

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7450827号
(P7450827)

(45)発行日 令和6年3月15日(2024.3.15)

(24)登録日 令和6年3月7日(2024.3.7)

(51)国際特許分類 F I
G 0 1 R 15/20 (2006.01) G 0 1 R 15/20 Z

請求項の数 8 (全21頁)

(21)出願番号	特願2023-556558(P2023-556558)	(73)特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86)(22)出願日	令和5年3月10日(2023.3.10)	(74)代理人	100116964 弁理士 山形 洋一
(86)国際出願番号	PCT/JP2023/009393	(74)代理人	100120477 弁理士 佐藤 賢改
(87)国際公開番号	WO2023/176739	(74)代理人	100135921 弁理士 篠原 昌彦
(87)国際公開日	令和5年9月21日(2023.9.21)	(74)代理人	100203677 弁理士 山口 力
審査請求日	令和5年9月13日(2023.9.13)	(72)発明者	岡田 泰行 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2022-41288(P2022-41288)	(72)発明者	渡邊 佳正
(32)優先日	令和4年3月16日(2022.3.16)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
早期審査対象出願			

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電流センサ及び電線診断システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

電線に流れる電流を検出する電流センサであって、
板状に形成され、厚さ方向における変形によって電圧を発生する圧電部材、及び、板状に形成され、前記圧電部材の長さ方向に沿って配置され、磁界によって長さ方向に伸縮することで前記圧電部材を厚さ方向に変形させる磁歪部材、を備える電磁変換素子と、
前記磁歪部材の長手方向から、前記電磁変換素子に磁界を与えるバイアス磁石と、を備え、

前記磁歪部材は、第1の磁歪部材と、第2の磁歪部材と、により構成され、
前記第1の磁歪部材及び前記第2の磁歪部材の伸縮方向は、磁界変化に対して互いに逆向きであり、

前記圧電部材は、前記第1の磁歪部材及び前記第2の磁歪部材の間に配置され、
前記バイアス磁石は、前記第1の磁歪部材に対して、前記第1の磁歪部材の長さ方向に沿った第1の方向に磁界を与える第1のバイアス磁石と、前記第2の磁歪部材に対して、前記第1の方向とは反対の第2の方向に磁界を与える第2のバイアス磁石とにより構成され、

前記電線の定格電流に合わせて、前記バイアス磁石から前記電磁変換素子に与える前記磁界の強さを変化させること
を特徴とする電流センサ。

【請求項2】

10

20

前記電磁変換素子に対して、前記バイアス磁石が設けられている側とは反対側に、前記第1の磁歪部材を通った、前記バイアス磁石からの磁力線を、前記第2の磁歪部材に送るための磁性ヨークをさらに備えること

を特徴とする請求項1に記載の電流センサ。

【請求項3】

前記電磁変換素子に対する前記バイアス磁石の配置、前記バイアス磁石のサイズ、又は、前記バイアス磁石の個数を変化させることで、前記バイアス磁石から前記電磁変換素子に与える前記磁界の強さを変化させること

を特徴とする請求項1又は2に記載の電流センサ。

【請求項4】

前記電磁変換素子及び前記バイアス磁石を覆うカバーをさらに備え、
前記電磁変換素子は、前記バイアス磁石の磁力により、前記カバー内において固定されていること

を特徴とする請求項1又は2に記載の電流センサ。

【請求項5】

前記カバーは、前記電磁変換素子と、前記バイアス磁石との間に隔壁を有すること

を特徴とする請求項4に記載の電流センサ。

【請求項6】

前記電磁変換素子の長手方向が、電線の長手方向と直交するように、前記電線に前記カバーを取り付けるための固定部材をさらに備えること、

を特徴とする請求項4に記載の電流センサ。

【請求項7】

前記圧電部材で生ずる電圧で駆動し、前記電線の異常を検出することのできるデータを送信する送信ユニットをさらに備えること

を特徴とする請求項5に記載の電流センサ。

【請求項8】

請求項7に記載の電流センサと、
前記データに基づいて前記電線の異常を検出する電線診断部と、を備えること
を特徴とする電線診断システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、電流センサ及び電線診断システムに関する。

【背景技術】

【0002】

電気の供給元である発電所と、電気需給先とを結び配電網においては、電流量、電圧又は位相等の電氣的情報を用いて電線の異常を監視している。異常監視には、変電所等の受配電盤に設置される電流計又は電圧計等の機器で得た計測データが用いられ、予め定められた閾値との比較又は信号推移等を基に、健全又は異常が判定されている。異常が発生した場合は、これらの常設機器を用いた計測だけでなく、電線に点検員が出向いてその電線の検査を行う場合もある。

【0003】

異常発生を事前に察知するには、定常状態での計測地点を増やし、異常の兆候をいち早くとらえることが有効である。そのためには、計測装置の駆動に必要な電源が確保できる受配電設備又は変電トランスが設置されている電柱等のほか、山間部等の人が容易に立ち入りできないような箇所でも計測が行えることが望まれる。

【0004】

このため、従来から、電線に容易に設置可能で、動作に電源が不要な電流センサが提案されている（例えば、特許文献1参照）。従来の技術では、磁界による変形である磁歪効果と、変形による電圧発生である圧電効果とを利用したセンサを用いるため、電線の電流

10

20

30

40

50

に応じた電圧が発生する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開2019-011989号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

電流磁界を電圧に変換する電磁変換効果は、圧電部材と、磁歪部材との組合せで決まり、定格電流の異なる電線に従来の電流センサを適用しようとする、材料選定又は形状と
10
いった電流センサの構成要素をその都度変更する必要がある。その結果、計測対象の電流値に応じて電流センサの種類を数多くラインナップする必要があり、電流センサのコストが上がってしまう懸念がある。

【0007】

そこで、本開示の一又は複数の態様は、磁歪部材と、圧電部材とからなる電流センサの入出力特性を、任意に可変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】

【0008】

本開示の一態様に係る電流センサは、電線に流れる電流を検出する電流センサであって、板状に形成され、厚さ方向における変形によって電圧を発生する圧電部材、及び、板状
20
に形成され、前記圧電部材の長さ方向に沿って配置され、磁界によって長さ方向に伸縮することで前記圧電部材を厚さ方向に変形させる磁歪部材、を備える電磁変換素子と、前記磁歪部材の長手方向から、前記電磁変換素子に磁界を与えるバイアス磁石と、を備え、前記磁歪部材は、第1の磁歪部材と、第2の磁歪部材と、により構成され、前記第1の磁歪部材及び前記第2の磁歪部材の伸縮方向は、磁界変化に対して互いに逆向きであり、前記圧電部材は、前記第1の磁歪部材及び前記第2の磁歪部材の間に配置され、前記バイアス磁石は、前記第1の磁歪部材に対して、前記第1の磁歪部材の長さ方向に沿った第1の方向に磁界を与える第1のバイアス磁石と、前記第2の磁歪部材に対して、前記第1の方向とは反対の第2の方向に磁界を与える第2のバイアス磁石とにより構成され、前記電線の定格電流に合わせて、前記バイアス磁石から前記電磁変換素子に与える前記磁界の強さを
30
変化させることを特徴とする。

【発明の効果】

【0009】

本開示の一又は複数の態様によれば、磁歪部材と、圧電部材とからなる電流センサの入出力特性を、任意に可変できる電流センサを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】実施の形態1に係る電流センサの構成を概略的に示す断面図である。

【図2】実施の形態1において、第1の磁歪部材及び第2の磁歪部材の伸縮方向と、圧電部材の分極方向とを示す断面図である。
40

【図3】(A)及び(B)は、電磁変換素子の変形の仕方を説明するための概略図である。

【図4】励磁の強さの指標である磁束密度の、磁石表面からの距離に応じた変化を表すグラフである。

【図5】バイアス磁石の磁化方向と、バイアス磁石の表面からの距離とを説明するための概略図である。

【図6】電磁変換素子に対するバイアス磁石の位置を上下方向に変化させた際の出力の例を示すグラフである。

【図7】(A)及び(B)は、電磁変換素子に対するバイアス磁石の位置を説明するための概略図である。

【図8】バイアス磁石の個数を変えた場合の、バイアス磁石の表面からの磁束密度の変化
50

を示すグラフである。

【図 9】バイアス磁石の磁化方向にバイアス磁石の積層数を変える場合の一例を示す斜視図である。

【図 10】(A) ~ (C) は、バイアス磁石の個数を変えた場合の電流センサの出力を示すグラフである。

【図 11】一定の電流に対する、電流センサの出力の、磁石個数依存性を示すグラフである。

【図 12】実施の形態 2 に係る電流センサの構成を概略的に示す断面図である。

【図 13】(A) 及び (B) は、筐体及び筐体の変形例を示す断面図である。

【図 14】素子内蔵部の構成を概略的に示す断面図である。

【図 15】(A) 及び (B) は、一つの素子内蔵部に、複数の電磁変換素子を配置する例を示す断面図である。

【図 16】(A) 及び (B) は、実施の形態 2 に係る電流センサの変形例の構成概略的に示す断面図である。

【図 17】電線に流れる電流と、電流センサの出力との関係を示すグラフである。

【図 18】実施の形態 3 に係る電流センサの構成を概略的に示す断面図である。

【図 19】実施の形態 4 に係る電流センサの構成を概略的に示す断面図である。

【図 20】バイアス磁石による電磁変換素子の変形を説明するための概略図である。

【図 21】実施の形態 4 において、第 1 の磁歪部材及び第 2 の磁歪部材の伸縮方向と、圧電部材の分極方向とを示す断面図である。

【図 22】(A) 及び (B) は、実施の形態 4 において、電磁変換素子の変形の仕方を説明するための概略図である。

【図 23】実施の形態 5 に係る電流センサの構成を概略的に示す断面図である。

【図 24】実施の形態 5 に係る電流センサにおける磁力線の流れを示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

実施の形態 1 .

