(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年10月25日(25.10.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/193703 A1

(51) 国際特許分類:
G01R 31/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2018/005804

(22) 国際出願日： 2018年2月19日(19.02.2018)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2017-084357 2017年4月21日(21.04.2017) JP

(71) 出願人: オムロン株式会社 (**OMRON CORPORATION**) [JP/JP]; 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 Kyoto (JP).

(72) 発明者: 福留 卓哉 (**FUKUDOME, Takuya**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 竹内 豪(**TAKEUCHI, Tsuyoshi**); 〒8692696 熊本県阿蘇市一の宮町宮地４４２９ オムロン阿蘇株式会社内 Kumamoto (JP). 横田 晃司(**YOKOTA, Koji**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 山田 智浩 (**YAMADA, Tomohiro**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP).

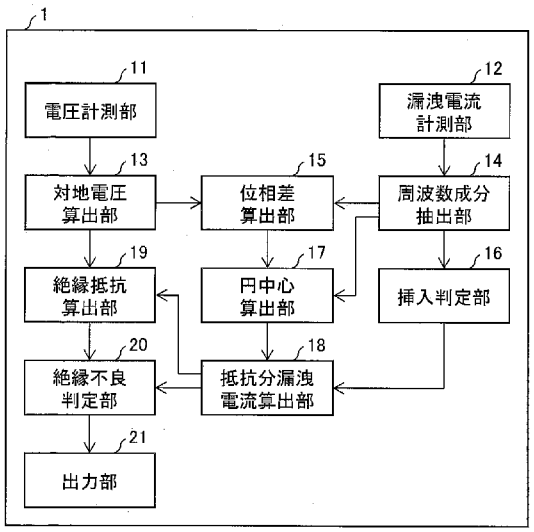
(74) 代理人: 村上 尚 (**MURAKAMI, Takashi**); 〒5300041 大阪府大阪市北区天神橋２丁目北２番６号 大和南森町ビル４Ｆ Osaka (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

(54) **Title:** LEAKAGE CURRENT CALCULATION DEVICE AND LEAKAGE CURRENT CALCULATION METHOD

(54) 発明の名称： 漏洩電流算出装置および漏洩電流算出方法

[図1]



11... VOLTAGE MEASUREMENT UNIT
12... LEAKAGE CURRENT MEASUREMENT UNIT
13... GROUND VOLTAGE CALCULATION UNIT
14... FREQUENCY COMPONENT EXTRACTION UNIT
15... PHASE DIFFERENCE CALCULATION UNIT
16... INSERTION DETERMINATION UNIT
17... CIRCLE CENTER CALCULATION UNIT
18... RESISTANCE COMPONENT LEAKAGE CURRENT CALCULATION UNIT
19... INSULATION RESISTANCE CALCULATION UNIT
20... INSULATION DEFECT DETERMINATION UNIT
21... OUTPUT UNIT

(57) **Abstract:** An insertion determination unit (16) for precisely calculating a ground insulation resistance component of a leakage current regardless of the presence or absence of an inverter determines whether an inverter (3) is inserted between a commercial power network (2) and a three-phase motor (5). A resistance component leakage current calculation unit (18) calculates a ground insulation resistance component of a leakage current on the basis of a calculation procedure corresponding to the result of the above determination.

[続葉有]

WO 2018/193703 A1

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約:インバータの有無に関わらず対地絶縁抵抗分の漏洩電流を精度良く算出する挿入判定部(16)は、商用電力系統(2)と三相モーター(5)との間にインバータ(3)が挿入されているか否かを判定する。抵抗分漏洩電流算出部(18)は、判定結果に応じた算出手順に基づき、対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出する。

明　細　書

発明の名称 ： 漏洩電流算出装置および漏洩電流算出方法

技術分野

[0001] 本発明は、漏洩電流を算出する漏洩電流算出装置および漏洩電流算出方法に関する。

背景技術

[0002] 三相モーターなどの負荷における漏洩電流を算出する技術の例が、非特許文献１および特許文献１にそれぞれ開示されている。非特許文献１の技術は、三相モーターなどの負荷の駆動にインバータが使用されない設備において、対地絶縁抵抗分の漏洩電流を精度良く計測するためのものである。一方、特許文献１の技術は、負荷の駆動にインバータが使用される設備において、対地絶縁抵抗分の漏洩電流を精度良く計測するためのものである。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：大崎栄吉、「電気現場のトラブル徹底検証」、新電気、オーム社、２０００年２月、２０００年２月号、ｐ．４６～５１

特許文献

[0004] 特許文献1：日本国公開特許公報「特開２０１４－２２８５１９号公報（２０１４年１２月８日公開）」

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 非特許文献１および特許文献１に示すように、従来、対地絶縁抵抗分の漏洩電流を算出する装置の構成は、インバータの有無に応じて異なる。したがって従来技術には、設備にインバータを使用するか否かに応じて、漏洩電流の算出装置を使い分ける必要があるという課題がある。従来技術には、さらに、インバータが使用されない設備に、省エネルギーなどを目的としてインバータを新たに追加する場合、それに応じて漏洩電流の算出装置を変更する

必要があるという課題もある。

[0006] 本発明は前記の課題を解決するためになされたものである。そして、その目的は、インバータの有無に関わらず対地絶縁抵抗分の漏洩電流を精度良く算出することができる漏洩電流算出装置および漏洩電流算出方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一態様に係る漏洩電流算出装置は、前記の課題を解決するために、異なる三相のうちいずれかが接地されている三相交流式の商用電力系統における線間電圧のうち少なくともいずれかを計測する電圧計測部と、前記電圧計測部によって計測された前記少なくともいずれかの線間電圧から、前記商用電力系統の中性点と大地と間の対地電圧を算出する対地電圧算出部と、前記商用電力系統に接続される負荷と前記大地との間を流れる漏洩電流を計測する漏洩電流計測部と、計測された漏洩電流から、前記商用電力系統の系統周波数に同期する周波数成分を抽出する周波数成分抽出部と、算出された前記対地電圧と、抽出された前記周波数成分との位相差を決定する位相差決定部と、前記商用電力系統と前記負荷との間にインバータが挿入されているか否かを判定する挿入判定部と、前記挿入判定部の判定結果に応じた算出手順に基づき、前記負荷と前記大地との間を前記負荷の対地絶縁抵抗を通じて流れる前記系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出する漏洩電流算出部とを備えていることを特徴としている。

