

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-200438

(P2016-200438A)

(43) 公開日 平成28年12月1日(2016.12.1)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)
G 0 1 R 15/20 (2006.01) G 0 1 R 15/20 C 2 G 0 2 5

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2015-79009 (P2015-79009)	(71) 出願人	000003207
(22) 出願日	平成27年4月8日 (2015.4.8)		トヨタ自動車株式会社
			愛知県豊田市トヨタ町1番地
		(74) 代理人	110000110
			特許業務法人快友国際特許事務所
		(72) 発明者	中山 航
			愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
		Fターム(参考)	2G025 AA04 AA11 AB01 AB02 AC01

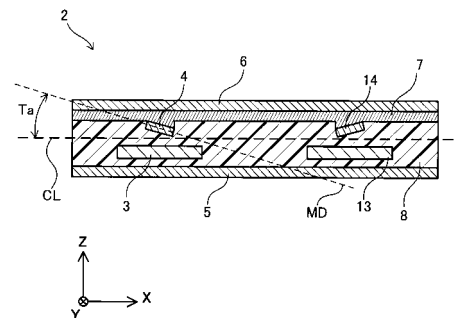
(54) 【発明の名称】 電流センサ

(57) 【要約】

【課題】本明細書は、一対のシールド板の間に無駄な空間を設けることなく、電流センサの精度を高める技術を提供する。

【解決手段】電流センサ2は、X方向で並んでいるとともに、Y方向に平行に延びている2本のバスバのうちバスバ3を流れる電流を計測する。センサ素子4は、Z方向でバスバ3を通る直線上に配置されている。一対のシールド板5、6は、Z方向でバスバ3とセンサ素子4を挟んでいる。バスバ3は、センサ素子4と下シールド板5の間に位置している。センサ素子4は、下シールド板5よりも上シールド板の近くに位置している。センサ素子4は、その感磁方向直線MDに沿ってバスバ13の側に延びる直線が、Y方向と直交する平面内で、バスバ13の方向を向くように配置されている。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

第 1 方向で並んでいるとともに、前記第 1 方向と直交する第 2 方向に平行に延びている 2 本の導体のうち、一方の導体を流れる電流を計測する電流センサであり、

前記第 1 方向及び前記第 2 方向に対して直交する第 3 方向で前記一方の導体を通る直線上に配置されている磁電変換素子と、

前記第 3 方向で前記一方の導体と前記磁電変換素子を挟んでいる一対の磁気シールド板と、
を備えており、

前記一方の導体は、前記磁電変換素子と一方の磁気シールド板の間に位置しており、

10

前記磁電変換素子は、前記一方の磁気シールド板よりも他方の磁気シールド板の近くに位置しており、

前記磁電変換素子は、前記第 2 方向と直交する平面内で、当該磁電変換素子を通りその感磁方向に沿って前記他方のバスバの側に延びる直線が前記他方の導体の方向を向くように配置されている電流センサ。

【請求項 2】

前記磁電変換素子は、その感磁方向が、前記第 2 方向と直交する平面内で、前記 2 本の導体のうち他方の導体を流れる電流に起因して前記一対の磁気シールド板の間に生じる磁界の方向と直交するように配置されている請求項 1 に記載の電流センサ。

【請求項 3】

20

前記磁電変換素子の感磁方向と前記第 1 方向とがなす角度に基づいて、前記磁電変換素子が計測する磁界の強度を補正することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の電流センサ。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、電流センサに関する。特に、平行に延びている 2 本の導体の一方を流れる電流を計測する電流センサに関する。

【背景技術】**【0002】**

30

磁電変換素子を使った電流センサが知られている。磁電変換素子は、導体を流れる電流に起因して発生する磁界の強度を計測する。導体を流れる電流の大きさと発生する磁界の強度には一意の関係がある。電流センサは、その関係を使って、磁電変換素子が計測した磁界の強度から導体を流れる電流の大きさを特定する。なお、磁界の強度と磁束密度は比例関係にあるため、「磁電変換素子は磁束密度を計測する」と表現する場合があるが、本明細書では、「磁電変換素子は磁界を計測する」という表現で説明を続ける。

【0003】

計測対象の導体が発する磁界以外の磁界を磁電変換素子が検知してしまうと、電流の計測精度が低下する。以下では、「計測対象の導体が発する磁界」以外の磁界を「ノイズ磁界」と称する。ノイズ磁界から磁電変換素子を遮断するため、磁電変換素子と導体を一対の磁気シールド板で挟み込むことが提案されている（例えば、特許文献 1）。

40

【0004】

特許文献 1 において次の点が指摘されている。ノイズ磁界が一対の磁気シールド板に吸収される結果、夫々の磁気シールド板を磁束が流れ、一対の磁気シールド板の間に磁界が発生する。ノイズ磁界に起因して一対の磁気シールド板の間に発生する磁界を磁電変換素子が検知してしまうと、電流計測精度が低下してしまう。特許文献 1 には、ノイズ磁界に起因して一対の磁気シールド板の間に発生する磁界の影響を低減する技術が提案されている。以下では、説明の便宜上、ノイズ磁界に起因して一対の磁気シールド板の間に発生する磁界をシールド間磁界と表記する。電流の計測対象の導体が発する磁界を計測磁界と表記する。また、磁気シールド板を単純にシールド板と称する場合がある。