図 1 は、実施の形態 1 に係る電流センサ 100 の構成を概略的に示す断面図である。

電流センサ 100 は、電磁変換素子 110 と、バイアス磁石 120 とを備える。

【0012】

電磁変換素子 110 は、第 1 の磁歪部材 111 A と、第 2 の磁歪部材 111 B と、圧電部材 112 とを備える。

第 1 の磁歪部材 111 A 及び第 2 の磁歪部材 111 B は、磁界をかけることによって変形する材料である磁歪材料により構成されている。ここでは、磁歪材料として、Terfenol-D と呼ばれる、鉄 (Fe) と、ディプロシウム (Dy) と、テルビウム (Tb) とからなる合金が用いられている。

また、第 1 の磁歪部材 111 A 及び第 2 の磁歪部材 111 B は、板状に形成され、磁界によって長手方向に伸縮する。

【0013】

圧電部材 112 は、物質に圧力を加えると、圧力に比例した分極が現れる現象である電圧効果を有する材料である圧電材料により構成されている。ここでは、圧電材料として、一般的に知られるチタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) が用いられている。

ここでは、圧電部材 112 は、板状に形成され、厚さ方向における変形によって電圧を発生し、第 1 の磁歪部材 111 A 及び第 2 の磁歪部材 111 B の間に配置される。

【0014】

第 1 の磁歪部材 111 A、第 2 の磁歪部材 111 B 及び圧電部材 112 は、いずれも、図 1 の上下方向である厚さを 1.0 mm とし、図 1 の奥行方向である幅を 6 mm とする。

第 1 の磁歪部材 111 A 及び第 2 の磁歪部材 111 B の長さは 12 mm とし、圧電部材 112 の長さは 15 mm とする。圧電部材 112 が、第 1 の磁歪部材 111 A 及び第 2 の磁歪部材 111 B よりも長いのは、圧電部材 112 で発生した電圧を取り出すためのリー

10

20

30

40

50

ド線 101A、101B をはんだ付けする電極 102 を設けるためである。

【0015】

第1の磁歪部材 111A 及び第2の磁歪部材 111B と、圧電部材 112 とは、銀ペーストで接着されている。なお、磁歪材料及び圧電材料については、上記の材料に限定されるものではなく、他の材料が用いられてもよい。また、これらの部材の寸法も、他の寸法であってよい。

【0016】

バイアス磁石 120 は、電磁変換素子 110 に磁場を与える。ここでは、バイアス磁石 120 として、希土類磁石である NdFeB 磁石が用いられている。NdFeB 磁石は、ネオジウム (Nd)、鉄 (Fe) 及びボロン (B) を主成分とした磁石である。

10

バイアス磁石 120 の寸法は、4mm x 4mm x 2mm であり、図 1 に示されている磁化方向の寸法が、2mm になっている。

【0017】

バイアス磁石 120 は、第1の磁歪部材 111A 及び第2の磁歪部材 111B の長手方向に、電磁変換素子 110 に磁界を与える。そして、実施の形態 1 における電流センサ 100 は、バイアス磁石 120 から電磁変換素子 110 に与える磁界の強さを变化させることで、電磁変換素子 110 に含まれている圧電部材 112 で発生する電圧の大きさを变化させる。そして、電流センサ 100 は、電線 103 の定格電流に合わせて、バイアス磁石 120 から電磁変換素子 110 与える磁界の強さを变化させる。

【0018】

20

例えば、バイアス磁石 120 は、図 1 に示されているように、磁化方向が電磁変換素子 110 の長手方向に平行になるように、電磁変換素子 110 の長手方向の一端 b に対向するように配置されている。なお、励磁源としてはバイアス磁石以外に電磁石を用いることもできるが、今回は励磁のための電源を必要としないバイアス磁石が用いられている。

【0019】

以上のように構成された電流センサ 100 は、図 1 に示されているように、計測対象の電線 103 の長手方向と直交する方向に配置されている。言い換えると、電磁変換素子 110 の長手方向又はバイアス磁石 120 の磁化方向が電線 103 に対して直交するように、電流センサ 100 は、配置されている。

【0020】

30

電線 103 には、図 1 の奥行方向に電流が流れるようになっている。電線 103 の作る磁界は、電線 103 の断面の円周方向 (言い換えると、接線方向) に等しく、その法線方向に低減する。従って、電流センサ 100 は、電線 103 から予め定められた距離だけ離れた場所に、電線 103 の接線方向が電流センサ 100 の長手方向に平行となるように配置することで、電流による起電力を効率よく得ることができる。

【0021】

図 2 は、第1の磁歪部材 111A 及び第2の磁歪部材 111B の伸縮方向と、圧電部材 112 の分極方向を示す断面図である。

図 2 に示されているように、第1の磁歪部材 111A 及び第2の磁歪部材 111B に磁界を加えた際の伸縮方向は、図 2 の左右方向に設定され、圧電部材 112 の分極方向は、図 2 の上下方向になるように設定されている。また、第1の磁歪部材 111A 及び第2の磁歪部材 111B の伸縮方向は、磁界変化に対して互いに逆向きになるように設定されている。

40

「伸縮方向が互いに逆向きである」は、例えば、図 2 に示されている第1の磁歪部材 111A が図 2 の左向きに印加される磁界が大きくなるほど延びる特性の場合、第2の磁歪部材 111B は、図 2 の右向きに印加される磁界が大きくなるほど伸びる特性であることを意味する。

【0022】

このため、図 3 (A) 又は図 3 (B) に示されているように、電磁変換素子 110 の下側に電線 103 # 1、103 # 2 を配置して、電線 103 # 1、103 # 2 に電流が流れ

50

ると、電流の向きによって、電磁変換素子 1 1 0 は、下に凸又は上に凸になるように変形する。具体的には、図 3 (A) では、図 3 (A) の奥行方向に電流が流れることで、電磁変換素子 1 1 0 全体に右向きの磁界が印加され、第 1 の磁歪部材 1 1 1 A が縮んで、第 2 の磁歪部材 1 1 1 B が延びることにより、電磁変換素子 1 1 0 は下に凸となるように変形する。図 3 (B) では、図 3 (B) の手前方向に電流が流れることで、電磁変換素子 1 1 0 全体に左向きの磁界が印加され、第 1 の磁歪部材 1 1 1 A が伸びて、第 2 の磁歪部材 1 1 1 B が縮むことにより、電磁変換素子 1 1 0 は上に凸となるように変形する。

【 0 0 2 3 】

これらのような変形によって、圧電部材 1 1 2 の厚さ方向に分極が生じるので、上下の電極に電位差が生じて電圧を取り出すことができる。この変形量は、磁界の大きさによって変化するので、電線 1 0 3 # 1、1 0 3 # 2 に流れる電流の電流値に応じた出力を得ることができる。

10

【 0 0 2 4 】

図 4 は、励磁の強さの指標である磁束密度の、磁石表面からの距離に応じた変化を表すグラフである。

磁石表面からの距離は、図 5 に示されているように、バイアス磁石 1 2 0 の、図 1 に示されている電磁変換素子 1 1 0 の長手方向の一端 1 1 0 a に対向する表面である磁石表面 1 2 0 a から、その一端 1 1 0 a までの距離である。

