

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第5777600号
(P5777600)

(45) 発行日 平成27年9月9日(2015.9.9)

(24) 登録日 平成27年7月17日(2015.7.17)

(51) Int.Cl.
GO 1 R 15/06 (2006.01)

F I
GO 1 R 15/06 A

請求項の数 7 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2012-275916 (P2012-275916)	(73) 特許権者	000004226
(22) 出願日	平成24年12月18日 (2012.12.18)		日本電信電話株式会社
(65) 公開番号	特開2014-119384 (P2014-119384A)		東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(43) 公開日	平成26年6月30日 (2014.6.30)	(74) 代理人	100127535
審査請求日	平成25年8月29日 (2013.8.29)		弁理士 豊田 義元
前置審査		(74) 代理人	100159190
			弁理士 渡部 比呂志
		(72) 発明者	鈴木 康直
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
			本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	香西 将樹
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
			本電信電話株式会社内
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 非接触電圧測定プローブ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

2本の電線の線間に加わる交流電圧波形を測定するための非接触電圧測定プローブであって、

第1の電線を囲む円筒形の第1の電極であって、前記第1の電線とは電氣的に接続しないよう設置した第1の電極と、

第2の電線を囲む円筒形の第2の電極であって、前記第2の電線とは電氣的に接続しないように設置した第2の電極と、

前記第1の電極と前記第2の電極との間の電圧を測定する電圧測定器と、

前記第1の電極の外側を囲む円筒形の第1のシールド電極であって、前記第1の電線および前記第1の電極と電氣的に接続しないように設置した第1のシールド電極と、

前記第1のシールド電極と前記第2の電極とを電氣的に接続する手段と、

を備え、

前記電圧測定器によって測定された電圧が、前記第1の電線と前記第2の電線との間に生じる電圧が前記第1の電線と前記第1の電極との間の静電容量C1と、前記第2の電線と前記第2の電極との間の静電容量C2と、前記電圧測定器の入力容量Cpおよび入力抵抗Rpが並列接続された入力インピーダンスとが直列に接続された回路によって分圧された結果であることに基づき、前記第1の電極と前記第2の電極との間に生じる電圧を検出することによって、前記第1の電線と前記第2の電線との間の交流電圧波形を間接的に測定することを特徴とする非接触電圧測定プローブ。

10

20

【請求項 2】

2本の電線の線間に加わる交流電圧波形を測定するための非接触電圧測定プローブであって、

第1の電線を囲む円筒形の第1の電極であって、前記第1の電線とは電氣的に接続しないよう設置した第1の電極と、

第2の電線を囲む円筒形の第2の電極であって、前記第2の電線とは電氣的に接続しないように設置した第2の電極と、

前記第1の電極と前記第2の電極との間の電圧を測定する電圧測定器と、

前記第1の電極の外側を囲む円筒形の第1のシールド電極であって、前記第1の電線および前記第1の電極と電氣的に接続しないように設置した第1のシールド電極と、

前記第2の電極の外側を囲む円筒形の第2のシールド電極であって、前記第2の電線および前記第2の電極と電氣的に接続しないように設置した第2のシールド電極と、

前記第1のシールド電極と前記第2のシールド電極とを電氣的に接続する手段と、を備え、

前記電圧測定器によって測定された電圧が、前記第1の電線と前記第2の電線との間に生じる電圧が前記第1の電線と前記第1の電極との間の静電容量 C_1 と、前記第2の電線と前記第2の電極との間の静電容量 C_2 と、前記電圧測定器の入力容量 C_p および入力抵抗 R_p が並列接続された入力インピーダンスとが直列に接続された回路によって分圧された結果であることに基づき、前記第1の電極と前記第2の電極との間に生じる電圧を検出することによって、前記第1の電線と前記第2の電線との間の交流電圧波形を間接的に測定することを特徴とする非接触電圧測定プローブ。

【請求項 3】

2本の電線の線間に加わる交流電圧を測定するための非接触電圧測定プローブであって、

第1の電線を囲む円筒形の第1の電極であって、前記第1の電線とは電氣的に接続しないよう設置した第1の電極と、

第2の電線を囲む円筒形の第2の電極であって、前記第2の電線とは電氣的に接続しないように設置した第2の電極と、

前記第1の電極の外側を囲む円筒形の第1のシールド電極であって、前記第1の電線および前記第1の電極と電氣的に接続しないように設置した第1のシールド電極と、

前記第2の電極の外側を囲む円筒形の第2のシールド電極であって、前記第2の電線および前記第2の電極と電氣的に接続しないように設置した第2のシールド電極と、

前記第1のシールド電極と前記第2のシールド電極とを電氣的に接続する手段と、

前記第1の電極と前記第1のシールド電極との間の電圧を測定する第1の電圧測定器と

前記第2の電極と前記第2のシールド電極との間の電圧を測定する第2の電圧測定器と

を備え、

前記第1の電圧測定器により測定した電圧と前記第2の電圧測定器により測定した電圧との差分が、前記第1の電線と前記第2の電線との間に生じる電圧が前記第1の電線と前記第1の電極との間の静電容量 C_1 と、前記第2の電線と前記第2の電極との間の静電容量 C_2 と、前記第1の電圧測定器の入力容量 C_{p1} および入力抵抗 R_{p1} が並列接続された第1の入力インピーダンスと、前記第2の電圧測定器の入力容量 C_{p2} および入力抵抗 R_{p2} が並列接続された第2の入力インピーダンスとが直列に接続された回路によって分圧された結果であることに基づき、前記第1の電線と前記第2の電線との間の交流電圧波形を間接的に測定することを特徴とする非接触電圧測定プローブ。

【請求項 4】

前記第 1 の電線と前記第 1 の電極との間の静電容量を C_{10} 、前記第 1 の電極と前記第 1 のシールド電極との間の静電容量を C_{11} 、前記第 2 の電線と前記第 2 の電極との間の静電容量を C_{20} 、前記第 2 の電極と前記第 2 のシールド電極との間の静電容量を C_{21} としたとき、それらが

$$C_{10} / C_{11} = C_{20} / C_{21}$$

の関係を満たすよう構成されたことを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の非接触電圧測定プローブ。

【請求項 5】

前記電圧測定器は、出力インピーダンスが入力インピーダンスよりも低くなるよう構成されたバッファ回路を備えたことを特徴とする請求項 3 に記載の非接触電圧測定プローブ。

10

【請求項 6】

前記電圧測定器の出力信号から所望の周波数帯域より高い周波数成分を除去するローパスフィルタを備えたことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の非接触電圧測定プローブ。

