と、を備えた電流検出装置を提供する。

発明の効果

[0008] 本発明によれば、バスバが磁性体シールドで覆われた構成において、バスバに流れる電流を高精度に検出することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明の実施の形態に係る電流検出装置を示す要部の平面図である。

[図2]図1のA-A線断面図である。

[図3]U相にのみ通電したときの磁気検出素子の電圧出力の測定結果を示すグラフである。

[図4]U相とV相に通電したときの磁気検出素子の電圧出力の測定結果を示すグラフである。

[図5]U相とV相に大きさがほぼ同じ電流を互いに逆方向に通電したときの磁気検出素子の電圧出力の測定結果を示すグラフである。

[図6]V相とW相に大きさがほぼ同じ電流を互いに逆方向に通電したときの磁気検出素子の電圧出力の測定結果を示すグラフである。

[図7]W相とU相に大きさがほぼ同じ電流を互いに逆方向に通電したときの磁気検出素子の電圧出力の測定結果を示すグラフである。

[図8]補正係数を適用する前の3相に通電した場合の磁気検出素子の電圧出力の測定結果である。

[図9]補正係数を適用した後の3相に通電した場合の磁気検出素子の電圧出力の測定結果である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、本発明の実施の形態について図1～図9を参照して説明する。

[0011] 図1は、本発明の実施の形態に係る電流検出装置を示す要部の平面図である。図2は、図1のA-A線断面図である。なお、図1では、後述する演算部及び補正係数記憶部の図示を省略している。

[0012] 電流検出装置1は、図1、図2に示すように、並列配置された複数（本実施の形態では3相用の3つ）のバスバ2u、2v、2w（以下、これらを総称するときは「バスバ2」ともいう）と、3つのバスバ2u、2v、2wのそれぞれに対応して配置され、バスバ2u、2v、2wを流れる電流により発生する磁界の強度を検出し、検出した磁界の強度に応じた電圧を出力する複数（本実施の形態では3つ）の磁気検出素子3u、3v、3w（以下、これらを総称するときは「磁気検出素子3」ともいう）と、3つのバスバ2u、2v、2wの一部、及び3つの磁気検出素子3u、3v、3wを覆うモールド樹脂部4と、モールド樹脂部4の周囲を覆う磁性体シールド5と、3つの磁気検出素子3u、3v、3wが出力した電圧に基づいて、各バスバ2u、2v、2wに流れる電流を算出する演算部6と、補正係数を記憶する補正係数記憶部7とを備える。補正係数記憶部7は、本発明の「記録媒体」の一態様である。

[0013] バスバ2は、板状の導体から形成され、例えば自動車の走行用の駆動源であるモータとインバータとの間で、三相交流のモータ電流を流す電流路となるものである。バスバ2を流れる電流は、例えば定常時で最大200A程度、異常時等の突入電流で最大800A程度であり、周波数は、例えば最大1

00kHz程度である。3本のバスバ2は、同一平面上に配置され、その長手方向が平行となるように、幅方向に等間隔に並列配置されている。バスバに電流が流れると、その電流の向きと直交する方向に磁界が生じ、その強度はバスバからの距離が離れるにつれ減少する。

[0014] 磁気検出素子3は、検出軸に沿った方向の磁界の強度（磁束密度）に応じた電圧を出力するように構成されている。磁気検出素子3としては、例えばGMR（Giant Magneto Resistive effect）センサなどのMR（Magneto Resistance）センサを用いることができる。本実施の形態では、比較的感度が高いGMRセンサを用いる。磁気検出素子3は、バスバ2に対する位置等によって検出する磁界が異なるため、対応するバスバに同じ大きさの電流が流れた場合でも出力が異なる。

[0015] 磁気検出素子3は、例えばバスバ2に接触又は近接して配置されている。磁気検出素子3の向きは、検出軸がバスバ2の長手方向に直交する方向が望ましいが、直交する方向から傾いていてもよい。また、バスバ2に貫通穴を形成し、その貫通穴に磁気検出素子3を配置してもよい。

[0016] モールド樹脂部4としては、例えば高い電気絶縁性を有するエポキシ樹脂等が用いられる。

[0017] 磁性体シールド5は、外部からの磁界による外乱の影響を除くために3つのバスバ2全体を一括してシールドしている。磁性体シールド5は、例えば、パーマロイ、電磁鋼板、フェライト等の軟磁性体材料を用いて形成される。磁性体シールド5の比透磁率は1より十分大きい（一般に1000以上）ので、外乱磁界の磁束が磁性体シールド5に引き寄せられるため、磁気検出素子3の設置場所における磁界強度を低減させることができる（外乱シールド効果）。

[0018] また、バスバ2に電流を通電した際に生じる磁界の磁束も磁性体シールド5に引き寄せられる。磁性体シールド5の比透磁率は、その内部の磁界の影響によって変化するが、例えば磁性体シールド5の内部の磁界が大きくなると、磁界の変化に対して磁束密度の変化が小さくなり（いわゆる飽和）、比

透磁率が小さくなる。磁性体シールド5の比透磁率が変化すると、磁性体シールド5への磁束の引き寄せられる程度が変化するため、磁気検出素子3の位置での磁界強度が変化することとなる。また、バスバ2の複数のバスバに電流を通电した場合、磁性体シールド5の内部の磁束は、複数のバスバそれぞれの影響を重ね合わせたものとなる。