50

【 0 0 0 5 】

ここで、説明の便宜上、座標系を定義する。導体の延びる方向を Y 方向と定義し、導体の延びる方向と直交する 2 つの方向を夫々、X 方向、Z 方向と定義する。導体と磁電変換素子が並んでいる方向を Z 方向と定義する。X 方向、Y 方向、Z 方向との表記は、より一般的に、それぞれ、第 1 方向、第 2 方向、第 3 方向と表記してもよい。

【 0 0 0 6 】

磁電変換素子は、検知する磁界の方向が決まっている。磁電変換素子が検知可能な磁界の方向は感磁方向と呼ばれている。磁電変換素子は、感磁方向と直交する方向の磁界は検知しない。導体が発する磁界は、導体を中心とした円を描く。導体の断面が矩形の場合は、導体が発する磁界は、導体を中心とした楕円を描く。導体は Y 軸方向に延びており、磁電変換素子は Z 方向で導体と並んでいる。従って、計測磁界は、磁電変換素子を X 方向に沿って貫く。それゆえ、計測磁界と感磁方向が一致するように、磁電変換素子は、その感磁方向が X 方向を向くように配置することが望ましい。なお、一对のシールド板は、Z 方向で磁電変換素子と導体を挟んでいる。

【 0 0 0 7 】

特許文献 1 に開示された、シールド間磁界の影響を低減する技術の説明に戻る。特許文献 1 では、磁電変換素子は、センサ基板の一面に形成されており、感磁方向は、センサ基板の一面と平行な方向を向いている。センサ基板は、磁電変換素子が形成された一面が導体と対向するように配置される。センサ基板の一面は Z 方向と直交し、感磁方向は X 方向に一致する。一对のシールド板は、Y 軸と直交する平面でカットした断面において、一对のシールド板の対向面（内壁面）が形成する輪郭線が、特定の直線（対称軸）に対して線対称となるように配置される。一对のシールド板は、その対称軸が、センサ基板の上記一面に接しつつ X 方向に延びるように配置される。シールド間磁界（その磁束線）は、一方のシールド板から他方のシールド板に向かう曲線を描くが、一对のシールド板の上記の配置によって、シールド間磁界も対称軸に対して線対称となる。シールド間磁界の向きは対称軸に直交することになる。一方、磁電変換素子の感磁方向は、X 方向、即ち、対称軸の方向に一致する。シールド間磁界の方向は感磁方向と直交することになる。その結果、シールド間磁界が磁電変換素子に与える影響が抑制される。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 8 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 3 - 1 1 7 4 4 7 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 9 】

特許文献 1 の技術は、Y 軸に直交する平面（XZ 平面）で一对のシールド板をカットした断面においてその一对のシールド板の対向面の輪郭が線対称となるように一对のシールド板を配置し、その対称軸上に磁電変換素子を配置する技術である。対称軸上とは、一对のシールド板の中間点に相当する。従って特許文献 1 の配置を採用すると、磁電変換素子と一方のシールド板との間に導体を配置するだけの間隔 A が必要となる一方で、磁電変換素子と他方のシールド板の間には何も配置しないにもかかわらず間隔 A を設ける必要が生じる。特許文献 1 の図 1、図 6 等には、磁電変換素子と一方のシールド板の間に導体が配置されており、磁電変換素子と他方のシールド板の間には無駄な空間が設けられている。先に述べたように、シールド間磁界は、曲線を描き、対称軸上にて Z 方向を向くが、対称軸以外の場所では、X 方向（感磁方向）成分を有することになる。無駄な空間を狭めると、対称軸が磁電変換素子から外れ、シールド間磁界が磁電変換素子の位置において感磁方向の成分を有することになる。即ち、ノイズ磁界に起因するシールド間磁界が磁電変換素子に影響を与える。本明細書は、一对のシールド板の間に上記した無駄な空間を狭めつつ、ノイズ磁界に起因するシールド間磁界が磁電変換素子に与える影響を抑制する技術を提供する。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 0 】

なお、特許文献 1 の技術は、一対のシールド板に同じ強度の磁界が作用することが前提となっておりと考えられる。一対のシールド板に同じ強度の磁界が作用するから、対向面が線対称となるように配置された一対のシールド板の間に発生する磁界が対称軸に対して線対称となる。なお、磁界の方向は夫々のシールド板で互いに反対向きであってもよい。

【 0 0 1 1 】

同じ強度の磁界が一対のシールド板に作用する状況として、ノイズ磁界発生源の導体が X 方向で計測対象の導体に並んでいる状況が想定し得る。例えば、交流電力を伝送する平行な 2 本の導体のうち、一方の導体の電流を計測する電流センサが想定される。他方の導体がノイズ磁界の源になる。本明細書が開示する技術は、X 方向（第 1 方向）に並んでいるとともに、X 方向と直交する Y 方向（第 2 方向）に平行に延びている 2 本の導体のうち、一方の導体を流れる電流を計測する電流センサを対象とする。そのような電流センサにおいて、一対のシールド板の間に無駄な空間を小さくするとともに、ノイズ磁界に起因するシールド間磁界が磁電変換素子に与える影響を抑制する技術を提供する。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 2 】