[0008] 本発明の一態様に係る漏洩電流算出方法は、前記の課題を解決するために、異なる三相のうちいずれかが接地されている三相交流式の商用電力系統における線間電圧のうち少なくともいずれかを計測する電圧計測工程と、計測された前記少なくともいずれかの線間電圧から、前記商用電力系統の中性点と大地との間の対地電圧を算出する対地電圧算出工程と、前記商用電力系統に接続される負荷と前記大地との間を流れる漏洩電流を計測する漏洩電流計測工程と、計測された漏洩電流から、前記商用電力系統の系統周波数に同期する周波数成分を抽出する周波数成分抽出工程と、算出された前記対地電圧

と、抽出された前記周波数成分との位相差を決定する位相差決定工程と、前記商用電力系統と前記負荷との間にインバータが挿入されているか否かを判定する挿入判定工程と、前記挿入判定工程の判定結果に応じた算出手順に基づき、前記負荷と前記大地との間を前記負荷の対地絶縁抵抗を通じて流れる前記系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出する漏洩電流算出工程とを有することを特徴としている。

発明の効果

[0009] 本発明によれば、インバータの有無に関わらず対地絶縁抵抗分の漏洩電流を精度良く算出することができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の実施形態１に係る漏洩電流算出装置の要部構成を示すブロック図である。

[図2]本発明の実施形態１に係る漏洩電流算出装置を適用した第１構成例を示す概略系統図である。

[図3]本発明の実施形態１に係る漏洩電流算出装置を適用した第２構成例を示す概略系統図である。

[図4]本発明の実施形態１における、商用電力系統と三相モーターとの間にインバータが挿入されている場合に商用電力系統の対地電圧を算出するための原理を説明する図である。

[図5]本発明の実施形態１における、商用電力系統と三相モーターとの間にインバータが挿入されている場合の三相モーターと大地Ｅとの間を流れる漏洩電流を説明する図である。

[図6]本発明の実施形態１における、商用電力系統と三相モーターとの間にインバータが挿入されている場合の三相モーターと大地Ｅとの間の対地絶縁抵抗を説明する図である。

[図7]本発明の実施形態１に係る漏洩電流算出装置が、インバータ挿入有無および周波数一致／不一致に対応する算出手順に基づき対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出するための一連の処理の流れを示すフローチャートである。

[図8]本発明の実施形態１に係る漏洩電流算出装置が、商用電力系統の系統周波数とインバータの運転周波数とが一致する場合に、商用電力系統の系統周波数に同期する漏洩電流を算出するための原理を説明する図である。

[図9]本発明の実施形態１において、系統周波数と運転周波数とが一致する場合に、抽出された漏洩電流をベクトル表記した際の終点が回転する原理を説明する図である。

[図10]本発明の実施形態１における対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出するための第１の方法を説明する図である。

[図11]本発明の実施形態１における対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出するための第２の方法を説明する図である。

[図12]本発明の実施形態１における円の最小二乗法を説明する図である。

[図13]本発明の実施形態１における対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出するための第３の方法を説明する図である。

[図14]本発明の実施形態２に係る漏洩電流算出装置が適用される構成例を示す概略系統図である。

[図15]本発明の実施形態２における三相モーターごとの対地絶縁抵抗分漏洩電流または対地絶縁抵抗の算出値の時間的推移の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0011] 〔実施形態１〕

図１～図１３を参照して、本発明に係る実施形態１について以下に説明する。

[0012] （第１構成例）

図２は、本発明の実施形態１に係る漏洩電流算出装置１を適用した第１構成例を示す概略系統図である。この図に示す例では、漏洩電流算出装置１は、商用電力系統２を電源として駆動する三相モーター５（負荷）を監視するように構成されている。

[0013] 商用電力系統２は、異なる三相（Ｒ相、Ｓ相、Ｔ相）のうちＳ相が大地Ｅに接地されている三相交流式の交流電源である。これらの三相は、Ｒ線、Ｓ

線、およびＴ線を介して、三相モーター５の入力側にそれぞれ接続されている。三相モーター５は商用電力系統２から供給された電圧を用いて動作する。

[0014] 商用電力系統２と三相モーター５との間には、Ｒ線、Ｓ線、およびＴ線を取り囲む零相変流器４が設けられている。零相変流器４は、商用電力系統２と三相モーター５との間を流れる三相の合成された対地零相電流Ｉ０を計測する。詳しくは後述するが、この零相電流Ｉ０は、三相モーター５と大地Ｅとの間を流れる漏洩電流に等しい。

[0015] （第２構成例）

図３は、本発明の実施形態１に係る漏洩電流算出装置１を適用した第２構成例を示す概略系統図である。この図に示す例では、漏洩電流算出装置１は、商用電力系統２を電源とするインバータ３によって駆動される三相モーター５（負荷）を監視するように構成されている。

[0016] 商用電力系統２は、異なる三相（Ｒ相、Ｓ相、Ｔ相）のうちＳ相が大地Ｅに接地されている三相交流式の交流電源である。これらの三相は、Ｒ線、Ｓ線、およびＴ線を介して、インバータ３の入力側にそれぞれ接続されている。

[0017] インバータ３は、商用電力系統２から供給される三相の電力から所定の制御電圧を生成し、出力側の三相（Ｕ相、Ｖ相、W相）に対応する三線（Ｕ線、Ｖ線、W線）を通じてそれぞれ三相モーター５に対して出力する。三相モーター５はインバータ３の出力側に接続されており、供給された各制御電圧を用いて動作する。

[0018] インバータ３と三相モーター５との間には、Ｕ線、Ｖ線、およびW線を取り囲む零相変流器４が設けられている。零相変流器４は、インバータ３と三相モーター５との間を流れる三相の合成された対地零相電流Ｉ０を計測する。詳しくは後述するが、この零相電流Ｉ０は、三相モーター５と大地Ｅとの間を流れる漏洩電流に等しい。

[0019] 図２に示す構成では、商用電力系統２と三相モーター５との間にインバー

タ３が挿入されていない。一方、図３に示す構成では、商用電力系統２と三相モーター５との間にインバータ３が挿入されている。漏洩電流算出装置１は、インバータ３が挿入されている構成にも挿入されていない構成にも、適用可能である。

[0020] （漏洩電流算出装置１の構成）

図１は、本発明の実施形態１に係る漏洩電流算出装置の要部構成を示すブロック図である。この図に示すように、漏洩電流算出装置１は、電圧計測部１１、漏洩電流計測部１２、対地電圧算出部１３、周波数成分抽出部１４、位相差算出部１５（位相差決定部）、挿入判定部１６、円中心算出部１７、抵抗分漏洩電流算出部１８（漏洩電流算出部）、絶縁抵抗算出部１９、絶縁不良判定部２０（絶縁劣化負荷特定部、絶縁劣化判定部）、および出力部２１を備えている。