[0019] なお、磁性体シールド5は、バスバ2を取り囲むように設置されるが、必ずしも閉じた形状をする必要はなく、ある大きさのギャップが空いていてもよい。さらに、平行平板をバスバ2を挟むように配置する構成でもよい。

[0020] 演算部6は、磁気検出素子3が出力する電圧から磁束密度を両者を結び付ける関係式を用いて求め、求めた磁束密度から各バスバ2に流れる電流を算出する電流算出部61と、磁気検出素子3間の干渉を補正する補正係数を算出する補正係数算出部62とを備える。演算部6は、例えばASIC (Application Specific Integrated Circuit) やFPGA (Field Programmable Gate Array) 等の集積回路 (IC) で実現することができる。

[0021] 電流算出部61は、例えば、下記式(1)を用いて各バスバ2に流れる電流を算出する。

[0022] [数1]

$$\begin{pmatrix} I_u \\ I_v \\ I_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_u \\ B_v \\ B_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_u(V_u) \\ f_v(V_v) \\ f_w(V_w) \end{pmatrix} \cdot \cdot \cdot \quad (1)$$

ここで、 V_u 、 V_v 、 V_w は、磁気検出素子3u、3v、3wがそれぞれ出力する電圧であり、 B_u 、 B_v 、 B_w は、各相の電圧を関数 f_u 、 f_v 、 f_w で換算した磁束密度であり、 $a_{11} \sim a_{33}$ は、補正係数であり、 I_u 、 I_v 、 I_w は、バスバ2u、2v、2wにそれぞれ流れる電流である。ただし、 I_u 、 I_v 、 I_w はバスバ2u、2v、2wにそれぞれ流れる電流に比例した電圧としてもよい。

[0023] 補正係数記憶部7は、例えば不揮発性メモリのEEPROMであり、磁気検出素子3間の干渉を補正するための補正係数 $a_{11} \sim a_{33}$ が記憶されている。

[0024] 補正係数算出部62は、最適な補正係数を求めてそれを補正係数記憶部7

に記憶する。そして電流算出部 61 は、補正係数記憶部 7 に記憶されている補正係数を式 (1) に代入して各バスバ 2 を流れる電流を算出する。

[0025] 図 3 は、U 相にのみ通電したときの出力の測定結果を示すグラフである。

図 4 は、U 相と V 相に通電したときの出力の測定結果を示すグラフである。

[0026] 各磁気検出素子 3 は、互いに接近しているため、対象とする相とは異なる他の相の影響を受けてしまう（相互干渉）。このため、各磁気検出素子 3 は、各バスバ 2 を流れる電流によりそれぞれ発生した磁界を合成した磁界を検出することになる。このため、バスバ 2 の個々に流れる電流を正確に算出するためには、補正係数を用いて干渉を補正する必要がある。

[0027] しかし、バスバ 2 及び磁気検出素子 3 を磁性体シールド 5 で覆った場合、バスバ 2 に通電する電流によって生じる磁界が磁性体シールド 5 の中に入り込み、その大きさによっては磁性体シールド 5 の透磁率が変化してしまう。その磁界の変動範囲が大きい場合には、磁性体シールド 5 の比透磁率が磁界の変動に合わせて変化するため、磁気検出素子 3 の電圧出力が非線形に変化する。

[0028] 1 つのバスバ 2 に通電した場合、その通電したバスバ 2 の周囲に生じる磁界は通電したバスバ 2 の電流によって大きく変動する。磁性体シールド 5 の内部の磁界もそれに合わせて大きく変動するので、電流の変化に合わせて磁性体シールド 5 の比透磁率が変化するため、通電されたバスバ 2 以外のバスバ 2 に対応する磁気検出素子 3 の出力電圧は非線形となる。なお、通電されたバスバ 2 に対応する磁気検出素子 3 の出力電圧は、磁気検出素子 3 の位置がバスバ 2 に近接して配置されているため、磁性体シールド 5 の比透磁率の変化の影響は受けにくく、出力は線形となる。例えば図 3 に示すように、U 相にのみ通電したとき、U 相の磁気検出素子 3 u の出力電圧は線形となる一方、V 相の磁気検出素子 3 v の出力電圧は非線形となる。このような条件で干渉補正のための係数を取得しようとしても、正確な補正係数を算出できない。

[0029] 一方、バスバ 2 の内の任意の 2 つのバスバに、振幅がほぼ同じで逆位相と

なる電流を通電した場合、バスバ2の周囲の磁界はこれら2つのバスバ2の通電によって生じる磁界の重ね合わせとなる。磁性体シールド5の内部に生じる磁界も重ね合わせとなり、特に振幅がほぼ同じで逆位相の場合は、それぞれの影響が相殺し合い、磁界の変動を小さくできる。そのために磁性体シールド5の比透磁率の変化がほとんど生じず、磁気検出素子3の出力電圧も線形になる。例えば、U相とV相に振幅がほぼ同じで逆位相となる電流を通電すると、図4に示すように、3相のそれぞれの磁気検出素子3の出力電圧の関係が線形となる。このような条件で干渉補正のための係数を取得すると正確な補正係数を算出することができる。