本明細書が開示する技術が対象とする電流センサの構造を、先に定義した座標系を用いて表現する。2 本の導体は X 方向（第 1 方向）で並んでおり、X 方向（第 1 方向）に直交する Y 方向（第 2 方向）に平行に延びている。磁電変換素子は、X 方向（第 1 方向）及び Y 方向（第 2 方向）に対して直交する Z 方向（第 3 方向）に沿って一方の導体を通る直線上に配置されている。一対のシールド板（一対の磁気シールド板）は、Z 方向（第 3 方向）で一方の導体と磁電変換素子を挟んでいる。一方の導体が電流計測対象の導体である。

【 0 0 1 3 】

本明細書が開示する電流センサでは、一方の導体は、磁電変換素子と一方のシールド板の間に位置しており、磁電変換素子は、一方のシールド板よりも他方のシールド板の近くに位置している。即ち、磁電変換素子は、一対のシールド板の中間位置からずれた位置に配置する。そのかわり、本明細書が開示する電流センサでは、磁電変換素子を、Y 方向（第 2 方向）と直交する平面内で、磁電変換素子を通りその感磁方向に沿って他方の導体の側に延びる直線（感磁方向直線）が、他方の導体の方向を向くように配置する。感磁方向直線が他方の導体を向くように磁電変換素子を配置することによって、2 本の導体のうち他方の導体を流れる電流に起因して一対の磁気シールド板の間に生じる磁界の感磁方向成分を小さくすることができる。「2 本の導体のうち他方の導体を流れる電流に起因して一対の磁気シールド板の間に生じる磁界」が、先に言及したシールド間磁界に相当する。

【 0 0 1 4 】

なお、「感磁方向直線が他方の導体の方向を向くように磁電変換素子を配置する」とは、感磁方向直線が厳密に他方の導体の中心を貫くように磁電変換素子を配置する場合に限られない。少なくとも、磁電変換素子を通り X 方向（第 1 方向）に延びる直線よりも感磁方向直線が他方の導体の近くを通るように磁電変換素子を配置すればよい。ただし、最も効果が得られるのは、磁電変換素子を、その感磁方向が Y 方向（第 2 方向）と直交する平面内で、シールド間磁界の方向と直交するように配置したときである。シールド間磁界の方向は、ノイズ磁界の源である隣接する導体の位置、及び、一対のシールド板の特性が定まれば、解析あるいはシミュレーションで求めることができる。

【 0 0 1 5 】

感磁方向直線が他方の導体の方向を向くように磁電変換素子を配置すると、シールド間磁界の計測値が小さくなるとともに、本来計測すべき磁界（計測対象の導体が発する磁界）の計測値も小さくなる。しかし、このとき、シールド間磁界の計測値の低下率が、計測対象の導体が発する磁界の低下率よりも遥かに大きくなる。本明細書が開示する技術は、感磁方向を本来計測すべき磁界の方向に一致させるという、特許文献 1 の技術的思想を転換し、本来計測すべき磁界の計測値の低下率よりもシールド間磁界の計測値の低下率を大きくすることにより、電流計測精度を高める。この点については実施例にて例を挙げて説

10

20

30

40

50

明する。

【 0 0 1 6 】

本明細書が開示する電流センサは、感磁方向直線が他方の導体の方向を向くように磁電変換素子を傾けて配置することにより、一対のシールド板の中間位置でなくとも、磁電変換素子に対するシールド間磁界の影響を抑制できる。本明細書が開示する電流センサは、磁電変換素子を一対のシールド板の中間位置に配置するための無駄な空間を一対のシールド板の間に設けることなく、シールド間磁界の影響を抑制することができる。

【 0 0 1 7 】

なお、特許文献 1 の電流センサでは、Y 軸に直交する平面でカットしたときの一対のシールド板の対向面の輪郭は X 方向の直線に対して線対称である必要がある。しかし、本明細書が開示する電流センサは、一対のシールド板の対向面の輪郭は X 方向の直線に対して線対称である必要はない。また、本明細書が開示する技術は、平行に延びている 2 本の導体の一方を流れる電流を計測する電流センサを対象とするが、電流センサは、他方の導体を流れる電流も計測することが可能であってもよい。本明細書が開示する技術は、夫々の導体を流れる電流を計測する電流センサを除外するものではないことに留意されたい。本明細書が開示する技術の詳細と改良は、以下の「発明を実施するための形態」にて説明する。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 8 】

【 図 1 】 実施例の電流センサ 2 の斜視図である。

【 図 2 】 図 1 の II - II 線に沿った電流センサ 2 の断面図である。

【 図 3 】 センサ素子の感磁方向の傾斜角とノイズ磁界の関係を説明する図である。

【 図 4 】 感磁方向直線とノイズ源のバスパとの関係を説明する図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 9 】

図面を参照して実施例の電流センサ 2 を説明する。図 1 に、電流センサ 2 の斜視図を示す。図 2 に、図 1 の II - II 線に沿った電流センサ 2 の断面図を示す。電流センサ 2 は、平行に延びる 2 本バスパ 3、13 の夫々を流れる電流を同時に計測することができるセンサである。「バスパ」とは、細長い金属板又は金属棒で作られている導体であり、ワイヤケーブルなどと比較して抵抗が小さい導体である。バスパは、大電流を伝送するのに適している。バスパ 3、13 とその電流を計測する電流センサ 2 は、例えば、電気自動車において、3 相交流モータを駆動するインバータ内で用いられる。バスパ 3、13 は、3 相交流のうち 2 相を伝送する導体であり、電流センサ 2 は、3 相交流のうち 2 相の電流を計測する。電流計測対象でない 3 本目のバスパは、図示を省略した。

