(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3649457号
(P3649457)
(45)発行日　平成17年5月18日(2005.5.18)　(24)登録日　平成17年2月25日(2005.2.25)

(51)Int.Cl.[7]	F I	
G01R 27/00	G01R 27/00	
G01N 27/02	G01N 27/02	Z
G01N 27/72	G01N 27/72	

請求項の数 9　(全 12 頁)

(21)出願番号　特願平6-172023
(22)出願日　平成6年6月30日(1994.6.30)
(65)公開番号　特開平8-15341
(43)公開日　平成8年1月19日(1996.1.19)
審査請求日　平成13年6月25日(2001.6.25)

(73)特許権者　399117121
アジレント・テクノロジーズ・インク
ＡＧＩＬＥＮＴ　ＴＥＣＨＮＯＬＯＧＩＥＳ，　ＩＮＣ．
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト　ページ・ミル・ロード　３９５
３９５　Ｐａｇｅ　Ｍｉｌｌ　Ｒｏａｄ　Ｐａｌｏ　Ａｌｔｏ，Ｃａｌｉｆｏｒｎｉａ　Ｕ．Ｓ．Ａ．
(74)代理人　100105913
弁理士　加藤　公久
(72)発明者　若松　秀樹
東京都八王子市高倉町９番１号　横河・ヒューレット・パッカード株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】電磁誘導式プローブ、インピーダンス測定装置、校正方法、および、校正用治具

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
静電シールドが施された１次トランスと２次トランスとを備える電磁誘導式プローブであって、
前記１次トランスおよび前記２次トランスは、それぞれ環状コアを有し、それぞれの環状コアの環の中心軸が一致するように配置され、
前記１次トランスの静電シールドおよび前記２次トランスの静電シールドは、前記１次トランスおよび前記２次トランスに対して短絡巻線とならないようにギャップが設けられ、
前記１次トランスのコア、前記２次トランスのコア、前記１次トランスの静電シールド、および、前記２次トランスの静電シールドは、前記２次トランスの環状コアの中心点を通りかつ前記２次トランスの環状コアの中心軸に垂直な平面に対して対称的な構造を有し、
前記１次トランスの引出線の引出位置および前記２次トランスの引出線の引出位置は、前記平面に対して対称的に設けられる、
ことを特徴とする電磁誘導式プローブ。
【請求項２】
前記１次トランスは、それぞれの環状コアの環の中心軸が一致するように配置された同一形状の２つのコアで構成され、
前記２次トランスは、前記１次トランスの間に配置される、

ことを特徴とする請求項１に記載の電磁誘導式プローブ。
【請求項３】
前記１次トランスと前記２次トランスは、それぞれの環状コアの環の中心点が一致するように配置される、
ことを特徴とする請求項１に記載の電磁誘導式プローブ。
【請求項４】
静電シールドが施された１次トランスと２次トランスとを備える電磁誘導式プローブであって、
前記１次トランスおよび前記２次トランスは、それぞれ環状コアを有し、それぞれの環状コアの環の中心軸が一致し、且つ、それぞれの環状コアの環の中心点が一致するように配置され、
前記１次トランスの静電シールドおよび前記２次トランスの静電シールドは、前記１次トランスおよび前記２次トランスに対して短絡巻線とならないようにギャップが設けられ、
前記１次トランスのコア、前記２次トランスのコア、前記１次トランスの静電シールド、および、前記２次トランスの静電シールドは、前記２次トランスの環状コアの中心点を通りかつ前記２次トランスの環状コアの中心軸に垂直な平面に対して対称的な構造を有し、
前記１次トランスの引出線および前記２次トランスの引出線は、同軸ケーブルであって、前記平面に対して互いに反対側に引き出され、さらに、互いにバランの反対側から通して測定器本体に接続され、
前記１次トランスの引出線の外部導体と前記２次トランスの引出線の外部導体は、前記バランの前記測定器側で短絡接続される、
ことを特徴とする電磁誘導式プローブ。
【請求項５】
前記１次トランスは、前記２次トランスの外周に配置され、
前記２次トランスの引出線を前記１次トランスのコアの断面の中心を半径方向に貫通させる、
ことを特徴とする請求項３に記載の電磁誘導式プローブ。
【請求項６】
請求項１から請求項５のいずれかに記載の前記電磁誘導式プローブを使用したことを特徴とする電磁誘導方式インピーダンス測定装置。
【請求項７】
前記１次トランスに第１の巻き線と第２の巻線を設け、
前記２次トランスに第３の巻き線と第４の巻線を設け、
前記第１の巻線に信号を印加し、
前記第２の巻線に生じる信号の振幅を測定し、
前記第３の巻線に生じる信号を増幅し、該増幅した信号を電流計を介して前記４の巻き線に印加し、前記２次トランスのコアの磁束が零になるように帰還させる、
ことを特徴とする請求項６に記載の電磁誘導方式インピーダンス測定装置。
【請求項８】
請求項１から請求項７のいずれかに記載の電磁誘導式プローブを校正する方法であって、
前記電磁誘導式プローブを空気中に置くステップと、
前記電磁誘導式プローブの環状構造と鎖交し１巻する導体を設けるステップと、
既知の抵抗成分が直列接続される導体であって前記電磁誘導式プローブの環状構造と鎖交し１巻する導体を設けるステップと、
を含む電磁誘導式プローブの校正方法。
【請求項９】
請求項１から請求項７のいずれかに記載の電磁誘導式プローブを校正するための治具で

