

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6752167号
(P6752167)

(45) 発行日 令和2年9月9日(2020.9.9)

(24) 登録日 令和2年8月20日(2020.8.20)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 R 27/22 (2006.01) GO 1 R 27/22 Z

請求項の数 6 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2017-34920 (P2017-34920)	(73) 特許権者	000006666 アズビル株式会社 東京都千代田区丸の内2丁目7番3号
(22) 出願日	平成29年2月27日(2017.2.27)	(74) 代理人	100098394 弁理士 山川 茂樹
(65) 公開番号	特開2018-141666 (P2018-141666A)	(74) 代理人	100064621 弁理士 山川 政樹
(43) 公開日	平成30年9月13日(2018.9.13)	(72) 発明者	百瀬 修 東京都千代田区丸の内2丁目7番3号 アズビル株式会社内
審査請求日	令和1年9月17日(2019.9.17)	審査官	島▲崎▼ 純一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電気伝導率計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電気絶縁材料から成り、計測対象の流体が流れる測定管と、
前記測定管の外周面に形成された第1電極と、
コモン電位に接続され、前記測定管を流れる流体と接する第2電極と、
一端が前記第1電極に接続された抵抗と、
前記抵抗の他端に交流信号が入力されることによって前記第1電極に発生した信号の電圧を検出する電圧検出部と、
前記電圧検出部によって検出された電圧の振幅に基づいて、前記流体の電気伝導率を算出する電気伝導率算出部と、
を有する
電気伝導率計。

【請求項2】

請求項1に記載の電気伝導率計において、
前記流体の抵抗値を R_b 、前記測定管内を流れる前記流体と前記第1電極との間の容量を C_b としたとき、前記抵抗に入力される前記交流信号の周波数 f_1 は、式(A)で表される条件を満たす
ことを特徴とする電気伝導率計。

【数 1】

$$\frac{1}{2 \times \pi \times Cb \times Rb} \leq f1 \leq \frac{10}{2 \times \pi \times Cb \times Rb} \quad \cdot \cdot \cdot (A)$$

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の電気伝導率計において、
前記電圧検出部は、

前記交流信号が第 1 極性となる第 1 期間において、前記第 1 電極に発生した信号の電圧
をサンプリングし、保持する第 1 サンプルホールド回路と、 10

前記交流信号が前記第 1 極性と反対の第 2 極性となる第 2 期間において、前記第 1 電極
に発生した信号の電圧をサンプリングし、保持する第 2 サンプルホールド回路と、を含み

、
前記電気伝導率算出部は、前記第 1 サンプルホールド回路によってサンプリングされた
電圧と前記第 2 サンプルホールド回路によってサンプリングされた電圧とに基づいて、前
記流体の電気伝導率を算出する

ことを特徴とする電気伝導率計。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載の電気伝導率計において、

前記電圧検出部によって検出された電圧の振幅と前記流体の電気伝導率との対応関係を
示すルックアップテーブルを記憶する記憶部を更に有し、 20

前記電気伝導率算出部は、前記記憶部に記憶された前記ルックアップテーブルから、前
記電圧検出部によって検出された電圧の振幅の値に対応する前記流体の電気伝導率を読み
出す

ことを特徴とする電気伝導率計。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載の電気伝導率計において、

前記第 2 電極は、一端が前記測定管と連結され、他端が外部の配管と連結可能な金属か
ら成る管状の継手である 30

ことを特徴とする電気伝導率計。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 の何れか一項に記載の電気伝導率計において、

前記第 1 電極の少なくとも一部と対面して配置された、金属から成るシールドカバーを
更に有する

ことを特徴とする電気伝導率計。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、各種プロセス系において流体の電気伝導率を計測する電気伝導率計に関する 40

【背景技術】

【0002】

流体の電気伝導率（所謂導電率）を計測する機器として、2 電極方式の電気伝導率計が
知られている。2 電極方式の電気伝導率計は、2 つの電極間に正弦波や方形波などの交流
信号を印加し、電極間を流れる電流を測定することによって流体の電気伝導率を求める計
測器である。2 電極方式の電気伝導率計の従来技術については、特許文献 1 乃至 3 に開示
がある。

【0003】

例えば、特許文献 1 には、2 つの電極を計測対象の液体中に浸した状態において、一方 50

の電極に交流電圧を印加したときの他方の電極に流れ込む電流を検出することにより、計測対象の液体の電気抵抗から電気伝導率を計測する2電極方式の電気伝導率計が開示されている。

【0004】

また、特許文献2, 3には、2つの電極が棒状に形成された2電極方式の電気伝導率計が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特公平7-15490号公報

10

【特許文献2】特開2005-148007号公報

【特許文献3】特開2002-296312号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、本発明者の検討によれば、上述の特許文献1乃至3に開示された2電極方式の電気伝導率計では以下に示す課題があることが明らかとなった。

【0007】

特許文献1乃至3に開示された電気伝導率計は、電気伝導率を測定するために2つの電極を被測定流体中に浸す必要がある。そのため、電極の表面に異物が付着した場合や電極の表面が腐食した場合には、分極容量の変化による測定値の誤差が発生するおそれがある。

20

【0008】

特に、特許文献2, 3に開示された棒状の電極を有する電気伝導率計は、被測定流体と接触する電極の接触面積が小さいため、電極に異物の付着や腐食が生じた場合に、その部分の面積が電極の全面積に対して大きくなり、分極容量の変化による測定誤差が大きくなるおそれがある。

【0009】

この電極の異物の付着や腐食を防止するための対応策としては、2つの電極を構成する金属として「白金黒」を用いることが知られている。しかしながら、白金黒は高価な金属であるため、電極に白金黒を用いた場合には電気伝導率計の製造コストが高くなるという課題がある。

30

【0010】

また、特許文献2, 3に開示された棒状の電極を有する電気伝導率計を用いて配管内を流れる液体の電気伝導率を測定する際には、その棒状の電極を配管内に挿入する必要がある。このとき、配管が金属材料で構成されている場合には、配管と電極とをできるだけ話して配置しないと、電極から配管へ電流が回り込みにより、測定誤差が生じるおそれがある。

【0011】

本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであり、本発明の目的は、高精度な2電極方式の電気伝導率計をより低コストに実現することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明に係る電気伝導率計(100)は、電気絶縁材料から成り、計測対象の流体が流れる測定管(1)と、測定管の外周面に形成された第1電極(2)と、コモン電位(V_{com})に接続され、流体と接する第2電極(3)と、一端が第1電極に接続された抵抗(R1)と、上記抵抗の他端に交流信号(V1)を入力することによって第1電極に発生した信号(V2)の電圧(V_H, V_L)を検出する電圧検出部(5)と、電圧検出部によって検出された電圧の振幅(V_H - V_L)に基づいて、流体の電気伝導率を算出する電気伝導率算出部(62, 62A)とを有することを特徴とする。