【 0 0 2 0 】

電流センサ 2 は、バスパ 3 に隣接して配置されているセンサ素子 4 と、バスパ 13 に隣接配置されているセンサ素子 14 と、センサ素子 4、14 を固定するセンサ基板 7 と、一対のシールド板 5、6 と、樹脂パッケージ 8 を備える。

【 0 0 2 1 】

ここで、説明の便宜のため、座標系を定義する。バスパ 3、13 の並び方向を X 方向と定義する。バスパ 3、13 の延びる方向を Y 方向と定義する。X 方向と Y 方向は、互いに直交している。X 方向と Y 方向の双方と直交する方向を Z 方向とする。さらに、説明の便宜のため、Z 軸の正方向を「上」と表現し、Z 軸の負方向を「下」と表現する。

【 0 0 2 2 】

2 本のバスパ 3、13 は、X 方向で並んでいるとともに、Y 方向に平行に延びている。センサ素子 4 は、Z 方向でバスパ 3 に隣接配置されている。センサ素子 4 は、その中心の X 方向の位置が、バスパ 3 の中心の X 方向の位置と一致するように配置されている。従って、別言すれば、センサ素子 4 は、バスパ 3 を通って Z 方向に延びる直線上に配置されている。センサ素子 4 は、バスパ 3 を流れる電流に起因して発生する磁界の強度を計測する。バスパ 3 を流れる電流と、その電流に起因して発生する磁界の強度の間には一意の関係

がある。電流センサ 2 は、その関係を使ってバスバ 3 を流れる電流の大きさを特定する。センサ素子 4 は、磁電変換素子の一種であり、具体的には、ホール素子である。

【 0 0 2 3 】

センサ素子 4 は、計測できる磁界の向きが決まっている。計測可能な磁界の向きは、感磁方向と呼ばれる。センサ素子 4 は、Z 方向でバスバ 3 に隣接して配置されている。センサ素子 4 は、その Z 方向の位置に応じて、感磁方向が X Z 平面内で X 軸に対して所定の角度だけ傾けた姿勢で配置される。図 2 に示す直線 M D は、センサ素子 4 を通り感磁方向に平行に延びる直線を示している。図 2 では、センサ素子 4 の両側に延びるように直線 M D を描いているが、特にセンサ素子 4 からバスバ 1 3 の側へ延びている直線を感磁方向直線と称することにする。感磁方向直線 M D は、センサ素子 4 を通り、その感磁方向に沿ってバスバ 1 3 の側に延びている直線を意味する。ただし、図 2 では、感磁方向直線 M D と X 方向に延びる直線との角度 $T a$ を図示するために、感磁方向直線 M D をバスバ 1 3 とは反対側に鉛直した直線も描いてある。また、図 2 では、角度 $T a$ が理解し易いように、角度 $T a$ が大きくなるようにセンサ素子 4 の傾きを大きくして描いてあることに留意されたい。実際には、感磁方向直線 M D がもっとバスバ 1 3 の近くを通るように、角度 $T a$ は定められる。感磁方向直線 M D とバスバ 1 3 の位置関係は後に詳しく説明する。

10

【 0 0 2 4 】

図 2 の直線 C L は、一对のシールド板 5、6（後述）の間の中心線を示している。以下、直線 C L を中心線 C L と称する。中心線 C L は、X 軸に平行である。先に述べたように、図 2 の符号 $T a$ が感磁方向直線 M D と X 軸（中心線 C L）との間の角度（傾斜角 $T a$ ）を示している。感磁方向の傾斜角については、後述する。

20

【 0 0 2 5 】

センサ素子 1 4 は、Z 方向でバスバ 1 3 に隣接して配置されている。センサ素子 1 4 は、その中心の X 方向の位置が、バスバ 1 3 の中心の X 方向の位置と一致するように配置されている。従って別言すれば、センサ素子 1 4 は、バスバ 1 3 を通り Z 方向に延びる直線上に配置されている。センサ素子 1 4 も、磁電変換素子の一つであり、具体的には、ホール素子である。センサ素子 1 4 は、バスバ 3 に対するセンサ素子 4 と同じ側でバスバ 1 3 に隣接配置されている。別言すれば、センサ素子 4、1 4 は、共に、バスバ 3、1 3 の上側に配置されている。センサ素子 1 4 は、バスバ 1 3 を流れる電流に起因して発生する磁界の強度を計測する。センサ素子 1 4 は、その Z 方向の位置に応じて、感磁方向が X Z 平面内で X 軸に対して所定の角度だけ傾けた姿勢で配置される。

30

【 0 0 2 6 】

センサ素子 4、1 4 は、センサ基板 7 に固定されている。センサ基板 7 は、センサ素子 4、1 4 を、所定の角度だけ X 方向に対して傾斜する姿勢で固定している。センサ基板 7 には、センサ素子 4、1 4 に供給する電力を中継するとともに、センサ素子 4、1 4 の計測信号を上位の制御回路に送信するための回路が搭載されている。センサ基板 7 からは、上位の制御回路と通信するための信号線と、電力供給線が延びているが、それら信号線は図示を省略した。磁界の強度を電流の大きさに変換する回路（変換回路）は、センサ基板 7 に搭載されていてもよいし、センサ基板 7 と通信する上位の制御回路に搭載されていてもよい。後者の場合には、その上記の制御回路も電流センサ 2 に含まれる。