[0030] すなわち、本実施の形態は、バスバ2に流れる電流を高精度に計測するために、磁性体シールド5を組み込んだ状態で、任意の2相に振幅がほぼ同じで逆位相となる電流を通電することで、磁性体シールド5での磁界の変動を小さく抑えられ、磁気検出素子3の出力電圧が線形となり、正確な補正係数の算出が可能となる。重要なのは、磁性体シールド5の内部に設置してあるバスバ2に通電する電流の総和の振幅を小さくして補正係数を取得することであるため、例えばバスバ2の3相同時に通電しても、その電流の総和の振幅が小さければ、本発明の効果が得られる。この結果、本実施の形態では、磁気検出素子3間の高精度な干渉補正が可能になる。

[0031] (補正係数の算出方法)

次に、補正係数の算出方法を説明する。3相の電流を測定する場合の補正係数は、 3×3 行列であり、すべての要素を一意に定めるには、3つの独立した測定が必要である。例えば、U相とV相の組合せで振幅がほぼ同じで互いに逆位相となる電流を通電して磁気検出素子3の出力線圧を測定し、次にU相とV相とW相の組合せで、V相を基準としU相とW相にはそれと逆位相で振幅の和がV相とほぼ同じになるような電流を通電して磁気検出素子3の出力電圧を測定し、さらにW相とU相の組合せで振幅がほぼ同じで互いに逆位相になる電流を通電して磁気検出素子3の出力電圧を測定することで、高精度の補正係数が算出できる。任意の2つ以上の相に対応する2つのバスバ2

に通電する位相が逆位相となる2つの電流を通電する場合、同位相同士で電流を合計した上で、それらの振幅差は、振幅が大きい方の $1/10$ 以下とすることが、高精度に補正係数を算出する上で好ましい。

[0032] まず、条件(i)として、U相のバスバ2uに基準電流 I_u を通電するとともに、V相のバスバ2vにU相とほぼ同じ振幅で逆位相の電流 I_v ($=-I_u$)を通電し、磁気検出素子3u, 3v, 3wから出力された電圧の振幅 V_{uo_i} , V_{vo_i} , V_{wo_i} を取得する。また、U相のバスバ2uに基準電流 I_u を通電したとき、バスバ2u, 2v, 2wを流れる電流(基準電流)の振幅 I_{uo_i} , I_{vo_i} , I_{wo_i} を測定する(I_{wo_i} はゼロである)。

[0033] 次に、条件(ii)として、V相のバスバ2vに基準電流 I_v を通電するとともに、U相のバスバ2uにV相と振幅が k ($0 < k < 0.5$)倍で逆位相の電流 I_u ($=-k I_v$)を通電し、W相のバスバ2wにV相と振幅が k ($0 < k < 0.5$)倍で逆位相の電流 I_w ($=-k I_v$)を通電し、磁気検出素子3u, 3v, 3wから出力された電圧 V_{uo_ii} , V_{vo_ii} , V_{wo_ii} を取得する。また、V相のバスバ2vに基準電流 I_v を通電したとき、バスバ2u, 2v, 2wを流れる電流(基準電流)の振幅 I_{uo_ii} , I_{vo_ii} , I_{wo_ii} を測定する。

[0034] 次に、条件(iii)として、W相のバスバ2wに基準電流 I_w を通電するとともに、V相のバスバ2vにW相とほぼ同じ振幅で逆位相の電流 I_v ($=-I_w$)を通電し、磁気検出素子3u, 3v, 3wから出力された電圧 V_{uo_iii} , V_{vo_iii} , V_{wo_iii} を取得する。また、W相のバスバ2wに基準電流 I_w を通電したとき、バスバ2u, 2v, 2wを流れる電流(基準電流)の振幅 I_{uo_iii} , I_{vo_iii} , I_{wo_iii} を測定する(I_{uo_iii} はゼロである)。

[0035] 得られた電圧 V_{uo_i} , V_{vo_i} , V_{wo_i} , V_{uo_ii} , V_{vo_ii} , V_{wo_ii} , V_{uo_iii} , V_{vo_iii} , V_{wo_iii} 、電流 I_{uo_i} , I_{vo_i} , I_{wo_i} , I_{uo_ii} , I_{vo_ii} , I_{wo_ii} , I_{uo_iii} , I_{vo_iii} , I_{wo_iii} を次の式(2)に代入する。

[0036]

[数2]

$$\begin{pmatrix}
 \begin{matrix} 1 \\ I_{V0\_i} \\ I_{U0\_i} \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} \frac{I_{U0\_ii}}{I_{V0\_ii}} \\ 1 \\ I_{W0\_ii} \\ I_{V0\_ii} \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ I_{V0\_iii} \\ I_{W0\_iii} \\ 1 \end{matrix} \\
 \text{条件(i)} & \text{条件(ii)} & \text{条件(iii)}
 \end{pmatrix} = G \begin{pmatrix} a_{UU} & a_{UV} & a_{UW} \\ a_{VU} & a_{VV} & a_{VW} \\ a_{WU} & a_{WV} & a_{WW} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \begin{matrix} \frac{V_{U0\_i}}{I_{U0\_i}} \\ \frac{V_{V0\_i}}{I_{V0\_i}} \\ \frac{V_{U0\_i}}{I_{U0\_i}} \\ \frac{V_{W0\_i}}{I_{U0\_i}} \end{matrix} & \begin{matrix} \frac{V_{U0\_ii}}{I_{V0\_ii}} \\ \frac{V_{V0\_ii}}{I_{V0\_ii}} \\ \frac{V_{U0\_ii}}{I_{V0\_ii}} \\ \frac{V_{W0\_ii}}{I_{V0\_ii}} \end{matrix} & \begin{matrix} \frac{V_{U0\_iii}}{I_{W0\_iii}} \\ \frac{V_{V0\_iii}}{I_{V0\_iii}} \\ \frac{V_{U0\_iii}}{I_{W0\_iii}} \\ \frac{V_{W0\_iii}}{I_{W0\_iii}} \end{matrix} \\
 \text{条件(i)} & \text{条件(ii)} & \text{条件(iii)}
 \end{pmatrix} \cdots (2)$$