50

【 0 0 1 3 】

上記電気伝導率計において、電圧検出部は、交流信号が第1極性となる第1期間(T_p)において、第1電極に発生した信号の電圧(V_H)をサンプリングし、保持する第1サンプルホールド回路(51)と、交流信号が第1極性と反対の第2極性となる第2期間(T_n)において、第1電極に発生した信号の電圧(V_L)をサンプリングし、保持する第2サンプルホールド回路(52)とを含み、電気伝導率算出部は、第1サンプルホールド回路によってサンプリングされた電圧(V_H)と第2サンプルホールド回路によってサンプリングされた電圧(V_L)とに基づいて、流体の電気伝導率を算出してもよい。

【 0 0 1 4 】

上記電気伝導率計において、電圧検出部によって検出された電圧の振幅と流体の電気伝導率との対応関係を示すルックアップテーブル(630)を記憶する記憶部(63)を更に有し、電気伝導率算出部は、記憶部に記憶されたルックアップテーブルから、電圧検出部によって検出された電圧の振幅の値に対応する流体の電気伝導率を読み出してもよい。

10

【 0 0 1 5 】

上記電気伝導率計において、第2電極は、一端が測定管と連結され、他端が外部の配管と連結可能な金属から成る管状の継手(3A)であってもよい。

【 0 0 1 6 】

上記電気伝導率計において、第1電極の少なくとも一部と対面して配置された、金属から成るシールドカバー(21)を更に有してもよい。

【 0 0 1 7 】

なお、上記説明では、発明の構成要素の一例として、その構成要素に対応する図面上の参照符号を括弧を付して記載している。

20

【発明の効果】

【 0 0 1 8 】

本発明によれば、高精度な2電極方式の電気伝導率計をより低コストに実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 9 】

【図1】本発明の一実施の形態に係る電気伝導率計の構成を示す図である。

【図2】電圧検出部の動作タイミングを示すタイミングチャート図である。

30

【図3A】電気伝導率計100における信号源V1から非接触電極2を介してコモン電位Vcomに至る電流経路の等価回路を示す図である。

【図3B】電気伝導率計100における信号源V1から非接触電極2を介してコモン電位Vcomに至る電流経路のより簡易な等価回路を示す図である。

【図4】図3Aに示した等価回路200における信号V2のシミュレーション結果を示す図である。

【図5】電気伝導率計100における信号源V1から非接触電極2を介してコモン電位Vcomに至る電流経路の別の等価回路を示す図である。

【図6A】図5に示す等価回路202においてパルスV1の周波数 $f_1 = 160\text{kHz}$ とした場合の信号V2のシミュレーション波形を示す図である。

40

【図6B】図5に示す等価回路202においてパルスV1の周波数 $f_1 = 1600\text{kHz}$ とした場合の信号V2のシミュレーション波形を示す図である。

【図7】信号V2の振幅($V_H - V_L$)と被測定流体の電気伝導率との関係を示す図である。

【図8】データ処理制御部6の別の構成例を示す図である。

【図9】本実施の形態に係る電気伝導率計100の実現例を示す斜視図である。

【図10A】筐体20内部を示す斜視断面図である。

【図10B】筐体20の内部を示す正面断面図である。

【図11A】シールドカバーの配置例を示す斜視図である。

【図11B】シールドカバーの配置例を示す側面図である。

50

【発明を実施するための形態】**【0020】**

以下、本発明の実施の形態について図を参照して説明する。なお、以下の説明において、各実施の形態において共通する構成要素には同一の参照符号を付し、繰り返しの説明を省略する。

【0021】

本実施の形態に係る電気伝導率計の構成

図1は、本発明の一実施の形態に係る電気伝導率計の構成を示す図である。

同図に示される電気伝導率計100は、測定管内を流れる流体の電気伝導率を2電極方式で計測するための測定器である。ここで、上記流体は、例えば液体である。電気伝導率計100は、2つの電極のうち一方の電極を測定対象の流体（被測定流体）に接触させることなく、電気伝導率を計測することが可能な構成を有している。

10

【0022】

具体的に、電気伝導率計100は、主な機能部として、測定管1、第1電極2、第2電極3、交流信号生成部4、電圧検出部5、データ処理制御部6、アナログ・デジタル変換部（ADC）7、クロック信号生成部8、設定・表示部9、およびアナログ出力部10を有している。

【0023】

測定管1は、電気伝導率の計測対象の流体（被測定流体）が流れる管である。測定管1は、電気絶縁材料から構成されている。上記電気絶縁材料としては、電氣的絶縁性が比較的高い材料であることが好ましく、例えばセラミックである。

20

【0024】

第1電極2は、測定管1の外周面に形成された金属材料から構成されている。第1電極2は、例えば薄膜状の金属材料（例えば、銅箔）から成り、測定管1の一部の領域に測定管1の円周方向に延在している。第1電極2と測定管1とは、例えば接着材によって接合されている。被測定流体は測定管1の内部を流れるため、第1電極2は、被測定流体に接触しない。以下、第1電極2を「非接触電極2」とも称する。

【0025】

第2電極3は、コモン電位Vcomに接続され、被測定流体と接触する電極である。第2電極3は、例えば、図1に示すように、測定管1と連結された管状の金属材料から構成されている。以下、第2電極3を「接触電極3」とも称する。

30

なお、本実施の形態では、コモン電位Vcomが0V（グラウンド電位）であるとして、説明する。

【0026】

クロック信号生成部8は、各機能部の動作タイミングを制御するためのクロック信号を生成する回路である。具体的に、クロック信号生成部8は、後述するデータ処理制御部6から出力された基準クロック信号CLK0を分周することによって、各種のクロック信号CLK1, CLKp, CLKnを生成する。なお、クロック信号CLK1, CLKp, CLKnの具体例については後述する。

【0027】

交流信号生成部4は、非接触電極2に印加する交流信号を生成する回路である。交流信号生成部4は、交流信号として、例えばパルスを発生させる。交流信号生成部4は、図1に示すように、例えば、コモン電位Vcomに接続された第1端子P1と、基準電位Vref (> Vcom) に接続された第2端子P2と、抵抗R1に接続される第3端子P3とを有するスイッチSW3によって実現することができる。

40

【0028】

スイッチSW3は、クロック信号生成部8から出力された一定周期のクロック信号CLK1に応じて、第3端子P3の接続先を第1端子P1と第2端子P2との間で切り替える。これにより、ローレベルの電圧がコモン電位Vcom、ハイレベルの電圧が基準電位Vref、周波数f1がクロック信号CLK1と同一のパルスV1が第3端子P3から出力

50

される。

【0029】

抵抗 R 1 は、一端が交流信号生成部 4 の出力端子（スイッチ S W 3 の上記第 3 端子）に接続され、他端が非接触電極 2 に接続されている。これにより、交流信号生成部 4 から出力されたパルス V 1 は、抵抗 R 1 を介して非接触電極 2 に入力される。

【0030】

電圧検出部 5 は、非接触電極 2 に発生した信号 V 2 の電圧を検出する回路である。具体的に、電圧検出部 5 は、パルス V 1 が第 1 極性（例えば、ハイレベル（= V r e f ））となる期間 T p における信号 V 2 の電圧を検出するとともに、パルス V 1 が第 1 極性と反対の第 2 極性（例えばローレベル（= V c o m ））となる期間における信号 V 2 の電圧を検出する。