[0021] 電圧計測部１１は、商用電力系統２の線間電圧のうち少なくともいずれかを計測する。図２に示す構成では、電圧計測部１１は、商用電力系統２の出力側における線間電圧を計測する。図３に示す構成では、電圧計測部１１は、インバータ３の入力側における線間電圧を計測する。本実施形態では、図２の構成および図３の構成のいずれの場合も、Ｒ相とＳ相との間の線間電圧が計測される。なお、計測対象の線間電圧はこれに限らず、任意の線間電圧であればよい。たとえば電圧計測部１１は、Ｒ相とＴ相との間の電圧、または、Ｔ相とＳ相との間の電圧を計測してもよい。なお、電圧計測部１１は、計測した電圧から高周波数成分を除去したり系統周波数成分を抽出したりするためのローパスフィルタまたはバンドパスフィルタを有していても良い。

[0022] 対地電圧算出部１３は、電圧計測部１１によって計測された線間電圧のうち少なくともいずれかから、商用電力系統２の中性点と大地Ｅと間の対地電圧を算出する。本実施形態では、Ｒ－Ｓ間の線間電圧から対地電圧が算出される。

[0023] 漏洩電流計測部１２は、三相モーター５と大地Ｅとの間を流れる漏洩電流（零相電流）を、零相変流器４を通じて計測する。漏洩電流計測部１２は、

計測された漏洩電流から高周波数成分を除去したり系統周波数成分を抽出したりするためのローパスフィルタまたはバンドパスフィルタを有していても良い。

[0024] 周波数成分抽出部１４は、計測された漏洩電流から、商用電力系統２の系統周波数に同期する周波数成分（すなわち系統周波数と同一の周波数の周波数成分）を含む少なくとも１つの周波数成分を抽出する。この抽出処理には、たとえばＤＦＴまたはＦＦＴなどを用いても良い。

[0025] 位相差算出部１５は、計測された線間電圧または算出された対地電圧と、抽出された系統周波数の周波数成分との位相差を算出する。位相差の算出はたとえば演算処理によって行われるが、その代わりに、所定の計測回路を用いて位相差を計測することによって位相差を決定しても良い。

[0026] 挿入判定部１６は、商用電力系統２と三相モーター５との間にインバータ３が挿入されているか否かを判定する。本実施形態では、挿入判定部１６は、周波数成分抽出部１４によって漏洩電流から抽出された少なくとも１つの周波数成分に基づき、インバータ３挿入の有無を判定する。判定の詳細は後述する。

[0027] 円中心算出部１７は、少なくとも３つの異なる時点において算出された系統周波数の周波数成分および決定された位相差とによって特定される各点が描く円の中心点を算出する。

[0028] 抵抗分漏洩電流算出部１８は、算出された円の中心点に基づき、三相モーター５と大地Ｅとの間を三相モーター５の対地絶縁抵抗を通じて流れる電流（系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流）を算出する。

[0029] 絶縁抵抗算出部１９は、算出された系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流と、計測された線間電圧または算出された対地電圧とを用いて、三相モーター５の対地絶縁抵抗を算出する。絶縁抵抗算出部１９は、インバータ３が挿入されない場合は線間電圧を用い、挿入される場合は対地電圧を用いる。

[0030] 絶縁不良判定部２０は、算出された系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流または対地絶縁抵抗に基づき、三相モーター５の絶縁不良の有無を判定す

る。

[0031] 出力部２１は、絶縁不良の判定結果を、所望の形態で漏洩電流算出装置１の外部に出力する。この出力は、たとえば画面表示、通信出力、または接点信号出力として行われる。

[0032] （第１構成における線間電圧、漏洩電流および対地絶縁抵抗の算出）

漏洩電流算出装置１は、インバータ３が挿入されていない場合、電圧計測部１１で計測した値を線間電圧として使用し、電流計測部１２で計測した値を漏洩電流として使用する。漏洩電流算出装置１は、さらに、抵抗分の漏洩電流Ｉ０ｒを、非特許文献１に開示される方法または特開２０１３－１９５０２３号公報に開示される方法を用いて算出する。漏洩電流算出装置１は、算出した線間電圧Ｖｒｓと抵抗分の漏洩電流Ｉ０ｒを用いることによって、対地絶縁抵抗Ｒ０＝Ｖｒｓ÷Ｉ０ｒで算出することができる。

[0033] （第２構成における対地電圧の算出）

図４は、本発明の実施形態１における、商用電力系統２と三相モーター５との間にインバータ３が挿入されている場合に商用電力系統２の対地電圧を算出するための原理を説明する図である。本実施形態の漏洩電流算出装置１は、インバータ３を介して商用電力系統２に接続される三相モーター５の対地絶縁抵抗を算出するために、三相モーター５の対地絶縁抵抗にかかる電圧（対地電圧）を算出する。この対地電圧の算出方法について、図４を参照して以下に説明する。

[0034] 三相モーター５の対地絶縁抵抗にかかる対地電圧は、商用電力系統２の中性点（Ｎ相）と、大地Ｅとの間の電圧に等しい。商用電力系統２では、図４の（ａ）に示すように、Ｓ相（Ｓ線）が接地されている。中性点を基準にしたＳ相の電圧は、Ｎ相とＳ相との間の系統電圧Ｖｓであるため、Ｎ相と大地Ｅとの間の電圧は、系統電圧Ｖｓと位相が１８０°反転した電圧Ｖｓ∠１８０°である。

[0035] 一方、図４の（ｂ）に示すように、インバータ３の中性点Ｎの電位は、商用電力系統２の中性点Ｎの電位に等しい。そのため、インバータ３の中性点

Ｎと、大地Ｅとの間の電圧も、商用電力系統２の対地電圧Ｖｓ∠１８０°に等しい。また、図４の（ｂ）に示すように、Ｕ相の対地電圧Ｅｕは、Ｎ相とＵ相との間の電圧Ｖｕに、Ｖｓ∠１８０°を加えたものである。Ｖ相の対地電圧Ｅｖは、Ｎ相とＶ相との間の電圧Ｖｖに、Ｖｓ∠１８０°を加えたものである。Ｗ相の対地電圧Ｅｗは、Ｎ相とＷ相との間の電圧Ｖｗに、Ｖｓ∠１８０°を加えたものである。すなわち、Ｅｕ＝Ｖｕ＋Ｖｓ∠１８０°、Ｅｖ＝Ｖｖ＋Ｖｓ∠１８０°、およびＥｗ＝Ｖｗ＋Ｖｓ∠１８０°である。