あって、
　前記電磁誘導式プローブの外周を囲み、前記電磁誘導式プローブの環を貫く突起と前記電磁誘導式プローブのケーブルが通る貫通孔と前記電磁誘導式プローブを出し入れするための開閉手段とを具備する導体の箱と、
　同軸コネクタと、
　を備え、
　前記同軸コネクタの内部導体は、前記突起に接続され、
　前記同軸コネクタの外部導体は、前記箱の外周に接続される、
ことを特徴とする校正用治具。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の技術分野】

本発明は一般にインピーダンス測定装置に関し、特にコロイド状態の物質の構造の定量的研究・検査・管理のための電気特性測定分野において用いられる電磁誘導式プローブ及びその校正治具と校正方法に関する。

【０００２】

【従来技術と問題点】

コロイドは、粒子状の分散質と連続相の分散媒からなる分散系であり、分散質と分散媒が均一に混合していない。このような不均質構造の姿を評価する方法として導電率や誘電率などの電気的特性の測定がある。特に近年、インピーダンス測定を利用した誘電率を測定する方法が研究されている。例えば、食品のコロイドの電気的インピーダンスは、純粋な水よりやや大きい静電容量性を示す。この静電容量や周波数特性（周波数分散）から分散質の粒子寸法や密度などのコロイドの構造を知る手がかりを得ている。

従って静電容量測定すなわち誘電率測定が実用化すれば、分散系の安定化の研究や製品品質管理への貢献は大である。

静電容量測定の利点が分かっていても、実際に静電容量測定を実用に供することは困難である。その理由の第一は、特に食品は元が生体であるので、そのコロイド溶液は水性でイオンが多く導電性が大きく、静電容量性が小さいことである。例えば、ある発酵液のコンダクタンスに対するサセプタンス（静電容量性）の大きさは僅かに約５００分の１に過ぎない。この発酵液の発酵菌の菌体数は誘電率に相関がある。そこで発酵の進行とともに変化する静電容量を十分な精度でとらえて発酵を管理するためには少なくとも５０００分の１ｒａｄ程度の分解能が必要であり、また静電容量測定値がコンダクタンスの変化によって乱されないよう正しく分離独立されていなければならない。このためにはインピーダンス測定の位相軸が正しく校正されていなければならない。

従って測定対象であるコロイド溶液を２枚の電極で挟み、これをコンデンサに見立てて静電容量を測定しても、等価的に静電容量に並列に低い抵抗が存在するので、静電容量の測定が困難になるのである。

【０００３】

静電容量測定を実用に供することが困難な第二の理由は、電気化学上の基本的な問題である。これは電極板の界面分極の影響から、コロイド溶液そのものの静電容量のみを分離することが極めて難しいしからである。界面分極は、溶液と電極板の間に発生する一種の接触インピーダンスで主に静電容量である。この界面分極を取り去り溶液正味のインピーダンスのみを正確に測定できれば、その周波数分散よりコロイドの構造に関する定量的情報が得られる。

２電極で溶液の測定を行うと、前述の界面分極が問題になる。界面分極は、一種の接触インピーダンスであるから、４端子測定（４電極法）により容易に解決できそうである。図１０の４端子測定法の原理図を用いて、その動作を述べる。溶液槽２０に満たされたコロイド溶液２１に、電流供給用電極６１と６４を浸し、信号源２から該電極に信号を印加し該溶液２１に交流電流を流し、電流計５で電流の振幅と位相を測定する。一方、電極６１と６４の間に、電位測定用電極６２と６３を浸し、その間の電圧の振幅と位相を電圧計４