[0037] 式(2)の左辺の電流振幅行列を I_N 、右辺の第1因子である電圧値を電流値に変換する係数(スカラー値)を G 、第2因子である干渉補正係数行列を A 、第3因子である出力勾配行列を V_G とすると、式(2)は、

$$I_N = G A V_G \cdots (3)$$

と表せる。電流振幅行列 I_N は、測定した電流の振幅を基準電流で規格化した電流振幅である。出力勾配行列 V_G は、出力電圧振幅を基準電流で規格化した電圧振幅である。

[0038] 式(3)を変形すると、次の式(4)となる。

$$A = (1/G) I_N V_G^{-1} \cdots (4)$$

そして、式(4)より、 V_G が逆行列を持つならば(3条件が独立ならば)干渉補正係数 a_{uu} , a_{uv} , a_{uw} , a_{vu} , a_{vv} , a_{vw} , a_{wu} , a_{wv} , a_{ww} を求めることができる。

[0039] (実施の形態の作用及び効果)

本実施の形態によれば、以下の作用及び効果を奏する。

[0040] (1) バスバ2及び磁気検出素子3は、磁性体シールド5でシールドされているため、外乱磁界の影響を受け難くなる。

[0041] (2) バスバ2及び磁気検出素子3を磁性体シールド5でシールドした状態で、3相のうち任意の2つ以上の相に、振幅(同位相同士の振幅を合計したもの)がほぼ同じで逆位相となる電流を通電して、補正係数を算出するので、各相に通電した電流による磁界が相殺され、磁性体シールド5の比透磁率の変化を小さく抑えられ、磁気検出素子3の出力が線形になるので、正確な補正係数の算出が可能となる。この結果、高精度の干渉補正が可能となり、バスバ2が磁性体シールド5で覆われた構成において、バスバ2を流れる電

流を高精度に検出することが可能となる。

[0042] (実施例)

図5、図6、図7は、干渉補正係数行列を算出するための手順を説明するためのグラフである。図5は、U相とV相のバスバに振幅がほぼ同じで互いに逆位相の電流を通電したときの磁気検出素子3の出力電圧の測定結果を示すグラフである。図6は、V相とW相のバスバに振幅がほぼ同じで互いに逆位相の電流を通電したときの磁気検出素子3の出力電圧の測定結果を示すグラフである。図7は、W相とU相のバスバに振幅がほぼ同じで互いに逆位相の電流を通電したときの磁気検出素子3の電圧出力の測定結果を示すグラフである。

[0043] 図5に示すように、U相とV相のバスバに通電した場合には、磁気検出素子3u, 3vの出力電圧が大きな正弦波となっているが、電流を通電していないW相の磁気検出素子3wの出力電圧は、小さな正弦波となっている。図6に示すように、V相とW相のバスバに通電した場合には、磁気検出素子3v, 3wの出力電圧が大きな正弦波となっているが、電流を通電していないU相の磁気検出素子3uの出力電圧は、小さな正弦波となっている。図7に示すように、W相とU相のバスバに通電した場合には、磁気検出素子3w, 3uの出力電圧は、大きな正弦波となっているが、電流を通電していない磁気検出素子3vの出力電圧は、小さな正弦波となっている。いずれも正弦波となっていることから、磁気検出素子3の出力は線形となっているので、式(4)を用いて正確に干渉補正係数を求めることができる。

[0044] 次の[数3]に補正係数の一例を示す。

[数3]

$$\begin{pmatrix} a_{UU} & a_{UV} & a_{UW} \\ a_{VU} & a_{VV} & a_{VW} \\ a_{WU} & a_{WV} & a_{WW} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.98459 & -0.20400 & -0.11447 \\ -0.00361 & 0.96458 & -0.04855 \\ -0.14465 & -0.20645 & 0.94812 \end{pmatrix}$$

[0045] 図8は、[数3]に示す補正係数を用いた干渉補正を適用する前の、3相のバスバに同一の振幅の電流を通電した場合の磁気検出素子の出力電圧の測

定結果である。図9は、[数3]に示す補正係数を用いた干渉補正を適用した後の、3相のバスバに同一の振幅の電流を通電した場合の磁気検出素子の出力電圧の測定結果である。3相に同一の振幅の電流を通電しても、補正を適用する前は、図8に示すように、各相の出力電圧の振幅に0.3V以上の差が生じているが、補正を適用した後は、図9に示すように、各相の出力電圧の振幅にはほとんど差が生じていないことが分かる。

[0046] (実施の形態のまとめ)