【 0 0 2 5 】

図 4 に示されている曲線 C 1 は、図 5 に示されているように、磁石表面 1 2 0 a の中心 1 2 0 b に、電磁変換素子 1 1 0 の中心を合わせた場合の磁束密度を示す。図 4 に示されている曲線 C 2 は、図 5 に示されているように、磁石表面 1 2 0 a の厚さ方向における中心 1 2 0 b よりも上方に、電磁変換素子 1 1 0 の中心がある場合の磁束密度を示す。図 4 に示されている曲線 C 3 は、図 5 に示されているように、磁石表面 1 2 0 a の中心 1 2 0 b よりもさらに上方に、電磁変換素子 1 1 0 の中心がある場合の磁束密度を示す。

20

【 0 0 2 6 】

以上のように、磁束密度は、励磁源の二乗に反比例して減少し、磁石表面 1 2 0 a の中心 1 2 0 b から外側（ここでは、上方）に向かっても減少する。

従って、電磁変換素子 1 1 0 と、バイアス磁石 1 2 0 との距離を変化させること、又は、バイアス磁石 1 2 0 が電磁変換素子 1 1 0 に対向する位置を上下にずらすことで、電磁変換素子 1 1 0 に加わる磁界強度を変化させることができる。

30

【 0 0 2 7 】

図 6 は、電磁変換素子 1 1 0 に対するバイアス磁石 1 2 0 の位置を上下方向に変化させた際の出力の例を示すグラフである。

ここでは、電線 1 0 3 に交流電流を流しているが、電磁変換素子 1 1 0 の動作原理から、直流電流に対しても同様の出力が得られることは明らかである。

【 0 0 2 8 】

図 6 に示されている直線 L 1 は、図 7 (A) に示されているように、電磁変換素子 1 1 0 の厚さ方向の中心と、バイアス磁石 1 2 0 の磁化方向に対して垂直方向の中心とをあわせた場合の出力を示す。

40

図 6 に示されている直線 L 2 は、図 7 (B) に示されているように、電磁変換素子 1 1 0 の厚さ方向の中心よりも、バイアス磁石 1 2 0 の磁化方向に対して垂直方向の中心が上方にある場合の出力を示す。

【 0 0 2 9 】

図 3 で説明したように、電磁変換素子 1 1 0 からの出力は、電磁変換素子 1 1 0 の変形量に比例し、電磁変換素子 1 1 0 の変形をもたらす磁界の大きさは電流値に比例して大きくなる。このため、図 6 に示されているように、電流センサ 1 0 0 の出力であるセンサ出力は、電流値に応じて直線的に変化する。

【 0 0 3 0 】

図 6 に示されているように、図 7 (A) のように電磁変換素子 1 1 0 の厚さ方向の中心

50

に、バイアス磁石 1 2 0 を配置した場合に比べ、図 7 (B) のように電磁変換素子 1 1 0 の厚さ方向の中心よりも上側にオフセットして配置した場合は、電流センサ 1 0 0 の出力が低下している。

【 0 0 3 1 】

図 4 を用いて説明したように、バイアス磁石 1 2 0 と、電磁変換素子 1 1 0 との位置関係によって磁界が変化することから、電磁変換素子 1 1 0 に加わる磁界の大きさによって、電流センサ 1 0 0 の出力も変化することは明らかである。図示はしていないが、バイアス磁石 1 2 0 と、電磁変換素子 1 1 0 との間の対向距離を遠ざけることによっても、電流センサ 1 0 0 の出力は低下する。

【 0 0 3 2 】

図 8 は、同一寸法のバイアス磁石 1 2 0 の積層数を変えることで、磁石の個数を変えた場合の、バイアス磁石 1 2 0 の表面（磁石の磁化方向が貫く表面）からの磁束密度の変化を示すグラフである。

バイアス磁石 1 2 0 が一個の場合が、図 4 に示されている曲線 C 3 に相当する。

【 0 0 3 3 】

ここでは、図 9 に示されているように、バイアス磁石 1 2 0 の磁化方向にバイアス磁石 1 2 0 の積層数を変えられている。

【 0 0 3 4 】

図 8 に示されているように、バイアス磁石 1 2 0 の数が増えると、磁束密度が増加する傾向はみられるが、増加の割合は個数の増加に一致しない。例えば、図 8 に示されているように、バイアス磁石 1 2 0 を 2 個に増やした場合と、バイアス磁石 1 2 0 を 3 個に増やした場合とで、大きな差は見られない。また、バイアス磁石 1 2 0 が 3 個の場合と、バイアス磁石 1 2 0 が 4 個の場合とで、磁束密度はほぼ一致している。このことから、励磁磁界を増やすためにバイアス磁石 1 2 0 を積層することはあまり有効ではないことが示唆される。

【 0 0 3 5 】

図 1 0 (A) ~ (C) は、バイアス磁石 1 2 0 の個数を変えた場合の電流センサ 1 0 0 の出力を示すグラフである。

ここで、図 1 0 (A) は、バイアス磁石 1 2 0 が 1 個の場合のグラフであり、図 1 0 (B) は、バイアス磁石 1 2 0 が 2 個の場合のグラフであり、図 1 0 (C) は、バイアス磁石 1 2 0 が 3 個の場合のグラフである。

また、図 1 1 は、一定の電流（ここでは、9 0 A）に対する、電流センサ 1 0 0 の出力の、磁石個数依存性を示すグラフである。

【 0 0 3 6 】

図 1 0 (A) ~ (C) に示されているように、バイアス磁石 1 2 0 の個数を増やしていても、電流センサ 1 0 0 の出力は、単調増加せず、バイアス磁石 1 2 0 が 3 個で、その出力が飽和状態となっている。

なお、ここではバイアス磁石 1 2 0 の個数が変更されているが、例えば、バイアス磁石 1 2 0 の厚さを一定厚さ（例えば、2 mm）ずつ増加させた場合でも、電磁変換素子 1 1 0 と対向するバイアス磁石 1 2 0 の表面からの磁束密度分布は、同様の傾向を示すことが分かっている。そして、バイアス磁石 1 2 0 の厚さに対する電流センサ 1 0 0 の出力の増加傾向も、図 1 1 と同様になるので、電流センサ 1 0 0 の出力の設定においては、バイアス磁石 1 2 0 の厚さを適宜設定することでも成しえることは自明である。電流センサ 1 0 0 の出力が飽和するポイントは、バイアス磁石 1 2 0 の磁化方向寸法と、電磁変換素子 1 1 0 の長手方向の寸法とによって決まる。

【 0 0 3 7 】

以上のように、電流センサ 1 0 0 の出力は、バイアス磁石 1 2 0 の表面からの磁束密度に概ね比例していることから、励磁磁界の大小で電流センサ 1 0 0 の出力を増減させることができる。

言い換えると、電磁変換素子 1 1 0 に対するバイアス磁石 1 2 0 の配置、バイアス磁石

10

20

30

40

50

120のサイズ又はバイアス磁石120の個数を変化させることで、バイアス磁石120から電磁変換素子110に与える磁界の強さを変化させて、電流センサ100の出力を変化させることができる。

【0038】

実施の形態2 .

図12は、実施の形態2に係る電流センサ200の構成を概略的に示す断面図である。

電流センサ200は、電磁変換素子110と、バイアス磁石120と、筐体230とを備える。

実施の形態2に係る電流センサ200の電磁変換素子110及びバイアス磁石120は、実施の形態1に係る電流センサ100の電磁変換素子110及びバイアス磁石120と同様である。このため、電磁変換素子110は、第1の磁歪部材111Aと、第2の磁歪部材111Bと、圧電部材112とを備える。

10

【0039】

筐体230は、電磁変換素子110と、電磁変換素子110を励磁するバイアス磁石120とを内蔵する素子内蔵部231と、計測対象となる電線103を把持する導体把持部232とを備える。

【0040】

図13(A)及び(B)は、筐体230及び筐体230の変形例を示す断面図である。

前述のとおり、磁束密度は、磁界発生源からの距離の2乗に比例して低下するため、電流センサ200の出力を極力大きく取り出すためには、電線103と、電磁変換素子110とは可能な限り近接させることが望ましい。

20

【0041】

そこで、図13(A)に模式的に示されているように、筐体230は、導体把持部232が素子内蔵部231に嵌合され固定される。

【0042】

ただし、磁歪部材111A、111Bは鉄を多く含むため、長期の大気暴露により錆の発生等による性能低下の懸念がある。従って、耐候性を確保するため、電流センサ200の構成要素のうち少なくとも電磁変換素子110は、樹脂等の耐候性素材で被覆する必要がある。

上述のとおり、電流センサと電線を極力近接させるためには、被覆樹脂は耐候性を確保できる範囲で極力薄くすることが望ましい。

30

【0043】

導体把持部232は、接合面232a1、232a2と、内壁面232b1、232b2と、内壁面232b1、232b2のそれぞれから、他方に向かって延びる押さえ面232c1、232c2とを備える。