で測定する。これらの電圧と電流の測定値の比からインピーダンスが求められる筈である。

【０００４】

しかし、この方法で電圧計４に入力インピーダンス無限大の理想電圧計を用いても、実際の図１０のような電極配置での界面分極の問題の改善は僅かである。その理由を以下に述べる。まず電流供給用電極６１、６４に印加した電圧で発生する電界が、該電極板に平行な面上で等電位であり、それぞれの等電位面上に電位測定用電極６２、６３が挿入されていなければならない。この状態を形成することが非常に困難である。これが実現されないと電位測定用電極６２及び６３の長手方向の位置で電位が異なることになり、電極内で電流の出入りが生じる。また電位測定用電極は有限の太さを有するため、溶液の一部を短絡し電流の出入りが生じる。これらの溶液と電極間の界面を通した電流の出入りは界面分極を生じ、結果的には電圧と電流の比として算出されるインピーダンス値に界面分極的誤差を生じさせてしまう。図１１は、図１０のような界面分極の影響を軽減した４電極法である。図１１で図１０と同様の機能を有する素子には同じ参照番号を付してある。図の溶液槽２０の細い部分が液体電極とも言える働きをし、測定対象の溶液柱に界面分極無しに接触している。しかし、形態から予想されるように、界面分極の影響を減少させることと、溶液柱を正確に測定しようとすることとは必ずしも両立しない。液体分極の部分の延長は、差動電位差検出器である電圧計４に要求される入力インピーダンスや同相除去比を厳しくし、また広い周波数範囲、広い導電率範囲にわたって高い測定精度を得るための校正手続きを複雑にする。その上、洗浄性等の取り扱いの不便さについては言うまでもない。

【０００５】

界面分極の影響を根本的に解決するために、電極と溶液の接触をなくす、すなわち電極を用いない測定原理が考案され、溶液の導電率測定に用いられている。この方法は、電磁誘導によって溶液中に閉路電流を流し、この電流を電磁誘導で計測する方法である。図１２がその原理図で、以下にその動作原理を述べる。

１次コイル１１が巻かれたトロイダルコア１０からなる１次トランスと、２次コイル１３が巻かれたトロイダルコア１２からなる２次トランスが溶液２１に浸されると、溶液がそれぞれのトランスの１巻きのコイルを形成する。従って、信号源２から１次コイル１１に交流電流が流されると電磁誘導によって図示するような閉路電流６５が溶液中を流れる。この閉路電流によりトロイダルコア１２に交流磁束が発生し、２次コイル１３に起電力を生じ電流が流れる。従って、２次コイルに誘起した電圧または２次コイルに流れる電流を測定すれば、閉路電流が求められる。電磁誘導によって発生した閉路電流の大きさは、溶液のアドミタンスに比例するので、閉路電流の測定値から導電率を導出する。この方式は溶液に電流を流す電流源に電極を用いないので界面分極は生じない。

このため電磁誘導法は主に導電率の高い溶液の測定に用いられているが、誘電率の測定すなわち静電容量の測定では実用されていない。これは、静電容量測定に図１２の原理的な構造の検出装置を用いると、望ましくない結合によって測定誤差を生じるためである。その望ましくない結合を図１３に示す。１次コイル１１と２次コイル１３間に静電容量６６による結合があると本来の電磁誘導による閉路電流以外の電流が２次コイルに流れて誤差となる。この静電容量６６は溶液により変化するので校正で補正する事も不可能である。またコイルからの漏れ磁束６７によるコイル間の誘導結合により誤差を生じる。これらにより溶液のコンダクタンス成分に対し小さなサセプタンスを測定することは不可能であった。

【０００６】

【発明の目的】

本発明の目的は、高精度の線形性をもって導電率・誘電率の絶対値定量を可能とする電磁誘導方式導電率・誘電率計のプローブ部の電気的機械的構造と簡便な校正方法について提案するものである。

【０００７】

【発明の概要】

本発明は、電磁誘導以外の原因で溶液伝達経路で生じる静電容量をなくし、また測定系の位相角の分解能を改善して高精度の電磁誘導方式導電率・誘電率計を実現する。その手段を要約すると、１次と２次コイル間の静電シルード、プローブ構造の幾何学的対称化、簡便で高精度な校正方法、である。

【０００８】

【発明の実施例】

本発明では、電磁誘導式プローブを静電容量測定に応用するときの問題点を、前述の手段で解決している。以下に問題点と対策について詳述する。

まず、図１３に示した１次コイル１１と２次コイル１３との間の寄生結合は、静電シールドで取り除く。図４に本発明のプローブ部の基本的構造を示す。同図は、電磁誘導式プローブのトロイダルコアの中心軸を通る平面で切断した断面を示す立体図である。また図４で図１２と同様の機能を有する素子には同じ参照番号を付してある（以降の図でも同様である）。

図の１はインピーダンス測定本体で、その原理のみを示している。測定器本体は、信号源２、抵抗３、電圧計４及び電流計５からなっている。抵抗３は信号源の電流制限抵抗である。

