

(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  
2024年12月19日(19.12.2024)



(10) 国際公開番号

**WO 2024/257579 A1**

(51) 国際特許分類:

*G01R 15/20* (2006.01) *G01R 33/07* (2006.01)

*G01R 17/12* (2006.01) *G01R 33/09* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2024/019065

(22) 国際出願日: 2024年5月23日(23.05.2024)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:

特願 2023-096222 2023年6月12日(12.06.2023) JP

(71) 出願人: 株式会社村田製作所  
(MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/

JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1  
丁目 10 番 1 号 Kyoto (JP).

(72) 発明者: 沈 ▲凱 ▼(SHEN, Kai); 〒6178555 京  
都府長岡京市東神足 1 丁目 10 番 1 号 株  
式会社村田製作所内 Kyoto (JP).

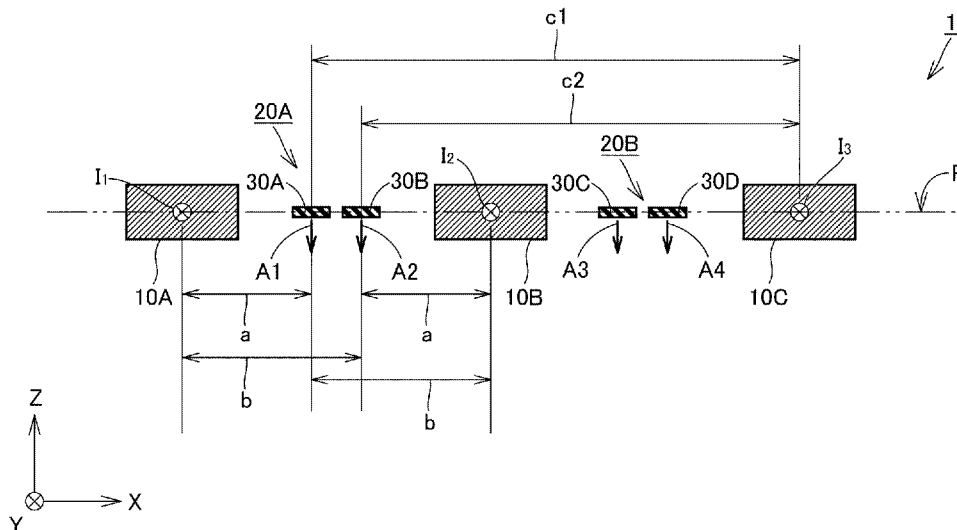
(74) 代理人: 弁理士法人深見特許事務所(FUKAMI  
PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪  
市北区中之島三丁目 2 番 4 号 中之島フェス  
ティバルタワー・ウエスト Osaka (JP).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,  
EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,

(54) Title: ELECTRIC CURRENT SENSOR

(54) 発明の名称: 電流センサ

FIG.2



(57) **Abstract:** Provided is an electric current sensor comprising: a first bus bar (10A), a second bus bar (10B), and a third bus bar (10C) through which a three-phase AC current flows; a first sensor unit (20A) having a first magnetic detection element (30A) and a second magnetic detection element (30B); and a second sensor unit (20B) having a third magnetic detection element (30C) and a fourth magnetic detection element (30D), the first sensor unit (20A) being disposed between two bus bars other than one arbitrary bus bar to be measured from among the first through third bus bars, the second sensor unit (20B) having as a measurement object one of the two bus bars other than the one bus bar to be measured, and being disposed between the one bus bar to be measured and the other of the two bus bars other than the one bus bar to be measured, the distance between the first magnetic detection element (30A) and the one of the two bus bars other than the

HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

one bus bar to be measured and the distance between the second magnetic detection element (30B) and the other of the two bus bars other than the one bus bar to be measured being substantially equal, and the distance between the third magnetic detection element (30C) and the other of the two bus bars other than the one bus bar to be measured and the distance between the fourth magnetic detection element (30D) and the one bus bar to be measured being substantially equal.

(57) 要約: 三相交流の電流が流れる第1バスバ(10A)、第2バスバ(10B)および第3バスバ(10C)と、第1磁気検出素子(30A)および第2磁気検出素子(30B)を有する第1センサユニット(20A)と、第3磁気検出素子(30C)および第4磁気検出素子(30D)を有する第2センサユニット(20B)を備え、第1センサユニット(20A)は、第1～第3バスバのうちの任意の一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバ同士の上に配置され、第2センサユニット(20B)は、一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの一方を測定対象とし、一の測定対象のバスバと一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方との間に配置され、第1磁気検出素子(30A)と一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの一方との距離と第2磁気検出素子(30B)と一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方との距離は略等距離であり、第3磁気検出素子(30C)と一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方との距離と第4磁気検出素子(30D)と一の測定対象のバスバとの距離は略等距離である電流センサ。

## 明 細 書

発明の名称：電流センサ

### 技術分野

[0001] 本発明は、電流センサに関する。

### 背景技術

[0002] 電流測定装置の構成を開示した先行技術文献として、特開 2 0 0 8 - 5 8 0 3 5 号公報（特許文献 1）がある。特許文献 1 に記載された電流測定装置は、総和がゼロとなる電流が流れる 3 本の導体の各導体の電流値を測定する。電流測定装置は、第 1 および第 2 のコアレス電流センサと、保持手段と、算出手段と、シールド部材とを備える。第 1 および第 2 のコアレス電流センサは、3 本の導体に対して所定の相対位置に配置される。保持手段は、3 本の導体を介して流れる電流を測定する前の準備段階において、その測定に必要な係数を取得し、保持する。算出手段は、3 本の導体を介して流れる電流値の総和がゼロであることを利用して、第 1 および第 2 のコアレス電流センサの出力信号および保持手段に保持されている係数に基づいて、各導体を介して流れる電流値を算出する。シールド部材は、各導体および第 1 および第 2 のコアレス電流センサを取り囲む。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献 1：特開 2 0 0 8 - 5 8 0 3 5 号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献 1 に記載された電流測定装置においては、シールド部材が設けられるため、装置が大型化するとともに、シールド部材の影響によって電流の測定精度が低下する。また、当該装置は、各導体の電流値が予め取得したパラメータに基づいて算出されることにより、複雑な計算が必要となる。このため、電流値の計算時間が長くなることによって、電流測定の応答性が低下

する。

[0005] 本発明は上記の問題点に鑑みてなされたものであって、全体のサイズを小型化しつつ、測定精度および応答性を向上させることができる電流センサ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

[0006] 本発明に基づく電流センサは、第1バスバ、第2バスバおよび第3バスバと、第1センサユニットと、第2センサユニットと、算出部とを備える。第1バスバ、第2バスバおよび第3バスバは、互いに間隔をあけつつ第1の方向に各々延在し、かつ第1の方向に直交する第2の方向に並び、三相交流の電流が流れる。第1センサユニットは、第1バスバ、第2バスバおよび第3バスバのうちの任意の一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバ同士の間配置される。第2センサユニットは、一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの一方を測定対象とし、一の測定対象のバスバと一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方との間に配置される。算出部は、第1センサユニットおよび第2センサユニットの各々の出力値から第1バスバ、第2バスバおよび第3バスバの各々の電流値を算出する。第1センサユニットは、第1磁気検出素子および第2磁気検出素子を含む。第1磁気検出素子および第2磁気検出素子は、第1の方向および第2の方向に直交する第3の方向に向いた感度軸を各々有し、第2の方向に並び、かつ第1バスバ、第2バスバおよび第3バスバを流れる電流により発生する磁界を検出する。第2センサユニットは、第3磁気検出素子および第4磁気検出素子を含む。第3磁気検出素子および第4磁気検出素子は、第3の方向に向いた感度軸を各々有し、第2の方向に並び、かつ第1バスバ、第2バスバおよび第3バスバを流れる電流により発生する磁界を検出する。第1の方向から見て、第1磁気検出素子と一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの一方との距離、および、第2磁気検出素子と一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方との距離は、略等距離である。第1の方向から見て、第3磁気検出素子と一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方との距離

、および、第4磁気検出素子と一の測定対象のバスバとの距離は、略等距離である。算出部は、第1センサユニットにおける第1磁気検出素子の測定値と第2磁気検出素子の測定値との差動出力値に基づき一の測定対象のバスバを流れる電流値を算出可能であり、第2センサユニットにおける第3磁気検出素子の測定値と第4磁気検出素子の測定値との差動出力値に基づき一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうち的一方を流れる電流値を算出可能であり、かつ、一の測定対象のバスバを流れる電流値と一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうち的一方を流れる電流値とを加算することによって、一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうち他方を流れる電流値を算出可能である。

### 発明の効果

[0007] 本発明によれば、電流センサの全体のサイズを小型化しつつ、測定精度および応答性を向上させることができる。

### 図面の簡単な説明

[0008] [図1]本発明の実施の形態1に係る電流センサの構成を示す斜視図である。

[図2]本発明の実施の形態1に係る電流センサの構成を示す断面図である。

[図3]本発明の実施の形態1に係る電流センサにおける各構成の電氣的な接続を示すブロック図である。

[図4]本発明の実施の形態1に係る電流センサにおける各バスバから発生する磁界を第1センサユニットの第1磁気検出素子において検出する状態を示す断面図である。

[図5]本発明の実施の形態1に係る電流センサにおける各バスバから発生する磁界を第1センサユニットの第2磁気検出素子において検出する状態を示す断面図である。

[図6]本発明の実施の形態1に係る電流センサの回路構成を概略的に示す回路図である。

[図7]本発明の実施の形態2に係る電流センサの構成を示す断面図である。

### 発明を実施するための形態

[0009] 以下、本発明の各実施の形態に係る電流センサについて図を参照して説明する。以下の実施の形態の説明においては、図中の同一または相当部分には同一符号を付して、その説明は繰り返さない。