【0044】

接合面232a1、232a2は、素子内蔵部231に嵌合するための嵌合部材(図示せず)を備え、素子内蔵部231に導体把持部232を嵌合させた際に、素子内蔵部231に接する面である。

【0045】

内壁面232b1、232b2は、接合面232a1、232a2のそれぞれから導体把持部232の内側に向かって延びる面である。内壁面232b1、232b2は、接合面232a1、232a2に対してほぼ垂直の面となっており、内壁面232b1、232b2の間隔D1は、図12に示されている電線103の直径D2以上となっているものとする。

40

【0046】

押さえ面232c1、232c2は、内壁面232b1、232b2のそれぞれから、他方に向かって延びる面である。

例えば、押さえ面232c1は、内壁面232b1から内壁面232b2の方向に延びる面であり、押さえ面232c2は、内壁面232b2から内壁面232b1の方向に延

50

びる面である。

【0047】

押さえ面232c1、232c2同士は、内壁面232b1、232bとの間の間隔D1の中間で接合し、押さえ面232c1、232c2同士の間の角度Rが0度よりも大きく、180度よりも小さくなるように構成されている。そして、押さえ面232c1、232c2は、素子内蔵部231に導体把持部232を嵌合させた際に、電線103に接するように構成されている。

このように構成されることで、導体把持部232を素子内蔵部231に嵌合させた際に、押さえ面232c1、232c2が電線103を素子内蔵部231に近接させるように、電線103を素子内蔵部231の方向に押し込むので、電磁変換素子110と、電線103とが近接することになる。

10

【0048】

以上のように、図13(A)に示されている構成では、押さえ面232c1、232c2同士の間の角度Rが0度よりも大きく、180度よりも小さくなっている。これは、電磁変換素子110の長手方向に対して電線103の幅方向のずれを小さくするためであり、さらに、電線103の直径の大きさによらず、そのようなずれを小さくするためである。なお、電磁変換素子110の長手方向及び電線103の幅方向は、図13(A)の左右方向である。

【0049】

なお、電線103の直径が既知である場合は、図13(B)に示されているように、内壁面232b1、232b2同士を、半円弧状の押さえ面232c#1で接続してもよい。押さえ面232c#1は、電線103の外周面と接するように形成されていればよい。

20

ここで、電線103と、電磁変換素子110とを近接させる目的であれば、導体把持部232の形状は、上記の例以外の形状としてもよい。

【0050】

以上のように、導体把持部232は、電磁変換素子110の長手方向が、電線103の長手方向と直交するように、カバーとしての素子内蔵部231を電線103に取り付けるための固定部材として機能する。

【0051】

素子内蔵部231は、電磁変換素子110及びバイアス磁石120を覆うカバーとして機能する。

30

図14は、素子内蔵部231の構成を概略的に示す断面図である。

素子内蔵部231は、内部に、バイアス磁石120と、電磁変換素子110とを保持する。言い換えると、素子内蔵部231は、バイアス磁石120及び電磁変換素子110の周囲を囲んでいる。

そして、素子内蔵部231は、バイアス磁石120と、電磁変換素子110との間を、任意の寸法だけ離間させるための隔壁231aを備える。

【0052】

隔壁231aの材質については、電氣的絶縁を確保する観点から樹脂材料が用いられてもよく、バイアス磁石120からの励磁磁界を制御するために、珪素鋼板又は高透磁率材等の磁性体が用いられてもよい。

40

【0053】

磁石磁界の強度によって、隔壁231aを設けることで電磁変換素子110を励磁するのに十分な磁界を確保出来ない場合は、隔壁231aを設けずに、バイアス磁石120と、電磁変換素子110とを接触させてもよい。しかしながら、電磁変換素子110は、その変形により起電力を生じるため、電磁変換素子110の変形を妨げない観点では、バイアス磁石120は、電磁変換素子110に接触させない方が望ましい。

【0054】

なお、図14では、それぞれを明確に示すため、バイアス磁石120、隔壁231a及び電磁変換素子110の間に空隙が設けられているが、磁歪部材111A、111Bは鉄

50

を多く含むため、バイアス磁石 1 2 0 に磁力によって吸引される。従って、実際には空隙は存在せず、バイアス磁石 1 2 0 は、隔壁 2 3 1 a に接触し、電磁変換素子 1 1 0 も隔壁 2 3 1 a に接触している。

このように、電磁変換素子 1 1 0 は、バイアス磁石 1 2 0 の磁力によって隔壁 2 3 1 a に固定されるので、電磁変換素子 1 1 0 を素子内蔵部 2 3 1 に固定する機構は不要であり、電磁変換素子 1 1 0 を極力拘束せず、起電力を最大限に取り出すことが可能となる。

【 0 0 5 5 】

図 1 5 (A) 及び (B) は、一つの素子内蔵部 2 3 1 に、複数の電磁変換素子 1 1 0 を配置する例を示す断面図である。

このような場合、図 1 5 (A) に示されているように、複数の電磁変換素子 1 1 0 のそれぞれに対応するように、複数のバイアス磁石 1 2 0 が設けられてもよく、図 1 5 (B) に示されているように、複数の電磁変換素子 1 1 0 に対して、一つのバイアス磁石 1 2 0 が設けられてもよい。一つのバイアス磁石 1 2 0 が、並列に配置されている電磁変換素子 1 1 0 の幅に応じた幅を備えることで、その一つのバイアス磁石 1 2 0 で、全ての電磁変換素子 1 1 0 を励磁することが可能となる。このような構成にすることで、部品点数を減らして電流センサ 2 0 0 の低コスト化を図ることができる。

【 0 0 5 6 】

図 1 6 (A) 及び (B) は、実施の形態 2 に係る電流センサ 2 0 0 の変形例を示す断面図である。

図 1 6 (A) に示されているように、実施の形態 2 の第 1 の変形例に係る電流センサ 2 0 0 # 2 は、筐体 2 3 0 # 2 の素子内蔵部 2 3 1 # 2 側ではなく、導体把持部 2 3 2 # 2 側に、電磁変換素子 1 1 0 及びバイアス磁石 1 2 0 が内蔵されている。

【 0 0 5 7 】

この場合、電磁変換素子 1 1 0 及びバイアス磁石 1 2 0 は、図 1 6 (A) に示されているように、導体把持部 2 3 2 # 2 の押さえ面 2 3 2 c 1 # 2 に沿って配置されることが望ましい。このような構成とすることで、電線 1 0 3 と、電磁変換素子 1 1 0 との位置関係が、筐体 2 3 0 # 2 の構造で一意に決めることができる。

また、図 1 6 (B) に示されている電流センサ 2 0 0 # 3 のように、電磁変換素子 1 1 0 及びバイアス磁石 1 2 0 が、押さえ面 2 3 2 c 1 # 3 及び押さえ面 2 3 2 c 2 # 3 の両方に沿って配置されてもよい。

【 0 0 5 8 】

実施の形態 3 .

実施の形態 1 又は 2 に係る電流センサ 1 0 0 、 2 0 0 は、電流センサ 1 0 0 , 2 0 0 を駆動するための電源を必要とせず、計測対象の電線 1 0 3 の電流磁界を利用して起電力を得ることができる。例えば、図 1 0 (C) に示されているように、電磁変換素子 1 1 0 に三個のバイアス磁石 1 2 0 を対向させた際に、9 0 A の電流を流すと 2 . 3 V 程度の出力が得られていることが分かる。また、図 6 又は図 8 では、電流値に対する電流センサ 1 0 0 の出力が優れた直線性を示すことも説明した。今回構成した電流センサ 1 0 0 、 2 0 0 では、図 1 7 に示すように 1 4 0 A 程度の電流に対して 3 . 3 V の電圧が得られる。

【 0 0 5 9 】

Bluetooth (登録商標) 又は LPWA (Low Power Wide Area) 等の一般的な通信用マイコンは、その動作電圧が 3 . 3 V 程度であることから、このように電流値が 1 4 0 A 以上の電線 1 0 3 に電流センサ 1 0 0 、 2 0 0 を設置した場合は、電流センサ 1 0 0 、 2 0 0 の起電力を用いると、蓄電装置なしに電流値を送信することが可能となる。また、定格電流が小さい場合でも、架線事故等により 1 4 0 A を超えるような電流が流れた場合には通信が可能となる。

【 0 0 6 0 】

過電流の発生は、過負荷がかかった状態又は断線による地絡等が要因であり、過電流は、突発電流のような短期間ではなく、比較的連続して流れると考えられる。また、無線通信回路の駆動には 2 0 m s ~ 3 0 m s 程度の期間、駆動電圧が確保できればよい。定常状