次に、以上説明した実施の形態から把握される技術思想について、実施の形態における符号等を援用して記載する。ただし、以下の記載における各符号は、特許請求の範囲における構成要素を実施の形態に具体的に示した部材等に限定するものではない。

[0047] [1] 複数のバスバ(2)と、前記複数のバスバ(2)のそれぞれに対応して配置され、前記バスバ(2)に流れる電流により発生する磁界の強度を検出し、前記磁界の強度に応じた電圧を出力する複数の磁気検出素子(3)と、前記複数のバスバ(2)の一部及び前記複数の磁気検出素子(3)を囲むように配置された磁性体シールド(5)と、前記複数のバスバ(2)のうち任意の2つ以上のバスバ(2)に位相が逆位相となる電流を通電したときに前記複数の磁気検出素子(3)が出力する電圧に基づいて、前記複数の磁気検出素子(3)の相互干渉を補正するための補正係数を算出する補正係数算出部(62)と、前記補正係数算出部(62)が算出した前記補正係数が記録された記録媒体と、前記記録媒体に記録された前記補正係数を用い、前記複数の磁気検出素子(3)が出力した電圧に基づいて、前記複数のバスバ(2)を流れる電流を算出する電流算出部(61)と、を備えた電流検出装置。

[0048] [2] 前記補正係数算出部(62)が前記補正係数を算出するときの、前記2つ以上のバスバ(2)に通電する位相が逆位相となる電流を同位相同士合計した2つの電流振幅の振幅差は、振幅が大きい方の $1/10$ 以下である、前記[1]に記載の電流検出装置。

[0049] [3] 複数のバスバ(2)と、前記複数のバスバ(2)のそれぞれに対応して配置され、前記バスバ(2)に流れる電流により発生する磁界の強度を検出し、前記磁界の強度に応じた電圧値を出力する複数の磁気検出素子(3)と、前記複数のバスバ(2)の一部及び前記複数の磁気検出素子(3)を囲むように配置された磁性体シールド(5)と、を備える電流検出装置における補正係数算出方法であって、前記複数のバスバ(2)のうち任意の2つ以上のバスバ(2)に位相が逆位相となる電流を通电したときに前記複数の磁気検出素子(3)が出力する電圧に基づいて、前記複数の磁気検出素子(3)の相互干渉を補正するための補正係数を算出する工程を含む補正係数算出方法。

[0050] [4] 前記補正係数を算出する工程における、前記2つ以上のバスバ(2)に通电する位相が逆位相となる電流を同位相同士合計した2つの電流振幅の振幅差は、振幅が大きい方の $1/10$ 以下である、前記[3]に記載の補正係数算出方法。

[0051] 以上、本発明の実施の形態を説明したが、上記に記載した実施の形態は特許請求の範囲に係る発明を限定するものではない。また、実施の形態の中で説明した特徴の組合せの全てが発明の課題を解決するための手段に必須であるとは限らない点に留意すべきである。

[0052] また、本発明は、その趣旨を逸脱しない範囲で適宜変形して実施することが可能である。例えば、上記実施の形態では、補正係数算出部62が算出した補正係数を補正係数記憶部7に記憶したが、補正係数を用紙等の記録媒体に印刷等により記録して電流検出装置1の添付書類としてユーザに出荷し、ユーザの方で補正係数記憶部7に記憶させてもよい。また、上記実施の形態では、磁性体シールド5に長手方向の一部が囲まれるバスバ2の数が3である場合について説明したが、このバスバ2の数は3より多くてもよい。すなわち、本発明は、磁性体シールド5に長手方向の一部が囲まれるバスバ2の数が3以上である導電路の電流を検出する場合に適用できる。

符号の説明

[0053] 1 …電流検出装置

2, 2 u, 2 v, 2 w …バスバ

3, 3 u, 3 v, 3 w …磁気検出素子

4 …モールド樹脂部

5 …磁性体シールド

6 …演算部

7 …補正係数記憶部

6 1 …電流算出部

6 2 …補正係数算出部

請求の範囲

[請求項1]

複数のバスバと、

前記複数のバスバのそれぞれに対応して配置され、前記バスバに流れる電流により発生する磁界の強度を検出し、前記磁界の強度に応じた電圧を出力する複数の磁気検出素子と、

前記複数のバスバの一部及び前記複数の磁気検出素子を囲むように配置された磁性体シールドと、

前記複数のバスバのうち任意の2つ以上のバスバに位相が逆位相となる電流を通電したときに前記複数の磁気検出素子が出力する電圧に基づいて、前記複数の磁気検出素子の相互干渉を補正するための補正係数を算出する補正係数算出部と、

前記補正係数算出部が算出した前記補正係数が記録された記録媒体と、

前記記録媒体に記録された前記補正係数を用い、前記複数の磁気検出素子が出力した電圧に基づいて、前記複数のバスバを流れる電流を算出する電流算出部と、

を備えた電流検出装置。

[請求項2]

前記補正係数算出部が前記補正係数を算出するときの、前記2つ以上のバスバに通電する位相が逆位相となる電流を同位相同士合計した2つの電流振幅の振幅差は、振幅が大きい方の $1/10$ 以下である、請求項1に記載の電流検出装置。

[請求項3]

複数のバスバと、

前記複数のバスバのそれぞれに対応して配置され、前記バスバに流れる電流により発生する磁界の強度を検出し、前記磁界の強度に応じた電圧値を出力する複数の磁気検出素子と、