40

【 0 0 2 7 】

一对のシールド板 5、6 は、バスバ 3、1 3 とセンサ素子 4、1 4 とセンサ基板 7 を Z 方向で両側から挟んでいる。一对のシールド板 5、6 は、磁気シールドの一種であり、磁界（磁束）をよく吸収する材料で作られている。一对のシールド板 5、6 は、電流計測対象のバスバ 3 の電流に起因する磁界以外の磁界からセンサ素子 4 を遮断するため、及び、電流計測対象のバスバ 1 3 の電流に起因する磁界以外の磁界からセンサ素子 1 4 を遮断するため、に備えられている。一对のシールド板 5、6 は、例えば、鉄、あるいは、パーマロイ等で作られている。以下では、シールド板 5 を「下シールド板 5」と表記し、シールド板 6 を「上シールド板 6」と表記して、図において夫々のシールド板を区別し易くする。

50

【 0 0 2 8 】

センサ素子 4、1 4、センサ基板 7、及び、一对のシールド板 5、6 は、バスバ 3、1 3 の一部とともに、樹脂パッケージ 8 に封止されている。なお、図 1、図 2 では、図を理解し易くするため、樹脂パッケージ 8 について、一对のシールド板 5、6 の外側を囲む部分は図示を省略した。

【 0 0 2 9 】

先に述べたように、センサ素子 4 は、バスバ 3 を流れる電流に起因して発生する磁界の強度を計測する。センサ素子 1 4 は、バスバ 1 3 を流れる電流に起因して発生する磁界の強度を計測する。センサ素子 4 は、バスバ 1 3 よりもバスバ 3 の近くに配置されており、センサ素子 1 4 は、バスバ 3 よりもバスバ 1 3 の近くに配置されている。しかしながら、バスバ 1 3 が発する磁界はセンサ素子 4 に影響を及ぼし、バスバ 3 が発する磁界はセンサ素子 1 4 に影響を及ぼす。バスバ 1 3 が発する磁界のセンサ素子 4 への影響、及び、バスバ 3 が発する磁界のセンサ素子 1 4 への影響を抑制することが、電流センサ 2 の計測精度の向上に寄与する。電流センサ 2 は、隣接するバスバの影響を抑制するために、それぞれのセンサ素子 4、1 4 の感磁方向直線を、X 方向に対して傾斜させている。なお、センサ素子 1 4 の感磁方向直線は、センサ素子 1 4 を通り、その感磁方向と平行に、バスバ 3 の側に延びる直線となる。次に、感磁方向の傾斜角について説明する。なお、以下では、バスバ 3 が発する磁界を検出するセンサ素子 4 に着目し、バスバ 1 3 をノイズ磁界の発生源として、説明を続ける。

【 0 0 3 0 】

図 3 は、センサ素子 4 の感磁方向の傾斜角 $T a$ とノイズ磁界の関係を示す図である。図 3 では、センサ基板 7 とセンサ素子 1 4 と樹脂パッケージ 8 は図示を省略した。また、図 3 では、理解を助けるために、一对のシールド板 5、6 の間隔と、センサ素子 4 の感磁方向の傾斜角 $T a$ を図 2 と比べて大きく描いてあることに留意されたい。図 3 においてバスバ 1 3 を示す矩形の中の印は、電流が紙面手前側から奥側へ流れていることを示している。このとき、バスバ 1 3 の周囲において、ノイズ磁界の向きは、紙面で右回りとなる。図 3 の符号 $F L$ が示す曲線が、ノイズ磁界の磁束線を意味する。

【 0 0 3 1 】

ノイズ磁界は、一对のシールド板 5、6 に吸収される。ノイズ磁界の磁束線 $F L$ は、下シールド板 5 を通り ($F L 1$)、その端部から出て ($F L 2$)、上シールド板 6 の端部へ入る ($F L 3$)。なお、図 3 において、上シールド板 6 の右側の端部から出て下シールド板 5 の右側の端部へ入る磁束線は図示を省略した。

【 0 0 3 2 】

一对のシールド板 5、6 を通過する磁束は、下シールド板 5 の上面 5 a から漏れる。漏れた磁束は、上シールド板 6 へと向かう。符号 $F L 4$ が、漏れた磁束線を表している。バスバ 1 3 が発するノイズ磁界に起因して一对のシールド板 5、6 の間に発生する磁界が、前述したシールド間磁界に相当する。

【 0 0 3 3 】

一对のシールド板 5、6 は同じ特性を有しており、断面において対向面 (下シールド板 5 の上面 5 a と上シールド板 6 の下面 6 a) の輪郭が線対称である。この場合、シールド間磁界の形状 (プロファイル) は中心線 $C L$ に対して線対称となる (図 3 の $F L 4$)。従って中心線 $C L$ は、対向面の輪郭の対称軸を意味する。シールド間磁界の磁束線は、中心線 $C L$ を垂直に横切る。図 3 の矢印 $A 1$ が、中心線 $C L$ 上でのシールド間磁界の向きを示している。シールド間磁界は、中心線 $C L$ の上においては X 方向成分 (感磁方向成分) を有さない。従って、仮に、感磁方向を X 方向に向けたセンサ素子 4 を中心線 $C L$ の上に配置すれば、シールド間磁界は、センサ素子 4 に影響を及ぼさない。しかし、中心線 $C L$ にセンサ素子 4 を配置すると、センサ素子 4 と下シールド板 5 の間にバスバ 3 を配置するための間隔が必要となる一方、同じ間隔をセンサ素子 4 と上シールド板 6 の間にも設けなければならない。センサ素子 4 と上シールド板 6 の間の空間は無駄であり、電流センサ 2 が大きくなってしまう。図 3 では、一对のシールド板 5、6 の間隔を大きく描いてあるため