10

20

30

40

50

態では動作せず、異常時のみ動作することを考慮して、蓄電回路等が備えられていなくてもよい。但し、過電流のみならず、定格範囲の電圧を常時監視する場合には、検出された定格電流値を間欠送信するために蓄電回路が併用されてもよい。

【 0 0 6 1 】

図 1 8 は、実施の形態 3 に係る電流センサ 3 0 0 の構成を概略的に示す断面図である。

電流センサ 3 0 0 は、電磁変換素子 1 1 0 と、バイアス磁石 1 2 0 と、筐体 3 3 0 とを備える。

実施の形態 3 に係る電流センサ 3 0 0 の電磁変換素子 1 1 0 及びバイアス磁石 1 2 0 は、実施の形態 1 に係る電流センサ 1 0 0 の電磁変換素子 1 1 0 及びバイアス磁石 1 2 0 と同様である。このため、電磁変換素子 1 1 0 は、第 1 の磁歪部材 1 1 1 A と、第 2 の磁歪部材 1 1 1 B と、圧電部材 1 1 2 とを備える。

10

【 0 0 6 2 】

筐体 3 3 0 は、電磁変換素子 1 1 0 と、電磁変換素子 1 1 0 を励磁するバイアス磁石 1 2 0 とを内蔵する素子内蔵部 2 3 1 と、計測対象となる電線 1 0 3 を把持する導体把持部 2 3 2 と、通信ユニットとして機能する通信回路基板 3 4 1 を内蔵する通信ユニット内蔵部 3 4 0 とを備える。

【 0 0 6 3 】

実施の形態 3 における筐体 3 3 0 の素子内蔵部 2 3 1 及び導体把持部 2 3 2 は、実施の形態 2 における筐体 2 3 0 の素子内蔵部 2 3 1 及び導体把持部 2 3 2 と同様である。

但し、実施の形態 3 における筐体 3 3 0 では、素子内蔵部 2 3 1 に通信ユニット内蔵部 3 4 0 が取り付けられている。通信ユニット内蔵部 3 4 0 についても、耐候性素材で形成されていることが望ましい。

20

【 0 0 6 4 】

通信ユニット内蔵部 3 4 0 は、通信回路基板 3 4 1 を内蔵する。

通信回路基板 3 4 1 は、図示していないが、データの送受信を行う通信回路と、通信回路に電源を供給する電源回路とを備える。電源回路には、電磁変換素子 1 1 0 が電氣的に接続される。

【 0 0 6 5 】

実施の形態 3 では、外部からの送信データを用いて電流センサ 3 0 0 を駆動させる必要がないため、通信回路基板 3 4 1 は、データの送信のみを行う送信回線基板であってもよい。この場合、通信ユニットも送信ユニットとなる。言い換えると、実施の形態 3 に係る電流センサ 3 0 0 は、圧電部材 1 1 2 で生ずる電圧で駆動し、電線 1 0 3 の異常を検出することのできるデータを送信する送信ユニットを備える。

30

【 0 0 6 6 】

通信回路基板 3 4 1 から送信するデータについては、通信回路基板 3 4 1 に入力された電磁変換素子 1 1 0 の起電力に相当する電圧データとしてもよいし、単に通信回路基板 3 4 1 が起動したことを示すタグ情報のように、通信回路基板 3 4 1 に固有のデータであってもよい。

【 0 0 6 7 】

電圧データは、受信装置側で電流値に読み替えれば、電流センサ 3 0 0 で検出された電流値が分かる。通信回路基板 3 4 1 の固有のデータであれば、電流センサ 3 0 0 が起動したことが分かるので、計測対象となる電線 1 0 3 にて通信回路が起動するだけの過電流が流れたことがわかる。

40

【 0 0 6 8 】

従って、実施の形態 3 に係る電流センサを電線 1 0 3 で構成される配電網に多数設置することで、過電流により架線事故が生じた際に警報する電線診断システム（図示せず）を構築することが可能となる。電流センサ 3 0 0 は、動作に電源が不要であり、通信用マイコンも電流センサ 3 0 0 の出力で動作できるため、電源の確保が困難な場所でも電流センサ 3 0 0 を配置でき、架線事故の早期発見が可能となる。

【 0 0 6 9 】

50

電線診断システムは、電流センサ 300 と、電流センサ 300 から送信されてくるデータに基づいて電線の異常を検出する電線診断部とを備える。

具体的には、その電線診断システムは、電線 103 上に設置される電流センサ 300 と、電流センサ 300 から送信される電流値又は電流波形を受信する外部サーバ（図示せず）と、外部サーバが受信した電流値又は電流波形に基づいて電線 103 の異常を診断する電線診断部とで構成することができる。電線診断部は、電流センサ 300 から送信される電流値又は電流波形から、即座に電線 103 の異常を診断してもよいし、外部サーバに蓄積される電流値又は電流波形と架線の損傷度合いとの関係を示すデータベースから、電線 103 の異常を診断してもよい。電線診断システムは、電源の確保が困難な場所でも電流センサ 300 を配置でき、架線事故の早期発見が可能となる。

10

【0070】

また、電線診断システムの中に外部サーバを設けず、電線診断部が電流値送信ユニットから送信される電流値又は電流波形を直接受信し、電線の異常を診断してもよい。この場合、電線診断部は、いわゆるコンピュータにより実現することができる。そのコンピュータは、電流センサ 300 からのデータを受信することのできる受信装置としての受信部を備える。

なお、電線診断部は、外部サーバに設けられていてもよい。

【0071】

以上に記載された実施の形態 1～3 では、第 1 の磁歪部材 111 A 及び第 2 の磁歪部材 111 B の二つの磁歪部材が使用されているが、実施の形態 1～3 は、このような例に限定されない。例えば、第 1 の磁歪部材 111 A 及び第 2 の磁歪部材 111 B の何れか一方だけでも、圧電部材 112 を変形させることができるため、圧電部材 112 の厚さ方向に分極を生じさせることができる。言い換えると、電磁変換素子 110 として、第 1 の磁歪部材 111 A 及び第 2 の磁歪部材 111 B の何れか一方だけが備えられていてもよい。

20

【0072】

実施の形態 4 .

図 19 は、実施の形態 4 に係る電流センサ 400 の構成を概略的に示す断面図である。

電流センサ 400 は、電磁変換素子 110 と、バイアス磁石 420 とを備える。

実施の形態 4 に係る電流センサ 400 の電磁変換素子 110 は、実施の形態 1 に係る電流センサ 100 の電磁変換素子 110 と同様である。

30

【0073】

バイアス磁石 420 は、電磁変換素子 110 に磁場を与える。バイアス磁石 420 の材質は、実施の形態 1 に係る電流センサ 100 のバイアス磁石 120 と同様である。

【0074】

バイアス磁石 420 は、第 1 のバイアス磁石 420 A と、第 2 のバイアス磁石 420 B とにより構成される。

第 1 のバイアス磁石 420 A 及び第 2 のバイアス磁石 420 B は、図 19 に示されているように、ともに磁化方向 M1、M2 が電磁変換素子 110 の長手方向に平行となるようにされている。しかしながら、第 1 のバイアス磁石 420 A の磁化方向 M1 と、第 2 のバイアス磁石 420 B の磁化方向 M2 とは、正反対となっている。なお、磁化方向 M1 を第 1 の方向、磁化方向 M2 を第 2 の方向ともいう。

40

【0075】

実施の形態 1 では、図 1 に示されているようにバイアス磁石 120 を設置することにより第 1 の磁歪部材 111 A 及び第 2 の磁歪部材 111 B にバイアス磁界が印加される。

しかしながら、図 20 に示されているように、例えば、バイアス磁石 120 の磁化方向 M3 が、図面の右方向である場合、第 1 の磁歪部材 111 A は、セッティング前の無磁場の状態と比べて縮んだ状態となり、第 2 の磁歪部材 111 B は、セッティング前の無磁場の状態よりと比べて伸びた状態となる。これにより、図 20 に示されているように、バイアス磁石 120 と電磁変換素子 110 とを組み合わせた時点で電磁変換素子 110 に反りが発生することとなる。このため、圧電部材 112 の厚さ方向に分極が生じ、上下の電極

50

に電位差が生じて、電圧が発生してしまい、電流センサ 100 の出力に影響する場合がある。

【0076】

実施の形態 4 では、図 19 に示されているように、第 1 の磁歪部材 111 A には第 1 のバイアス磁石 420 A から右向きのバイアス磁界が、第 2 の磁歪部材 111 B には第 2 のバイアス磁石 420 B から左向きのバイアス磁界が印加されている。