【請求項 7】

第 1 の電線を囲む円筒形の第 1 の電極であって、前記第 1 の電線とは電氣的に接続しないよう設置した第 1 の電極と、

20

第 2 の電線を囲む円筒形の第 2 の電極であって、前記第 2 の電線とは電氣的に接続しないように設置した第 2 の電極と、

前記第 1 の電極の外側を囲む円筒形の第 1 のシールド電極であって、前記第 1 の電線および前記第 1 の電極と電氣的に接続しないように設置した第 1 のシールド電極と、

前記第 2 の電極の外側を囲む円筒形の第 2 のシールド電極であって、前記第 2 の電線および前記第 2 の電極と電氣的に接続しないように設置した第 2 のシールド電極と、

前記第 1 のシールド電極と前記第 2 のシールド電極とを電氣的に接続する手段と、

前記第 1 の電極と前記第 1 のシールド電極との間の電圧を測定する第 1 の電圧測定器と

30

、
前記第 2 の電極と前記第 2 のシールド電極との間の電圧を測定する第 2 の電圧測定器とを備えた非接触電圧測定プローブを用いて、

2 本の電線の線間に加わる交流電圧を測定するための非接触電圧測定方法であって、

前記第 1 の電圧測定器により測定した電圧と前記第 2 の電圧測定器により測定した電圧との差分が、前記第 1 の電線と前記第 2 の電線との間に生じる電圧が前記第 1 の電線と前記第 1 の電極との間の静電容量 C_1 と、前記第 2 の電線と前記第 2 の電極との間の静電容量 C_2 と、前記第 1 の電圧測定器の入力容量 C_{p1} および入力抵抗 R_{p1} が並列接続された第 1 の入力インピーダンスと、前記第 2 の電圧測定器の入力容量 C_{p2} および入力抵抗 R_{p2} が並列接続された第 2 の入力インピーダンスとが直列に接続された回路によって分圧された結果であることに基づき、前記第 1 の電線と前記第 2 の電線との間の交流電圧波形を間接的に測定することを特徴とする非接触電圧測定方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、2 本の電線の線間に加わる交流電圧波形を、それらの芯線に電氣的に接触することなく、非接触で測定する非接触電圧測定プローブに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、電力利用の効率化や省エネの観点から、一般家庭やオフィス等の電力需要家の宅

50

内に電力センサを設置し、電力の効率的利用や電気機器の遠隔制御を図るH E M S (H o m e E n e r g y M a n a g e m e n t S y s t e m) や、電力網の制御を行うスマートグリッド技術に関する開発、検討が進んでいる。一般に、H E M S 等に使用する電力センサは、家庭内の分電盤や個々の家電機器に設置されるが、消費電力の正確な測定には、少なくとも商用電源の1周期分の電流波形と電圧波形が必要である。

【0003】

電力線を流れる電流を非接触で測定する手段としては、トランスの原理を用いた電流プローブや、ホール素子などの磁気検出素子を用いた電流センサが知られており、H E M S 用のセンサとして実用化されている。

【0004】

一方、2線間の電力をモニタするには、直接2つの電源線に接触して電圧を測定できれば正確な電圧波形が得られるが、既存の分電盤などに新たなセンサを取り付けたい場合など、直接電源線に接触する工事を行うためには電気工事士の資格が必要であったり、また安全のためには一旦通電を停止してから工事を行う必要があったりするなど、実際上の制約や負担が大きく、センサ導入の障壁となっている。

【0005】

実際には電流値のみをモニタし、電圧は正弦波で近似して電力を算出することが行われている場合もあるが、商用電源の電圧波形は歪んで正弦波と異なる波形となっていることも多く、また電流波形は電圧波形と同期した形で電力を計算しないと精度の良い電力値が得られないことから、少なくとも電圧のゼロクロス点等の同期タイミングを検出できるこ

【0006】

以上のようなことから、電源線等に非接触で電圧波形の取得が可能な手段が必要とされている。

【0007】

非接触で電圧を測定する従来の手段としては、容量結合の原理を利用した容量性電圧プローブ(非特許文献1)が知られている。容量性電圧プローブは、電力線や通信線に重畳されているコモンモード電圧(対象の電線と大地間に生じた電圧)を測定するのに適した手段であり、E M C に関連した妨害波測定等に用いられている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】小林、田島、広島、桑原、服部、「容量性電圧プローブの開発とその特性」、社団法人電子情報通信学会、1998年、電子情報通信学会技術報告、E M C J 98-25(1998-06)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、この容量性電圧プローブは、2線間の電圧を非接触で測定する用途に適用できる形態になってはいないという課題がある。

【0010】

また、非接触で交流電圧を測定する別の手段として、容量結合を用いて検知した誘導電圧の測定結果から基準電圧を算出し、その基準電圧をセンサにフィードバックし、フィードバック利得を変化させることで電圧値を測定する方法が知られている。このような方法は、電圧測定のばらつきは少なくなるものの、可変容量回路や発振回路を用いた基準電圧生成手段やフィードバック回路が必要となり、回路規模や消費電力が増加すると共に、センサ自体も大きくなるという課題がある。

【0011】

また、電線の近傍に電界強度に応じて光学特性が変化する材料を配置し、光の特性を利用して電圧計測を行う方法もあるが、光の送受信装置が必要となることから、大きさやコ

10

20

30

40

50

ストが大きくなるという課題がある。

【 0 0 1 2 】

上記のように、従来、2線間の交流電圧波形を非接触で測定する簡易な手段が存在せず、電力の精度の良いセンシングや高電圧の安全な測定に支障をきたしていた。

【 0 0 1 3 】

本発明は、このような課題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、簡単な非接触なセンサ構成で2線間の電圧波形を測定する非接触電圧測定プローブを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 4 】

上記課題を解決するために、本発明は、2本の電線の線間に加わる交流電圧波形を測定するための非接触電圧測定プローブであって、第1の電線を囲む円筒形の第1の電極であって、前記第1の電線とは電氣的に接続しないよう設置した第1の電極と、第2の電線を囲む円筒形の第2の電極であって、前記第2の電線とは電氣的に接続しないように設置した第2の電極と、前記第1の電極と前記第2の電極との間の電圧を測定する電圧測定器と、前記第1の電極の外側を囲む円筒形の第1のシールド電極であって、前記第1の電線および前記第1の電極と電氣的に接続しないように設置した第1のシールド電極と、前記第1のシールド電極と前記第2の電極とを電氣的に接続する手段と、を備え、前記電圧測定器によって測定された電圧が、前記第1の電線と前記第2の電線との間に生じる電圧が前記第1の電線と前記第1の電極との間の静電容量 C_1 と、前記第2の電線と前記第2の電極との間の静電容量 C_2 と、前記電圧測定器の入力容量 C_p および入力抵抗 R_p が並列接続された入力インピーダンスとが直列に接続された回路によって分圧された結果であることに基づき、前記第1の電極と前記第2の電極との間に生じる電圧を検出することによって、前記第1の電線と前記第2の電線との間の交流電圧波形を間接的に測定することを特徴とする。