10

【0031】

より具体的には、電圧検出部 5 は、例えば、バッファアンプ U 1 およびサンプルホールド回路 5 1 , 5 2 を含む。バッファアンプ U 1 は、例えばオペアンプ等から構成され、非接触電極 2 に発生した信号 V 2 をバッファして出力する。バッファアンプ U 1 から出力される信号 V 2 b の電圧と信号 V 2 の電圧は、略等しい（V 2 b = V 2 ）。

【0032】

サンプルホールド回路 5 1 , 5 2 は、バッファアンプ U 1 から出力された信号 V 2 b の電圧を、所定のタイミングでサンプリングし、保持する回路である。

サンプルホールド回路 5 1 は、例えば、一端がバッファアンプ U 1 の出力端子に接続されたスイッチ S W 1 と、スイッチ S W 1 の他端とコモン電位 V c o m との間に接続された容量 C 1 とを含む。スイッチ S W 1 は、例えば、クロック信号 C L K p に応じてオン・オフが切替られる。これにより、サンプルホールド回路 5 1 は、クロック信号 C L K p に応じて信号 V 2 b の電圧のサンプリングを行うことができる。

20

【0033】

サンプルホールド回路 5 2 は、例えば、一端がバッファアンプ U 1 の出力端子に接続されたスイッチ S W 2 と、スイッチ S W 2 の他端とコモン電位 V c o m との間に接続された容量 C 2 とを含む。スイッチ S W 2 は、例えば、クロック信号 C L K n に応じてオン・オフが切替られる。これにより、サンプルホールド回路 5 2 は、クロック信号 C L K n に応じて信号 V 2 b の電圧のサンプリングを行うことができる。

30

【0034】

図 2 は、電圧検出部 5 の動作タイミングを示すタイミングチャート図である。

図 2 に示すように、クロック信号生成部 8 は、クロック信号 C L K 1 として、周期 T のパルス（例えば、デューティ比：50%）を生成し、交流信号生成部 4 に与える。交流信号生成部 4 は、クロック信号 C L K 1 がハイレベルであるときに、第 3 端子 P 3 を第 2 端子 P 2 （= V r e f ）に接続し、クロック信号 C L K 1 がローレベルであるときに、第 3 端子 P 3 を第 1 端子 P 1 （= V c o m ）に接続する。これにより、図 2 に示すように、クロック信号 C L K 1 がハイレベル（第 1 極性）となるときに基準電位 V r e f となり、クロック信号 C L K 1 がローレベル（第 2 極性）となるときにコモン電位 V c o m となるパルス V 1 が第 3 端子 P 3 から出力される。交流信号生成部 4 の第 3 端子 P 3 から出力されたパルス V 1 は、抵抗 R 1 を介して非接触電極 2 に入力される。

40

【0035】

被測定流体が測定管 1 および接触電極 3 の内部を流れているときに、上述のパルス V 1 が出力されると、抵抗 R 1、非接触電極 2、被測定流体、および接触電極 3 を介してコモン電位 V c o m に電流が流れ込む。これにより、抵抗 R 1 と、抵抗 R 1 の他端側のインピーダンスとに応じた電圧の信号 V 2 が非接触電極 2 に発生する。このときの信号 V 2 は、図 2 に示すように、パルス V 1 と同期して電圧が変動する信号となる。

【0036】

また、クロック信号生成部 8 は、クロック信号 C L K p として、クロック信号 C L K 1 がハイレベルとなる期間 T p、すなわちパルス V 1 が第 1 極性（例えば、ハイレベル（=

50

V r e f)) となる期間にハイレベルとなるパルスを送ルホールド回路 5 1 に供給する。

【 0 0 3 7 】

サンプルホールド回路 5 1 のスイッチ S W 1 は、クロック信号 C L K p がハイレベルであるときにオンし、クロック信号 C L K p がローレベルであるときにオフする。これにより、サンプルホールド回路 5 1 は、非接触電極 2 に発生した信号 V 2 (V 2 b) がハイレベルとなるときの電圧 V H をサンプリングする。

【 0 0 3 8 】

更に、クロック信号生成部 8 は、クロック信号 C L K n として、クロック信号 C L K 1 がローレベルとなる期間 T n、すなわちパルス V 1 が第 2 極性 (例えば、ローレベル (= V c o m)) となる期間にハイレベルとなるパルスを送ルホールド回路 5 2 に供給する。

10

【 0 0 3 9 】

サンプルホールド回路 5 2 のスイッチ S W 2 は、クロック信号 C L K n がハイレベルであるときにオンし、クロック信号 C L K n がローレベルであるときにオフする。これにより、サンプルホールド回路 5 2 は、非接触電極 2 に発生した信号 V 2 (V 2 b) がローレベルとなるときの電圧 V L をサンプリングする。

【 0 0 4 0 】

アナログ・デジタル変換部 7 は、サンプルホールド回路 5 1 によって取り込まれた電圧 V H とサンプルホールド回路 5 2 によってサンプルホールドされた電圧 V L との電圧差を、デジタル信号に変換する回路である。

20

【 0 0 4 1 】

データ処理制御部 6 は、電気伝導率計 1 0 0 を構成する各機能部の統括的な制御を行う機能部である。データ処理制御部 6 は、例えばマイクロコントローラや C P U 等のプログラム処理装置によって構成されている。

具体的に、データ処理制御部 6 は、基準クロック生成部 6 1 と電気伝導率算出部 6 2 とを含む。

【 0 0 4 2 】

基準クロック生成部 6 1 は、クロック信号生成部 8 に供給する基準クロック信号 C L K 0 を生成する機能部である。基準クロック生成部 6 1 は、例えば、外付けされた水晶やセラミック発振子を用いて信号を生成する発振回路等によって実現することができる。

30

【 0 0 4 3 】

電気伝導率算出部 6 2 は、電圧検出部 5 によって検出された電圧の振幅に基づいて被測定流体の電気伝導率を算出する機能部である。電気伝導率算出部 6 2 は、例えば、上述したマイクロコントローラや C P U 等のプログラム処理装置によるプログラム処理によって実現される。なお、電気伝導率算出部 6 2 による電気伝導率の具体的な算出手法については、後述する。

【 0 0 4 4 】

設定・表示部 9 は、作業者の設定操作入力を検出してデータ処理制御部 6 へ出力する機能と、データ処理制御部 6 からの表示出力を L E D や L C D によって表示する機能とを有している。

40

【 0 0 4 5 】

アナログ出力部 1 0 は、電気伝導率算出部 6 2 による算出結果等の情報を外部機器に出力するための機能部である。具体的に、アナログ出力部 1 0 は、電気伝導率算出部 6 2 による算出結果を 4 - 2 0 m A のアナログ信号で出力する。

【 0 0 4 6 】

電気伝導率の算出原理

次に、本実施の形態に係る電気伝導率計 1 0 0 における電気伝導率の算出原理について説明する。

上述したように、被測定流体が測定管 1 および接触電極 3 の内部を流れている状態にお

50

いてパルス V_1 が抵抗 R_1 の一端に入力された場合、抵抗 R_1 、非接触電極 2、被測定流体、および接触電極 3 を介してコモン電位 V_{com} に電流が流れ込む。この電流の電流経路は、図 3 A に示す等価回路 200 によって表すことができる。