、センサ素子 4 を配置可能な領域が広く見えることに留意されたい。実際には、一对のシールド板 5、6 の間隔をできるだけ狭めようとする、センサ素子 4 は、中心線 C L から外れた位置に配置せざるを得ない。

【0034】

一对のシールド板 5、6 の間の無駄な空間を排し、上シールド板 6 をセンサ素子 4 に近づけた場合、中心線 C L はセンサ素子 4 の位置から下へ移動することになる。その場合、センサ素子 4 の位置におけるシールド間磁界は X 方向成分を有することになる（図 3 の矢印 A 2 参照）。仮に、図 3 において、中心線 C L から距離 O f f だけ上方の位置で感磁方向を X 方向に向けてセンサ素子 4 を配置すると、シールド間磁界の X 方向成分をセンサ素子 4 が計測してしまう。シールド間磁界がセンサ素子 4 に影響を与えてしまう。

10

【0035】

そこで、電流センサ 2 では、センサ素子 4 の位置で、感磁方向直線 M D がノイズ源であるバスバ 1 3 の方向を向くようにセンサ素子 4 を X 軸に対して傾けて配置する。より好ましくは、センサ素子 4 の位置で、感磁方向直線 M D がシールド間磁界の向きと直交するように、センサ素子 4 を X 軸に対して傾けて配置する。図 3 では、センサ素子 4 は、中心線 C L から上へ距離 O f f の位置に配置されている。この位置で、感磁方向直線 M D がシールド間磁界の向き（図中の矢印 A 2）と直交するように、センサ素子 4 は、X Z 面内（Y 軸に直交する面内）において、X 軸に対して角度 T a だけ傾けて配置される。センサ素子 4 をそのように配置することによって、上シールド板 6 とセンサ素子 4 の間を狭めても、バスバ 1 3 を流れる電流に起因する磁界がバスバ 3 に与える影響を抑えることができる。即ち、実施例の技術によれば、ノイズ磁界に起因するシールド間磁界の影響を抑制しつつ、一对のシールド板の間の距離を狭めることができる。

20

【0036】

感磁方向をシールド間磁界の方向に直交させると、シールド間磁界の計測値が小さくなるとともに、本来計測すべき磁界（計測対象のバスバ 3 が発する磁界）の計測値も小さくなる。しかし、感磁方向をシールド間磁界の方向に直交させると、シールド間磁界の計測値の低下率が、バスバ 3 の磁界に対する計測値の低下率よりも遥かに大きくなる。これは次の理由による。シールド間磁界に対するセンサ素子 4 の計測値は、「シールド間磁界の強さ」×「シールド間磁界の向きと感磁方向がなす角度の余弦」で与えられる。シールド間磁界の向きと感磁方向がなす角度が直角に近づくと、その角度の余弦は急激にゼロに近づく。一方、バスバ 3 の磁界と感磁方向のなす角度が 90 度よりもはるかに小さいと、その角度の余弦は、ゼロよりも遥かに大きい値を保持する。

30

【0037】

数値例を挙げて説明する。例えば、センサ素子 4 の位置におけるシールド間磁界の向きが X 方向に対して 80 度傾斜していると仮定する。また、バスバ 3 が発する磁界はセンサ素子 4 の位置で X 方向に一致していると仮定する。センサ素子 4 の感磁方向直線を、シールド間磁界の方向と直交する向きに 5 度近づけることを考える。

【0038】

センサ素子 4 の感磁方向直線が X 方向に一致しているとき、センサ素子 4 によるシールド間磁界の計測値は、本来のシールド間磁界の大きさの 17 % である（ $\cos(80^\circ) = 0.17$ ）。このとき、センサ素子 4 によるバスバ 3 が発する磁界の計測値は、バスバ 3 が発する磁界の大きさの 100 % となる（ $\cos(90^\circ) = 1.0$ ）。センサ素子 4 の感磁方向直線とシールド間磁界の向きが 85 度となるように、感磁方向直線を X 軸に対して 5 度傾ける。このとき、センサ素子 4 によるバスバ 3 が発する磁界の計測値は、本来の磁界の大きさの 99.6 % となる（ $\cos(5^\circ) = 0.996$ ）。一方、シールド間磁界の計測値は、本来のシールド間磁界の大きさの 8.7 % である（ $\cos(85^\circ) = 0.087$ ）。センサ素子 4 を 5 度傾斜させたとき、バスバ 3 が発する磁界の計測値は 0.4 % 減少する。一方のシールド間磁界の計測値は、50 % 減少する。

40

【0039】

このように、シールド間磁界の向きと感磁方向直線がなす角度を直角に近づけると、計

50

測すべき磁界の計測値も低下するが、その低下率は、シールド間磁界の計測値の低下率よりもはるかに小さい。それゆえ、感磁方向直線がシールド間磁界の向きと直交するようにセンサ素子 4 を傾けると、磁界計測の S N 比が向上する。即ち、バスバ 3 に対する電流の計測精度が向上する。