[0010] なお、図面においては、各バスバが並ぶ方向を第2の方向としてのX方向、各バスバが延在する方向を第1の方向としてのY方向、各磁気検出素子の感度軸に沿う方向を第3の方向としてのZ方向とする。また、電流センサにおける各構成要素間の距離とは、各構成要素の中心同士を結ぶ距離とする。

[0011] (実施の形態1)

図1は、本発明の実施の形態1に係る電流センサの構成を示す斜視図である。図2は、本発明の実施の形態1に係る電流センサの構成を示す断面図である。図3は、本発明の実施の形態1に係る電流センサにおける各構成の電気的な接続を示すブロック図である。

[0012] 図1～図3に示すように、本発明の実施の形態1に係る電流センサ1は、第1バスバ10Aと、第2バスバ10Bと、第3バスバ10Cと、第1センサユニット20Aと、第2センサユニット20Bと、算出部40とを備える。

[0013] 第1バスバ10A、第2バスバ10Bおよび第3バスバ10Cは、三相三線式のバスバである。第1バスバ10A、第2バスバ10Bおよび第3バスバ10Cの各々には、三相交流の電流が流れる。第1バスバ10A、第2バスバ10Bおよび第3バスバ10Cの各々を流れる電流は、振幅が等しく互いに位相が $120^\circ$  ずつずれた交流電流を構成している。

[0014] 第1バスバ10Aを第1の方向(Y方向)に流れる第1電流の電流値( $I_1$ )、第2バスバ10Bを第1の方向(Y方向)に流れる第2電流の電流値( $I_2$ )、および、第3バスバ10Cを第1の方向(Y方向)に流れる第3電流の電流値( $I_3$ )においては、 $I_1 + I_2 + I_3 = 0$ の関係が成立している。たとえば、第1電流がU相の交流電流、第2電流がV相の交流電流、第3電流がW相の交流電流であってもよい。

[0015] 第1バスバ10A、第2バスバ10Bおよび第3バスバ10Cの各々は、

第1の方向（Y方向）に直交する第2の方向（X方向）において互いに間隔をあけつつ並んでいる。本実施の形態においては、第2の方向（X方向）において、第3バスバ10Cは、第2バスバ10Bとの間の距離が、第1バスバ10Aと第2バスバ10Bとの間の距離に等しくなるように並んでいる。なお、第2の方向（X方向）において、第1バスバ10Aと第2バスバ10Bとの間の距離および第2バスバ10Bと第3バスバ10Cの間の距離は、異なってもよい。

[0016] 第1バスバ10Aは、第1の方向（Y方向）に沿って直線状に延在している。第1バスバ10Aを流れる第1電流の電流値（ $I_1$ ）は、交流電流であるため、正の値または負の値をとり得る。

[0017] 第2バスバ10Bは、第1の方向（Y方向）に沿って直線状に延在している。第2バスバ10Bを流れる第2電流の電流値（ $I_2$ ）は、交流電流であるため、正の値または負の値をとり得る。

[0018] 第3バスバ10Cは、第1の方向（Y方向）に沿って直線状に延在している。第3バスバ10Cを流れる第3電流の電流値（ $I_3$ ）は、交流電流であるため、正の値または負の値をとり得る。

[0019] 第1センサユニット20Aは、第1バスバ10A、第2バスバ10Bおよび第3バスバ10Cのうちの任意の一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバ同士の上に配置される。本実施の形態においては、第1センサユニット20Aは、一の測定対象のバスバとして第3バスバ10Cを測定対象とする。このため、第1センサユニット20Aは、第1バスバ10Aおよび第2バスバ10Bの上に配置されている。第1センサユニット20Aは、たとえば、図示しない基板上に配置される。なお、第1センサユニット20Aは、樹脂モールドなどによってその位置が固定されてもよい。

[0020] 第1センサユニット20Aは、第1磁気検出素子30Aと、第2磁気検出素子30Bとを含む。第1磁気検出素子30Aおよび第2磁気検出素子30Bの各々は、第1バスバ10A、第2バスバ10Bおよび第3バスバ10Cを流れる電流により発生する磁界を検出可能である。

- [0021] 第1磁気検出素子30Aおよび第2磁気検出素子30Bは、第1の方向（Y方向）および第2の方向（X方向）に直交する第3の方向（Z方向）に向いた感度軸を各々有する。具体的には、第1磁気検出素子30Aは、第3の方向（Z方向）に向いた第1感度軸A1を有する。第2磁気検出素子30Bは、第3の方向（Z方向）に向いた第2感度軸A2を有する。
- [0022] 第1磁気検出素子30Aおよび第2磁気検出素子30Bは、第2の方向（X方向）に並んでいる。本実施の形態においては、第1磁気検出素子30Aおよび第2磁気検出素子30Bは、第3の方向（Z方向）における位置を略同じにして、第2の方向（X方向）に並んでいる。
- [0023] 第2センサユニット20Bは、上記一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうち的一方を測定対象とする。本実施の形態における第2センサユニット20Bは、一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうち的一方として第1バスバ10Aを測定対象とする。
- [0024] 第2センサユニット20Bは、上記一の測定対象のバスバと上記一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方との間に配置される。本実施の形態における第2センサユニット20Bは、第3バスバ10Cと一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方としての第2バスバ10Bとの間に配置されている。第2センサユニット20Bは、たとえば、図示しない基板上に配置される。なお、第2センサユニット20Bは、樹脂モールドなどによってその位置が固定されてもよい。
- [0025] 第2センサユニット20Bは、第3磁気検出素子30Cと、第4磁気検出素子30Dとを含む。第3磁気検出素子30Cおよび第4磁気検出素子30Dの各々は、第1バスバ10A、第2バスバ10Bおよび第3バスバ10Cを流れる電流により発生する磁界を検出可能である。
- [0026] 第3磁気検出素子30Cおよび第4磁気検出素子30Dは、第3の方向（Z方向）に向いた感度軸を各々有する。具体的には、第3磁気検出素子30Cは、第3の方向（Z方向）に向いた第3感度軸A3を有する。第4磁気検出素子30Dは、第3の方向（Z方向）に向いた第4感度軸A4を有する。



[0027] 第3磁気検出素子30Cおよび第4磁気検出素子30Dは、第2の方向（X方向）に並んでいる。本実施の形態においては、第3磁気検出素子30Cおよび第4磁気検出素子30Dは、第3の方向（Z方向）における位置を略同じにして、第2の方向（X方向）に並んでいる。

[0028] 第1センサユニット20Aおよび第2センサユニット20Bにおける、第1磁気検出素子30A、第2磁気検出素子30B、第3磁気検出素子30Cおよび第4磁気検出素子30Dの少なくとも1つは、少なくとも2つ以上の磁気抵抗素子からなる回路を有していてもよい。第1磁気検出素子30A、第2磁気検出素子30B、第3磁気検出素子30Cおよび第4磁気検出素子30Dの各々のいずれもが、少なくとも2つ以上の磁気抵抗素子からなる回路を有していてもよい。少なくとも2つ以上の磁気抵抗素子からなる回路は、2つの磁気抵抗素子からなるハーフブリッジ回路であってもよいし、4つの磁気抵抗素子からなるホイーストンブリッジ型のブリッジ回路であってもよい。

[0029] また、上記磁気抵抗素子は、トンネル型磁気抵抗(Tunnel Magneto Resistance(TMR))素子、巨大磁気抵抗(Giant Magneto Resistance(GMR))素子、または、異方性磁気抵抗(Anisotropic Magnetic Resistance(AMR))素子のいずれであってもよい。

[0030] 第1磁気検出素子30A、第2磁気検出素子30Bおよび第3磁気検出素子30Cのうちの少なくとも1つが、ホール素子を有してもよい。第1磁気検出素子30A、第2磁気検出素子30B、第3磁気検出素子30Cおよび第4磁気検出素子30Dの各々のいずれもが、ホール素子を有してもよい。

[0031] 第1バスバ10A、第2バスバ10B、第3バスバ10C、第1センサユニット20Aおよび第2センサユニット20Bの各々は、第1の方向（Y方向）および第2の方向（X方向）に沿う仮想平面F上に配置されている。

[0032] 算出部40は、第1センサユニット20Aおよび第2センサユニット20Bの各々の出力値から第1バスバ10A、第2バスバ10Bおよび第3バスバ10Cの各々の電流値を算出する。

[0033] 図3に示すように、第1センサユニット20Aおよび第2センサユニット20Bの各々は、配線によって、算出部40に電氣的に接続されている。具体的には、第1磁気検出素子30A、第2磁気検出素子30B、第3磁気検出素子30Cおよび第4磁気検出素子30Dの各々が、算出部40に電氣的に接続されている。

[0034] 以下、各バスバと各センサユニットにおける各磁気検出素子との位置関係について説明する。

[0035] 図2に示すように、第1の方向（Y方向）から見て、第1磁気検出素子30Aと第1バスバ10A（一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの一方）との距離a、および、第2磁気検出素子30Bと第2バスバ10B（一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方）との距離aは、略等距離である。なお、本実施の形態の距離に関する「略等距離」とは、電流センサの各構成要素を組み付ける際の製造工程における組み付け位置のばらつきを含む意味である。