【0047】

具体的に、等価回路 200 は、抵抗 R_1 、 R_b 、容量 C_a 、 C_b 、およびパルス V_1 を出力する信号源 V_1 から構成される。ここで、 R_b は、被測定流体の抵抗値、 C_a は、接触電極 3 と被測定流体との間の分極容量、 C_b は、被測定流体と非接触電極 2 との間の容量を示している。

【0048】

被測定流体と非接触電極 2 との間の容量 C_b は、従来の 2 つの電極を共に被測定流体に接触させる従来の 2 電極方式の電気伝導率計に比べて、その値が小さくなる。そのため、被測定流体の抵抗 R_b の値を高精度且つ再現性良く測定するためには、等価回路 200 において、パルス V_1 の周波数 f_1 をできるだけ高くして抵抗 R_b に対する容量 C_b によるリアクタンス成分をできるだけ小さくすることが望ましい。

10

【0049】

容量 C_a 、 C_b のインピーダンスが無視できるレベルまでパルス V_1 の周波数 f_1 を高くした場合、等価回路 200 は、図 3 B に示す等価回路 201 に描き直すことができる。すなわち、信号源 V_1 から非接触電極 2 を介してコモン電位 V_{com} に至る電流経路の等価回路 201 は、電圧 $V_{ref}/2$ を基準として $\pm V_{ref}/2$ の振幅を有する信号 V_1 と、抵抗 R_1 および抵抗 R_b から成る抵抗分圧回路と、カップリングコンデンサ C_x とによって表すことができる。

20

【0050】

等価回路 201 において、信号 V_2 の電圧がハイレベルとなる期間 T_p における抵抗 R_1 と抵抗 R_b の電圧降下の比は、下記式 (1) で表される。ここで、 V_{r1_H} は、信号 V_2 の電圧がハイレベルとなる期間 T_p での抵抗 R_1 の両端の電圧を表し、 V_{rb_H} は、信号 V_2 の電圧がハイレベルとなる期間 T_p での抵抗 R_b の両端の電圧を表している。

【0051】

【数 1】

$$\begin{aligned} V_{r1_H} : V_{rb_H} &\approx \left\{ \frac{V_{ref}}{2} - \left(V_H - \frac{V_{ref}}{2} \right) \right\} : \left(V_H - \frac{V_{ref}}{2} \right) \\ &= (V_{ref} - V_H) : \left(V_H - \frac{V_{ref}}{2} \right) \quad \dots \dots (1) \end{aligned}$$

30

【0052】

また、等価回路 201 において、信号 V_2 の電圧がローレベルとなる期間 T_n における抵抗 R_1 と抵抗 R_b の電圧降下の比は、下記式 (2) で表される。ここで、 V_{r1_L} は、信号 V_2 の電圧がローレベルとなる期間 T_n での抵抗 R_1 の両端の電圧を表し、 V_{rb_L} は、信号 V_2 の電圧がローレベルとなる期間 T_n での抵抗 R_b の両端の電圧を表している。また、上述したように、 V_H は、信号 V_2 b (V_2) がハイレベルとなったときの電圧であり、 V_L は、信号 V_2 b (V_2) がローレベルとなったときの電圧である (図 2 参照)。

40

【0053】

【数 2】

$$V_{r1_L} : V_{rb_L} \approx V_L : \left(\frac{V_{ref}}{2} - V_L \right) \quad \dots \dots (2)$$

【0054】

50

上記式(1)および上記式(2)から、電圧 V_{r1_H} と電圧 V_{r1_L} との和の電圧 V_{r1_HL} と、電圧 V_{rb_H} と電圧 V_{rb_L} との和の電圧 V_{rb_HL} との比は、下記式(3)で表される。

【0055】

【数3】

$$V_{r1_HL}:V_{rb_HL} \approx \{V_{ref} - (V_H - V_L)\}:(V_H - V_L) \quad \dots \quad (3)$$

【0056】

式(3)より、抵抗 R_1 と抵抗 R_b との比は、下記式(4)で表される。

10

【0057】

【数4】

$$R_1:R_b \approx \{V_{ref} - (V_H - V_L)\}:(V_H - V_L) \quad \dots \quad (4)$$

【0058】

上記式(4)より、抵抗 R_b は、下記式(5)で表される。

【0059】

【数5】

$$R_b = \frac{R_1 \times (V_H - V_L)}{V_{ref} - (V_H - V_L)} \quad \dots \quad (5)$$

20

【0060】

上記式(5)において、基準電位 V_{ref} と抵抗 R_1 はいずれも既知の値である。したがって、信号 V_2 (V_2)がハイレベルであるときの電圧 V_H と信号 V_2 (V_2)がローレベルであるときの電圧 V_L との差($V_H - V_L$)、すなわち信号 V_2 (V_2)の振幅がわかれば、式(5)に基づいて、被測定流体の抵抗 R_b 、すなわち被測定流体の電気伝導率($= 1/R_b$)を求めることができる。

【0061】

図4は、図3Aに示した等価回路200における信号 V_2 のシミュレーション結果を示す図である。

30

同図には、等価回路200において、 $R_1 = 10$ [k]、 $R_b = 20$ [k]、 $C_a = 0.1$ [μ F]、 $C_b = 100$ [pF]とし、パルス V_1 の周波数を15 [MHz]、振幅を1 [V]としたときの信号 V_2 のシミュレーション結果が示されている。

【0062】

図4に示されるシミュレーション結果において、信号 V_2 がハイレベルとなるときの電圧 V_H は、約0.8333 Vであり、信号 V_2 がローレベルとなるときの電圧 V_L は、約0.1667 Vである。したがって、この場合の被測定流体の抵抗 R_b は、式(5)より、約19.99 []となる。

【0063】

40

本実施の形態に係る電気伝導率計100では、電気伝導率算出部62が、アナログ・デジタル変換部7を介して入力された電圧 V_H 、 V_L の値を上述の式(5)に代入することによって、測定管1を流れる被測定流体の電気伝導率を算出する。

【0064】

上述したように、被測定流体の抵抗 R_b の値を高精度且つ再現性良く測定するためには、パルス V_1 の周波数 f_1 をできるだけ高くして、抵抗 R_b に対する容量 C_b によるリアクタンス成分をできるだけ小さくすることが望ましい。しかしながら、周波数 f_1 を高くし過ぎると、被測定流体の抵抗 R_b の測定精度が低下するおそれがある。そこで、被測定流体の抵抗 R_b の測定精度と再現性の更なる向上を図る場合には、パルス V_1 の周波数 f_1 を適切な値に設定する必要がある。以下、詳細に説明する。

50

【 0 0 6 5 】

図 5 は、電気伝導率計 1 0 0 における信号源 V 1 から非接触電極 2 を介してコモン電位 V c o m に至る電流経路の別の等価回路を示す図である。