【 0 0 1 5 】

請求項2に記載の発明は、2本の電線の線間に加わる交流電圧波形を測定するための非接触電圧測定プローブであって、第1の電線を囲む円筒形の第1の電極であって、前記第1の電線とは電氣的に接続しないよう設置した第1の電極と、第2の電線を囲む円筒形の第2の電極であって、前記第2の電線とは電氣的に接続しないように設置した第2の電極と、前記第1の電極と前記第2の電極との間の電圧を測定する電圧測定器と、前記第1の電極の外側を囲む円筒形の第1のシールド電極であって、前記第1の電線および前記第1の電極と電氣的に接続しないように設置した第1のシールド電極と、前記第2の電極の外側を囲む円筒形の第2のシールド電極であって、前記第2の電線および前記第2の電極と電氣的に接続しないように設置した第2のシールド電極と、前記第1のシールド電極と前記第2のシールド電極とを電氣的に接続する手段と、を備え、前記電圧測定器によって測定された電圧が、前記第1の電線と前記第2の電線との間に生じる電圧が前記第1の電線と前記第1の電極との間の静電容量 C_1 と、前記第2の電線と前記第2の電極との間の静電容量 C_2 と、前記電圧測定器の入力容量 C_p および入力抵抗 R_p が並列接続された入力インピーダンスとが直列に接続された回路によって分圧された結果であることに基づき、前記第1の電極と前記第2の電極との間に生じる電圧を検出することによって、前記第1の電線と前記第2の電線との間の交流電圧波形を間接的に測定することを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

請求項3に記載の発明は、2本の電線の線間に加わる交流電圧を測定するための非接触電圧測定プローブであって、第1の電線を囲む円筒形の第1の電極であって、前記第1の電線とは電氣的に接続しないよう設置した第1の電極と、第2の電線を囲む円筒形の第2の電極であって、前記第2の電線とは電氣的に接続しないように設置した第2の電極と、前記第1の電極の外側を囲む円筒形の第1のシールド電極であって、前記第1の電線およ

10

20

30

40

50

び前記第 1 の電極と電氣的に接続しないように設置した第 1 のシールド電極と、前記第 2 の電極の外側を囲む円筒形の第 2 のシールド電極であって、前記第 2 の電線および前記第 2 の電極と電氣的に接続しないように設置した第 2 のシールド電極と、前記第 1 のシールド電極と前記第 2 のシールド電極とを電氣的に接続する手段と、前記第 1 の電極と前記第 1 のシールド電極との間の電圧を測定する第 1 の電圧測定器と、前記第 2 の電極と前記第 2 のシールド電極との間の電圧を測定する第 2 の電圧測定器と、を備え、前記第 1 の電圧測定器により測定した電圧と前記第 2 の電圧測定器により測定した電圧との差分が、前記第 1 の電線と前記第 2 の電線との間に生じる電圧が前記第 1 の電線と前記第 1 の電極との間の静電容量 C_1 と、前記第 2 の電線と前記第 2 の電極との間の静電容量 C_2 と、前記第 1 の電圧測定器の入力容量 C_{p1} および入力抵抗 R_{p1} が並列接続された第 1 の入力インピーダンスと、前記第 2 の電圧測定器の入力容量 C_{p2} および入力抵抗 R_{p2} が並列接続された第 2 の入力インピーダンスとが直列に接続された回路によって分圧された結果であることに基づき、前記第 1 の電線と前記第 2 の電線との間の交流電圧波形を間接的に測定することを特徴とする。

10

【0018】

請求項 4 に記載の発明は、請求項 2 又は 3 に記載の非接触電圧測定プローブにおいて、前記第 1 の電線と前記第 1 の電極との間の静電容量を C_{10} 、前記第 1 の電極と前記第 1 のシールド電極との間の静電容量を C_{11} 、前記第 2 の電線と前記第 2 の電極との間の静電容量を C_{20} 、前記第 2 の電極と前記第 2 のシールド電極との間の静電容量を C_{21} としたとき、それらが $C_{10} / C_{11} = C_{20} / C_{21}$ の関係を満たすよう構成されたことを特徴とする。

20

【0019】

請求項 5 に記載の発明は、請求項 3 に記載の非接触電圧測定プローブにおいて、前記電圧測定器は、出力インピーダンスが入力インピーダンスよりも低くなるよう構成されたバッファ回路を備えたことを特徴とする。

【0020】

請求項 6 に記載の発明は、請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の非接触電圧測定プローブにおいて、前記電圧測定器の出力信号から所望の周波数帯域より高い周波数成分を除去するローパスフィルタを備えたことを特徴とする。

30

請求項 7 に記載の発明は、第 1 の電線を囲む円筒形の第 1 の電極であって、前記第 1 の電線とは電氣的に接続しないよう設置した第 1 の電極と、第 2 の電線を囲む円筒形の第 2 の電極であって、前記第 2 の電線とは電氣的に接続しないように設置した第 2 の電極と、前記第 1 の電極の外側を囲む円筒形の第 1 のシールド電極であって、前記第 1 の電線および前記第 1 の電極と電氣的に接続しないように設置した第 1 のシールド電極と、前記第 2 の電極の外側を囲む円筒形の第 2 のシールド電極であって、前記第 2 の電線および前記第 2 の電極と電氣的に接続しないように設置した第 2 のシールド電極と、前記第 1 のシールド電極と前記第 2 のシールド電極とを電氣的に接続する手段と、前記第 1 の電極と前記第 1 のシールド電極との間の電圧を測定する第 1 の電圧測定器と、前記第 2 の電極と前記第 2 のシールド電極との間の電圧を測定する第 2 の電圧測定器とを備えた非接触電圧測定プローブを用いて、2 本の電線の線間に加わる交流電圧を測定するための非接触電圧測定方法であって、前記第 1 の電圧測定器により測定した電圧と前記第 2 の電圧測定器により測定した電圧との差分が、前記第 1 の電線と前記第 2 の電線との間に生じる電圧が前記第 1 の電線と前記第 1 の電極との間の静電容量 C_1 と、前記第 2 の電線と前記第 2 の電極との間の静電容量 C_2 と、前記第 1 の電圧測定器の入力容量 C_{p1} および入力抵抗 R_{p1} が並列接続された第 1 の入力インピーダンスと、前記第 2 の電圧測定器の入力容量 C_{p2} および入力抵抗 R_{p2} が並列接続された第 2 の入力インピーダンスとが直列に接続された回路によって分圧された結果であることに基づき、前記第 1 の電線と前記第 2 の電線との間の

40

50

交流電圧波形を間接的に測定することを特徴とする。

【発明の効果】

【0021】

本発明は、簡単な非接触なセンサ構成で2線間の電圧波形を測定可能にする効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】(a)は、本発明の実施形態1に係る非接触電圧測定プローブの基本構成の模式図であり、(b)は、その原理を説明する図である。