前記複数のバスバの一部及び前記複数の磁気検出素子を囲むように配置された磁性体シールドと、

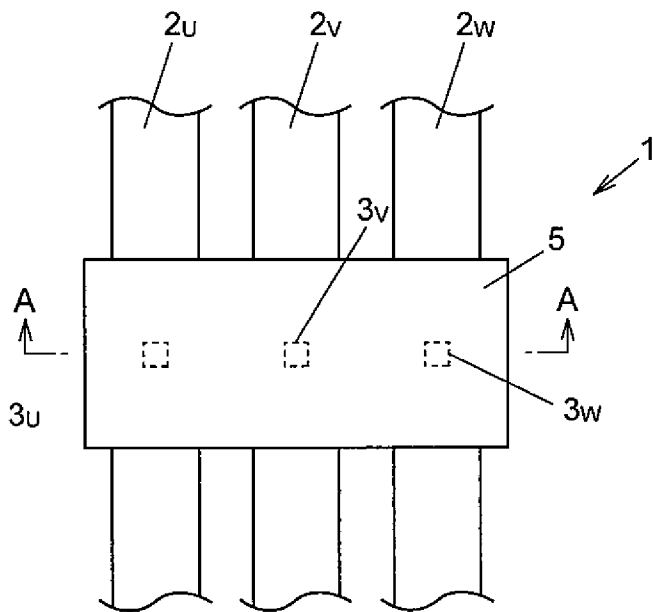
を備える電流検出装置における補正係数算出方法であって、

前記複数のバスバのうち任意の2つ以上のバスバに位相が逆位相となる電流を通電したときに前記複数の磁気検出素子が出力する電圧に基づいて、前記複数の磁気検出素子の相互干渉を補正するための補正係数を算出する工程を含む補正係数算出方法。

[請求項4] 前記補正係数を算出する工程における、前記2つ以上のバスバに通電する位相が逆位相となる電流を同位相同士合計した2つの電流振幅の振幅差は、振幅が大きい方の $1/10$ 以下である、
請求項3に記載の補正係数算出方法。

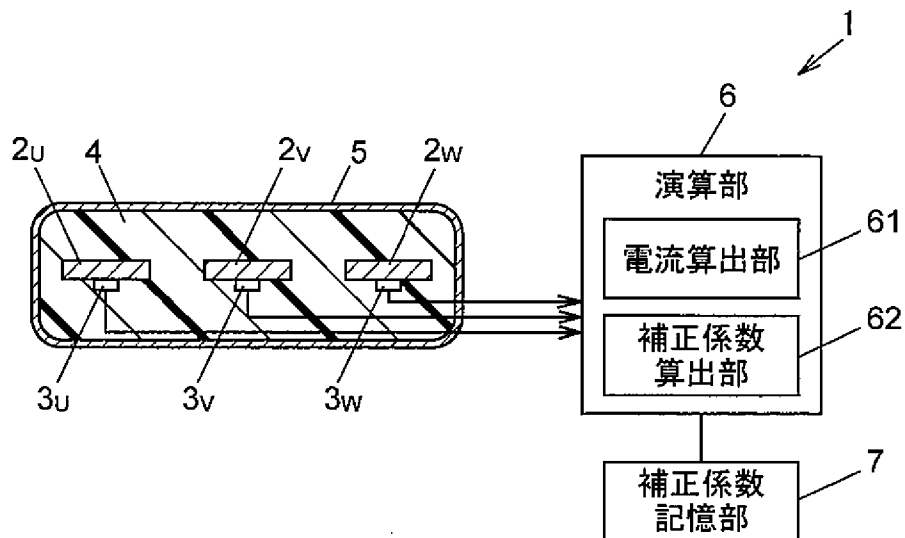
[図1]

図1



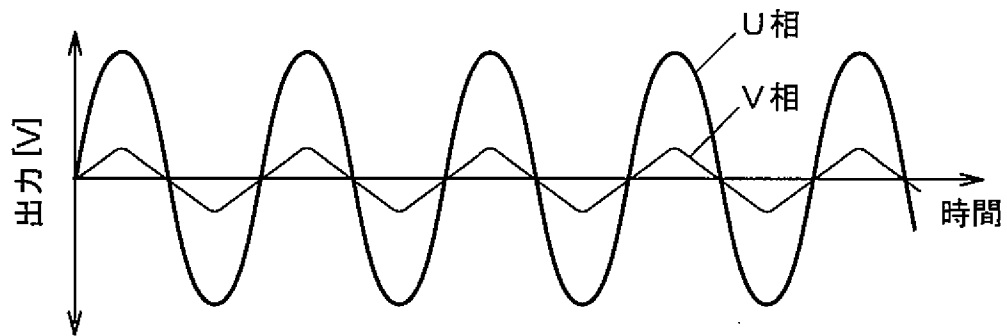
[図2]