[0036] 第1の方向（Y方向）から見て、第1磁気検出素子30Aと第2バスバ10B（一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方）との距離b、および、第2磁気検出素子30Bと第1バスバ10A（一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの一方）との距離bは、略等距離である。

[0037] 距離bは、距離aに対して、第1磁気検出素子30Aと第2磁気検出素子30Bとの間の距離を足したものになるため、第1磁気検出素子30Aと第1バスバ10Aとの距離a、および、第2磁気検出素子30Bと第2バスバ10Bとの距離aが略等距離であれば、第1磁気検出素子30Aと第2バスバ10Bとの距離b、および、第2磁気検出素子30Bと第1バスバ10Aとの距離bは、必然的に略等距離となる。

[0038] 第1の方向（Y方向）から見て、第1磁気検出素子30Aと第3バスバ10C（一の測定対象のバスバ）とは、距離c1の位置に配置されている。また、第1の方向（Y方向）から見て、第2磁気検出素子30Bと第3バスバ10C（一の測定対象のバスバ）とは、距離c2の位置に配置されている。

- [0039] 第3磁気検出素子30Cおよび第4磁気検出素子30Dについては、第1の方向（Y方向）から見て、第3磁気検出素子30Cと第2バスバ10B（一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方）との距離、および、第4磁気検出素子30Dと第3バスバ10C（一の測定対象のバスバ）との距離は、略等距離である。
- [0040] 第1の方向（Y方向）から見て、第3磁気検出素子30Cと第3バスバ10C（一の測定対象のバスバ）との距離、および、第4磁気検出素子30Dと第2バスバ10B（一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方）との距離は、略等距離である。
- [0041] 第1の方向（Y方向）から見て、第1バスバ10A（一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの一方）に対する第3磁気検出素子30Cおよび第4磁気検出素子30Dとの距離は、互いに異なる。
- [0042] 本実施の形態においては、各バスバおよび各センサユニットの間には、透磁率の高い磁性材料などからなる磁気遮蔽板、および、磁場を集磁するための軟磁性体などからなる磁性体コアは設けられていない。これにより、本実施の形態に係る電流センサ1は、全体のサイズを小型化できる。
- [0043] 以下、各センサユニットが測定対象のバスバ以外のバスバを含めた磁界を検出した場合でも、測定対象のバスバの電流値のみを測定できることについて説明する。
- [0044] 本実施の形態においては、第1センサユニット20Aは、第3バスバ10Cを流れる電流値（ $I_3$ ）を測定可能である。第2センサユニット20Bは、第1バスバ10Aを流れる電流値（ $I_1$ ）を測定可能である。第2バスバ10Bを流れる電流値（ $I_2$ ）は、第1センサユニット20Aおよび第2センサユニット20Bによって測定された電流値から算出される。各センサユニットにおいて対応するバスバを流れる電流値を測定することについて、第1センサユニット20Aにより第3バスバ10Cを流れる電流の電流値 $I_3$ を測定する場合を例示して説明する。
- [0045] 図4は、本発明の実施の形態1に係る電流センサにおける各バスバから発

生する磁界を第1センサユニットの第1磁気検出素子において検出する状態を示す断面図である。図5は、本発明の実施の形態1に係る電流センサにおける各バスバから発生する磁界を第1センサユニットの第2磁気検出素子において検出する状態を示す断面図である。

[0046] まず、図4に示すように、第1磁気検出素子30Aにより検出する磁界 $B_{11}$ は、各バスバから発生する磁界および外部磁界を足し合わせたものとなる。第1電流が流れた際、第1バスバ10Aの周囲には、第1磁界 $B_1$ が生じる。第2電流が流れた際、第2バスバ10Bの周囲には、第2磁界 $B_2$ が生じる。第3電流が流れた際、第3バスバ10Cの周囲には、第3磁界 $B_3$ が生じる。また、外部の影響により外部磁界 $B_{ex}$ が生じている。このため、第1磁気検出素子30Aにより検出する磁界 $B_{11}$ は、 $B_{11} = B_1 + B_2 + B_3 + B_{ex}$ と表される。

[0047] 図2および図4に示すように、第1磁界 $B_1$ は、磁束密度および磁界強度の関係から、透磁率 $\mu$ および距離 $a$ を用いて、 $B_1 = \mu (1/2\pi a) I_1$ と表される。上述の式において、 $\mu (1/2\pi)$ を定数 $k$ と仮定すると、 $B_1 = (k/a) I_1$ と表される。

[0048] 同様に、第2バスバ10Bの第2磁界 $B_2$ を第1磁気検出素子30Aにより検出する場合、第2磁界 $B_2$ は、 $B_2 = \mu (1/2\pi b) I_2$ と表される。 $\mu (1/2\pi)$ を定数 $k$ と仮定すると、 $B_2 = (k/b) I_2$ と表される。また、第3バスバ10Cの第3磁界 $B_3$ を第1磁気検出素子30Aにより検出する場合、第3磁界 $B_3$ は、 $B_3 = \mu (1/2\pi c_1) I_3$ と表される。 $\mu (1/2\pi)$ を定数 $k$ と仮定すると、 $B_3 = (k/c_1) I_3$ と表される。

[0049] 第1磁気検出素子30Aにより検出する磁界 $B_{11}$ は、たとえば、第1感度軸 $A_1$ が向く方向をプラス方向とした場合、 $B_{11} = B_1 + B_2 + B_3 + B_{ex}$ に上記の各式を代入して、式(1)により表される。また、図2および図5に示すように、第2磁気検出素子30Bの磁界 $B_{12}$ についても、第1磁気検出素子30Aの場合と同様に、各関係式によって、式(2)により表される。

[0050] [数1]

$$B_{11} = \frac{k}{a} I_1 - \frac{k}{b} I_2 - \frac{k}{c1} I_3 + B_{ex} \quad \dots (1)$$

$$B_{12} = \frac{k}{b} I_1 - \frac{k}{a} I_2 - \frac{k}{c2} I_3 + B_{ex} \quad \dots (2)$$

[0051] 第1センサユニット20Aにおいて、第1磁気検出素子30Aにより検出する磁界 $B_{11}$ の測定値、および第2磁気検出素子30Bにより検出する磁界 $B_{12}$ の測定値は、算出部40によって処理することができる。具体的には、算出部40は、第1センサユニット20Aにおける第1磁気検出素子30Aの測定値と第2磁気検出素子30Bの測定値との差動出力値に基づき第3バスバ10C（一の測定対象のバスバ）を流れる電流値を算出可能である。第3バスバ10Cを流れる第3電流の電流値 $I_3$ は、下記式によって算出される。

[0052] [数2]

$$\begin{aligned} & B_{11} - B_{12} \\ &= \frac{k}{a} I_1 - \frac{k}{b} I_2 - \frac{k}{c1} I_3 + B_{ex} - \frac{k}{b} I_1 + \frac{k}{a} I_2 + \frac{k}{c2} I_3 - B_{ex} \\ &= k \left( \frac{b}{ab} I_1 - \frac{a}{ab} I_2 - \frac{c2}{c1c2} I_3 - \frac{a}{ab} I_1 + \frac{b}{ab} I_2 + \frac{c1}{c1c2} I_3 \right) \\ &= k \left( \frac{b-a}{ab} I_1 + \frac{b-a}{ab} I_2 + \frac{c1-c2}{c1c2} I_3 \right) \\ &= k \left( \frac{b-a}{ab} I_1 + \frac{b-a}{ab} I_2 + \frac{b-a}{c1c2} I_3 \right) \quad \dots (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= k(b-a) \left( \frac{1}{ab} I_1 + \frac{1}{ab} I_2 + \frac{1}{c1c2} I_3 \right) \\ &= k(b-a) \left( \frac{1}{ab} (I_1 + I_2) + \frac{1}{c1c2} I_3 \right) \\ &= k(b-a) \left( \frac{1}{ab} (-I_3) + \frac{1}{c1c2} I_3 \right) \quad \dots (4) \\ &= k(b-a) \left( \frac{1}{c1c2} - \frac{1}{ab} \right) I_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & B_{11} - B_{12} \propto I_3 \\ & \therefore V_1 \propto I_3 \quad \dots (5) \end{aligned}$$

[0053] 第1磁気検出素子30Aの測定値と第2磁気検出素子30Bの測定値との差動出力値を算出するため、第1磁気検出素子30Aおよび第2磁気検出素子30Bにおいて測定される外部磁界 $B_{ex}$ は、互いに打ち消し合う。また、電流値 $I_3$ の係数で示される $(c1 - c2)$ は、各バスバに対する第1磁気検

出素子 30A の位置関係から、 $(b - a)$  と等しい。このため、上記式 (3) に示すように、 $(c_1 - c_2)$  を  $(b - a)$  に置き換えることによって、各バスバの電流値を、 $(b - a)$  を係数に含む式により表すことができる。

[0054] さらに、各バスバを流れる電流は、三相交流であり、 $I_1 + I_2 + I_3 = 0$  の関係が成立している。このため、 $I_1 + I_2 = -I_3$  を上記式に用いることによって、式 (4) により表すことができる。