【 0 0 4 0 】

理想的には、感磁方向直線がシールド間磁界と直交するように磁電変換素子を配置するのがよいが、感磁方向直線を少しでもバスバ 1 3 の方向に向ければシールド間磁界の抑制効果が期待できる。感磁方向直線を少しでもバスバ 1 3 の方向に向けることの意味を、図 4 を使って説明する。符号 H L が示す直線は、センサ素子 4 を通り X 方向に平行な直線を示している。符号 M D が示す直線は、先に述べた感磁方向直線、即ち、センサ素子 4 を通りその感磁方向に沿ってバスバ 1 3 の側に延びる直線を示している。感磁方向直線を少しでもバスバ 1 3 の方向に向けるとは、Y 方向と直交する平面内で、センサ素子 4 を通り X 方向に平行な直線 H L よりも感磁方向直線 M D がバスバ 1 3 (ノイズ源である他方の導体)の近くを通るようにセンサ素子 4 を配置することである。そのようにセンサ素子 4 を配置すれば、シールド間磁界の低減効果が得られる。なお、直線 H L よりもバスバ 1 3 の近くであれば、感磁方向直線 M D がバスバ 1 3 の下側 (バスバ 1 3 を挟んで直線 H L の反対側)を通るようにセンサ素子 4 を傾けてもよい。

【 0 0 4 1 】

ここで、ノイズ源であるバスバと、そのバスバを流れる電流に起因して一对のシールド板の間に発生する磁界 (シールド間磁界) の関係について説明する。発明者の知見によると、ノイズ源であるバスバを流れる電流に起因して一对のシールド板の間に生じる磁界 (シールド間磁界) は、概ね、ノイズ源のバスバを中心とした円あるいは楕円と同じような形状となる。別言すれば、シールド間磁界の方向は、センサ素子の位置において、センサ素子とノイズ源のバスバを結ぶ方向と概ね直交することになる。従って、感磁方向直線がノイズ源のバスバの方向を向くようセンサ素子を傾ければ、シールド間磁界の感磁方向成分が小さくなる。さらには、感磁方向直線がシールド間磁界の方向と直交するようにセンサ素子を配置すれば、シールド間磁界の感磁方向成分をゼロにすることができる。

【 0 0 4 2 】

また、先に示した図 3 では、一对のシールド板 5、6 は、ノイズ源であるバスバ 1 3 も挟み込んでいた。図 4 に示すように、一对のシールド板 5、6 は、ノイズ源であるバスバ 1 3 を挟み込んでいなくともよい。

【 0 0 4 3 】

電流センサ 2 の特徴をまとめると次の通りである。電流センサ 2 は、X 方向で並んでいるとともに、X 方向に直交する Y 方向に平行に延びている 2 本の導体 (バスバ 3、1 3) のうち、一方のバスバ 3 を流れる電流を計測する。電流センサ 2 は、センサ素子 4 (磁電変換素子) と、一对のシールド板 5、6 を備えている。センサ素子 4 は、X 方向及び Y 方向に対して直交する Z 方向に沿って延びる直線であって一方のバスバ 3 を通る直線上に配置されている。一对のシールド板 5、6 は、Z 方向で一方のバスバ 3 とセンサ素子 4 を挟んでいる。一方のバスバ 3 は、センサ素子 4 と下シールド板 5 の間に位置している。センサ素子 4 は、下シールド板 5 よりも上シールド板 6 の近くに位置している。センサ素子 4 は、センサ素子 4 を通りその感磁方向に沿ってバスバ 1 3 の側に延びる直線 (感磁方向直線 M D) が、ノイズ源であるバスバ 1 3 の方向を向くように配置される。より好ましくは、センサ素子 4 は、Y 方向と直交する平面内 (X Z 平面内) で、2 本のバスバ 3、1 3 のうち他方のバスバ 1 3 を流れる電流に起因して一对のシールド板 5、6 の間に生じる磁界の方向 (図 3 の矢印 A 2) と感磁方向直線 M D が直交するように配置される。バスバ 1 3 を流れる電流に起因して一对のシールド板 5、6 の間に生じる磁界の方向は、解析、あるいは、実験 (シミュレーションを含む) により予め求めることができる。

【 0 0 4 4 】

電流センサ 2 は、バスバ 1 3 に対応してセンサ素子 1 4 を備えている。センサ素子 1 4 に対しては、バスバ 3 がノイズ磁界の源となる。センサ素子 1 4 も、センサ素子 4 と同様

10

20

30

40

50

に、その感磁方向直線が、バスバ3の方向を向くように配置される。好ましくは、センサ素子14は、その感磁方向直線が、Y方向と直交する平面内で、バスバ3を流れる電流に起因して一对のシールド板5、6の間に生じる磁界の方向と直交するように配置されている。電流センサ2は、センサ素子14に対しても、バスバ3を流れる電流に起因するシールド間磁界の影響を抑制する。