10

【図2】本発明の実施形態1に係る非接触電圧測定プローブの周波数特性を測定した結果を示す図である。

【図3】本発明の実施形態2に係る非接触電圧測定プローブの構成図である。

【図4】本発明の実施形態2に係る非接触電圧測定プローブの等価回路を示す図である。

【図5】本発明の実施形態3に係る非接触電圧測定プローブの構成図である。

【図6】本発明の実施形態3に係る非接触電圧測定プローブの等価回路を示す図である。

【図7】本発明の実施形態3に係る非接触電圧測定プローブの、入力抵抗 R_p 、入力容量 C_p 、および電圧源 V_o を省略し、簡略化した等価回路を示す図である。

【図8】本発明の実施形態4に係る非接触電圧測定プローブの構成図である。

【図9】本発明の実施形態4に係る非接触電圧測定プローブの等価回路を示す図である。

20

【図10】本発明の実施形態4に係る非接触電圧測定プローブにおいて、シールドケーブルを用いて系全体のシールド効果を高めた構成例を示す構成図である。

【図11】本発明の実施形態5に係る非接触電圧測定プローブの構成図である。

【図12】本発明の実施形態6に係る非接触電圧測定プローブの構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

上記に述べた課題を解決するため、本発明の非接触電圧測定プローブにおいては、2本の電線のそれぞれを取り囲むように設置した、2つの円筒状の電極を用いて、それらの電極間に生じる静電誘導電圧を測定することにより、上記電線の線間に加わる交流電圧波形を間接的に測定するものである。静電結合を利用した測定を行うため、電線に電氣的に接

30

【0024】

以下、本発明の実施の形態について、詳細に説明する。

【0025】

(実施形態1)

図1(a)に、本発明の実施形態1に係る非接触電圧測定プローブの基本構成の模式図を示し、図1(b)に、その原理を説明する図を示す。

【0026】

本発明の非接触電圧測定プローブの基本構成は、図1(a)に示すように、測定対象の2本の電線 L_1 、 L_2 のそれぞれを取り囲み、またそれぞれの電線と中心軸がほぼ一致する状態で、円筒形をした電極101、電極102をそれぞれ設けたものである。この電極101と電極102との間の電圧を、電圧測定器110を用いて測定することにより、電線 L_1 と電線 L_2 との間の線間電圧 V_o を間接的に測定する。

40

【0027】

なお、一般にこれらの電線 L_1 、 L_2 には絶縁体の被覆がある場合が多く、その場合電極101、102とは電氣的に接触しないが、被覆のない電線 L_1 、 L_2 を測定する場合などには、電極101、102と電線 L_1 、 L_2 の間の接触を防ぐために、絶縁体や誘電体をスペーサとして挟んでも良い。誘電体を挟む場合には、それが無い場合に比べて静電容量 C_1 、 C_2 の値が大きくなり、感度が向上する。また、これらのスペーサの形状を電線 L_1 、 L_2 に合わせて適切に設計すれば、電極101、102の中心軸上に電線を固定

50

することが容易になる。

【 0 0 2 8 】

電極 1 0 1 と電極 1 0 2 には、それらの間の電圧を測定するための、電圧測定器 1 1 0 を設ける。前述の通り、電圧測定器 1 1 0 の入力インピーダンスは出来るだけ高くしておくことが、感度向上の点で望ましい。電圧測定器 1 1 0 としては、高い入力インピーダンスを持つオペアンプやバッファアンプ、計測用アンプ等を用いることが出来る。また、電圧測定器 1 1 0 では、読み取った測定電圧値 V をそのまま表示させても良いし、電圧値やアナログ・デジタル変換した電圧値を出力し、後段に接続する装置で処理や表示を行っても良い。

【 0 0 2 9 】

10

電圧測定器 1 1 0 は、電極 1 0 1 および電極 1 0 2 と出来るだけ近い位置に設けることが、外来雑音の侵入防止や感度向上の面で有利であるが、電極 1 0 1 および電極 1 0 2 に測定用ケーブルを接続し、離れた場所に電圧測定機能を設けて、測定ケーブルを介した測定を行っても良い。ただしこの場合、測定ケーブルによって電極 1 0 1 と電極 1 0 2 との間の浮遊容量が増加し、感度の悪化等につながるため、浮遊容量がなるべく増えないような測定ケーブルの配置等を工夫する必要がある。

【 0 0 3 0 】

図 1 (b) は、図 1 (a) の断面図および等価回路であり、 $C 1$ および $C 2$ は、それぞれ電線 $L 1$ と電極 1 0 1 との間、および電線 $L 2$ と電極 1 0 2 との間の静電容量を示している。また、図 1 (b) には電圧測定器 1 1 0 の入力容量を $C p$ 、入力抵抗を $R p$ として

20

【 0 0 3 1 】

図 1 (b) に示すように、測定する対象である線間電圧 $V o$ は、 $C 1$ と電圧測定器 1 1 0 の入力インピーダンス ($C p$ および $R p$) と $C 2$ が直列に接続された回路に印加されている。そのため、測定電圧 V はこれらのインピーダンスによって $V o$ が分圧された結果として、

【 0 0 3 2 】

【 数 1 】

$$V = \frac{C12}{C12 + Cp + \frac{1}{j\omega Rp}} V_o \quad \dots (1)$$

30

【 0 0 3 3 】

と表される。ここで、 $C 1 2$ は $C 1$ と $C 2$ とを直列接続した場合の合成容量で

$$C 1 2 = C 1 C 2 / (C 1 + C 2)$$

であり、 ω は各周波数を示している。(j は虚数単位)

(1) 式より、電圧測定器 1 1 0 の入力インピーダンスが高くなる、すなわち入力容量 $C p$ が小さく、入力抵抗 $R p$ が大きくなるに従って、分母は合成容量 $C 1 2$ に近づき、測定電圧 V は線間電圧 $V o$ に近づく。

【 0 0 3 4 】

40

また、被測定電圧の周波数が高い場合 ($\omega >> 1 / (R p (C 1 2 + C p))$) となる場合には、(1) 式は、

【 0 0 3 5 】

【 数 2 】

$$V = \frac{C12}{C12 + Cp} V_o \quad \dots (2)$$

【 0 0 3 6 】

と近似でき、高周波領域では電圧の変換感度が周波数に依存しない一定値になる。

【 0 0 3 7 】

50

実際に、図 1 (a) に示す構成の非接触電圧測定プローブを作成し、その周波数特性を測定した結果を図 2 に示す。図 2 には、静電容量 C_1 、 C_2 、入力容量 C_p 、入力抵抗 R_p の各パラメータをフィッティングした場合の (1) 式に基づく計算の結果も併せて示している。図 2 の振幅特性は電圧の変換感度を示したものであるが、上述した通り、10 kHz を超える高周波領域では、フラットな振幅周波数特性が得られている。