図2



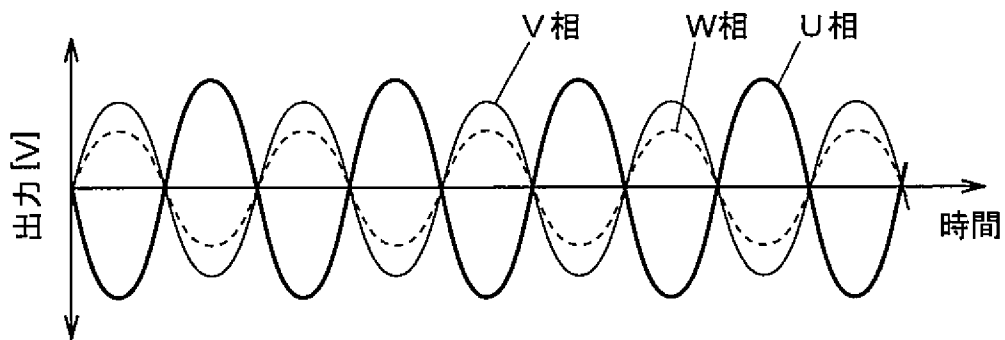
[図3]

図3



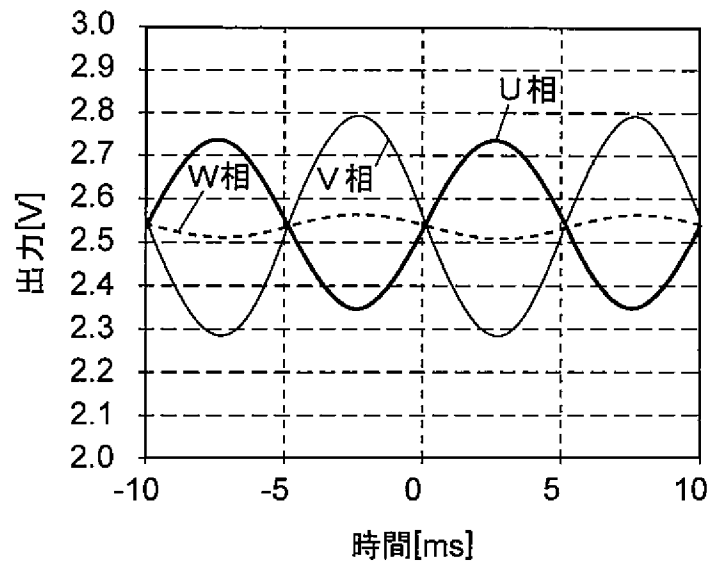
[図4]

図4



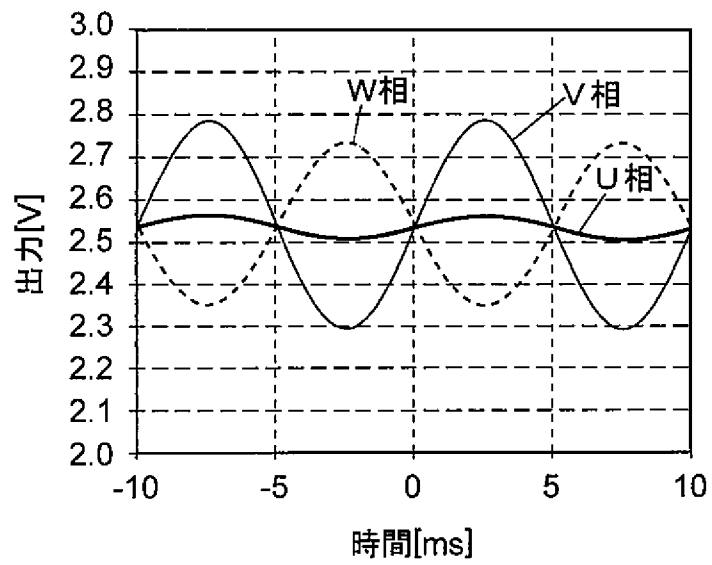
[図5]

図5



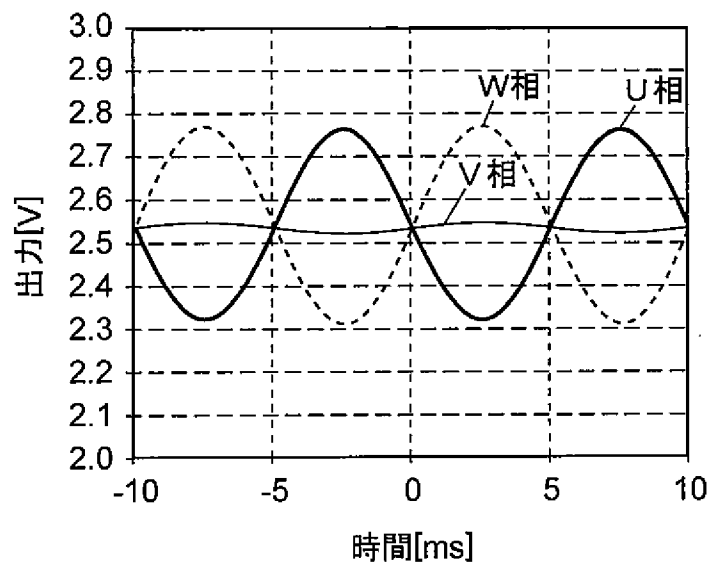
[図6]