[0036] ここで、Ｕ相の電圧Ｖｕ、Ｖ相の電圧Ｖｖ、およびＷ相の電圧Ｖｗは、互いに位相が１２０°ずれているので、各相の電圧をすべて合算するとゼロになる特性を有している。すなわち、Ｖｕ＋Ｖｖ＋Ｖｗ＝０である。そのため、電圧Ｖｓ∠１８０°が、三相モーター５の対地絶縁抵抗にかかる、商用電力系統２の系統周波数分の対地電圧である。

[0037] 図４の（ａ）に示すように、Ｒ－Ｓ線間電圧は、中性点（Ｎ相）とＲ相との間の電圧Ｖｒと、対地電圧Ｖｓとのベクトル和である。対地電圧算出部１３は、計測されたＲ－Ｓ線間電圧を$\sqrt{3}$で除算することによって、商用電力系統２の系統電圧Ｖｓを算出することができる。系統電圧Ｖｓと、対地電圧Ｖｓ∠１８０°とは、互いに実効値が等しく、かつ、互いに位相が１８０°ずれた電圧である。そのため対地電圧算出部１３は、算出された系統電圧Ｖｓの位相を１８０°ずらすことによって、対地電圧Ｖｓ∠１８０°を算出することができる。

[0038] （第２構成における漏洩電流）

図５は、本発明の実施形態１における、インバータ３が挿入されている場合に三相モーター５と大地Ｅとの間を流れる漏洩電流を説明する図である。

[0039] 三相モーター５の対地絶縁抵抗および対地浮遊容量は、三相モーター５の配線またはコイルと大地Ｅとの間にあるインピーダンス成分である。これらは互いに並列接続されている関係にある。したがって、図５の（ａ）に示すように、インバータ３の出力側におけるＵ相と大地Ｅとの間にある対地絶縁抵抗Ｒｕおよび対地浮遊容量Ｃｕは、いずれも、Ｕ相と大地Ｅとの間にある

インピーダンスＺｕを構成する成分である。

[0040] 同様に、Ｖ相と大地Ｅとの間にある対地絶縁抵抗Ｒｖおよび対地浮遊容量Ｃｖは、いずれも、Ｖ相と大地Ｅとの間にあるインピーダンスＺｖを構成する成分である。また、W相と大地Ｅとの間にある対地絶縁抵抗Ｒｗおよび対地浮遊容量Ｃｗは、いずれも、W相と大地Ｅとの間にあるインピーダンスＺｗを構成する成分である。

[0041] 図５の（ｂ）に示すように、インバータ３の出力側において、各相を通ってそれぞれ漏洩電流が流れる。具体的には、Ｕ相を通って漏洩電流Ｉｕが流れ、Ｖ相を通って漏洩電流Ｉｖが流れ、W相を通って漏洩電流Ｉｗが流れる。インバータ３ｂの出力側を流れる零相電流Ｉ０は、各相の漏洩電流の総和に等しい。したがって、Ｉ０＝Ｉｕ＋Ｉｖ＋Ｉｗである。

[0042] 系統周波数成分に着目すると、インバータ３の出力側における各相（Ｕ、Ｖ、W）には対地電圧Ｖｓ∠１８０°が同位相にかかる。そのため、Ｉｕ＝Ｖｓ∠１８０°÷Ｚｕ、Ｉｖ＝Ｖｓ∠１８０°÷Ｚｕ、Ｉｖ＝Ｖｓ∠１８０°÷Ｚｕである。したがって、Ｉ０＝Ｖｓ∠１８０°÷（１÷Ｚｕ＋１÷Ｚｖ＋１÷Ｚｗ）である。

[0043] 以上のように、零相変流器４を通じて計測される零相電流Ｉ０は、三相モーター５の合成インピーダンスを通じて流れる漏洩電流に等しい。そのため以下では、漏洩電流を漏洩電流Ｉ０と表記する場合もある。

[0044] （第２構成における対地絶縁抵抗）

図６は、本発明の実施形態１における、インバータ３が挿入されている場合に三相モーター５と大地Ｅとの間の対地絶縁抵抗を説明する図である。

[0045] 系統周波数成分に着目すると、インバータ３の出力側における各相（Ｕ、Ｖ、W）には対地電圧Ｖｓ∠１８０°が同位相にかかる。このことは、対地電圧Ｖｓ∠１８０°がかかる共通の母線にＺｕ、Ｚｖ、およびＺｗが並列接続されていることに等しいと見なせる。そのため、三相モーター５と大地Ｅとの間の合成インピーダンスをＺ０とすると、１÷Ｚ０＝１÷Ｚｕ＋１÷Ｚｖ＋１÷Ｚｗである。この式を変形するとＩ０＝Ｖｓ∠１８０°÷Ｚ０とな

り、したがってＺ０＝Ｖｓ∠１８０°÷Ｉ０である。

[0046] 対地合成インピーダンスＺ０は、互いに並列接続される三相モーター５の対地絶縁抵抗および対地浮遊容量を、それぞれ成分として含んでいる。そのため、Ｚ０のうち対地絶縁抵抗を通じて流れる電流Ｉ０ｒは、零相電流Ｉ０と対地電圧Ｖｓ∠１８０°との位相差をθとすると、Ｉ０×ｃｏｓθである。一方、Ｚ０のうち対地浮遊容量を通じて流れる電流Ｉ０ｃは、Ｉ０×ｓｉｎθである。

[0047] これにより、三相モーター５の対地絶縁抵抗Ｒ０は、Ｒ０＝Ｖｓ∠１８０°÷Ｉ０ｒによって算出される。一方、三相モーター５の対地浮遊容量の容量性リアクタンスＣ０は、Ｃ０＝Ｖｓ∠１８０°÷Ｉ０ｃによって算出される。

[0048] （処理フロー）

図７は、本発明の実施形態１に係る漏洩電流算出装置１が、インバータ挿入有無および周波数一致／不一致に対応する算出手順に基づき対地絶縁抵抗分の漏洩電流を算出するための一連の処理の流れを示すフローチャートである。