[0055] 以上の式より、第 1 センサユニット 20A における第 1 磁気検出素子 30A の測定値と第 2 磁気検出素子 30B の測定値との差動出力値を算出することによって、第 1 磁気検出素子 30A の測定値と第 2 磁気検出素子 30B の測定値との差分は、第 3 バスバ 10C を流れる第 3 電流の電流値  $I_3$  に係数をかけたものによって表すことができる。したがって、第 1 磁気検出素子 30A の測定値と第 2 磁気検出素子 30B の測定値との差分、すなわち、第 1 センサユニット 20A において検出および算出される測定値  $V_1$  は、式 (5) に示すように、電流値  $I_3$  と比例関係で表すことができるため、第 1 センサユニット 20A において、第 3 バスバ 10C を流れる電流値  $I_3$  を測定することが可能である。

[0056] 第 2 センサユニット 20B において、第 3 磁気検出素子 30C により検出する磁界の測定値と第 4 磁気検出素子 30D により検出する磁界の測定値とは、算出部 40 により処理される。具体的には、第 2 センサユニット 20B における第 3 磁気検出素子 30C の測定値と第 4 磁気検出素子 30D の測定値との差動出力値に基づき第 1 バスバ 10A (一の測定対象のバスバ以外の 2 つのバスバのうち的一方) を流れる電流値を算出可能である。

[0057] 第 1 バスバ 10A を流れる電流値は、第 1 センサユニット 20A における算出方法と同様に算出される。これにより、下記式 (6) に示すように、第 2 センサユニット 20B において検出および算出される測定値  $V_2$  は、電流値  $I_1$  と比例関係で表すことができるため、第 2 センサユニット 20B において、第 1 バスバ 10A を流れる電流値  $I_1$  を測定することが可能である。

[0058]

[数3]

$$V_2 \propto I_1 \quad \dots (6)$$

[0059] さらに、算出部40は、第3バスバ10C（一の測定対象のバスバ）を流れる電流値 $I_3$ と第1バスバ10A（一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの一方）を流れる電流値 $I_1$ とを加算することによって、一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方を流れる電流値を算出可能である。

[0060] 具体的には、第1センサユニット20Aにおいて検出および算出される測定値 $V_1$ と第2センサユニット20Bにおいて検出および算出される測定値 $V_2$ とを算出部40において加算し、 $I_1 + I_2 + I_3 = 0$ の関係を用いて、下記式（7）を得ることができる。これにより、第2バスバ10Bを流れる電流値 $I_2$ は、第1センサユニット20Aにおいて検出および算出される測定値 $V_1$ と第2センサユニット20Bにおいて検出および算出される測定値 $V_2$ とによって算出することができる。

[0061] [数4]

$$\begin{aligned} V_1 + V_2 &\propto I_3 + I_1 \\ \therefore V_1 + V_2 &\propto I_2 \quad \dots (7) \end{aligned}$$

[0062] 上述した通り、本実施の形態においては、第1バスバ10A、第2バスバ10Bおよび第3バスバ10Cの各々における磁界を第1センサユニット20Aおよび第2センサユニット20Bにより測定することによって、第3バスバ10Cを流れる電流値 $I_3$ が第1センサユニット20Aで測定される磁界の測定値に基づいて算出され、第1バスバ10Aを流れる電流値 $I_1$ が第2センサユニット20Bで測定される磁界の測定値に基づいて算出され、算出された電流値 $I_3$ および電流値 $I_1$ に基づいて第2バスバ10Bを流れる電流値 $I_2$ を算出することができる。これにより、各バスバ間にシールドを設けることなく、三相交流の各バスバの電流値を測定することができる。

[0063] 次に、本実施の形態に係る電流センサ1の回路構成を説明するが、本実施の形態に係る電流センサ1の回路構成は、以下の構成に限定されない。

[0064] 図6は、本発明の実施の形態1に係る電流センサの回路構成を概略的に示す回路図である。図6に示すように、本実施の形態において、第1磁気検出素子30A、第2磁気検出素子30B、第3磁気検出素子30C、および、第4磁気検出素子30Dは、それぞれ、4つのトンネル型磁気抵抗素子31からなるホイートストンブリッジ型のブリッジ回路を有する。

[0065] 第1磁気検出素子30Aの検出信号は、第1アンプ32Aを介して、第1出力値( $V_A$ )を示す第1電圧信号として出力される。第2磁気検出素子30Bの検出信号は、第2アンプ32Bを介して、第2出力値( $V_B$ )を示す第2電圧信号として出力される。第3磁気検出素子30Cの検出信号は、第3アンプ32Cを介して、第3出力値( $V_C$ )を示す第3電圧信号として出力される。第4磁気検出素子30Dの検出信号は、第4アンプ32Dを介して、第4出力値( $V_D$ )を示す第4電圧信号として出力される。第1アンプ32A、第2アンプ32B、第3アンプ32Cおよび第4アンプ32Dは、それぞれ、差動増幅をするオペアンプにより構成される。

[0066] 算出部40は、アンプ等の回路素子を接続して構成されるアナログ回路である。算出部40は、第1出力値( $V_A$ )を示す第1電圧信号、第2出力値( $V_B$ )を示す第2電圧信号、第3出力値( $V_C$ )を示す第3電圧信号、第4出力値( $V_D$ )を示す第4電圧信号が入力され、これらの入力信号に応じて、第3電流の電流(検出)値( $I_3$ )に対応する第1出力電圧信号( $V_{1OUT}$ )、第2電流の電流(検出)値( $I_2$ )に対応する第2出力電圧信号( $V_{2OUT}$ )、第1電流の電流(検出)値( $I_1$ )に対応する第3出力電圧信号( $V_{3OUT}$ )を出力する。

[0067] 算出部40は、第1差動増幅器41Aと、第2差動増幅器41Bと、加算増幅器42とを有する。

[0068] 第1差動増幅器41Aの非反転入力端子(+)には、第1出力値( $V_A$ )を示す第1電圧信号が入力され、反転入力端子(-)には、第2出力値( $V_B$ )を示す第2電圧信号が入力される。第1差動増幅器41Aは、第1出力電圧信号( $V_{1OUT}$ )を出力する。ここで、本実施の形態においては、上記式(5



）が成立するため、算出部40は、第1出力電圧信号（ $V_{1OUT}$ ）を、第3電流の電流（検出）値（ $I_3$ ）に対応する電圧信号として出力することができる。

[0069] 第2差動増幅器41Bの非反転入力端子（+）には、第3出力値（ $V_C$ ）を示す第3電圧信号が入力され、反転入力端子（-）には、第4出力値（ $V_D$ ）を示す第4電圧信号が入力される。第2差動増幅器41Bは、第3出力電圧信号（ $V_{3OUT}$ ）を出力する。ここで、本実施の形態においては、上記式（6）が成立するため、算出部40は、第3出力電圧信号（ $V_{3OUT}$ ）を、第1電流の電流（検出）値（ $I_1$ ）に対応する電圧信号として出力することができる。

[0070] 加算増幅器42には、第1出力電圧信号（ $V_{1OUT}$ ）および第3出力電圧信号（ $V_{3OUT}$ ）が入力される。加算増幅器42は、第2出力電圧信号（ $V_{2OUT}$ ）を出力する。ここで、本実施の形態においては、上記式（7）が成立するため、算出部40は、第2出力電圧信号（ $V_{2OUT}$ ）を、第2電流の電流（検出）値（ $I_2$ ）に対応する電圧信号として出力することができる。

[0071] 本発明の実施の形態1に係る電流センサ1においては、三相交流の各バスバを測定する際、三相交流の各バスバの間に2つの磁気検出素子を各々含む第1センサユニット20Aおよび第2センサユニット20Bを配置する。当該2つの磁気検出素子を、一方の磁気検出素子と測定対象以外の2つのバスバのうち的一方との距離、および、他方の磁気検出素子と測定対象以外の2つのバスバのうち他方との距離が略等距離になるように配置する。当該2つの磁気検出素子によって各バスバに流れる電流から発生する磁界を検出し、算出部40において当該2つの磁気検出素子により測定される電流値の差動出力値を算出する。これにより、各センサユニットにおいて検出される磁界の測定値を、各バスバのうちの測定対象のバスバの電流値に比例する値のみで表すことができる。2つのセンサユニットの各々によって、測定対象の2つのバスバの電流値を測定する。残りの1つのバスバの測定値は、三相交流の電流の関係から、各センサユニットで測定された電流値から算出する。

これにより、外部磁場を遮断するシールド部材を使用することなく、外部磁場の影響をキャンセルしつつ、各センサユニットにおける測定値が測定対象の電流値のみにより表すことができるため、事前に各バスバの電流値を測定してパラメータを取得するなどの事前準備を必要としない。また、当該パラメータに基づいた複雑な計算を必要としない。その結果、電流センサ 1 の全体のサイズを小型化しつつ、測定精度および応答性を向上させることができる。

[0072] 本発明の実施の形態 1 に係る電流センサ 1 においては、各バスバおよび各センサユニットに対して外部磁界を遮断するシールド部材を設ける必要がないため、シールド部材を設ける場合と比較して、簡易な構成とすることができる。かつ、低コストの電流センサを構成することができる。

[0073] 本発明の実施の形態 1 に係る電流センサ 1 においては、TMR 素子、GMR 素子、AMR 素子またはホール素子により、電流センサ 1 の全体のサイズを小型化しつつ、測定精度および応答性を向上させることができる。

[0074] 本発明の実施の形態 1 に係る電流センサ 1 においては、各バスバおよび各センサユニットを一平面上に並べて、高さ方向に低背化した電流センサ 1 を構成することができる。