同図の等価回路 2 0 2 に示すように、実際には、パルス V 1 を発生する信号源 V 1 とコモン電位 V c o m との間に、抵抗 R 1、R b および容量 C a、C b に加えて、接触電極 3 と非接触電極 2 との間の容量 C c と、接触電極 3 と被測定流体との間の分極抵抗 R a とが存在する。ここで、C a >> C b >> C c、R a >> R b である。

【 0 0 6 6 】

パルス V 1 の周波数 f 1 を高くし過ぎた場合、信号源 V 1 とコモン電位 V c o m との間の電流経路は、上述の図 3 B に示す単純な等価回路 2 0 1 ではなく、等価回路 2 0 2 とみなす必要がある。そのため、容量 C c の影響により、抵抗 R b に印加される電圧の波形が歪み、抵抗 R b の測定精度が低下するおそれがある。

10

【 0 0 6 7 】

そこで、容量 C c による抵抗 R b の測定精度の低下を抑えるためには、容量 C b によるインピーダンスの影響を考慮する必要がある。具体的には、容量 C b によるリアクタンス成分 Z c b (= 1 / (2 π f 1 × C b)) が下記式 (6) で示される条件を満足する必要がある。

【 0 0 6 8 】

【数 6】

$$\frac{Rb}{10} \leq Zcb \leq Rb \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (6)$$

20

【 0 0 6 9 】

式 (6) を周波数 f 1 の式に書き換えると、式 (7) が得られる。

【 0 0 7 0 】

【数 7】

$$\frac{1}{2 \times \pi \times Cb \times Rb} \leq f1 \leq \frac{10}{2 \times \pi \times Cb \times Rb} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (7)$$

30

【 0 0 7 1 】

したがって、パルス V 1 の周波数 f 1 を式 (7) で示される範囲内の値に設定することにより、流体抵抗 (液体抵抗) R b、すなわち電気伝導率の測定精度の低下を抑えることが可能となる。

【 0 0 7 2 】

ここで、容量 C b は、主に非接触電極 2 の面積と測定管 1 を構成する電氣的絶縁体材料の比誘電率によって決まり、分極容量の影響は無視できるほど小さいため、予めその値を把握しておくことは可能である。

【 0 0 7 3 】

例えば、式 (7) において、R b = 1 0 [k Ω]、C b = 1 0 0 [p F] としたとき、パルス V 1 の周波数 f 1 は、約 1 6 0 k H z ~ 1 6 0 0 k H z の範囲となる。

40

【 0 0 7 4 】

図 6 A、6 B に、パルス V 1 の周波数 f 1 を 1 6 0 k H z ~ 1 6 0 0 k H z の範囲の値に設定したときのシミュレーション結果を示す。図 6 A は、等価回路 2 0 2 においてパルス V 1 の周波数 f 1 = 1 6 0 k H z とした場合の信号 V 2 のシミュレーション波形を示す図であり、図 6 B は、等価回路 2 0 2 においてパルス V 1 の周波数 f 1 = 1 6 0 0 k H z とした場合の信号 V 2 のシミュレーション波形を示す図である。本シミュレーションでは、R a = 1 [M Ω]、R b = 1 0 [k Ω]、C a = 0 . 1 [u F]、C b = 1 0 0 [p F]、C c = 1 0 [p F] としている。

50

【 0 0 7 5 】

以上のように、被測定流体の抵抗 R_b の測定精度と再現性の向上を図る場合には、等価回路 202 を考慮し、パルス V_1 の周波数 f_1 を適切な範囲（式（7））に設定すればよい。

【 0 0 7 6 】

ただし、パルス V_1 の周波数 f_1 を適切な範囲に設定した場合であっても、信号源 V_1 とコモン電位 V_{com} との間の電流経路は、上述の図 3 B に示す単純な等価回路 201 と完全にみなすことはできないため、式（5）に基づく算出手法では、多少の誤差が発生する可能性がある。

【 0 0 7 7 】

例えば、図 5 に示した等価回路 202 において信号 V_2 の振幅（ $V_H - V_L$ ）と被測定流体の電気伝導率との関係は、例えば図 7 に示す非線形な特性 300 によって表される。

そこで、被測定流体の抵抗 R_b の測定精度と再現性を更に向上させたい場合には、図 8 に示すように、予め作成した信号 V_2 の振幅（ $V_H - V_L$ ）と被測定流体の電気伝導率との対応関係を示すルックアップテーブルを用いて、電気伝導率を算出すればよい。なお、図 8 では、データ処理制御部 6 A の周辺の機能部のみ図示し、それ以外の機能部については図示を省略している。

【 0 0 7 8 】

例えば、予め、電気伝導率が既知の流体（液体）を用いて、信号 V_2 の振幅（ $V_H - V_L$ ）と被測定流体の電気伝導率と関係性を調べる試験を行い、その試験結果に基づいて、信号 V_2 の振幅（ $V_H - V_L$ ）と被測定流体の電気伝導率との対応関係を示すルックアップテーブル 630 を作成する。作成したルックアップテーブル 630 は、図 8 に示すように、例えばデータ処理制御部 6 A として機能するマイクロコントローラ等のプログラム処理装置内の不揮発性メモリ等の記憶部 63 に格納される。

【 0 0 7 9 】

そして、被測定流体の電気伝導率を算出する際には、電気伝導率算出部 62 A が、記憶部 63 に記憶されているルックアップテーブル 630 を参照し、アナログ・デジタル変換部 7 を介して入力された電圧 V_H 、 V_L の値から算出した振幅（ $V_H - V_L$ ）の値に対応する電気伝導率の値を読み出すことにより、被測定流体の電気伝導率を算出する。

これによれば、被測定流体の抵抗 R_b の測定精度および再現性を更に向上させることが可能となる。

【 0 0 8 0 】

次に、電気伝導率計 100 の実現例を示す。

図 9 は、本実施の形態に係る電気伝導率計 100 の実現例を示す斜視図である。

同図に示されるように、電気伝導率計 100 は、測定管 1、非接触電極 2、および接触電極 3 と、交流信号生成部 4、電圧検出部 5、データ処理制御部 6、アナログ・デジタル変換部 7、クロック信号生成部 8、およびアナログ出力部 10 等の電子回路等が形成されたプリント基板とを、金属や樹脂等から成る筐体 20 内に収容し、その筐体 20 の開口部を、設定・表示部 9 によって蓋をすることによって実現される。

【 0 0 8 1 】

設定・表示部 9 は、作業者の設定操作入力を検出してデータ処理制御部 6 へ出力する機能を実現するための操作用ボタン 91 や、データ処理制御部 6 からの表示出力を表示する機能を実現するための LED や LCD 等の表示装置 92 を備えている。

【 0 0 8 2 】

筐体 20 の対向する一対の側面には、電気伝導率計 100 の外部に設けられる配管（図示せず）と測定管 1 とを連結可能な、金属材料（例えば、SUS）から構成された管状の継手 3 A、3 B が配設されている。