【0077】

これにより、図 21 に示されているように、第 1 の磁歪部材 111 A は、右方向の磁界に対して縮み、第 2 の磁歪部材 111 B は左方向の磁界に対して縮むため、第 1 の磁歪部材 111 A 及び第 2 の磁歪部材 111 B は、ともにセッティング前の無磁場の状態と比べてより縮んだ状態となる。第 1 の磁歪部材 111 A 及び第 2 の磁歪部材 111 B がともに縮むため、電磁変換素子 110 に反りは発生しない。

10

【0078】

ここで、図 22 (A) のように電線 103 # 1 に紙面奥向きに電流が流れると、電流による磁界が電磁変換素子 110 に右向きに C [T] の磁界が印加される。このとき、第 1 の磁歪部材 111 A 及び第 2 の磁歪部材 111 B には、ともに右向きの磁界が印加されるため、第 1 の磁歪部材 111 A はバイアス磁界が掛かった状態からさらに縮み、第 2 の磁歪部材 111 B はバイアス磁界が掛かった状態から伸びる。よって、電流が流れることにより下に凸型の反りが発生し、圧電部材 112 が変形して電圧が変化する。

【0079】

同様に、図 22 (B) のように電線 103 # 2 に紙面手前向きに電流が流れると、第 1 の磁歪部材 111 A 及び第 2 の磁歪部材 111 B には、ともに左向きの磁界が印加されるため、第 1 の磁歪部材 111 A は、バイアス磁界が掛かった状態から伸び、第 2 の磁歪部材 111 B は、バイアス磁界が掛かった状態からさらに縮むため、上に凸型の反りが発生する。

20

【0080】

なお、バイアス磁石 420 と、電磁変換素子 110 との距離又は上下の相対位置、及び、バイアス磁石 420 の枚数を変更させることにより感度を調整できる点は、実施の形態 1 と同様である。

【0081】

以上のように、実施の形態 4 によれば、バイアス磁石 420 と、電磁変換素子 110 とを組み合わせた時点での電磁変換素子 110 に発生する反りを防止することができる。

30

【0082】

なお、実施の形態 4 に記載されているバイアス磁石 420 が、実施の形態 2 又は 3 に記載されているバイアス磁石 120 の代わりに使用されてもよい。

【0083】

実施の形態 5 .

図 23 は、実施の形態 5 に係る電流センサ 500 の構成を概略的に示す断面図である。

電流センサ 500 は、電磁変換素子 510 と、バイアス磁石 420 とを備える。

実施の形態 4 に係る電流センサ 500 のバイアス磁石 420 は、実施の形態 4 に係る電流センサ 400 のバイアス磁石 420 と同様である。

40

このため、バイアス磁石 420 は、第 1 のバイアス磁石 420 A と、第 2 のバイアス磁石 420 B とを備え、第 1 のバイアス磁石 420 A の磁化方向 M1 と、第 2 のバイアス磁石 420 B の磁化方向 M2 は、正反対となっている。

【0084】

実施の形態 5 における電磁変換素子 510 は、第 1 の磁歪部材 111 A と、第 2 の磁歪部材 111 B と、圧電部材 112 と、磁性ヨーク 513 とを備える。

実施の形態 5 における電磁変換素子 510 の第 1 の磁歪部材 111 A、第 2 の磁歪部材 111 B 及び圧電部材 112 は、実施の形態 1 における電磁変換素子 110 の第 1 の磁歪部材 111 A、第 2 の磁歪部材 111 B 及び圧電部材 112 と同様である。

50

【 0 0 8 5 】

磁性ヨーク 5 1 3 は、電磁変換素子 5 1 0 の長手方向において、バイアス磁石 4 2 0 の反対側に配置されている。

磁性ヨーク 5 1 3 は、第 1 の部分 5 1 3 a と、第 2 の部分 5 1 3 b と、第 3 の部分 5 1 3 c とを備えるコの字状の部材である。

【 0 0 8 6 】

具体的には、第 1 の部分 5 1 3 a は、第 1 の磁歪部材 1 1 1 A の長手方向と平行な方向に延び、第 1 の磁歪部材 1 1 1 A に対向する板状の部分である。

第 2 の部分 5 1 3 b は、第 2 の磁歪部材 1 1 1 B の長手方向と平行な方向に延び、第 2 の磁歪部材 1 1 1 B に対向する板状の部分である。

第 3 の部分 5 1 3 c は、第 1 の部分 5 1 3 a 及び第 2 の部分 5 1 3 b を、第 1 の磁歪部材 1 1 1 A 及び第 2 の磁歪部材 1 1 1 B とは反対側で連結する部分である。

【 0 0 8 7 】

なお、磁性ヨーク 5 1 3 がコの字状に形成されているのは、電極 1 0 2 及び電極 1 0 2 からのリード線 1 0 1 A、1 0 1 B との接触を避けるためである。このような目的を果たすことができれば、磁性ヨーク 5 1 3 の形状は、特に限定されない。

【 0 0 8 8 】

以上のような磁性ヨーク 5 1 3 を設けることにより、図 2 4 の矢印 W 1、W 2、W 3 で示されているように、第 1 のバイアス磁石 4 2 0 A から出た磁力線は、第 1 の磁歪部材 1 1 1 A の内部を通して磁性ヨーク 5 1 3 に入り、磁性ヨーク 5 1 3 を経由して第 2 の磁歪部材 1 1 1 B の内部を通して、第 2 のバイアス磁石 4 2 0 B に入るループを描く。これにより、電磁変換素子 5 1 0 に印加される磁界を磁石の枚数を増やさずに高めることができ、センサ感度を高めることができる。

【 0 0 8 9 】

実施の形態 5 に記載されている電磁変換素子 5 1 0 が、実施の形態 2 又は 3 に記載されている電磁変換素子 1 1 0 の代わりに使用されてもよい。

【 符号の説明 】

【 0 0 9 0 】

1 0 0、2 0 0、3 0 0、4 0 0、5 0 0 電流センサ、1 0 3 電線、1 1 0、5 1 0 電磁変換素子、1 1 1 A 第 1 の磁歪部材、1 1 1 B 第 2 の磁歪部材、1 1 2 圧電部材、5 1 3 磁性ヨーク、1 2 0、4 2 0 バイアス磁石、4 2 0 A 第 1 のバイアス磁石、4 2 0 B 第 2 のバイアス磁石、2 3 0、3 3 0 筐体、2 3 1 素子内蔵部、2 3 2 導体把持部、3 4 0 通信ユニット内蔵部、3 4 1 通信回路基板。