[0075] (実施の形態 2)

以下、本発明の実施の形態 2 に係る電流センサについて図を参照して説明する。本発明の実施の形態 2 に係る電流センサは、第 2 センサユニットの配置が本発明の実施の形態 1 に係る電流センサ 1 と異なるため、本発明の実施の形態 1 に係る電流センサ 1 と同様である構成については説明を繰り返さない。

[0076] 図 7 は、本発明の実施の形態 2 に係る電流センサの構成を示す断面図である。図 7 に示すように、本発明の実施の形態 2 に係る電流センサ 1 A は、第 1 バスバ 10 A と、第 2 バスバ 10 B と、第 3 バスバ 10 C と、第 1 センサユニット 20 A と、第 2 センサユニット 50 B と、算出部とを備える。第 1 センサユニット 20 A は、一の測定対象のバスバとして第 3 バスバ 10 C を

測定対象とする。

[0077] 第2センサユニット50Bは、上記一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうち的一方を測定対象とする。本実施の形態における第2センサユニット50Bは、一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうち的一方として第2バスバ10Bを測定対象とする。

[0078] 第2センサユニット50Bは、上記一の測定対象のバスバと上記一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方との間に配置される。本実施の形態における第2センサユニット50Bは、第3バスバ10Cと一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方としての第1バスバ10Aとの間に配置されている。

[0079] 第2センサユニット50Bは、第3磁気検出素子60Cおよび第4磁気検出素子60Dを含む。

[0080] 第3磁気検出素子60Cおよび第4磁気検出素子60Dは、第3の方向（Z方向）に向いた感度軸を各々有する。具体的には、第3磁気検出素子60Cは、第3の方向（Z方向）に向いた第3感度軸A3を有する。第4磁気検出素子60Dは、第3の方向（Z方向）に向いた第4感度軸A4を有する。

[0081] 第3磁気検出素子60Cおよび第4磁気検出素子60Dは、第2の方向（X方向）に並んでいる。本実施の形態においては、第3磁気検出素子60Cおよび第4磁気検出素子60Dは、第3の方向（Z方向）における位置を略同じにして、第2の方向（X方向）に並んでいる。

[0082] 第1磁気検出素子30A、第2磁気検出素子30B、第3磁気検出素子60Cおよび第4磁気検出素子60Dの各々は、第1バスバ10A、第2バスバ10Bおよび第3バスバ10Cを流れる電流により発生する磁界を検出可能である。

[0083] 算出部は、第1センサユニット20Aおよび第2センサユニット50Bの各々の出力値から第1バスバ10A、第2バスバ10Bおよび第3バスバ10Cの各々の電流値を算出する。

[0084] 以下、各バスバと各磁気検出素子の位置関係について説明する。図7に示

すように、第1の方向（Y方向）から見て、第3磁気検出素子60Cと第1バスバ10A（一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方）との距離d、および、第4磁気検出素子60Dと第3バスバ10C（一の測定対象のバスバ）との距離dは、略等距離である。

[0085] 第1の方向（Y方向）から見て、第3磁気検出素子60Cと第3バスバ10C（一の測定対象のバスバ）との距離e、および、第4磁気検出素子60Dと第1バスバ10A（一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方）との距離eは、略等距離である。

[0086] 第1の方向（Y方向）から見て、第3磁気検出素子60Cと第2バスバ10B（一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの一方）とは、距離f1の位置に配置されている。また、第1の方向（Y方向）から見て、第4磁気検出素子60Dと第2バスバ10Bとは、距離f2の位置に配置されている。なお、距離f1と距離f2とは、互いに距離が異なってもよい。

[0087] 本実施の形態においては、第1センサユニット20Aは、第3バスバ10Cを流れる電流値（ $I_3$ ）を測定可能である。第2センサユニット50Bは、第2バスバ10Bを流れる電流値（ $I_2$ ）を測定可能である。第1バスバ10Aを流れる電流値（ $I_1$ ）は、第1センサユニット20Aおよび第2センサユニット50Bによって測定された電流値から算出される。

[0088] 実施の形態1と同様にして、第1センサユニット20A、第2センサユニット50Bおよび算出部によって、以下の式（8）～式（14）に基づき、第1センサユニット20Aにおいて検出および算出される測定値 $V_1$ 、第2センサユニット50Bの第3磁気検出素子60Cにより検出する磁界 $B_{21}$ および第4磁気検出素子60Dにより検出する磁界 $B_{22}$ に基づき算出される測定値 $V_2$ から、各バスバ10を流れる電流値を算出することができる。

[0089] [数5]

$$B_{21} = \frac{k}{d} I_1 - \frac{k}{f1} I_2 - \frac{k}{e} I_3 + B_{ex} \quad \dots (8)$$

$$B_{22} = \frac{k}{e} I_1 + \frac{k}{f2} I_2 - \frac{k}{d} I_3 + B_{ex} \quad \dots (9)$$

[数6]

$$\begin{aligned}
& B_{21} - B_{22} \\
&= \frac{k}{d} I_1 - \frac{k}{f_1} I_2 - \frac{k}{e} I_3 + B_{ex} - \frac{k}{e} I_1 - \frac{k}{f_2} I_2 + \frac{k}{d} I_3 - B_{ex} \\
&= k \left( \frac{e}{de} I_1 - \frac{f_2}{f_1 f_2} I_2 - \frac{d}{de} I_3 - \frac{d}{de} I_1 - \frac{f_1}{f_1 f_2} I_2 + \frac{e}{de} I_3 \right) \\
&= k \left( \frac{e-d}{de} I_1 + \frac{-(f_2+f_1)}{f_1 f_2} I_2 + \frac{e-d}{de} I_3 \right) \\
&= k \left( \frac{e-d}{de} I_1 + \frac{-(e-d)}{f_1 f_2} I_2 + \frac{e-d}{de} I_3 \right) \quad \dots (10) \\
&= k(e-d) \left( \frac{1}{de} I_1 - \frac{1}{f_1 f_2} I_2 + \frac{1}{de} I_3 \right) \\
&= k(e-d) \left( \frac{1}{de} (I_1 + I_3) - \frac{1}{f_1 f_2} I_2 \right) \\
&= k(e-d) \left( \frac{1}{de} (-I_2) - \frac{1}{f_1 f_2} I_2 \right) \quad \dots (11) \\
&= k(e-d) \left( -\frac{1}{de} - \frac{1}{f_1 f_2} \right) I_2 \\
& B_{21} - B_{22} \propto I_2 \\
& \therefore V_2 \propto I_2 \quad \dots (12)
\end{aligned}$$

[数7]

$$V_1 \propto I_3 \quad \dots (13)$$

[数8]

$$\begin{aligned}
& V_1 + V_2 \propto I_2 + I_3 \\
& \therefore V_1 + V_2 \propto I_1 \quad \dots (14)
\end{aligned}$$

[0090] 本発明の実施の形態2に係る電流センサ1Aにおいては、三相交流の各バスバを測定する際、三相交流の各バスバの間に2つの磁気検出素子を各々含む第1センサユニット20Aおよび第2センサユニット50Bを配置する。当該2つの磁気検出素子を、一方の磁気検出素子と測定対象以外の2つのバスバのうちの一方との距離、および、他方の磁気検出素子と測定対象以外の2つのバスバのうちの他方との距離が略等距離になるように配置する。当該2つの磁気検出素子によって各バスバに流れる電流から発生する磁界を検出し、算出部において当該2つの磁気検出素子により測定される電流値の差動出力値を算出する。これにより、各センサユニットにおいて検出される磁界の測定値を、各バスバのうちの測定対象のバスバの電流値に比例する値のみ

で表すことができる。2つのセンサユニットの各々によって、測定対象の2つのバスバの電流値を測定する。残りの1つのバスバの測定値は、三相交流の電流の関係から、各センサユニットで測定された電流値から算出する。これにより、外部磁場を遮断するシールド部材を使用することなく、外部磁場の影響をキャンセルしつつ、各センサユニットにおける測定値が測定対象の電流値のみにより表すことができるため、事前に各バスバの電流値を測定してパラメータを取得するなどの事前準備を必要としない。また、当該パラメータに基づいた複雑な計算を必要としない。その結果、電流センサ1Aの全体のサイズを小型化しつつ、測定精度および応答性を向上させることができる。

[0091] なお、第1バスバ、第2バスバおよび第3バスバの各々は、流れる電流の量を均一にしやすいするため、これらの断面積が略同じであることが望ましい。

[0092] 上述した実施の形態の説明において、組み合わせ可能な構成を相互に組み合わせてもよい。

[0093] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

## 符号の説明

[0094] 1, 1A 電流センサ、10A 第1バスバ、10B 第2バスバ、10C 第3バスバ、20A 第1センサユニット、20B, 50B 第2センサユニット、30A 第1磁気検出素子、30B 第2磁気検出素子、30C, 60C 第3磁気検出素子、30D, 60D 第4磁気検出素子、31 トンネル型磁気抵抗素子、32A 第1アンプ、32B 第2アンプ、32C 第3アンプ、32D 第4アンプ、40 算出部、41A 第1差動増幅器、41B 第2差動増幅器、42 加算増幅器、A1 第1感度軸、A2 第2感度軸、A3 第3感度軸、A4 第4感度軸、F 仮想平面。