電磁誘導式プローブ８は、１次コイル１１が巻かれたトロイダルコア１０で構成される１次トランスと、２次コイル１３が巻かれたトロイダルコア１２で構成される２次トランスと、シールド１４及び外装樹脂モールド９から構成されている。測定器本体１と電磁誘導式プローブ８はケーブル６及び７を介して互いに接続されている。なお図では単純化のために、コイルは螺旋状に巻かれたように描かれていない。１次コイル１１と２次コイル１３はシールド１４で互いに遮蔽されている。シールド１４は、１次コイル１１と２次コイル１３のそれぞれにショートリングにならないように僅かなギャップ１５がそれぞれに設けてある。この結果寄生静電容量を取り除くことができる。また、漏れ磁束は通常寄生静電容量に比べて小さくできるが、高周波ではシールドで取り除くことができる。また、上記以外の結合として、コア材の磁歪振動によるマイクロホニック結合がある。これを防止するには、図のコアと外装樹脂モールド９との間に適当な緩衝材を入れればよい。

【０００９】

溶液が接地されていないビーカ規模の溶液の測定においては、図４の構造のプローブで問題はない。しかし溶液槽がタンク規模になって溶液が大地に接地されているに近い状態になると新たな問題が生じる。すなわち、図５に示すような電気経路が生じ誤差を発生するのである。

図５のような、２つのコイルを用いるプローブ構造では、１次トランスと２次トランスのシールド構造が各々のトランスのコアの環状の中心点を通り、かつ環状の中心軸に垂直な平面に対して、対称にならない。このため、１次トランスは溶液の平均電位を零から持ち上げてしまう。それは、ケーブル６の外部導体がシールド１４に接続される給電点から見たシールド板の各所に分布する電位と、溶液間の静電容量が前述の対称面に対し釣り合っていないために、同相電圧成分が溶液に対して生じるからである。

溶液が接地されると、前記効果で外部へ通じる電流２３が流れるが、これが２次トランスの左右非対称に錯交すると、その差の量に対応した信号が検出されてしまう。図５では２次トランスも１次トランスと同様シールド構造が対称でない。その結果生じた差動がオフセット静電容量２２として観測されるのである。図５の電流経路２３は、非対称電流の差し引きの経路を示すものである。

このような電位差をもたない給電位置を探すことは不可能ではないだろうが、現実的な解決策は、プローブ構造の対称化である。すなわち、２次トランスのコアの環状の中心点を通り、かつ環状の中心軸に垂直な平面に対し、プローブの構造を対称にすることである。なお、対称化はコア、シールド構造、配線引き出し位置を含めて実施しなければ効果がない。

【００１０】

この実施例を図１、図２及び図３に示す。図１は１次トランスを２つに分割し、その間に

２次トランスを配置した構造である。２次トランスに対して対称にするために、１次トランスの２つのコイルは並列接続されている。シールドのギャップも対称化されている。
図２の実施例は、直径の異なるトロイダルコア１０と１２を同心円状に配置した構造である。対称化のために内側のコイル１３からの引出線は、外側のコア１０の断面の中心を通る半径方向の貫通孔１６を通してプローブの外部へ出されている。
図３の実施例は図２と同様にコアを同心円状に配置した構造である。この実施例は引出線をそれぞれのコアの横から取り出しているため、対称構造がくずれている。この結果生じる電位差をバラン１８で平衡させ、測定する方法である。１次トランスと２次トランスの引出ケーブル６と７を、バラン１８にそれぞれ反対方向から通して測定器本体１に接続し、また２つのケーブルの外部導体をバランの測定器側で短絡線１７で互いに接続している。図示したバランの等価回路１９から分かるように、ケーブル６と７が互いに反対向きに巻かれたトランスに等価であり、短絡線１７により測定器本体側でケーブルの外部導体が同電位になるので平衡がとれるのである。
なお図１、図２及び図３において、１次トランスと２次トランスを互いに入れ替えた構造でも同様の効果が得られることは明らかである。

【００１１】

以上の手段により１次トランスで誘導されて溶液中を流れる電流のみを２次トランスで検出できるようになった。ところで、本発明のプローブは測定器本体１からケーブル６及び７で延長して使用されることと、プローブ自体にも計算しにくい残留誤差があるため、測定系全体を校正する必要がある。
インピーダンス測定装置は、通常３つの既知インピーダンスによって校正されることが知られている。この校正法については特願平５－８５５４５及び特願平５－３５２２１５を参照のこと。
電磁誘導式プローブの校正用の３つの既知インピーダンスとして、溶液を用意することも考えられないことはないが、本発明ではもっと簡便で、正確、安定性のある校正法を提案する。すなわち通常のインピーダンス測定器で測定端子の開放（ＯＰＥＮ）、短絡（ＳＨＯＲＴ）、と既知の抵抗（ＬＯＡＤ）を用いているので、本発明のプローブにこれを適用する提案である。図６に、電磁誘導式プローブに３点校正を適用する原理図を示す。ＯＰＥＮはプローブ８を空気中に置き、ＳＨＯＲＴはプローブ８に１巻きする導体３１を通し、ＬＯＡＤはＳＨＯＲＴの１巻の導体の一部を既知の抵抗３２に置き換えたものである。なおＳＨＯＲＴにおいて、図１等に示す信号源２に過電流が流れないように電流制限抵抗３が信号源に直列に接続されている。