【 0 0 8 3 】

図 10 A は、筐体 20 内部を示す斜視断面図であり、図 10 B は、筐体 20 の内部を示す正面断面図である。

10

20

30

40

50

図10A, 10Bに示されるように、測定管1は、筐体20の長手方向に沿って筐体20内に配設される。測定管1の両端部には、継手3Aと継手3Bが夫々連結されている。

【0084】

ここで、2つの継手3A, 3Bのうち一方は、接触電極3として機能する。例えば、図10A, 10Bに示すように、継手3Aは、コモン電位Vcomに接続されることにより、外部の配管と測定管1とを連結するだけでなく、接触電極3としても機能する。この場合の非接触電極2は、測定管1における継手3Aが接続される端部に近い外周面に形成される。

【0085】

このように、接触電極3を金属から成る継手3Aによって実現することにより、接触電極3の被測定流体と接触する面積が広がる。これにより、接触電極3に異物の付着や腐食が生じた場合であっても、異物の付着や腐食が生じた部分の面積が接触電極3の全面積に対して相対的に小さくなるため、分極容量の変化による測定誤差を抑えることが可能となる。

10

【0086】

一方、非接触電極2は、例えばコモン電位Vcomに接続された金属から成るシールドカバー21によって囲まれていることが望ましい。例えば、図11Aに示すように、筐体20内において非接触電極2がシールドカバー21によって囲まれるように、測定管1を配置する。これによれば、非接触電極2から筐体20の外部に放射される電磁波ノイズを低減することが可能となる。

20

【0087】

ここで、シールドカバー21は、非接触電極2の少なくとも一部と対面して配置されていればよい。例えば、図11Bに示すように、シールドカバー21を側面視コの字状に形成し、シールドカバー21の開口側に、上述した交流信号生成部4やデータ処理制御部6等を構成する電子回路等が主面22Aに形成されたプリント基板22を配置すればよい。この場合、プリント基板22の主面22Aに対向する主面22Bには、金属べたパターン23を全面的に形成しておく。

【0088】

これによれば、プリント基板22上に配置された交流信号生成部4や電圧検出部5と非接触電極2とを接続する信号線の引き回し等が容易となるとともに、その信号線の大部分をシールドカバー21内に配置することができるので、その信号線から筐体20の外部に放射される電磁波ノイズをも低減することが可能となる。

30

【0089】

電気伝導率計100の効果

以上、本実施の形態に係る電気伝導率計100によれば、被測定流体と接触する接触電極3と、測定管1の外周面に設けられ被測定流体と接触しない非接触電極2とを設け、接触電極3をコモン電位Vcomに接続した状態で抵抗R1を介して非接触電極2に交流信号を印加し、そのときの非接触電極2に発生する信号V2の振幅(VH - VL)を検出することにより、測定管1を流れる被測定流体の電気伝導率を算出することができる。

【0090】

40

これによれば、一方の電極が被測定流体と接触しないので、従来の2つの電極を共に接触させる2電極方式の電気伝導率計に比べて、電極の異物の付着や腐食による測定誤差を抑えることが可能となる。

【0091】

また、少なくとも非接触電極2には、高価な白金黒を用いなくてもよいので、電気伝導率計の製造コストを抑えることが可能となる。

【0092】

したがって、本実施の形態に係る電気伝導率計によれば、高精度な2電極方式の電気伝導率計をより低コストに実現することが可能となる。

【0093】

50

また、抵抗 R_1 を介して非接触電極 2 に印加されるパルス V_1 の周波数 f_1 を式 (7) で示される範囲内の値に設定することにより、上述したように、被測定流体の電気伝導率 (抵抗 R_b) の測定精度と再現性をより向上させることが可能となる。

【0094】

また、電気伝導率計 100 において、信号 V_2 の振幅 ($V_H - V_L$) と被測定流体の電気伝導率との対応関係を示すlookupアップテーブル 630 を記憶部 63 に記憶し、そのlookupアップテーブル 630 を用いて、電圧検出部 5 によって検出された電圧の振幅の値に対応する電気伝導率を読み出すことにより、被測定流体の電気伝導率の測定精度と再現性を更に向上させることが可能となる。

【0095】

また、電気伝導率計 100 において、2つのサンプルホールド回路 51, 52 を用いて、パルス V_1 がハイレベルとなるときの非接触電極 2 に発生する信号 V_2 の電圧 V_H と、パルス V_1 がローレベルとなるときの非接触電極 2 に発生する信号 V_2 の電圧 V_L を検出するので、非接触電極 2 に発生する信号 V_2 の振幅を取得することが容易となる。

【0096】

また、電気伝導率計 100 によれば、信号 V_2 の電圧を電流に変換する電圧・電流変換回路が不要となるので、より単純な回路構成で電気伝導率の計測が可能となる。

【0097】

また、本実施の形態に係る電気伝導率計 100 によれば、電気伝導率の計測安定性の低下を抑えることが可能となる。例えば、従来の交流信号を全波整流する方式の電気伝導率計、すなわち交流信号のローレベル (負極性) 期間の電圧を中間レベルで折り返し、交流信号のハイレベル (正極性) 期間の電圧と加算する方式の電気伝導率計では、交流信号のハイレベル期間の波形とローレベル期間の波形が等しくない場合、全波整流しても脈流が残り、完全な直流電圧にならないため、計測安定性が悪化する。これに対し、本実施の形態に係る電気伝導率計 100 では、交流信号 (信号 V_2) を差動信号の状態のままアナログ・デジタル変換して信号 V_2 の振幅 ($V_H - V_L$) を求める構成を有しているため、被測定流体の流速の変化により信号波形にゆらぎが生じた場合や、外部から被測定流体を介してコモンモードノイズが侵入した場合であっても、電気伝導率の計測安定性が低下し難い。

【0098】

また、接触電極 3 を、外部の配管と接続するための金属から成る継手 3A と兼用することにより、接触電極 3 の被測定流体と接触する面積を広くすることが可能となる。これにより、上述したように、接触電極 3 に異物の付着や腐食が生じた場合であっても、接触電極 3 の全接触面積に対する異物の付着や腐食が生じた部分の面積が相対的に小さくなるので、電極の異物の付着や腐食による測定誤差をより低減することが可能となる。

【0099】

また、金属配管を継手 3A に連結した場合には、その金属配管が継手 3A を介してコモン電位 V_{com} に接続されるため、継手 3A のみならず金属配管も接触電極 3 とみなすことができる。これにより、接触電極 3 の接触面積が更に拡大し、接触電極 3 の全接触面積に対する異物の付着や腐食が生じた部分の面積が相対的に更に小さくなるので、電極の異物の付着や腐食による測定誤差の更なる低減を図ることが可能となる。

【0100】

また、金属配管を使用した場合であっても、接触電極 3 としての継手 3A と金属配管とが同電位 (コモン電位 $V_{com} = 0V$) となるので、金属配管に電流が流れ込むことによる測定誤差は生じない。

【0101】

また、接触電極 3 をコモン電位 $V_{com} (= 0V)$ に接続しているため、金属配管を使用した場合であっても、金属配管がアンテナとなって周辺に電磁波ノイズを放射することを防止できる。

【0102】

10

20

30

40

50

また、図 1 1 A , 1 1 B に示したように、金属から成るシールドカバー 2 1 を、非接触電極 2 の少なくとも一部と対面して配置することにより、上述したように、非接触電極 2 から筐体 2 0 の外部に放射される電磁波ノイズを低減することが可能となる。