## 請求の範囲

### [請求項1]

互いに間隔をあけつつ第1の方向に各々延在し、かつ前記第1の方向に直交する第2の方向に並び、三相交流の電流が流れる、第1バスバ、第2バスバおよび第3バスバと、

前記第1バスバ、前記第2バスバおよび前記第3バスバのうちの任意の一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバ同士の上に配置される第1センサユニットと、

前記一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの一方を測定対象とし、前記一の測定対象のバスバと前記一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方との間に配置される第2センサユニットと、

前記第1センサユニットおよび前記第2センサユニットの各々の出力値から前記第1バスバ、前記第2バスバおよび前記第3バスバの各々の電流値を算出する算出部とを備え、

前記第1センサユニットは、前記第1の方向および前記第2の方向に直交する第3の方向に向いた感度軸を各々有し、前記第2の方向に並び、かつ前記第1バスバ、前記第2バスバおよび前記第3バスバを流れる電流により発生する磁界を検出する第1磁気検出素子および第2磁気検出素子を含み、

前記第2センサユニットは、前記第3の方向に向いた感度軸を各々有し、前記第2の方向に並び、かつ前記第1バスバ、前記第2バスバおよび前記第3バスバを流れる電流により発生する磁界を検出する第3磁気検出素子および第4磁気検出素子を含み、

前記第1の方向から見て、前記第1磁気検出素子と前記一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの一方との距離、および、前記第2磁気検出素子と前記一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方との距離は、略等距離であり、

前記第1の方向から見て、前記第3磁気検出素子と前記一の測定対

象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方との距離、および、前記第4磁気検出素子と前記一の測定対象のバスバとの距離は、略等距離であり、

前記算出部は、前記第1センサユニットにおける前記第1磁気検出素子の測定値と前記第2磁気検出素子の測定値との差動出力値に基づき前記一の測定対象のバスバを流れる電流値を算出可能であり、前記第2センサユニットにおける前記第3磁気検出素子の測定値と前記第4磁気検出素子の測定値との差動出力値に基づき前記一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの一方を流れる電流値を算出可能であり、かつ、前記一の測定対象のバスバを流れる電流値と前記一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの一方を流れる電流値とを加算することによって、前記一の測定対象のバスバ以外の2つのバスバのうちの他方を流れる電流値を算出可能である、電流センサ。

[請求項2] 前記第1センサユニットおよび前記第2センサユニットの各々は、トンネル型磁気抵抗素子を含む回路を有する、請求項1に記載の電流センサ。

[請求項3] 前記第1センサユニットおよび前記第2センサユニットの各々は、巨大磁気抵抗素子を含む回路を有する、請求項1に記載の電流センサ。

[請求項4] 前記第1センサユニットおよび前記第2センサユニットの各々は、異方性磁気抵抗素子を含む回路を有する、請求項1に記載の電流センサ。

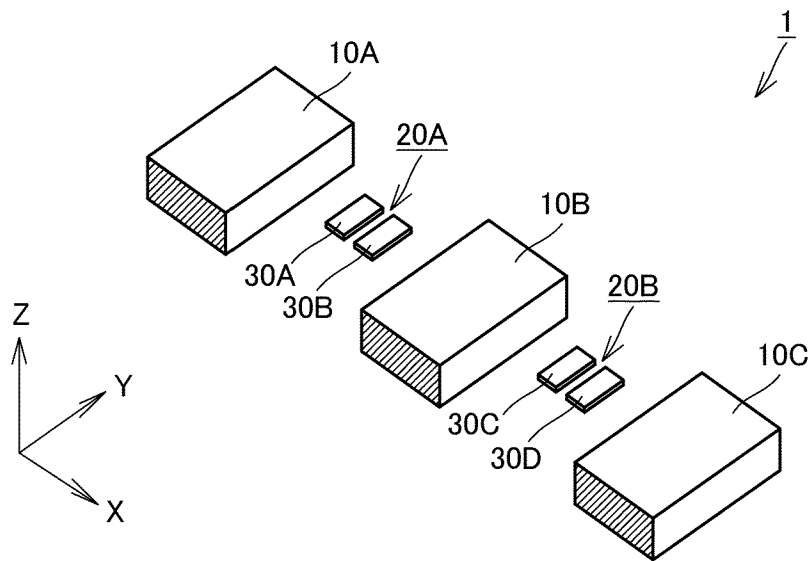
[請求項5] 前記第1センサユニットおよび前記第2センサユニットの各々は、ホール素子を含む回路を有する、請求項1に記載の電流センサ。

[請求項6] 前記第1バスバ、前記第2バスバ、前記第3バスバ、前記第1センサユニットおよび前記第2センサユニットの各々は、前記第1の方向および前記第2の方向に沿う仮想平面上に配置されている、請求項1から請求項5のいずれか1項に記載の電流センサ。



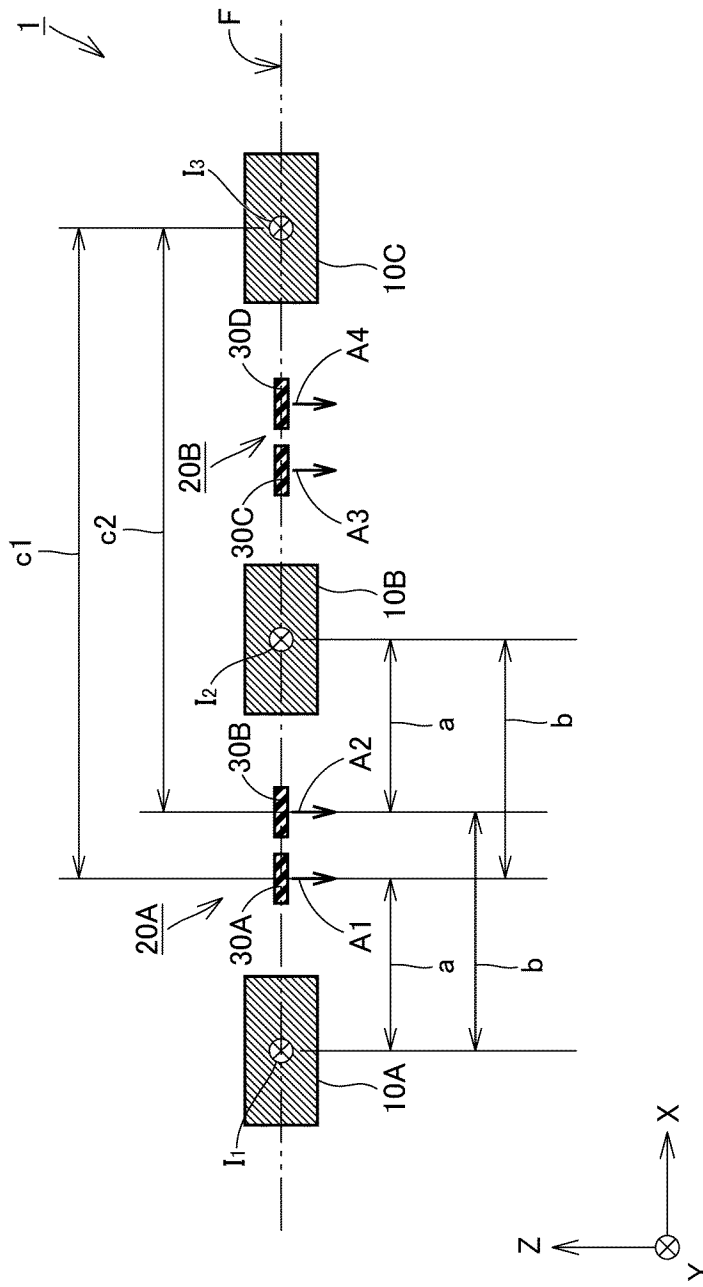
[図1]

FIG.1



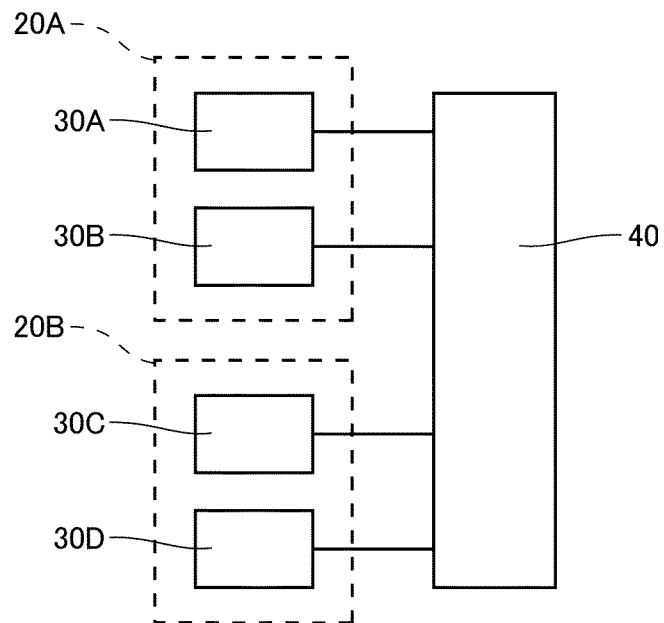
[図2]