【 0 0 3 8 】

以上のように、電圧測定器 110 で測定された測定電圧 V は、電圧測定器 110 の入力インピーダンスが十分に高い場合には線間電圧 V_o にほぼ等しくなり、静電容量 C_1 、 C_2 の値に関わらず線間電圧値 V_o を測定することが可能である。また、入力インピーダンスとして上記のような十分に高い値が得られない場合についても、周波数が十分に高い領域であれば、電圧の感度は周波数に依らずほぼ一定値をとることから、歪みのない電圧波形の測定が可能となる。

【 0 0 3 9 】

なお、一般商用電源のように周波数の低い (50 / 60 Hz) の領域においても、商用電源のように周波数帯域が狭い信号であれば、電圧の変換感度は落ちるものの、電圧波形や位相情報を (1) 式に応じた測定電圧 V として得られることになる。

【 0 0 4 0 】

また、上述したような入力インピーダンスの高い測定系においては、外部で発生した高周波ノイズを拾いやすく、ノイズの多い場所では測定結果に影響が出る場合がある。本発明の非接触電圧測定プローブにおいては、上記の電極 101、電極 102 の外側に、同心円筒状のシールド電極を設け、シールド電極の接続や、各電極 101、102 との間の静電容量を特定の値に設計することで、外部から誘導されるノイズの影響を抑えることができ、精度の高い電圧波形測定が可能となる。

【 0 0 4 1 】

(実施形態 2)

図 3 に、本発明の実施形態 2 に係る非接触電圧測定プローブの構成図を示す。また、図 4 に、本発明の実施形態 2 に係る非接触電圧測定プローブの等価回路を示す。

【 0 0 4 2 】

図 3 では、円筒形の電極 101 の外側に、これと中心軸が一致するように円筒形のシールド電極 103 を設ける。シールド電極 103 は、電線 L_1 にも電極 101 にも電氣的に接触させないが、電線等により電極 102 と電氣的に接触させる。なお、電線 L_1 にも電極 101 との物理的配置は固定しておくことが望ましいため、間隙にスペーサ等を設けて物理的に固定しても良い。なお、電極 101 とシールド電極 103 の間の静電容量を、容量 C_1 および係数 α を用いて αC_1 とした。

【 0 0 4 3 】

なお、一般家庭向けの商用電源 (単相 3 線) の電圧を測定する場合、AC 100 V の片側 (コールド側) は中性点として接地されている。このような場合は、コールド側を電線 L_2 として使用することが望ましい。また、通信線等でも片線が回路アース等に接続されている場合については、アース側を電線 L_2 として使用することが望ましい。これは、シールド電極 103 が外来ノイズ、特にコモンモードノイズの影響を防ぐために設置するものであり、それが電極 102 と接続されていることから、電極 102 の大地に対するインピーダンスが低い方が、ノイズ除去効果が高くなるためである。

【 0 0 4 4 】

なお、電圧測定器 110 の片側は、シールド電極 103 に接続しても、電極 102 に接続しても (図中点線)、どちらでも構わない。

【 0 0 4 5 】

図 3 中には、ノイズ源として、コモンモードのノイズ電圧 V_N が生じている導体 N が示してある。ノイズ源である導体 N は静電誘導によってノイズの影響をもたらすが、図 3 ではそれを左右する導体 N とシールド電極 103 の間の結合容量を C_N としている。

【 0 0 4 6 】

10

20

30

40

50

コモンモードのノイズ電圧 V_N は、電線 L_1 や電線 L_2 の大地に対するコモンモードインピーダンスが高い場合、電極 101 とシールド電極 103 のコモンモードインピーダンスはほぼ同等とみなせるため、ノイズ電圧 V_N が電極 101 とシールド電極 103 間の電圧である測定電圧 V に及ぼす影響は小さい。

【0047】

一方で商用電源線などでは、前述の通りその一方（この場合電線 L_2 ）が接地されているため、電極 102 のコモンモードインピーダンスは低く、それに接続しているシールド電極 101 も同様である。ノイズ電圧 V_N によるノイズ電流は結合容量 C_N から C_2 を介してアースに流れるため、容量 C_2 が結合容量 C_N に比べて十分大きな値であれば、ノイズ電圧 V_N が測定電圧 V に与える影響を小さくすることが出来る。なお、可能であれば電極 102 の接地を取るか、接地されている電線 L_2 と接続させることが出来れば、理想的なノイズのシールドが可能である。

10

【0048】

（実施形態 3）

次に、図 5 に、本発明の実施形態 3 に係る非接触電圧測定プローブの構成図を示す。また、図 6 に、本発明の実施形態 3 に係る非接触電圧測定プローブの等価回路を示す。

【0049】

図 5 では、実施形態 2 と同様に円筒形の電極 101 の外側にシールド電極 103 を設けたことに加え、円筒形の電極 102 の外側に、これと中心軸が一致するように円筒形のシールド電極 104 を設ける。シールド電極 104 は、電線 L_2 にも電極 102 にも電氣的に接触させないが、電線等によりシールド電極 103 と電氣的に接触させる。なお、電極 101 とシールド電極 103 の間の静電容量を係数 α_1 および容量 C_1 を用いて $\alpha_1 C_1$ とし、電極 102 とシールド電極 104 の間の静電容量を係数 α_2 および容量 C_2 を用いて $\alpha_2 C_2$ とした。

20

【0050】

図 5 には前述と同様のノイズ源 N のコモンモードノイズ電圧 V_N が、結合容量 C_N を介して影響を与える場合を示している。本実施例では、シールド電極 103 とシールド電極 104 が電氣的に接続されており、その等価回路は図 6 のようになる。

【0051】

図 6 においてノイズ電圧 V_N が測定電圧 V に与える影響のみを調べるため、図 7 に、入力抵抗 R_p 、入力容量 C_p 、および電圧源 V_o を省略し、簡略化した本実施形態の等価回路を示す。図 7 には、電極 101 および電極 102 にノイズ電圧 V_N によって生じるアースに対する電圧を、それぞれ V_1 、 V_2 と示してある。このとき、

30

【0052】

【数 3】

$$V_1 = \frac{\alpha_1}{1 + \alpha_1} V_N \quad \dots (3)$$

【0053】

【数 4】

$$V_2 = \frac{\alpha_2}{1 + \alpha_2} V_N \quad \dots (4)$$

40

【0054】

がそれぞれ成立するため、測定電圧 V は、

【0055】

【数 5】

$$V = V_1 - V_2 = \left(\frac{\alpha_1}{1 + \alpha_1} - \frac{\alpha_2}{1 + \alpha_2} \right) V_N \quad \dots (5)$$