[0049] ステップＳ１において、電圧計測部１１は、Ｒ相とＳ相との間の線間電圧を計測する。ステップＳ２において、対地電圧算出部１３は、計測された線間電圧に基づき、対地電圧を算出する。ステップＳ３において、漏洩電流計測部は、零相変流器４を通じて漏洩電流を計測する。ステップＳ４において、周波数成分抽出部１４は、系統周波数の周波数成分を含む少なくとも１つの周波数成分を、計測された漏洩電流から抽出する。周波数成分抽出部１４は、インバータ３が挿入されていない場合、商用電力系統２の系統周波数の周波数成分のみを漏洩電流から抽出する。一方、インバータ３が挿入されている場合、系統周波数の周波数成分と、運転周波数の周波数成分と、運転周波数の整数倍の周波数の周波数成分とを抽出する。これらの抽出処理には、たとえばＦＦＴまたはＤＦＴが用いられる。

[0050] ステップＳ６～ステップＳ１０において、挿入判定部１６は、インバータ

挿入有無および周波数一致／不一致に対応する算出手順を自動的に判定する。言い換えると、挿入判定部１６は、インバータ挿入有無および周波数一致／不一致に対応する算出手順を判定するために、漏洩電流算出装置１の外部からのたとえばユーザによる入力（インバータ挿入有無および周波数一致／不一致に対応する算出手順を指定する情報の入力）を必要としない。したがって、漏洩電流算出装置１のユーザの手間を掛けさせることなく、インバータ挿入有無および周波数一致／不一致に対応する算出手順を判定できる。なお、挿入判定部１６は、インバータ挿入有無および周波数一致／不一致に対応する算出手順を、漏洩電流算出装置１の外部からの入力に基づき判定することもできる。この場合も、漏洩電流算出装置１は、インバータ挿入有無および周波数一致／不一致に対応する算出手順を正確に判定できる。

[0051] ステップＳ６において、抵抗分漏洩電流算出部１８は、任意の時点において計測された漏洩電流Ｉ０および算出された位相差θの変化の有無を判定する。ステップＳ６においてＮＯの場合、ステップＳ７において、抵抗分漏洩電流算出部１８は、対地絶縁抵抗分の漏洩電流を算出するための、インバータ挿入有および周波数一致に対応する算出手順を選択する。

[0052] ステップＳ６においてＹＥＳの場合、ステップＳ８において、挿入判定部１６は、系統周波数の整数倍の周波数以外の周波数の有無を判定する。ステップＳ８においてＮＯの場合、挿入判定部１６は、ステップＳ９において、対地絶縁抵抗分の漏洩電流を算出するための、インバータ挿入無に対応する算出手順を選択する。系統周波数が６０Ｈｚの場合、挿入判定部１６は、たとえば、６０Ｈｚ、１２０Ｈｚ、および１８０Ｈｚの各周波数成分が抽出された場合、インバータ挿入無に対応する算出手順を選択する。この場合に抽出される周波数はこれらに３つに限らず、たとえば２４０Ｈｚ、３００Ｈｚ、・・・などの他の周波数もさらに抽出され得る。一方、ステップＳ８においてＹＥＳの場合、挿入判定部１６は、Ｓ１０において、対地絶縁抵抗分の漏洩電流を算出するための、インバータ挿入有および周波数不一致に対応する算出手順を選択する。挿入判定部１６は、たとえば、５０Ｈｚ、６０Ｈｚ

、１００Ｈｚ、１２０Ｈｚ、１５０Ｈｚ、および１８０Ｈｚの各周波数成分が抽出された場合、インバータ挿入有および周波数不一致に対応する算出手順を選択する。

[0053] ステップＳ１１において、抵抗分漏洩電流算出部１８は、ステップＳ７、Ｓ９、またはＳ１０のいずれかにおいて選択された算出手順に基づき対地絶縁抵抗分の漏洩電流を算出する。ステップＳ１２において、絶縁不良判定部２０は、算出された対地絶縁抵抗分漏洩電流に基づき、三相モーター５の対地絶縁抵抗を算出する。

[0054] （インバータ３挿入無の場合の算出手順）

インバータ３が挿入されていない場合に選択される、対地絶縁抵抗分の漏洩電流の算出手順は、ＩＯＲ＝ＩＯ×（ｃｏｓθ＋１÷√３×ｓｉｎθ）の関係式に基づいた算出手順である。この式において、ＩＯＲは、対地絶縁抵抗分の漏洩電流である。ＩＯは、漏洩電流から抽出された周波数成分である。θは、位相差である。抵抗分漏洩電流算出部１８は、ステップＳ９においてこの式を選択することによって、インバータ３が挿入されていない場合に、対地絶縁抵抗分の漏洩電流を正確に算出できる。絶縁不良判定部２０は、Ｒ－Ｓ線間電圧を対地絶縁抵抗分の漏洩電流で除算することによって、三相モーター５の対地絶縁抵抗を算出する。これにより、インバータ３が挿入されていない場合の対地絶縁抵抗を正確に算出できる。

[0055] （インバータ３挿入有かつ周波数不一致の場合の算出手順）

インバータ３が挿入されており、かつ、系統周波数と運転周波数とが一致しない場合に選択される、対地絶縁抵抗分の漏洩電流の算出手順は、たとえば以下の通りである。

[0056] 図８の（ａ）は、本発明の実施形態１に係る漏洩電流算出装置１が、商用電力系統２の系統周波数に同期する漏洩電流を算出するための原理を説明する図である。

[0057] 漏洩電流計測部１２によって計測される漏洩電流ＩＯには、商用電力系統２の系統周波数に同期する成分（ＩＯ＿ｓｙｓ）と、インバータ３の運転周

波数に同期する成分（Ｉ０＿ｉｎｖ）とが含まれている。三相モーター５の対地絶縁抵抗を算出するためには、漏洩電流Ｉ０から、系統周波数に同期する漏洩電流成分である漏洩電流Ｉ０＿ｓｙｓのみを抽出する必要がある。

[0058] 図８の（ａ）では、商用電力系統２がインバータ３に供給する電圧の周波数（系統周波数）は６０Ｈｚであり、インバータ３が三相モーター５を駆動する電圧の周波数（運転周波数）は５０Ｈｚである。すなわち、両者の周波数設定は互いに異なっている。