FIG.2



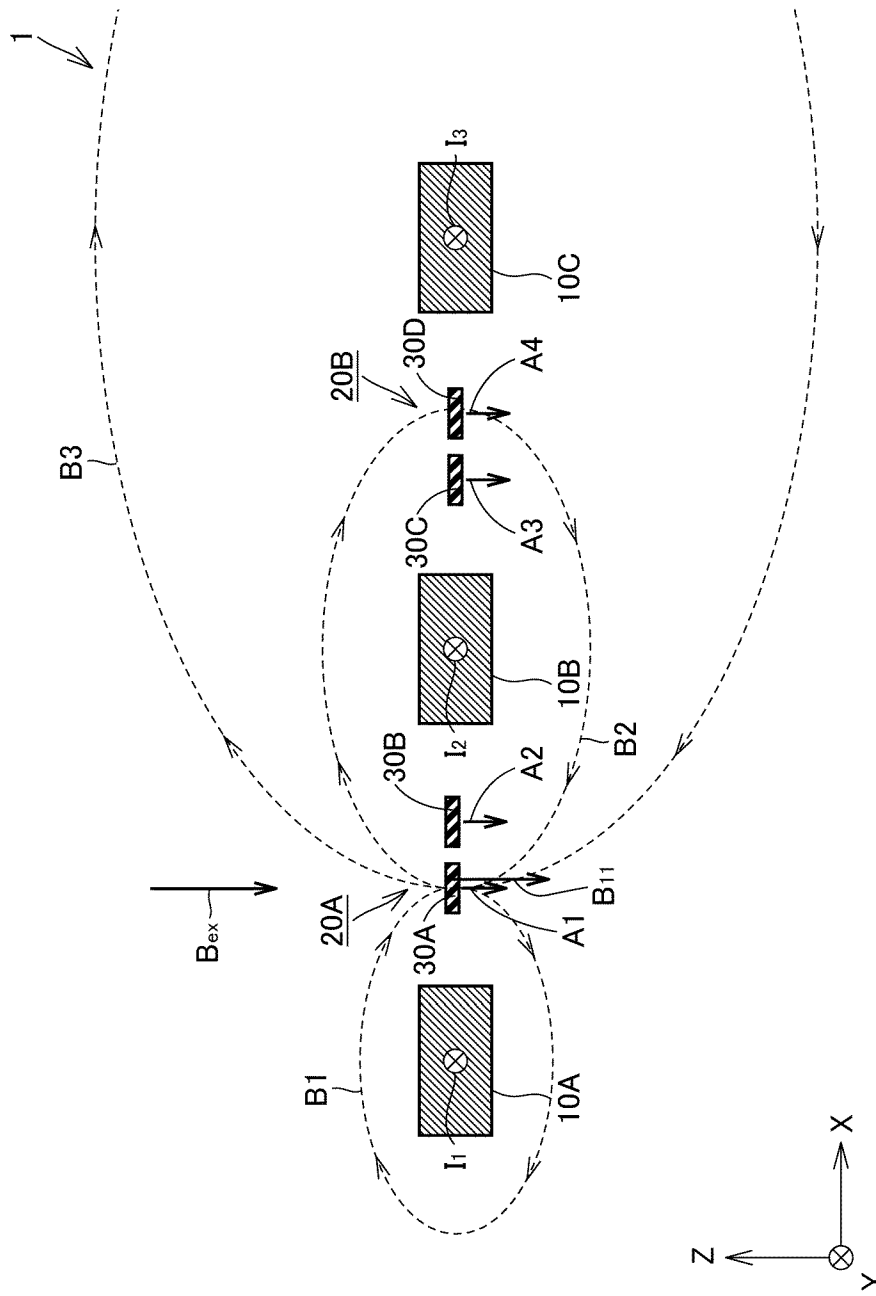
[図3]

FIG.3



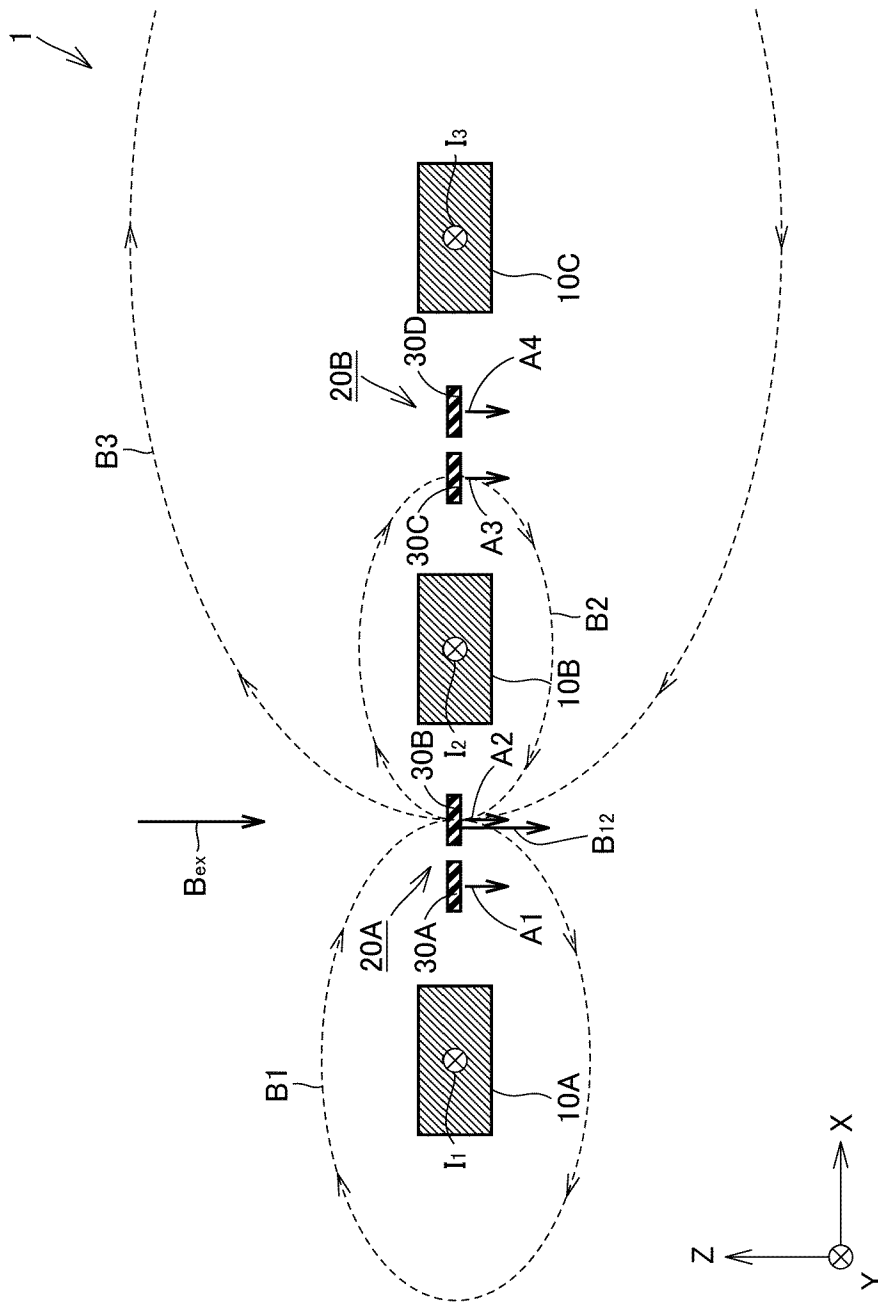
[図4]

FIG.4



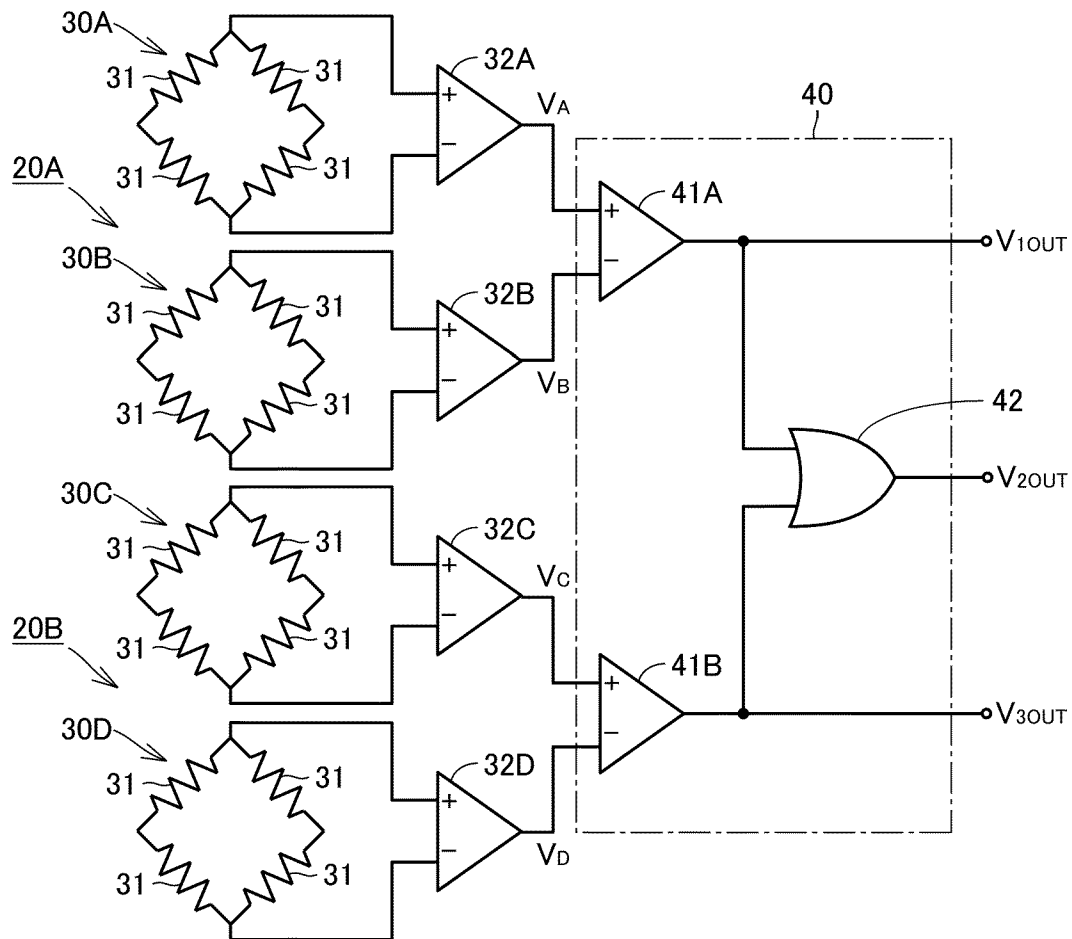
[図5]