図6



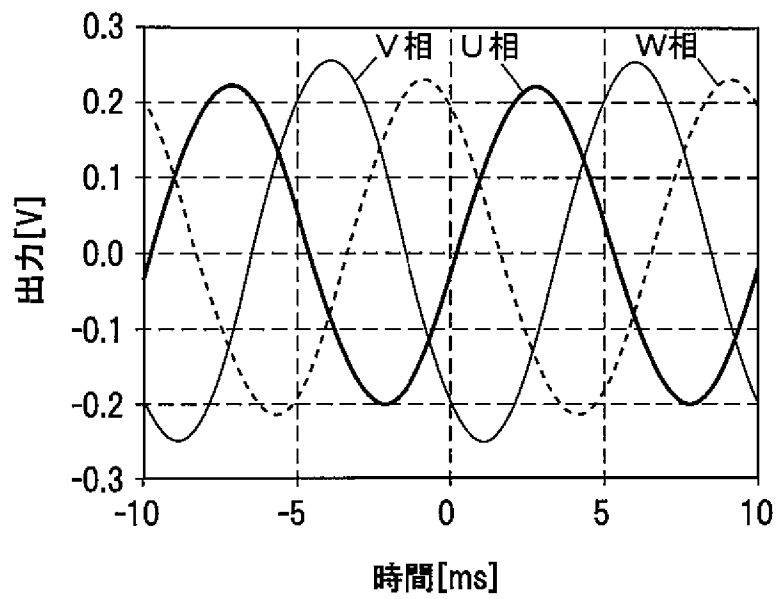
[図7]

図7



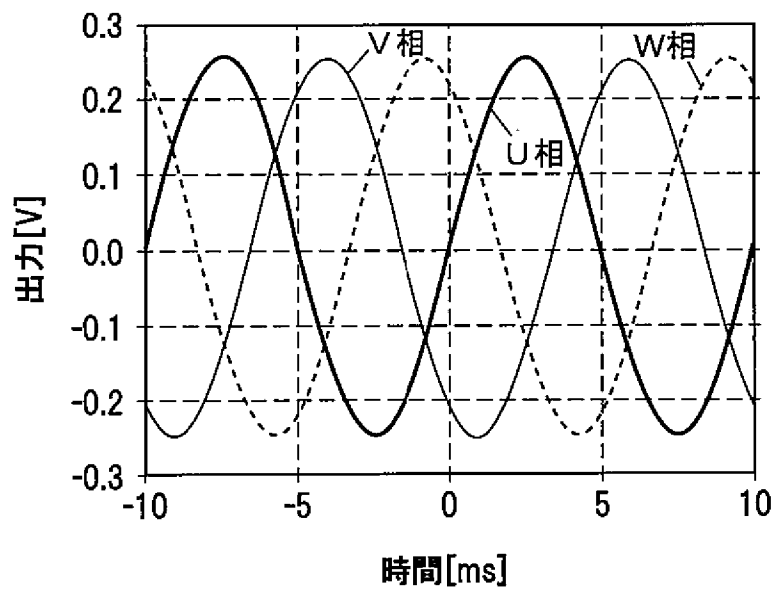
[図8]

図8



[図9]

図9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/050302

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>G01R15/20(2006.01) i, G01R19/00(2006.01) i</i>		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01R15/20, G01R19/00		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2014/080526 A1 (Mitsubishi Electric Corp.), 30 May 2014 (30.05.2014), paragraphs [0043] to [0057]; fig. 1 to 4 & US 2015/0204914 A1 paragraphs [0039] to [0053]; fig. 1 to 4 & CN 104769443 A	1, 3
A	JP 2008-504546 A (Valeo Equipments Electriques Moteur), 14 February 2008 (14.02.2008), entire text; all drawings & US 2008/0312854 A1 & WO 2006/010865 A1 & EP 1766422 A1 & FR 2872580 A1 & CA 2567607 A & KR 10-2007-0037717 A & CN 1997899 A	1, 3
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 29 March 2016 (29.03.16)		Date of mailing of the international search report 05 April 2016 (05.04.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/050302

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☒ Claims Nos.: 2, 4
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
(See extra sheet)

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/050302

Continuation of Box No.II-2 of continuation of first sheet (2)

It is unclear to which amplitude in the Description and Drawings the "two current amplitudes" in "the amplitude difference of the two current amplitudes obtained by summing the same phases of the currents having opposite phases supplied to the two or more bus bars is not more than 1/10 the one with the greater amplitude (claims 2, 4)" corresponds.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01R15/20(2006.01)i, G01R19/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01R15/20, G01R19/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

国際調査で利用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	W0 2014/080526 A1（三菱電機株式会社）2014.05.30, [0043]-[0057], 図 1-4 & US 2015/0204914 A1, [0039]-[0053], FIG. 1-4 & CN 104769443 A	1, 3
A	JP 2008-504546 A（ヴァレオ エキプマン エレクトリック モトウール） 2008.02.14, 全文, 全図 & US 2008/0312854 A1 & W0 2006/010865 A1 & EP 1766422 A1 & FR 2872580 A1 & CA 2567607 A & KR 10-2007-0037717 A & CN 1997899 A	1, 3

C 欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

29.03.2016

国際調査報告の発送日

05.04.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

越川 康弘

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

2 S

9605

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☒ 請求項 2,4 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
「前記2つ以上のバスバに通電する位相が逆位相となる電流を同位相同士合計した2つの電流振幅の振幅差は、振幅が大きい方の1/10以下」（請求項2,4）における「2つの電流振幅」とは、明細書、図面におけるどの振幅に対応するのかが明確ではない。
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。