【００１２】

図６の原理に加え、測定系の校正のトレーサビリティと実用上の便宜を考慮した校正治具の実施例の基本構造を図７に示す。
同図は校正治具にプローブ８を納めた状態を示し、プローブ８のコアの中心軸を通る平面で切断した断面図である。導電性材料からなる治具本体４１がプローブ８の外周を囲んでいる。そして治具本体４１の内側の突起４２がプローブの内側の穴を通り、同軸コネクタの内部導体４３に接続している。治具本体４１の外周は同軸コネクタの外部導体４４に接続している。またプローブのケーブル６と７が通る開口部４５が設けられている。この構造でプローブを納めて、同軸コネクタに抵抗器を接続すればＬＯＡＤの状態になる。短絡板で同軸コネクタを短絡すればＳＨＯＲＴの状態になる。
この治具にプローブを出し入れするためには、治具本体を分割・合体する適宜な手段を適宜な部位に設ければよい。
このように、本発明の実施例の治具は、同軸コネクタで標準器と接続できるため、容易にトレーサビリティが得られる。
また測定したインピーダンス値から誘電率・導電率への変換の乗数、すなわちプローブ寸法固有の変換係数は、プローブの開発段階で一度だけ求める作業をすればよい不変の乗数である。それは、プローブは型による成形を行えば、寸法に大きなばらつきがないからである。そして、寸法のプローブ個体差は主に測定値の振幅の誤差を与えることになるが、

僅かな静電容量を精度よく測定するために重要なのは、位相の精度であり振幅精度ではないからである。位相精度は校正のＬＯＡＤの抵抗とインダクタンス成分できまるが、これも極めて安定なものを作り得ることは周知のことである。

【００１３】

図８に本発明の基本原理とその等価回路を示す。溶液の部分は、電磁誘導で生じた閉路電流６５に測定対象のインピーダンス５１が負荷されているとみなすことができる。従って等価回路を図のように表すことができる。コイルや測定ケーブルには直流抵抗（Ｒｌ１とＲｌ２）と漏れインダクタンス（Ｌｌ１とＬｌ２）があるため、コアの励磁インピーダンスすなわち励磁抵抗（Ｒｅ１とＲｅ２）と励磁インダクタンス（Ｌｅ１とＬｅ２）が校正後に温度等で変化すると、１次側で分圧誤差が、２次側で分流誤差が生じる。

この影響を解決する方法を図９に示す。図のように１次、２次それぞれのコイルを２つ設ける。そして１次トランスの励磁用コイル５２を抵抗３を介して信号源２に、電圧検出用コイル５３を電圧計４に接続する。２次トランスの電流検出用コイル５４を電流計５の一端と接地端に、磁束検出用コイル５５を反転増幅器５６の入力に、反転増幅器の出力を電流計５の他端に接続する。この構成によれば、コア１０の正味の磁束に比例した電圧が電圧計４で検出される。また２次トランスのコア１２の磁束が零になるよう帰還がかかるので、電流がすべて電流計５に流れる。従って、温度等の変化に対して安定になる。この方法は、前記図１、図２及び図３の実施例に適用できることは言うまでもない。なお、抵抗３は、前述のように校正のＳＨＯＲＴにおいて、信号源２に過電流が流れないように電流を制限する他に次の効果がある。図９の回路で測定インピーダンスが小さいとき、この系の利得が大きくなる。そのとき系が不安定になるのを防ぐのである。以上に本発明の実施例を示したが、例示の様式、部分形、配置、その他に限定するものでなく、必要に応じて本発明の要旨を失うことなく構成の変形も許容される。

また本発明は、液体の測定だけではなく、回路を切断せずに測定するいわゆるクランプ式のインピーダンス測定器にも有効である。

【００１４】

【発明の効果】

本発明によれば、界面分極を解決しコロイド溶液の僅かな静電容量を正確に測定できるようになり、また抵抗成分もより高精度に測定でき、従来の方法に比べて実用に供して有益である。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の第１の実施例を示す図である。