10

20

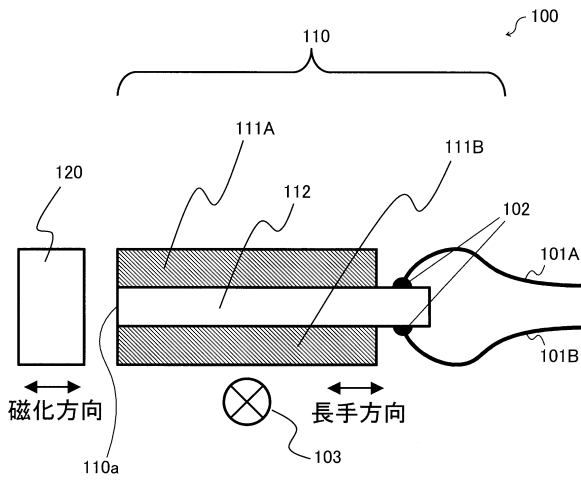
30

40

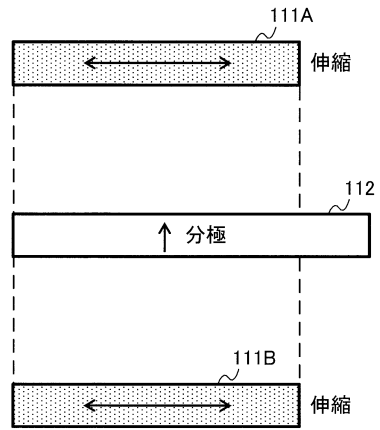
50

【図面】

【図 1】

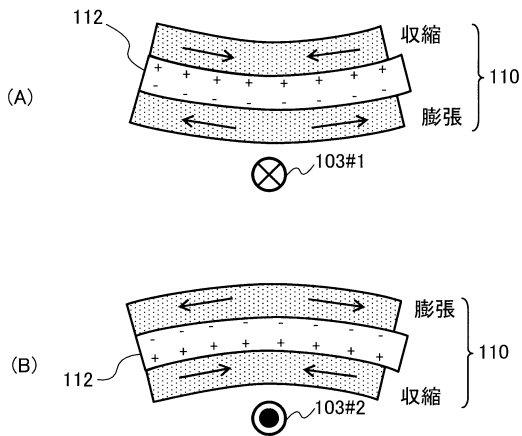


【図 2】

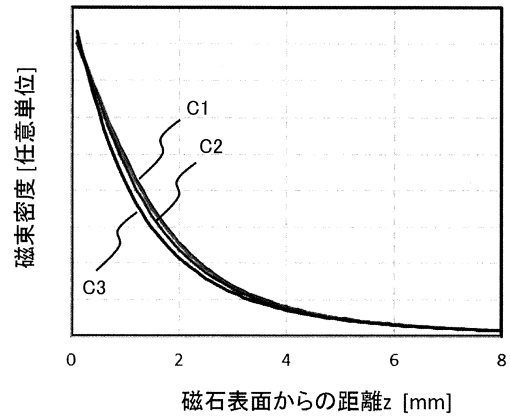


10

【図 3】



【図 4】



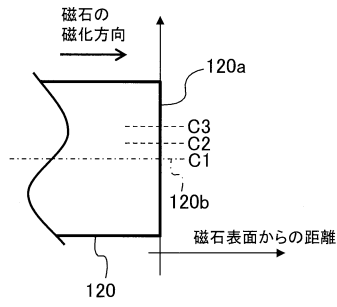
20

30

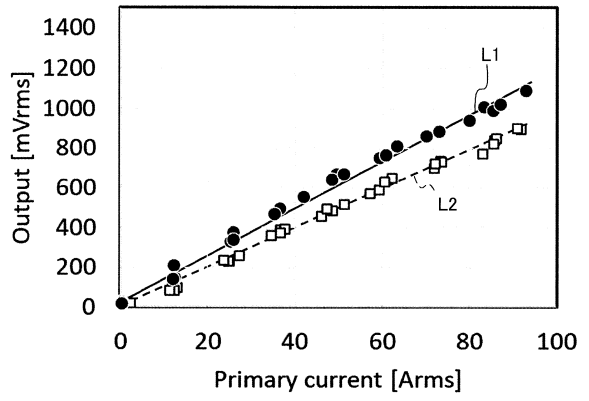
40

50

【 図 5 】

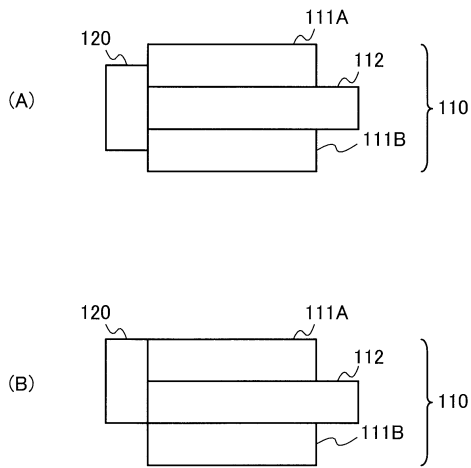


【 図 6 】

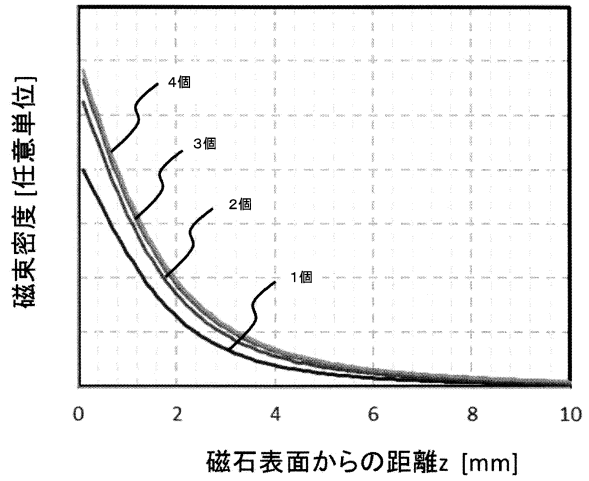


10

【 図 7 】



【 図 8 】



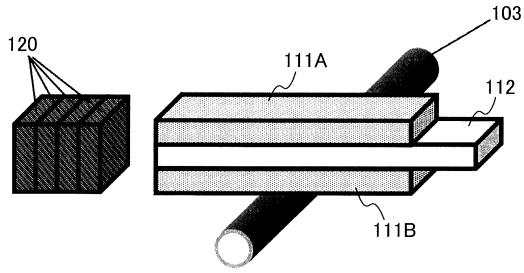
20

30

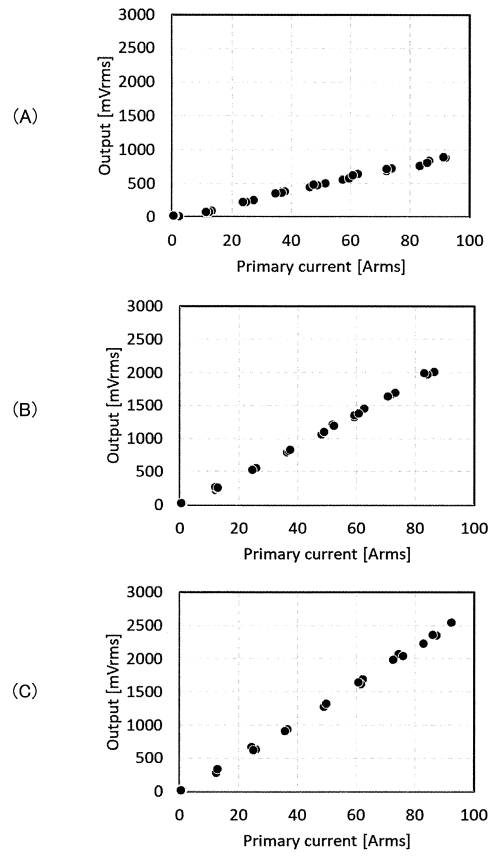
40

50

【図 9】



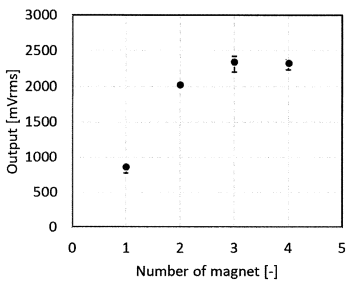
【図 10】



10

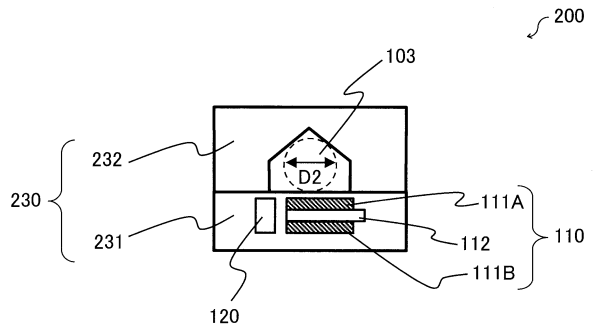
20

【図 11】



磁石数量と電流センサ出力 (電流値=約90Arms)