50

【 0 0 5 6 】

となる。 $\alpha 1 = \alpha 2$ のとき、(5) 式は $V = 0$ となり、測定電圧 V はノイズ電圧 V_N の影響を受けなくなる。以上のことから、電極およびシールド電極の構造を、 $\alpha 1 = \alpha 2$ となるように設計しておくことにより、外来ノイズをキャンセルすることができる。

【 0 0 5 7 】

なお、 $\alpha 1 = \alpha 2$ という条件を言い換えると、電線 $L 1$ と電極 $1 0 1$ との間の静電容量を $C 1 0$ 、電極 $1 0 1$ とシールド電極 $1 0 3$ との間の静電容量を $C 1 1$ 、電線 $L 2$ と電極 $1 0 2$ との間の静電容量を $C 2 0$ 、電極 $1 0 2$ とシールド電極 $1 0 4$ との間の静電容量を $C 2 1$ 、とそれぞれしたときに、これらの静電容量の間に

【 0 0 5 8 】

【 数 6 】

$$\frac{C10}{C11} = \frac{C20}{C21} \quad \dots (6)$$

【 0 0 5 9 】

の関係があることと同様である。

【 0 0 6 0 】

(実施形態 4)

次に、図 8 に、本発明の実施形態 4 に係る非接触電圧測定プローブの構成図を示す。また、図 9 に、本発明の実施形態 4 に係る非接触電圧測定プローブの等価回路を示す。

【 0 0 6 1 】

図 8 では、電極とシールド電極については図 5 に示した実施形態 3 と同等であるが、2 つの電圧測定器 $1 1 3 a$ 、 $1 1 3 b$ を設け、電圧測定器 $1 1 3 a$ で電極 $1 0 1$ とシールド電極 $1 0 3$ の間の電圧を測定し、電圧測定器 $1 1 3 b$ で電極 $1 0 2$ とシールド電極 $1 0 4$ の間の電圧を測定する。差分算出装置 $1 3 0$ は、それぞれの電圧の測定結果を $V p 1$ 、 $V p 2$ としたときに、その差分

$$V = V p 1 - V p 2$$

を測定結果として出力する。

【 0 0 6 2 】

電圧測定器 $1 1 3 a$ 、 $1 1 3 b$ とそれぞれの電線 $L 1$ 、 $L 2$ 毎に分けたことにより、2 本の電線 $L 1$ 、 $L 2$ の距離が離れているときでも、近接した電極とシールド電極との間の電圧を測定すればよいことから、電線間にハイインピーダンスな測定ケーブルを引き回すことで外部ノイズを拾いやすくなる問題を防ぐことができる。

【 0 0 6 3 】

また、シールド電極を図 8、図 9 に一点鎖線で示したように接地することができれば、装置全体でのシールド効果を高めることができる。

【 0 0 6 4 】

図 10 に、このような構成で、シールドケーブルを用いて系全体のシールド効果を高めた構成例を示す。円筒形の電極 $1 0 2$ の外側に、これと中心軸が一致するように円筒形のシールド電極 $1 0 4$ を設ける。シールド電極 $1 0 4$ は、電線 $L 2$ にも電極 $1 0 2$ にも電氣的に接触させないが、電線等によりシールド電極 $1 0 3$ と電氣的に接触させる。なお、電極 $1 0 1$ とシールド電極 $1 0 3$ の間の静電容量を係数 $\alpha 1$ および容量 $C 1$ を用いて $\alpha 1 C 1$ とし、電極 $1 0 2$ とシールド電極 $1 0 4$ の間の静電容量を係数 $\alpha 2$ および容量 $C 2$ を用いて $\alpha 2 C 2$ とした。

【 0 0 6 5 】

電極 $1 0 1$ 、シールド電極 $1 0 3$ と電圧測定器 $1 1 3 a$ との間、および電極 $1 0 2$ 、シールド電極 $1 0 4$ と電圧測定器 $1 1 3 b$ との間は、シールドケーブル $1 2 0$ で接続し、シールドケーブル $1 2 0$ のシールド部分を接地している。

【 0 0 6 6 】

(実施形態 5)

図 1 1 に、本発明の実施形態 5 に係る非接触電圧測定プローブの構成図を示す。

【 0 0 6 7 】

図 1 1 では、電圧測定器 1 1 4 a、1 1 4 b が、高い入力インピーダンスで電圧を測定し、その結果を低い出力インピーダンスで出力するアンプ回路、もしくはバッファ回路を備えている。電圧測定器 1 1 4 a、1 1 4 b は、そのアンプ回路もしくはバッファ回路を電極 1 0 1、1 0 2 およびシールド電極 1 0 3、1 0 4 に直接接続して電圧を測定する。電圧測定器 1 1 4 a、1 1 4 b と差分算出装置 1 3 0 との間は、ローインピーダンス伝送線路で接続する。

【 0 0 6 8 】

実施形態 5 では、ハイインピーダンスな部分が極力短く出来るため、外来ノイズを拾いにくい。また、出力インピーダンスが低いため、ペアケーブル等のシールドの無い安価なケーブルを用いて測定結果を送ることができる。

【 0 0 6 9 】

(実施形態 6)

図 1 2 に、本発明の実施形態 6 に係る非接触電圧測定プローブの構成図を示す。

【 0 0 7 0 】

特に A C 電源電圧などの低周波な電圧波形を測定する場合、測定対象の線間電圧波形 V_o が正弦波に近い形状であっても、図 2 に示したような周波数特性のために、測定系に重畳する特に高周波の外来ノイズなどの影響を受けやすく、測定後の波形にノイズや歪みが発生していることがある。このような場合、高周波ノイズの影響を抑圧するために、所望の周波数帯域より高い周波数成分を除去する機能を持ったローパスフィルタ 1 4 0 を通すことで、図 1 2 に示したように元の波形に近い波形を再生することが出来る。

【 0 0 7 1 】

なお、本発明における電極 1 0 1、1 0 2 の直径や長さは、電線 L 1、L 2 からの静電誘導が必要十分な強度で検出できるものであれば良い。

【 0 0 7 2 】

以上述べたように、本発明の非接触電圧プローブを用いることで、電源線の電圧波形や、通信信号電圧波形などの測定を、電源線や通信線の通常の動作に影響を与えずに、非接触で測定することができる。また、電氣的接触による測定を行う際に電気工事士などの資格が必要な場合や、測定に危険を伴う高電圧の測定などについても、非接触であるため特殊な資格や技能なく測定でき、これらのモニタ、監視や確認試験を簡易に行うことができる。

【 0 0 7 3 】

また、本発明の非接触電圧プローブには、外来ノイズをシールドする効果やキャンセルする効果があることから、外来ノイズの影響を受けにくく、精度の高い電圧測定が可能となる。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 4 】