【図２】本発明の第２の実施例を示す図である。

【図３】本発明の第３の実施例を示す図である。

【図４】本発明の実施例の基本構造を示す図である。

【図５】基本構造の非対称性によるオフセット発生を示す図である。

【図６】電磁誘導式プローブに３点校正を適用する原理図である。

【図７】本発明の校正治具の基本構造を示す図である。

【図８】本発明の実施例の等価回路を示す図である。

【図９】本発明の２巻線によるコア定数の安定化示す図である。

【図１０】溶液の４端子測定を示す図である。

【図１１】溶液の４端子測定の改良型を示す図である。

【図１２】電磁誘導式導電率計の原理を示す図である。

【図１３】電磁誘導式導電率計の寄生結合を示す図である。

【符号の説明】

１：インピーダンス測定器本体

２：信号源

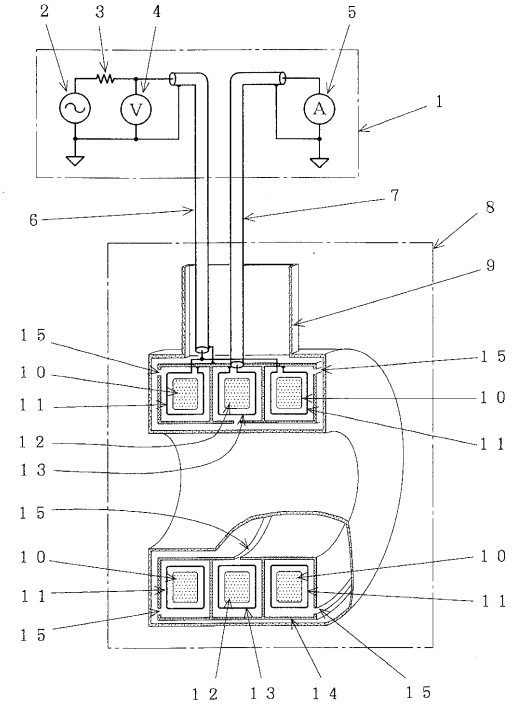
３：抵抗

４：電圧計

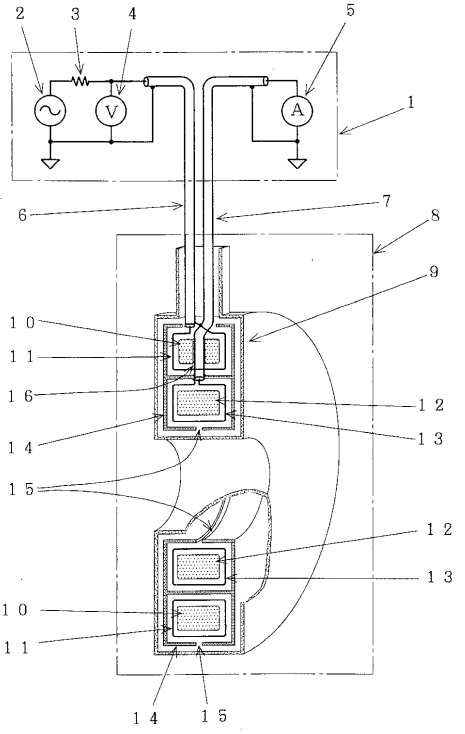
５：電流計

６：同軸ケーブル
７：同軸ケーブル
８：電磁誘導式プローブ
９：外装樹脂モールド
１０：１次トロイダルコア
１１：１次コイル
１２：２次トロイダルコア
１３：２次コイル
１４：シールド
１５：ギャップ
１６：コアの貫通孔
１７：短絡線
１８：バラン
１９：バランの等価回路
２０：溶液槽
２１：コロイド溶液
２２：オフセット静電容量
２３：オフッセト静電容量を発生させる電流経路
３１：校正用ＳＨＯＲＴ
３２：校正用ＬＯＡＤの抵抗
４１：校正治具本体
４２：内部突起
４３：同軸コネクタの内部導体
４４：同軸コネクタの外部導体
４５：開口部
５１：コロイド溶液のインピーダンス
５２：１次コイル（励磁用）
５３：１次コイル（電圧検出用）
５４：２次コイル（電流検出用）
５５：２次コイル（磁束検出用）
５６：反転増幅器
６１：電流供給用電極
６２：電位測定用電極
６３：電位測定用電極
６４：電流供給用電極
６５：電磁誘導で生じた閉路電流
６６：寄生静電容量
６７：漏れ磁束
Ｌｅ１、Ｌｅ２：励磁インダクタンス
Ｌｌ１、Ｌｌ２：漏れインダクタンス及びケーブルインダクタンス
Ｒｅ１、Ｒｅ２：励磁抵抗
Ｒｌ１、Ｒｌ２：コイル抵抗及びケーブル導線抵抗