FIG.5



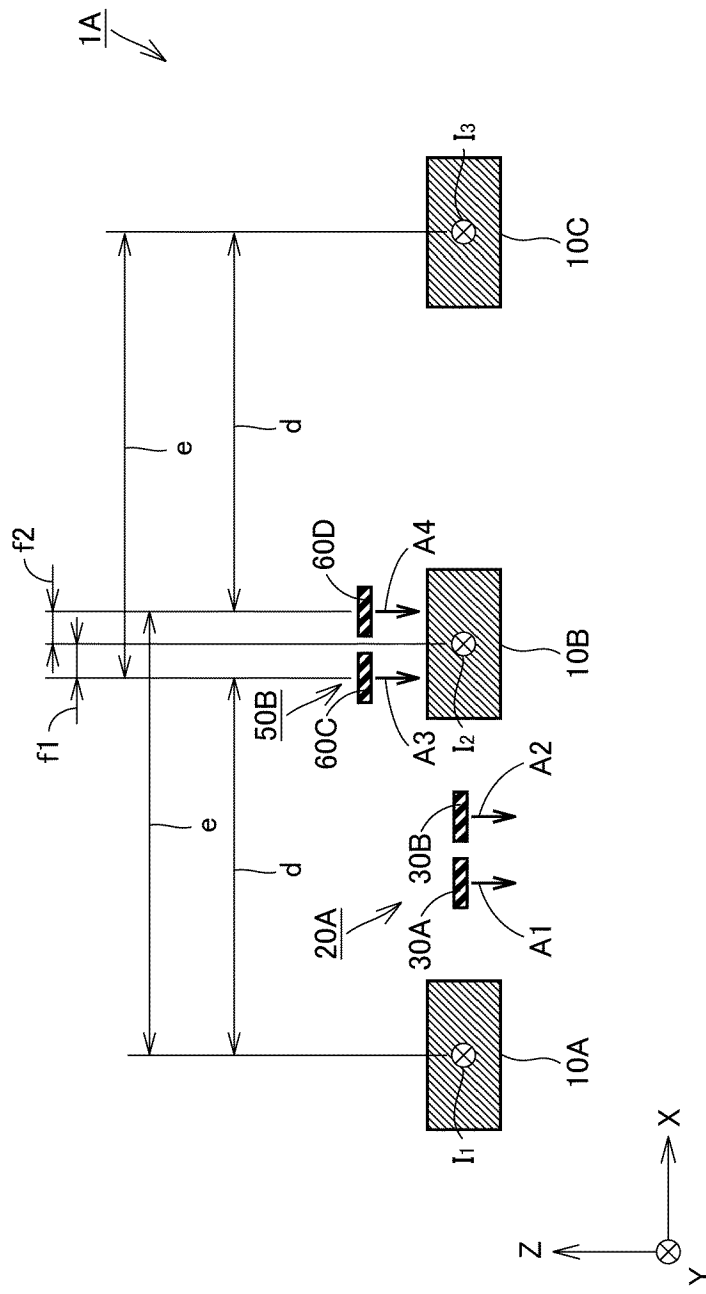
[図6]

FIG. 6



[図7]

FIG.7



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/019065

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****G01R 15/20**(2006.01)i; **G01R 17/12**(2006.01)i; **G01R 33/07**(2006.01)i; **G01R 33/09**(2006.01)i

FI: G01R15/20 D; G01R17/12 A; G01R33/07; G01R33/09; G01R15/20 A; G01R15/20 B

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; G01R17/12; G01R33/07; G01R33/09

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024

Registered utility model specifications of Japan 1996-2024

Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

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         | JP 2017-133865 A (HITACHI METALS LTD.) 03 August 2017 (2017-08-03)<br>entire text, all drawings                  | 1-6                   |
| A         | JP 2017-133943 A (ALPS ELECTRIC CO., LTD.) 03 August 2017 (2017-08-03)<br>entire text, all drawings              | 1-6                   |
| A         | JP 2018-165699 A (ASAHI KASEI EMD CORPORATION) 25 October 2018 (2018-10-25)<br>entire text, all drawings         | 1-6                   |
| A         | JP 2009-276359 A (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) 26 November 2009<br>(2009-11-26)<br>entire text, all drawings | 1-6                   |
| A         | JP 2019-115083 A (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) 11 July 2019 (2019-07-11)<br>entire text, all drawings        | 1-6                   |



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

“D” document cited by the applicant in the international application

“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

27 June 2024

Date of mailing of the international search report

09 July 2024

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)  
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915  
Japan

Authorized officer

Telephone No.



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/JP2024/019065**

### C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                            | Relevant to claim No. |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | WO 2023/053792 A1 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) 06 April 2023<br>(2023-04-06)<br>entire text, all drawings | 1-6                   |
| <hr/>     |                                                                                                               |                       |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT  
Information on patent family members

International application No.  
**PCT/JP2024/019065**

| Patent document cited in search report |             |    | Publication date (day/month/year) | Patent family member(s)                                           | Publication date (day/month/year) |
|----------------------------------------|-------------|----|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| JP                                     | 2017-133865 | A  | 03 August 2017                    | (Family: none)                                                    |                                   |
| JP                                     | 2017-133943 | A  | 03 August 2017                    | (Family: none)                                                    |                                   |
| JP                                     | 2018-165699 | A  | 25 October 2018                   | (Family: none)                                                    |                                   |
| JP                                     | 2009-276359 | A  | 26 November 2009                  | (Family: none)                                                    |                                   |
| JP                                     | 2019-115083 | A  | 11 July 2019                      | US 2019/0190432 A1<br>entire text, all drawings<br>CN 109951135 A |                                   |
| WO                                     | 2023/053792 | A1 | 06 April 2023                     | (Family: none)                                                    |                                   |

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

G01R 15/20(2006.01)i; G01R 17/12(2006.01)i; G01R 33/07(2006.01)i; G01R 33/09(2006.01)i  
FI: G01R15/20 D; G01R17/12 A; G01R33/07; G01R33/09; G01R15/20 A; G01R15/20 B

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（IPC））

G01R15/20; G01R17/12; G01R33/07; G01R33/09

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 - 2024年  
日本国実用新案登録公報 1996 - 2024年  
日本国登録実用新案公報 1994 - 2024年

国際調査で使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<br>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<br>請求項の番号 |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------|
| A               | JP 2017-133865 A（日立金属株式会社）03.08.2017（2017 - 08 - 03）<br>全文，全文図        | 1-6            |
| A               | JP 2017-133943 A（アルプス電気株式会社）03.08.2017（2017 - 08 - 03）<br>全文，全文図      | 1-6            |
| A               | JP 2018-165699 A（旭化成エレクトロニクス株式会社）25.10.2018（2018 - 10 - 25）<br>全文，全文図 | 1-6            |
| A               | JP 2009-276359 A（トヨタ自動車株式会社）26.11.2009（2009 - 11 - 26）<br>全文，全文図      | 1-6            |
| A               | JP 2019-115083 A（トヨタ自動車株式会社）11.07.2019（2019 - 07 - 11）<br>全文，全文図      | 1-6            |
| A               | WO 2023/053792 A1（株式会社村田製作所）06.04.2023（2023 - 04 - 06）<br>全文，全文図      | 1-6            |

☐ 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  
“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献  
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
“I” 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抵触するものではなく、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  
27.06.2024

国際調査報告の発送日  
09.07.2024

名称及びあて先  
日本国特許庁(ISA/JP)  
〒100-8915  
日本国  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

権限のある職員（特許庁審査官）  
  
島▲崎▼ 純一 2S 9107  
  
電話番号 03-3581-1101 内線 3216

国際調査報告  
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号  
PCT/JP2024/019065

| 引用文献 |             |    | 公表日        | パテントファミリー文献                                    | 公表日 |
|------|-------------|----|------------|------------------------------------------------|-----|
| JP   | 2017-133865 | A  | 03.08.2017 | (ファミリーなし)                                      |     |
| JP   | 2017-133943 | A  | 03.08.2017 | (ファミリーなし)                                      |     |
| JP   | 2018-165699 | A  | 25.10.2018 | (ファミリーなし)                                      |     |
| JP   | 2009-276359 | A  | 26.11.2009 | (ファミリーなし)                                      |     |
| JP   | 2019-115083 | A  | 11.07.2019 | US 2019/0190432 A1<br>全文, 全図<br>CN 109951135 A |     |
| WO   | 2023/053792 | A1 | 06.04.2023 | (ファミリーなし)                                      |     |