[0059] この場合、系統周波数成分抽出部１４は、系統周波数と同じ周波数を有する漏洩電流を抽出する演算処理を実行することによって、計測された漏洩電流Ｉ０から、系統周波数成分の漏洩電流Ｉ０＿ｓｙｓのみを抽出する。系統周波数と運転周波数とが異なるので、この抽出処理では、系統周波数に同期する成分は抽出されるが、運転周波数に同期する成分は抽出されない。これにより、抽出された漏洩電流Ｉ０＿ｓｙｓには、インバータ３の運転周波数成分に同期する漏洩電流Ｉ０＿ｉｎｖは含まれない。

[0060] 三相モーター５と大地Ｅとの間のインピーダンスには、対地絶縁抵抗および対地浮遊容量の双方が含まれる。対地電圧Ｖｓ∠１８０°が対地絶縁抵抗および対地浮遊容量の双方にかかることによって、計測される漏洩電流Ｉ０の位相は、対地浮遊容量の影響により対地電圧Ｖｓ∠１８０°の位相からずれることになる。したがって、漏洩電流Ｉ０から抽出される漏洩電流Ｉ０＿ｓｙｓの位相差θも、対地電圧Ｖｓ∠１８０°の位相からずれている。

[0061] 図８の（ａ）に示すように、系統周波数と運転周波数とが異なる場合、漏洩電流Ｉ０から抽出される漏洩電流成分には、漏洩電流Ｉ０＿ｓｙｓのみが含まれている。そのため、対地電圧Ｖｓ∠１８０°と漏洩電流成分（Ｉ０＿ｓｙｓそのもの）との位相差θは、計測の時点に関わらず常に等しい。

[0062] したがって、図８の（ａ）に示すように、平面座標系における原点を始点とし、この平面座標系の横軸に対して位相差θの角度を設けて漏洩電流Ｉ０＿ｓｙｓのベクトルを描くと、このベクトルの終点Ｐ０は、漏洩電流Ｉ０＿ｓｙｓが抽出された時点に関わらず常に同じ点に集中する。これにより、平

面座標系の原点と、終点Ｐ０を平面座標系の横軸に投影させた点とを結ぶベクトルは、系統周波数成分の抵抗分漏洩電流Ｉ０Ｒ＿ｓｙｓに精度良く対応する。すなわち、この投影点の値は、Ｉ０Ｒ＿ｓｙｓの実効値である。一方、平面座標系の原点と、終点Ｐ０を平面座標系の縦軸に投影させた点とを結ぶベクトルは、系統周波数成分の容量分漏洩電流Ｉ０Ｃ＿ｓｙｓに精度良く対応する。すなわち、この投影点の値は、Ｉ０Ｃ＿ｓｙｓの実効値である。

[0063] 以上のように、漏洩電流算出装置１は、商用電力系統２の系統周波数とインバータ３の運転周波数とが異なる場合、計測された漏洩電流Ｉ０から、系統周波数に同期する成分を抽出することによって、系統周波数分の漏洩電流Ｉ０＿ｓｙｓを精度良く算出することができる。この結果、対地電圧Ｖｓ∠１８０°と、漏洩電流Ｉ０Ｒ＿ｓｙｓとを用いることによって、三相モーター５の対地絶縁抵抗を精度良く算出することもできる。

[0064] （インバータ３が挿入有かつ周波数一致の場合の算出手順）

インバータ３が挿入されており、かつ、系統周波数と運転周波数とが一致する場合、抵抗分漏洩電流算出部１８は、以下に説明する一連の算出手順に基づき、対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出する。

[0065] （漏洩電流の算出原理）

図８の（ｂ）は、本発明の実施形態１に係る漏洩電流算出装置１が、商用電力系統２の系統周波数とインバータ３の運転周波数とが一致する場合に、商用電力系統２の系統周波数に同期する漏洩電流を算出するための原理を説明する図である。

[0066] 商用電力系統２と三相モーター５との間にインバータ３が挿入されている場合、漏洩電流計測部１２によって計測される漏洩電流Ｉ０には、商用電力系統２の系統周波数に同期する成分（Ｉ０＿ｓｙｓ）と、インバータ３の運転周波数に同期する成分（Ｉ０＿ｉｎｖ）とが含まれている。三相モーター５の対地絶縁抵抗を算出するためには、漏洩電流Ｉ０から、系統周波数に同期する周波数成分である漏洩電流Ｉ０＿ｓｙｓのみを抽出する必要がある。図８の（ｂ）に示すように、商用電力系統２の系統周波数と、インバータ３

の運転周波数とが一致する場合には、漏洩電流Ｉ０をベクトル表記した際の終点が、一点に定まらず、計測時点ごとにその位置が変化する。これは、周波数成分抽出部１４によって抽出される漏洩電流に、系統周波数分の漏洩電流Ｉ０＿ｓｙｓと、運転周波数分の漏洩電流Ｉ０＿ｉｎｖとの両方が含まれているためである。

[0067] 系統周波数と運転周波数との設定が一致する場合、周波数成分抽出部１４は、漏洩電流Ｉ０に含まれる系統周波数に同期する成分および運転周波数に同期する成分とを区別することができない。そのため、周波数成分抽出部１４が漏洩電流Ｉ０から系統周波数に同期する成分を抽出する処理を実行すると、結果として、系統周波数に同期する漏洩電流Ｉ０＿ｓｙｓと、運転周波数に同期する漏洩電流Ｉ０＿ｉｎｖとが混合された漏洩電流Ｉ０＿ｍｉｘが抽出される。

[0068] この場合、図８の（ｂ）に示すように、平面座標系に描かれるベクトルは、Ｉ０＿ｓｙｓのベクトルと、Ｉ０＿ｉｎｖのベクトルとの合成ベクトル（Ｉ０＿ｍｉｘのベクトル）である。詳しくは後述するが、この合成ベクトルの終点の位置は、Ｉ０＿ｉｎｖの影響により、点Ｐ１（特定点）、点Ｐ２（特定点）、および点Ｐ３（特定点）などのように、計測時点ごとに変化する。具体的には、図８の（ｂ）に示すように、この変化は各終点が円８１を描くように発生する。

[0069] したがって、系統周波数と運転周波数とが一致する場合は、図８の（ａ）とは異なりベクトルの終点が一点に定まらないので、この終点に基づき系統周波数成分の抵抗分漏洩電流Ｉ０Ｒ＿ｓｙｓを精度良く算出することはできない。言い換えると、終点に基づきＩ０Ｒ＿ｓｙｓを算出したとしても、その値は計測時点ごとに変動するので、正確な値を特定することができない。