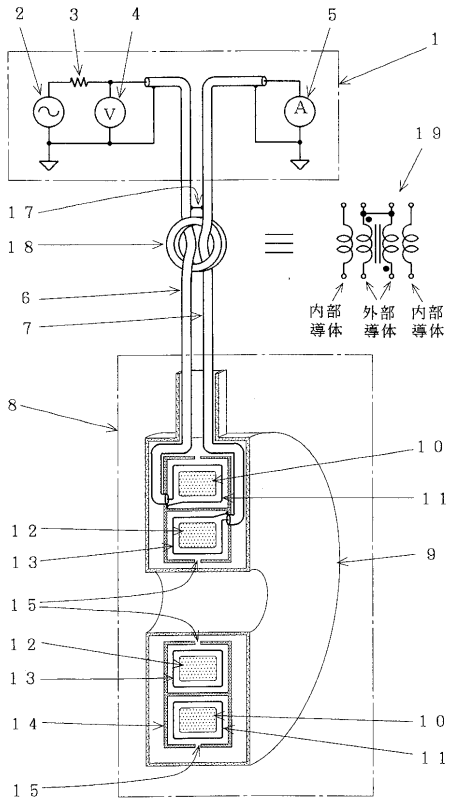
【図１】


2
3
4
5
V
A
1
6
7
8
9
１５
１０
１１
１２
１３
１４

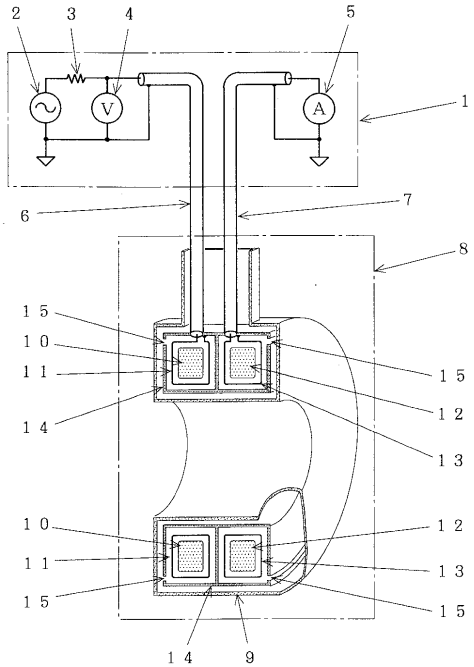
【図２】


2
3
4
5
V
A
1
6
7
8
9
１０
１１
１６
１２
１３
１４
１５

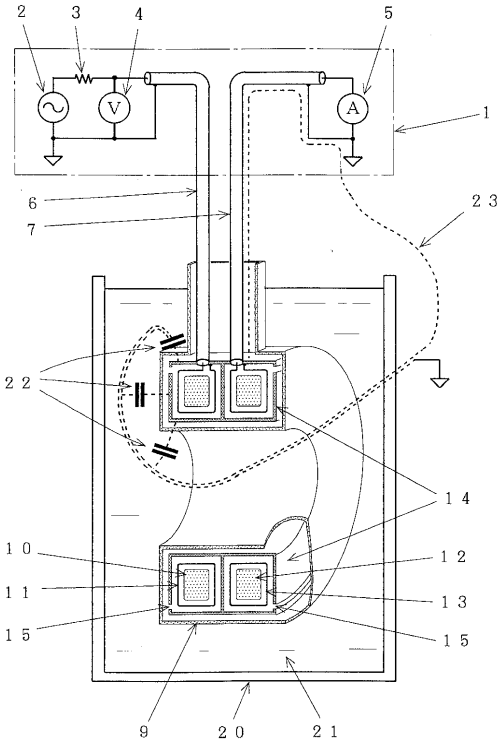
【図３】


2
3
4
5
V
A
1
１９
１７
１８
6
7
8
内部導体
外部導体
内部導体
１０
１１
１２
１３
９
１５
１４

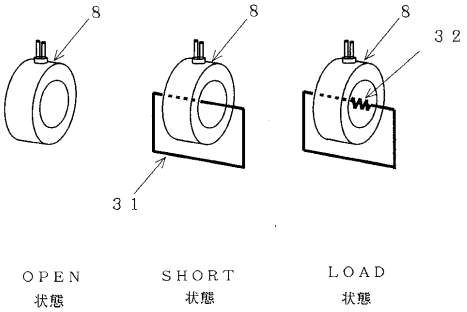
【図４】


2
3
4
5
V
A
1
6
7
8
１５
１０
１１
１４
１２
１３
９

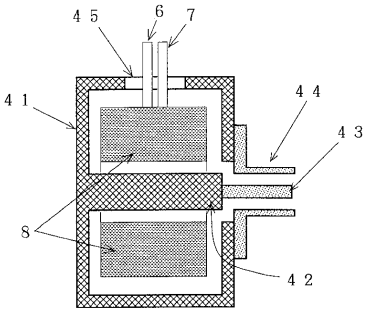
【図５】


2
3
4
5
V
A
1
6
7
23
22
14
10
12
11
13
15
9
20
21

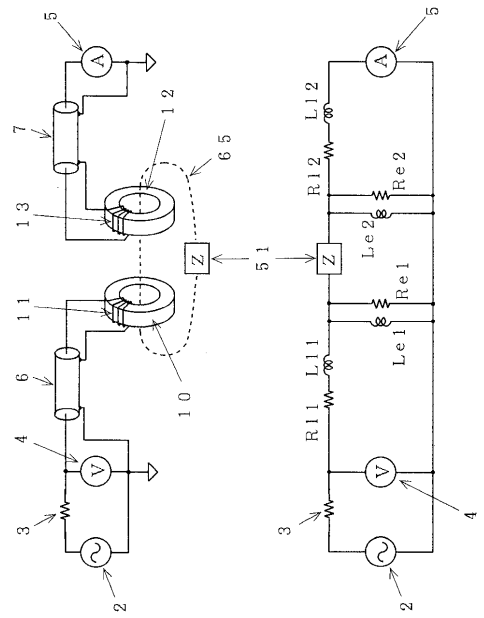
【図６】


8
8
8
32
31
OPEN
状態
SHORT
状態