【 0 1 0 3 】

実施の形態の拡張

以上、本発明者らによってなされた発明を実施の形態に基づいて具体的に説明したが、本発明はそれに限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々変更可能であることは言うまでもない。

【 0 1 0 4 】

例えば、上記実施の形態では、電気伝導率計 1 0 0 の実現例として図 9 に示す構成を例示したが、これに限定されるものではない。

【 0 1 0 5 】

また、上記実施の形態において、交流信号生成部 4 や電圧検出部 5 は、その機能を発揮することができるのであれば、図 1 に示した回路構成例に限定されるものではない。

【 0 1 0 6 】

また、アナログ・デジタル変換部 7 およびクロック信号生成部 8 は、データ処理制御部 6 と同様に、マイクロコントローラ等のプログラム処理装置の機能によって実現してもよい。

【 0 1 0 7 】

アナログ・デジタル変換部 7 は、サンプルホールド回路 5 1 によって取り込まれた電圧 V_H とサンプルホールド回路 5 2 によってサンプルホールドされた電圧 V_L との電圧差を、デジタル信号に変換する例を示したが、 V_H および V_L を夫々デジタル信号に変換してからデータ処理制御部 6 で減算処理を行ってもよい。

【符号の説明】

【 0 1 0 8 】

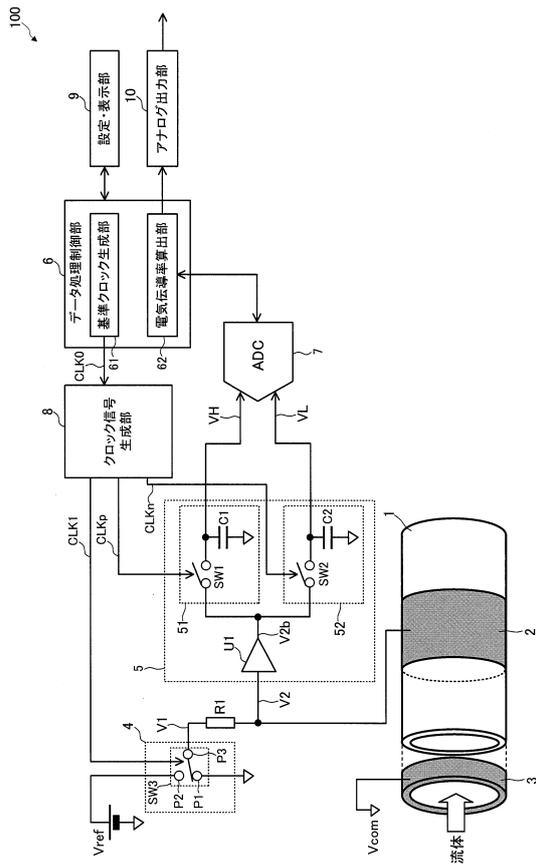
1 0 0 ... 電気伝導率計、 1 ... 測定管、 2 ... 非接触電極（第 1 電極）、 3 ... 接触電極（第 2 電極）、 3 A , 3 B ... 継手、 4 ... 交流信号生成部、 5 ... 電圧検出部、 6 , 6 A ... データ処理制御部、 7 ... アナログ・デジタル変換部、 8 ... クロック信号生成部、 9 ... 設定・表示部、 1 0 ... アナログ出力部、 2 0 ... 筐体、 2 1 ... シールドカバー、 2 2 ... プリント基板、 2 3 ... 金属べたパターン、 5 1 , 5 2 ... サンプルホールド回路、 6 1 ... 基準クロック生成部、 6 2 ... 電気伝導率算出部、 6 3 ... 記憶部、 6 3 0 ... ルックアップテーブル、 2 0 0 , 2 0 1 , 2 0 2 ... 等価回路、 9 1 ... 操作ボタン、 9 2 ... 表示装置、 S W 1 , S W 2 , S W 3 ... スイッチ、 U 1 ... パッファアンプ、 C L K 0 ... 基準クロック信号、 C L K 1 , C L K n ... クロック信号、 V 1 ... パルス（信号源）、 V 2 , V 2 b ... 信号、 V c o m ... コモン電位、 V H , V L ... 信号 V 2 の電圧、 T p ... パルス V 1 が第 1 極性となる期間、 T n ... パルス V 1 が第 2 極性となる期間、 R a ... 分極抵抗、 R b ... 流体抵抗、 R 1 ... 抵抗、 C 1 , C 2 , C b , C c ... 容量、 C a ... 分極容量。