[0070] （円を描く理由）

図９は、本発明の実施形態１において、系統周波数と運転周波数とが一致する場合に、抽出された周波数成分をベクトル表記した際の終点が回転する原理を説明する図である。

[0071] 系統周波数と運転周波数とは、仮に同一の値に設定されていたとしても、厳密には互いにわずかに異なっている。たとえば、それぞれが６０Ｈｚに設定された場合でも、系統周波数が６０．００Ｈｚであり、一方、運転周波数が６０．０１Ｈｚである、というように、互いにわずかにずれが生ずる。この周波数のずれによって、図９の（ａ）に示すように、Ｉ０＿ｓｙｓの波形９１と、Ｉ０＿ｉｎｖの波形９２とが、計測時点がＰ１、Ｐ２、Ｐ３と徐々に変化するにつれ、少しずつ互いにずれてゆく。

[0072] 上述したように、系統周波数と運転周波数とが一致する場合、漏洩電流Ｉ０から抽出された漏洩電流Ｉ０＿ｍｉｘには、系統周波数分の漏洩電流Ｉ０＿ｓｙｓと、運転周波数分の漏洩電流Ｉ０＿ｉｎｖとが含まれている。この場合、決定される位相差θは、対地電圧Ｖｓ∠１８０°と、漏洩電流Ｉ０＿ｍｉｘとの位相差であるため、漏洩電流Ｉ０＿ｉｎｖに含まれるＩ０＿ｓｙｓの波形とＩ０＿ｉｎｖの波形との間にずれが生じることによって、位相差θの値が時間とも共にずれてゆく。これにより、漏洩電流Ｉ０＿ｍｉｘをベクトル表記した際の終点の位置が、時間とも変化する。たとえば、図９の（ａ）のＰ１～Ｐ３の波形のずれに対応して、漏洩電流Ｉ０の終点（特定点）Ｐ１～Ｐ３の位置が変化する。この変化によって、位相差θが時間的に変化することに伴い、Ｉ０＿ｍｉｘの終点は図９の（ｂ）に示すように時間と共に円９３を描く。すなわち、Ｐ１～Ｐ３は原理的に円９３上にプロットされる。

[0073] Ｉ０＿ｓｙｓの終点は、円９３の中心点９４に一致する。そのため、本実施形態の漏洩電流算出装置１は、この中心点９４を算出し、さらに中心点９４を平面座標軸の横軸および縦軸にそれぞれ投影することによって、Ｉ０Ｒ＿ｓｙｓおよびＩ０Ｃ＿ｉｎｖを精度良く算出する。

[0074] 漏洩電流Ｉ０＿ｍｉｘの終点が描く円の中心点を算出する方法は様々ある。以下では、そのうち３つの方法をそれぞれ説明する。

[0075] （第１の手法）

図１０は、本発明の実施形態１における、系統周波数と運転周波数とが一

致する場合に対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出するための第１の方法を説明する図である。

[0076] 図１０の例では、周波数成分抽出部１４は、３つの異なる時点において、Ｉ０＿ｍｉｘを抽出する。同様に、位相差算出部１５は、３つの異なる時点において、位相差θを算出する。これにより円中心算出部１７は、３つの時点において決定された漏洩電流Ｉ０＿ｍｉｘおよび位相差θとに基づき、各Ｉ０＿ｍｉｘをベクトル表記した際の終点である点Ｐ１～Ｐ３を算出する。

[0077] 円中心算出部１７は、これらの点Ｐ１～Ｐ３を通る円１０２を直接算出する代わりに、これらを頂点する三角形１０１の外心を算出する。この外心は、三角形１０１に外接する円１０２の中心点１０３に一致する。このように図１０の例では、円中心算出部１７は、Ｐ１～Ｐ３を頂点する三角形１０１の外心を算出することによって、これらの点を通る円１０２の中心点１０３を算出することができる。

[0078] 円中心算出部１７は、算出した中心点１０３を抵抗分漏洩電流算出部１８に出力する。図１０に示すように、平面座標系の原点を始点とし、中心点１０３を終点とするベクトルは、漏洩電流漏洩電流Ｉ０から抽出された漏洩電流Ｉ０＿ｍｉｘのうちの系統周波数分の漏洩電流Ｉ０＿ｓｙｓに他ならない。そこで抵抗分漏洩電流算出部１８は、算出された中心点１０３を横軸に投影することによって、系統周波数分の漏洩電流Ｉ０＿ｓｙｓのうちの対地絶縁抵抗分の漏洩電流Ｉ０Ｒ＿ｓｙｓを算出することができる。

[0079] 抵抗分漏洩電流算出部１８は、算出したＩ０Ｒ＿ｓｙｓを絶縁抵抗算出部１９に出力する。絶縁抵抗算出部１９は、漏洩電流Ｉ０Ｒ＿ｓｙｓおよび対地電圧Ｖｓ∠１８０°を用いて、三相モーター５の対地絶縁抵抗を算出する。

[0080] この方法では、３つの点Ｐ１～Ｐ３のみを用いて、中心点１０３が算出される。すなわち、Ｉ０Ｒ＿ｓｙｓを算出するためには、漏洩電流Ｉ０を３つの異なる時点において計測すれば足りるので、Ｉ０Ｒ＿ｓｙｓを高速に算出することができる。

[0081] （第２の方法）

図１１は、本発明の実施形態１における、系統周波数と運転周波数とが一致する場合に対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出するための第２の方法を説明する図である。

[0082] 図１１の例では、周波数成分抽出部１４は、４つ以上の異なる時点において、Ｉ０＿ｍｉｘを抽出する。同様に、位相差算出部１５は、４つ以上の異なる時点において、位相差θを算出する。これにより円中心算出部１７は、４つ以上の時点において決定された漏洩電流Ｉ０＿ｍｉｘおよび位相差θとに基づき、各Ｉ０＿ｍｉｘをベクトル表記した際の終点である各点Ｐｎ（ｎ＝１、２、３、４、・・・）を算出する。

[0083] 円中心算出部１７は、これらの各点Ｐｎを通る円１１１の方程式を算出する。そして、この方程式を用いて、円１１１の中心点１１２を算出する。図１１の例では、円中心算出部１７は、算出された各点Ｐｎを用いた円の最小二乗法によって、円１１１の方程式を算出する。以下、より具体的に説明する。