LOAD
状態

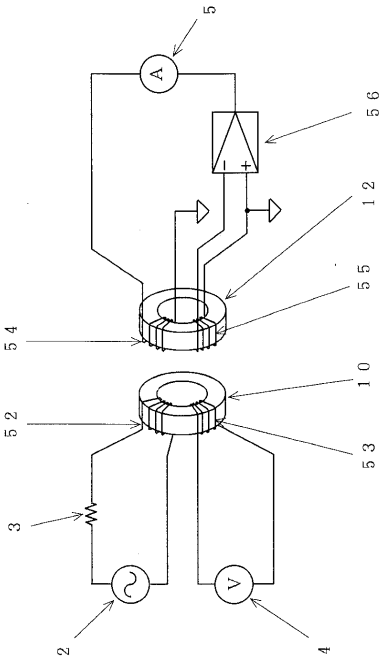
【図７】


45
6
7
41
44
43
8
42

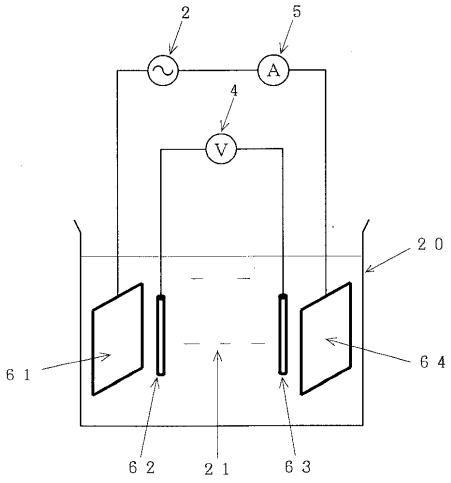
【図８】


5
A
12
7
65
13
Z
51
11
10
6
4
V
3
2
L12
R12
Re2
Le2
Re1
Le1
L11
R11

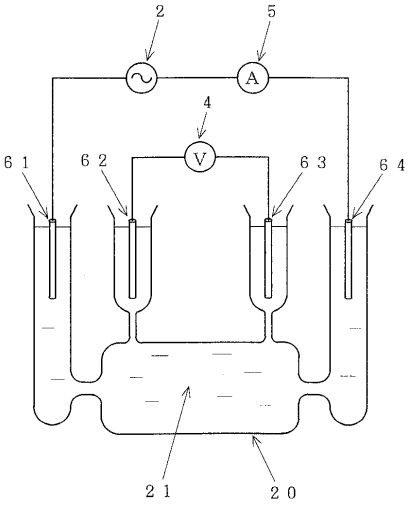
【図９】


5
A
56
12
55
54
10
52
53
3
V
2
4

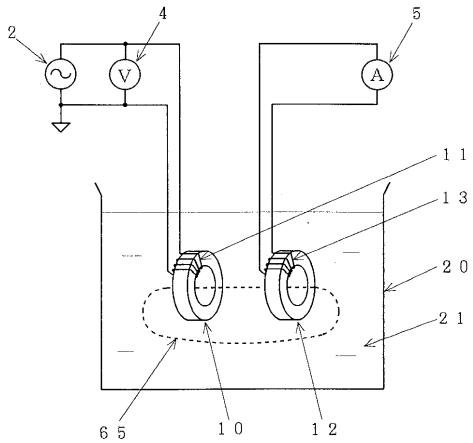
【図１０】



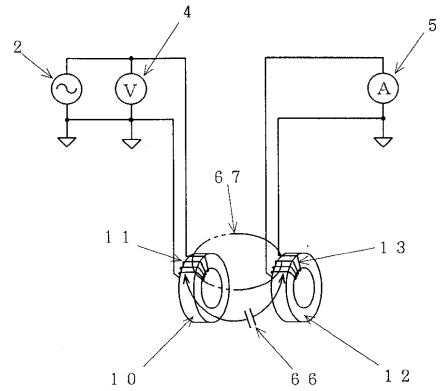
【図１１】



【図１２】



【図１３】



フロントページの続き

審査官　越川　康弘

(56)参考文献　特開昭５６－１０７１６９（ＪＰ，Ａ）
特開昭４９－１０７５７４（ＪＰ，Ａ）
実公昭４０－０１５６８０（ＪＰ，Ｙ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G01R 27/00-27/32
G01N 27/72