- L 1、L 2 電線
- 1 0 1、1 0 2 電極
- 1 0 3、1 0 4 シールド電極
- 1 1 0 ~ 1 1 4 電圧測定器
- 1 2 0 シールドケーブル
- 1 3 0 差分算出装置
- 1 4 0 ローパスフィルタ

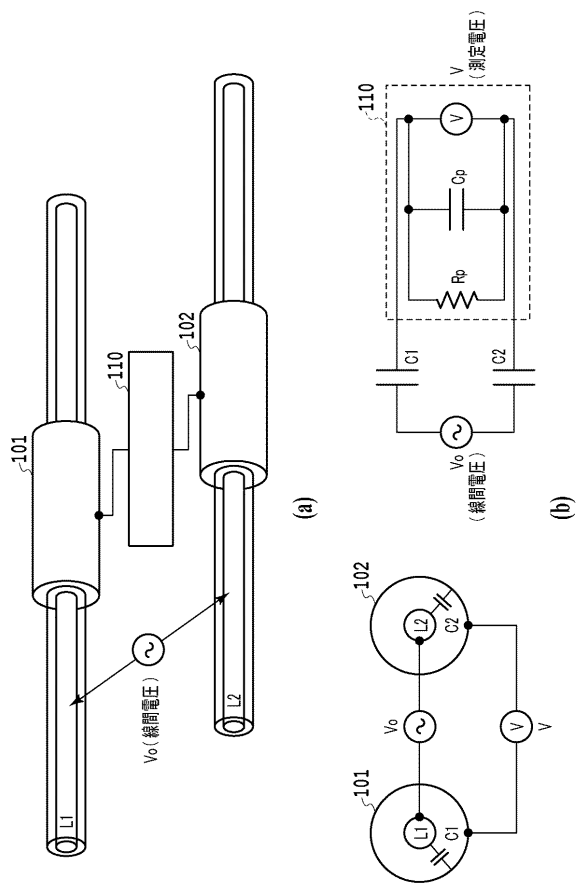
10

20

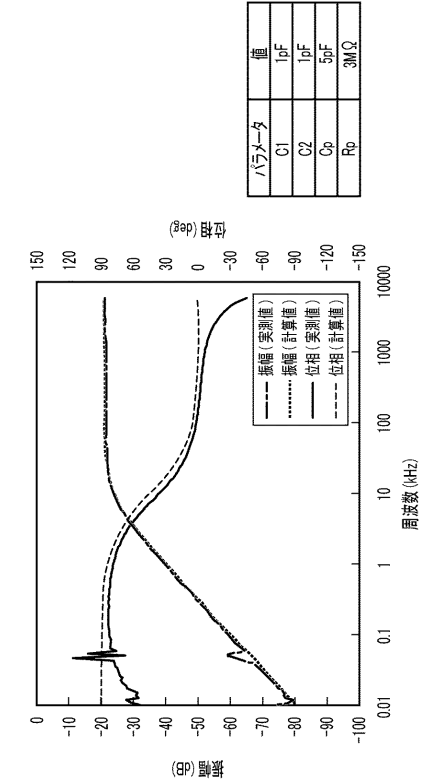
30

40

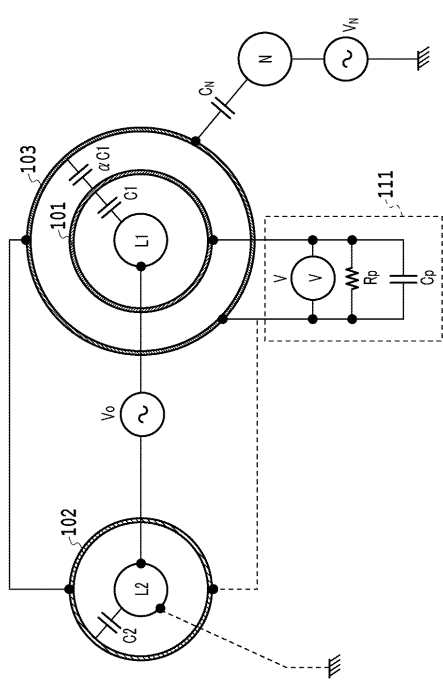
【図 1】



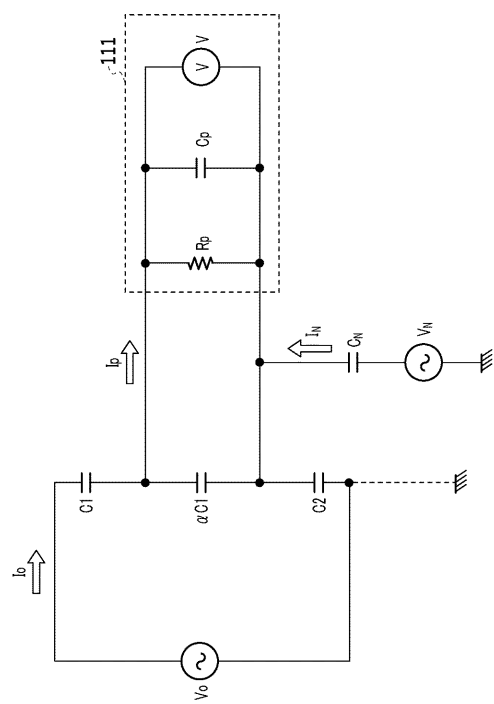
【図 2】



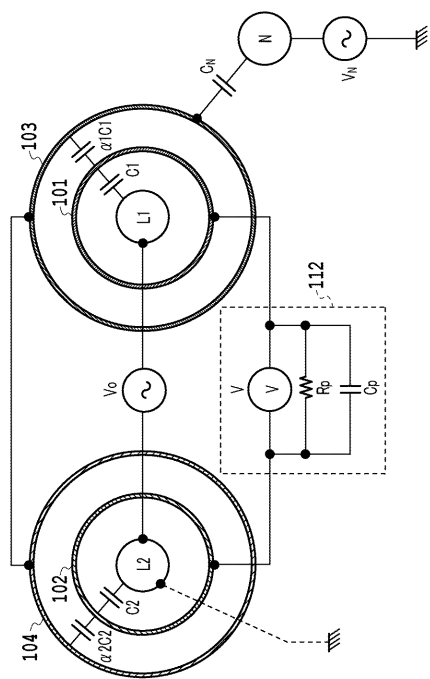
【図 3】



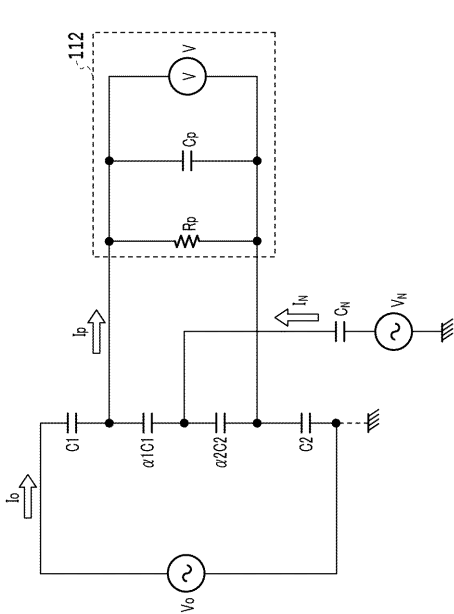
【図 4】



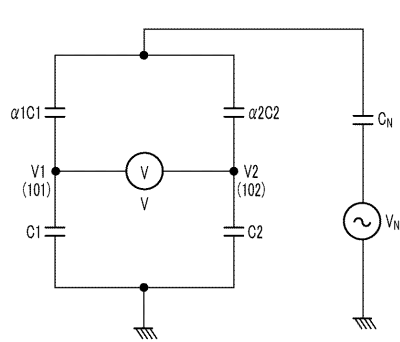
【図 5】



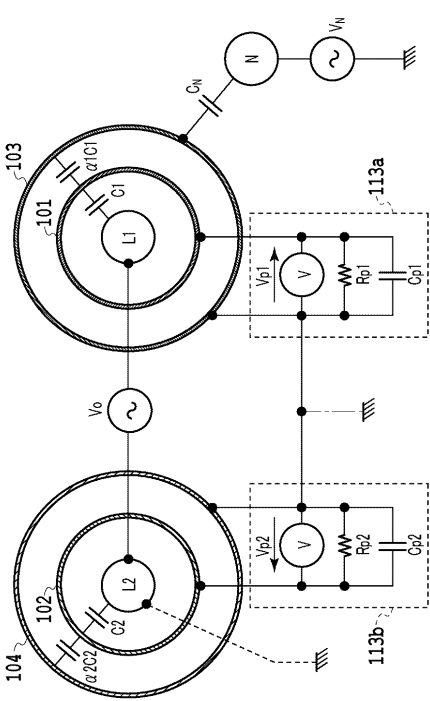
【図 6】