【0045】

センサ素子4は、バスバ3の直上に配置されているので、バスバ3を流れる電流に起因して生じる磁界の向きは、センサ素子4の位置においてX軸方向を向く。バスバ3を流れる電流に起因して生じる磁界を計測磁界と称する。センサ素子4の感磁方向（感磁方向直線MD、図3参照）は、計測磁界の方向と一致しない。センサ素子4は、計測磁界の大きさを一定の割合で小さくした値を出力することになる。そこで、電流センサ2は、計測磁界の大きさとセンサ素子4の計測値との差を、バスバ3を流れる電流の大きさに換算する比例定数を大きくすることで調整する。図3に示した傾斜角 T_a が大きくなるほど、計測磁界に対するセンサ素子4の出力は小さくなる。そこで、電流センサ2では、感磁方向（感磁方向直線MD）がX方向と成す角度 T_a が大きくなるほど、センサ素子4の測定値をバスバ3の電流値に換算する比例定数を大きくする。別言すれば、電流センサ2は、センサ素子4の感磁方向直線MDとX方向の成す角度 T_a に基づいてセンサ素子4が計測する磁界の強度を補正し、補正された磁界の強度に基づいてバスバ3を流れる電流の大きさを特定する。

【0046】

実施例で説明した技術に関する留意点を述べる。電流センサ2は、好ましくは、センサ素子の位置において感磁方向直線がシールド間磁界の方向と直交するように磁電変換素子を配置する。シールド間磁界の方向は、予め、シミュレーションあるいは解析によって求める。それゆえ、一对のシールド板は、どのような形状であってもよい。一对のシールド板は、Y軸と直交する断面における対向面の輪郭がX方向に平行な直線に対して線対称でなくともよい。図3に示したシールド間磁界のプロファイル（符号FL4が示す曲線）は一例である。一对のシールド板の形状、及び、ノイズ源となる導体の位置に応じて、シールド間磁界のプロファイルも変化することに留意されたい。

【0047】

実施例の電流センサ2では、センサ素子4、14を、下シールド板5よりも上シールド板6の近くに配置した。これとは逆に、センサ素子4、14を上シールド板6よりも下シールド板5の近くに配置し、バスバ3、13を、センサ素子4、14と上シールド板6の間に配置してもよい。

【0048】

実施例の電流センサ2は、平行な2本の導体（バスバ3、13）のそれぞれの電流を計測する。本明細書が開示する技術が、3本以上の導体が平行して延びている状況であっても、計測対象の導体以外の導体（ノイズ源の導体）のうち、いずれか1本の導体の影響が支配的である場合には適用することができる。主たるノイズ源となる一つの導体を特定することができれば、センサ素子の位置において、ノイズ磁界に起因して一对のシールド板の間に生じる磁界の方向を特定することができる。特定したシールド間磁界の方向に直交するようにセンサ素子を配置すれば、上記した実施例の場合と同様の効果を得ることができる。

【0049】

以上、本発明の具体例を詳細に説明したが、これらは例示に過ぎず、特許請求の範囲を限定するものではない。特許請求の範囲に記載の技術には、以上に例示した具体例を様々に変形、変更したものが含まれる。本明細書または図面に説明した技術要素は、単独であるいは各種の組合せによって技術的有用性を発揮するものであり、出願時請求項記載の組合せに限定されるものではない。また、本明細書または図面に例示した技術は複数目的を同時に達成し得るものであり、そのうちの一つの目的を達成すること自体で技術的有用性を持つものである。

【符号の説明】

【 0 0 5 0 】

2：電流センサ

3、13：バスバ

4、14：センサ素子

5：下シールド板

6：上シールド板

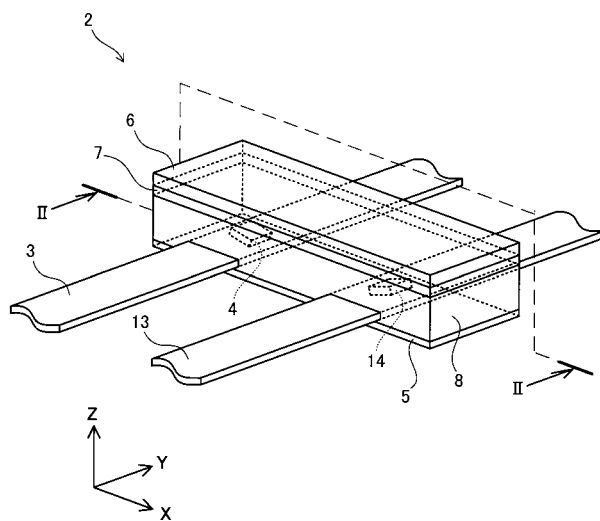
7：センサ基板

8：樹脂パッケージ

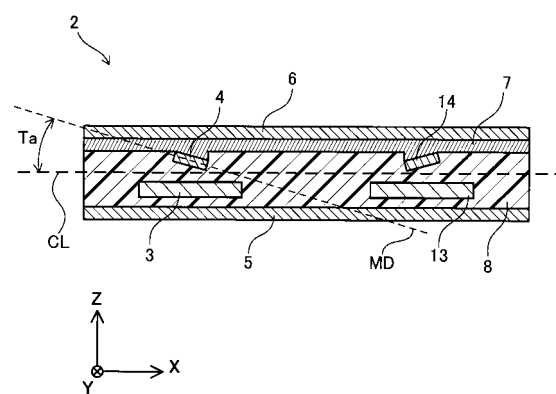
M D：感磁方向直線

10

【図 1】



【図 2】



【 図 4 】