【図 12】

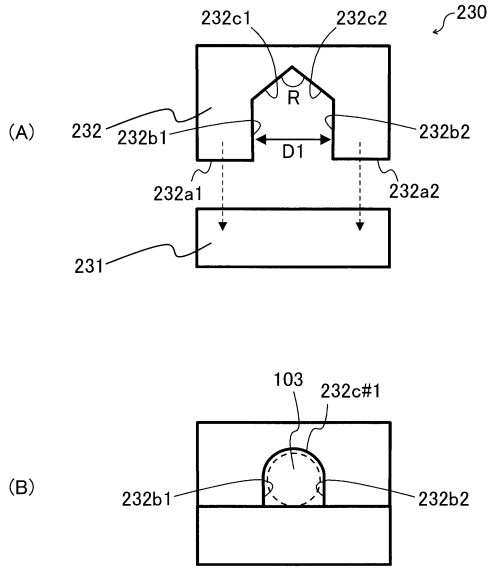


30

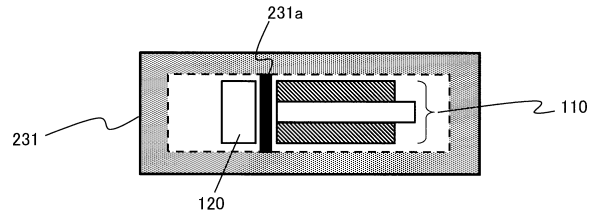
40

50

【図 13】

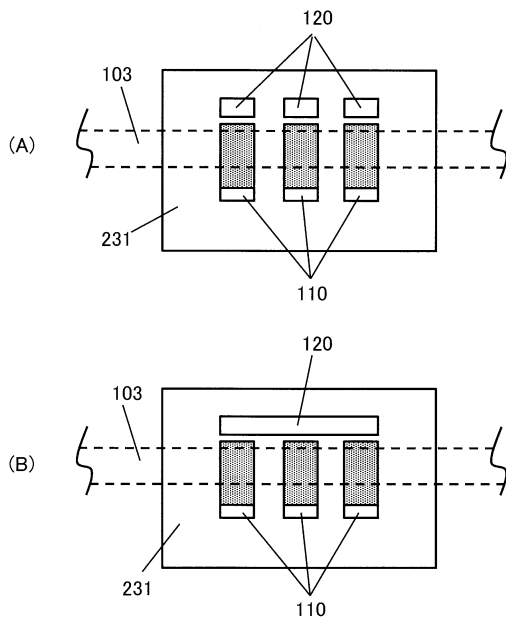


【図 14】

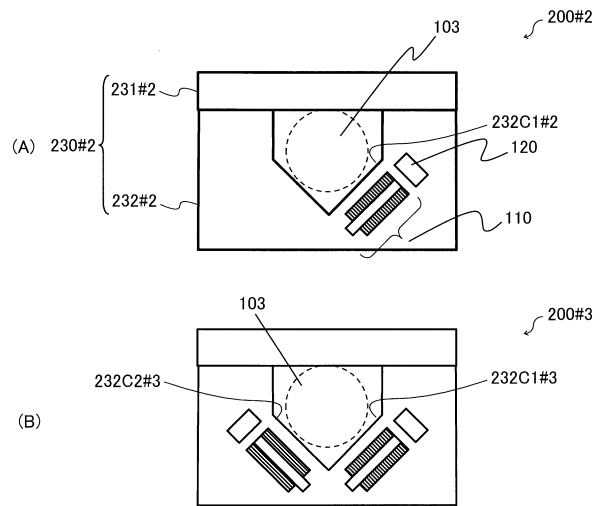


10

【図 15】



【図 16】



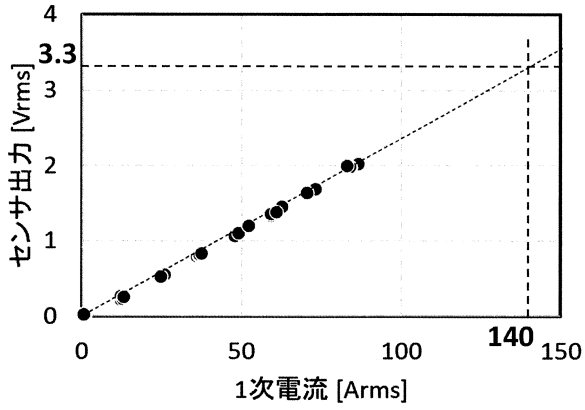
20

30

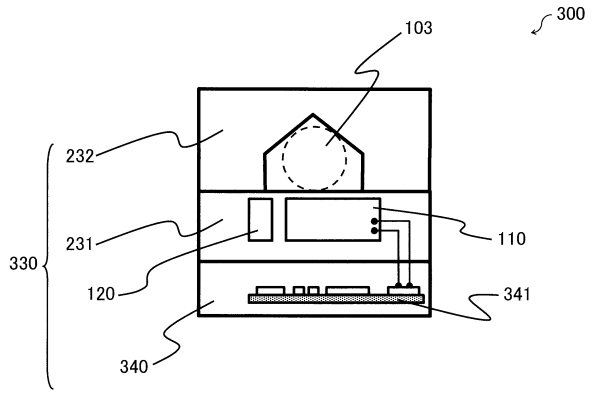
40

50

【図 17】

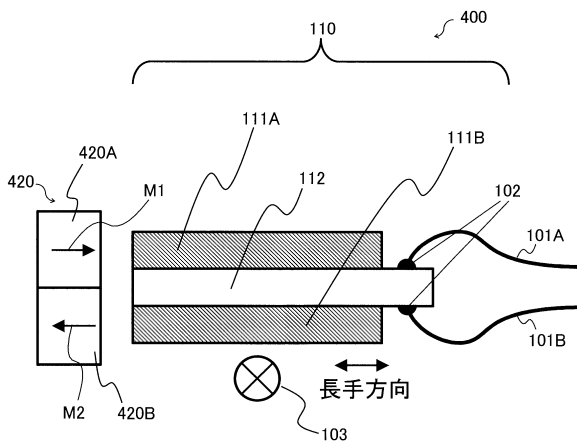


【図 18】

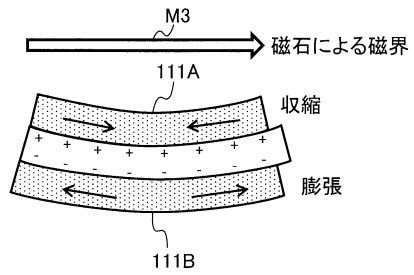


10

【図 19】



【図 20】



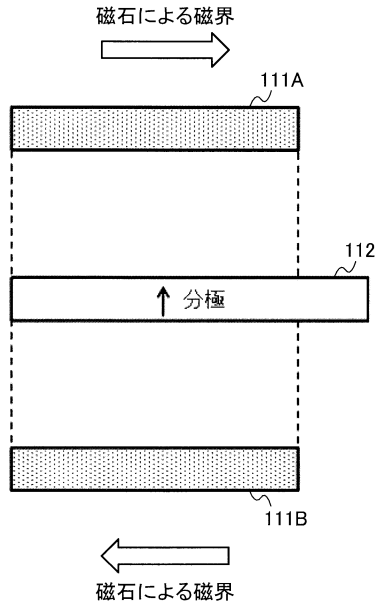
20

30

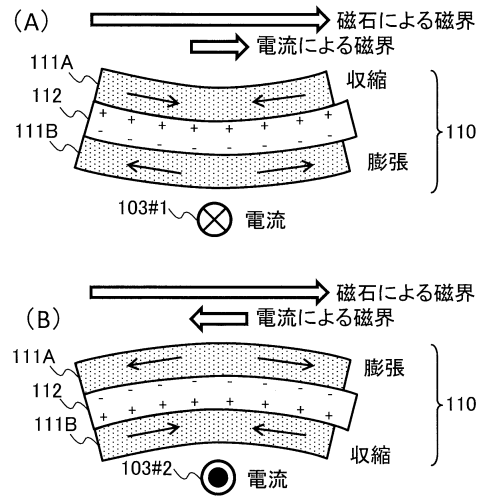
40

50

【図 2 1】

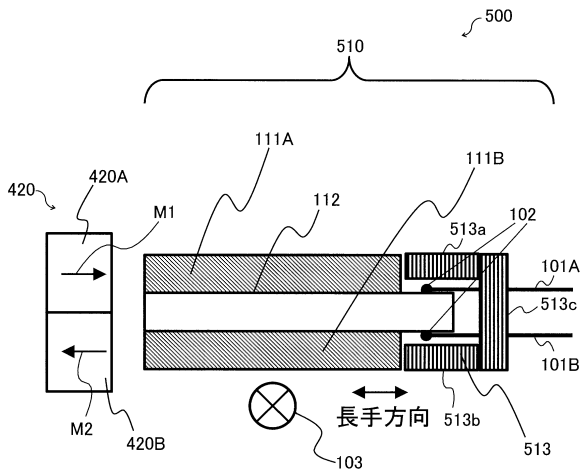


【図 2 2】

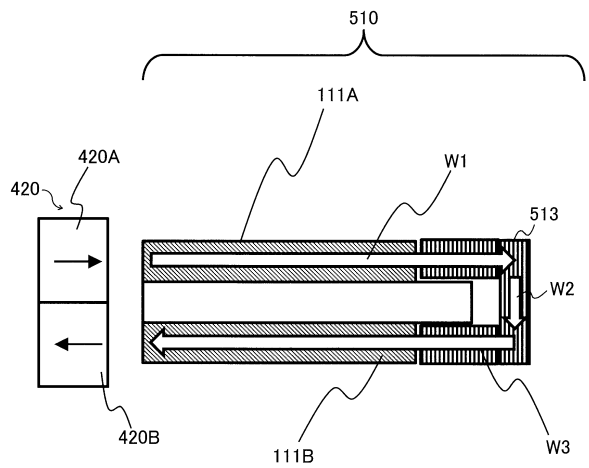


10

【図 2 3】



【図 2 4】



20

30

40

50

フロントページの続き

- 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(72)発明者 井上 甚
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(72)発明者 武舎 武史
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
審査官 佐藤 宙子
(56)参考文献 中国特許出願公開第112881781(CN, A)
特開2012-037508(JP, A)
特開2021-081240(JP, A)
米国特許第6809516(US, B1)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01R 15/14 - 17/22
G01R 19/00 - 19/32