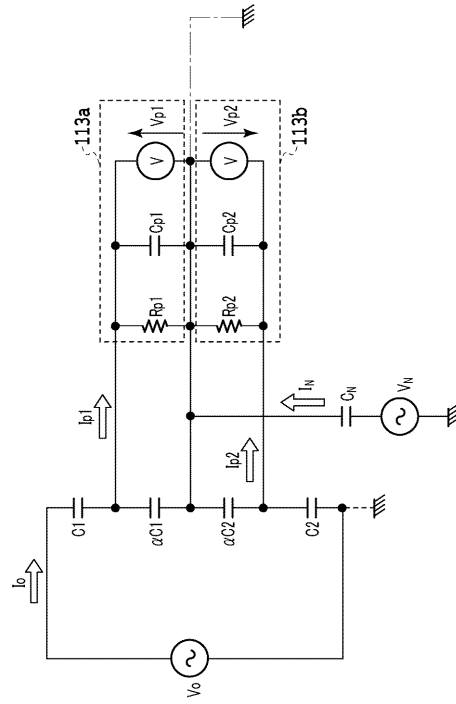
【図 7】



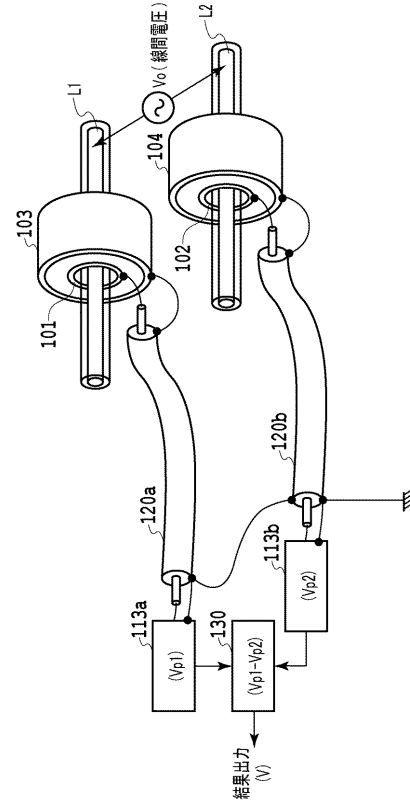
【図 8】



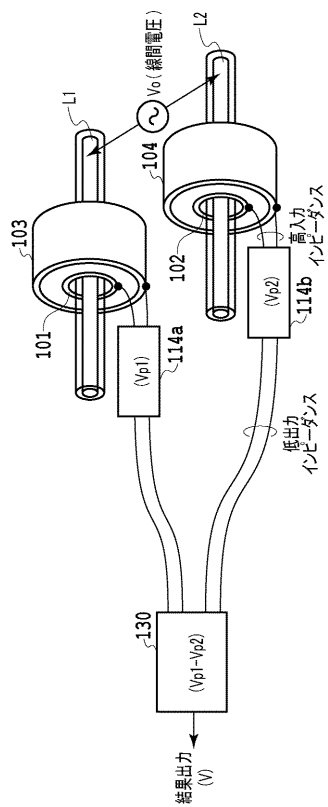
【図 9】



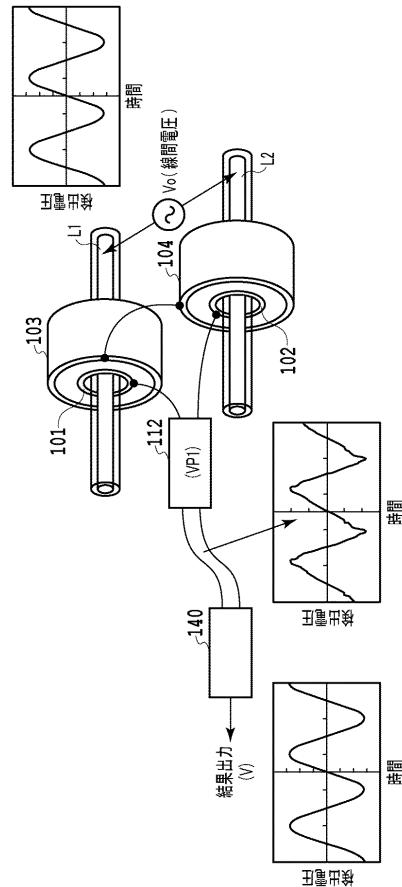
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(72)発明者 高谷 和宏

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 續山 浩二

(56)参考文献 特開2002-055126(JP,A)

実開平06-028748(JP,U)

特開平10-206468(JP,A)

特開平09-311146(JP,A)

特開2011-053201(JP,A)

特開2002-131341(JP,A)

特開2002-365315(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 15/06