10

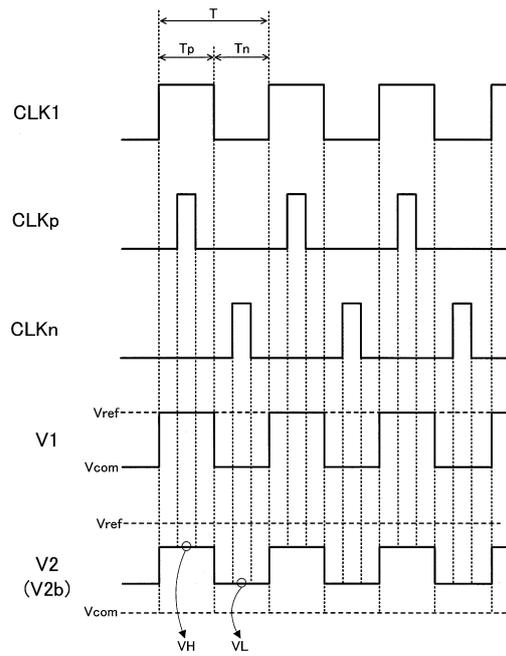
20

30

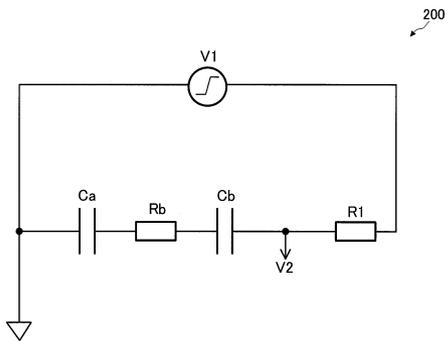
【図1】



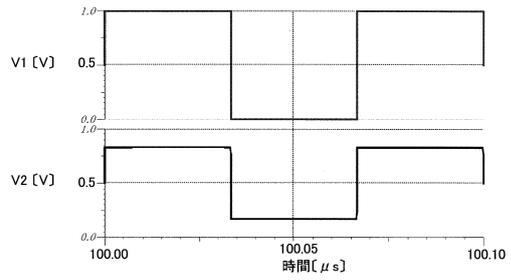
【図2】



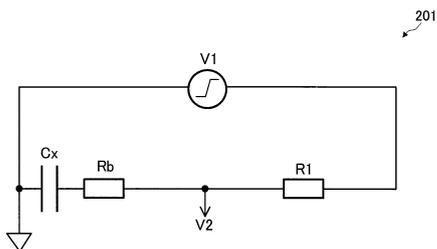
【図3A】



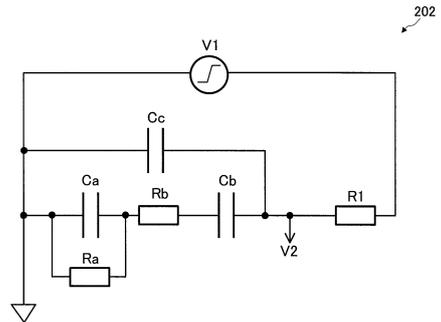
【図4】



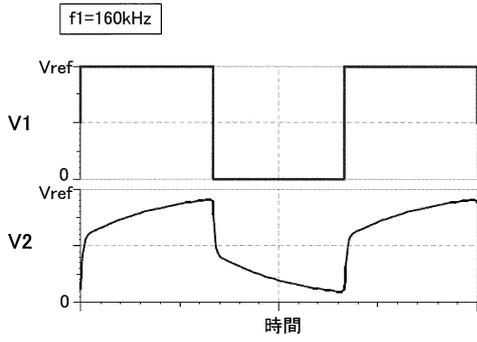
【図3B】



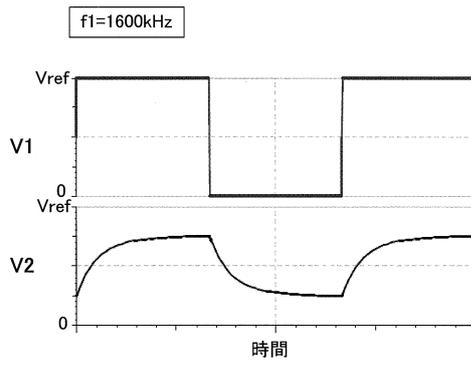
【図5】



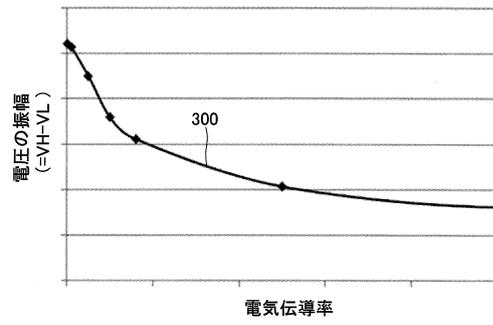
【図6A】



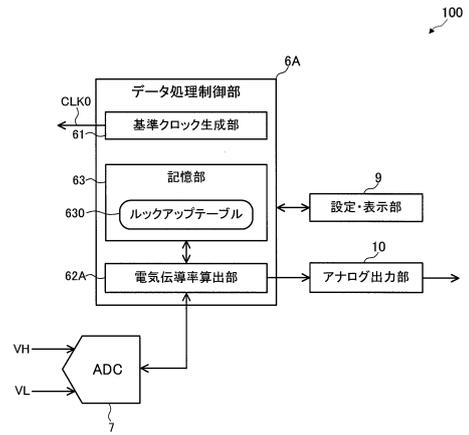
【図6B】



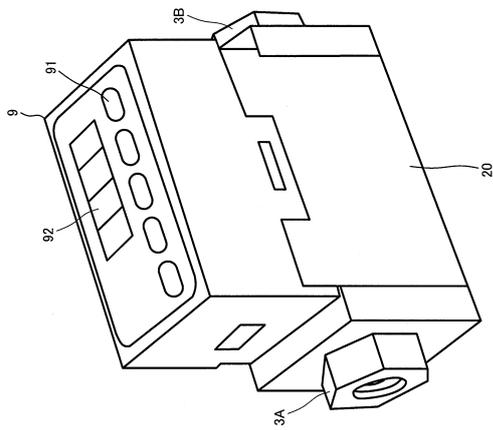
【図7】



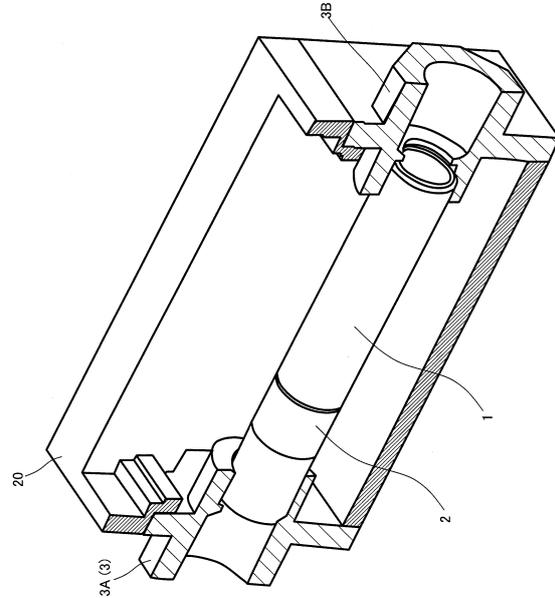
【図8】



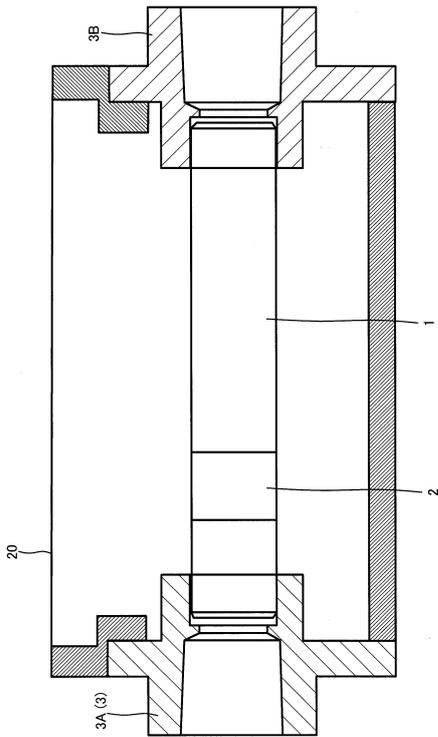
【図9】



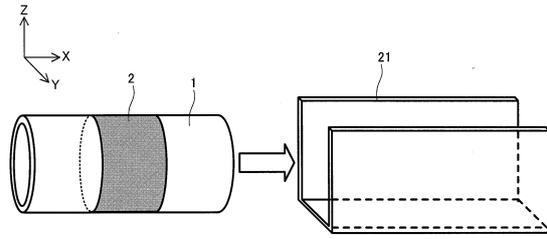
【図10A】



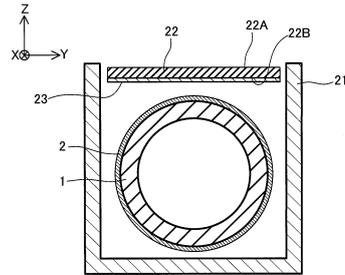
【図10B】



【図11A】



【図11B】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2012-103219(JP,A)
特公平07-015490(JP,B2)
特開昭52-022964(JP,A)
特開昭63-282669(JP,A)
特開2006-317214(JP,A)
特開2005-148007(JP,A)
特開2002-296312(JP,A)
米国特許第05455513(US,A)
中国特許出願公開第103884747(CN,A)
特開2017-35512(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 27/22
G01N 27/06