[0084] 図１２は、本発明の実施形態１における円の最小二乗法を説明する図である。この図に示すように、各点Ｐｎが、点Ｐ１（ｘ１，ｙ１）、点Ｐ２（ｘ２，ｙ２）、点Ｐ３（ｘ３，ｙ３）、点Ｐ４（ｘ４，ｙ４）、・・・として算出されたとする。本実施形態では、これらの点に近似する円１１１の方程式を（ｘ－ａ）^{2}×（ｙ－ｂ）^{2}＝ｒ^{2}とし、これらの点と、（ｘ－ａ）^{2}×（ｙ－ｂ）^{2}＝ｒ^{2}との誤差の二乗和Ｅが最小となるような係数ａ、ｂ、およびｒを、最小二乗法によって算出する。

[0085] 誤差Ｅは、Ｅ＝Σ（（ｘ－ａ）^{2}×（ｙ－ｂ）^{2}＝ｒ^2）によって規定される。ただし、この式を用いて誤差Ｅを算出しようとすると、ａ、ｂ、およびｒがいずれも４次関数となるので、計算が非常に複雑になる。そこでまず、ａ、ｂ、およびｒを、次のように媒介変数Ａ、Ｂ、およびＣに置き換えた関係式を得る。

[0086] Ｅ＝Σ（ｘ２＋ｙ２＋Ａｘ＋Ｂｙ＋Ｃ）

ここで、Ａ＝－２ａ、Ｂ＝－２ｂ、Ｃ＝ａ^2＋ｂ^2－ｒ^{2}である。この関係式を偏微分すると、次の式が得られる。

[数1]

$$\begin{cases} \partial/\partial A = A\Sigma x^2 + B\Sigma xy + C\Sigma x + \Sigma x^3 + \Sigma xy^2 = 0 \\ \partial/\partial B = A\Sigma xy + B\Sigma y^2 + C\Sigma y + \Sigma x^2 y + \Sigma y^3 = 0 \\ \partial/\partial C = A\Sigma x + B\Sigma y + C\Sigma 1 + \Sigma x^2 + \Sigma y^2 = 0 \end{cases}$$

これらの式を行列演算によって解くと、次の行列式が得られる。

[数2]

$$\begin{pmatrix} \Sigma x^2 & \Sigma xy & \Sigma x \\ \Sigma xy & \Sigma y^2 & \Sigma y \\ \Sigma x & \Sigma y & \Sigma 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\Sigma(x^3 + xy^2) \\ -\Sigma(x^2 y + y^3) \\ -\Sigma(x^2 + y^2) \end{pmatrix}$$

この行列式を展開すると、次の行列式が得られる。

[数3]

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Sigma x^2 & \Sigma xy & \Sigma x \\ \Sigma xy & \Sigma y^2 & \Sigma y \\ \Sigma x & \Sigma y & \Sigma 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -\Sigma(x^3 + xy^2) \\ -\Sigma(x^2 y + y^3) \\ -\Sigma(x^2 + y^2) \end{pmatrix}$$

この行列式を解くことによって、媒介変数Ａ、Ｂ、およびＣが決定される。決定した媒介変数Ａ、Ｂ、およびＣを、上述した関係式に代入することによって、係数ａ、ｂ、およびｒを決定することができる。これにより円１１１の方程式が算出されるので、これを用いて中心点１１２を算出する。中心点１１２に基づく対地絶縁抵抗分の漏洩電流Ｉ０＿ｓｙｓの算出、ならびに漏洩電流Ｉ０＿ｓｙｓおよび対地電圧Ｖｓ∠１８０°に基づく三相モーター５の対地絶縁抵抗の算出は、上述した例と変わりない。

[0087] この方法では、円１１の算出に円の最小二乗法が用いられるので、円１１１の中心点１１２をより精度良く算出することができる。したがって、漏洩電流Ｉ０＿ｓｙｓおよび対地絶縁抵抗を、より精度良く算出することができる。

[0088] 図１１の（ｂ）に、Ｉ０＿ｓｙｓの実際の算出結果の一例を示す。この例

では、円１１１の方程式として、（ｘ－０．００４４）^{2}＋（ｙ－０．０１３３）^{2}＝０．００３９^{2}が算出された。この方程式から決定される中心点１１２を横軸に投影すると、値は４．４ｍＡとなり、そのためＩ０Ｒ＿ｓｙｓとして４．４ｍＡが算出された。この算出に用いた三相モーター５におけるＩ０＿ｓｙｓの理論値は４．３ｍＡであるので、算出結果が理論値によく一致したことが分かる。また、４．４ｍＡのＩ０＿ｓｙｓを用いて算出された三相モーター５の対地絶縁抵抗は２６．９ｋΩであり、これも理論値の２７ｋΩによく一致する。

[0089] （第３の方法）

図１３は、本発明の実施形態１における、系統周波数と運転周波数とが一致する場合に対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出するための第３の方法を説明する図である。

[0090] 図１３の例では、周波数成分抽出部１４は、円の中心点を直接算出するのではなく、その代わりに、一定時間内における、Ｉ０＿ｍｉｘにおける対地絶縁抵抗分の漏洩電流の最小値と、Ｉ０＿ｍｉｘのうち対地絶縁抵抗分の漏洩電流の最大値とを算出し、これらの中間値を、Ｉ０Ｒ＿ｓｙｓとして算出する。

[0091] この方法では、周波数成分抽出部１４は、一定時間内（６０秒以上の長時間が望ましい）に亘る各時点において、すなわち円一周分以上の点が算出されるまで、Ｉ０＿ｍｉｘを抽出する。同様に、位相差算出部１５は、円一周分以上の点が算出されるまで、各時点において位相差θを算出する。この方法では、円中心算出部１７は円の中心を算出しない。その代わりに、絶縁抵抗算出部１９が、各時点において得られた漏洩電流Ｉ０＿ｍｉｘおよび位相差θを用いて、各時点における漏洩電流Ｉ０＿ｍｉｘのうちの対地絶縁抵抗分の漏洩電流Ｉ０Ｒ＿ｍｉｘを算出する。これは、Ｉ０＿ｍｉｘにｃｏｓθを乗算することによって得られる。すなわち、Ｉ０Ｒ＿ｍｉｘ＝Ｉ０＿ｍｉｘ×ｃｏｓθである。

[0092] 絶縁抵抗算出部１９は、Ｉ０Ｒ＿ｍｉｘの算出を、長時間（６０秒以上）

に亘る各時点において実行する。ＩＯＲ＿ｍｉｘの値は、ＩＯ＿ｍｉｘをベクトル表記した際の終点を横軸に投影した点における横軸の値に一致する。この終点は上述したように円を描くので、終点を横軸に投影した点は、円全体を横軸に投影して得られる線の中に必ずある。したがって、算出されるＩＯＲ＿ｍｉｘには、線の端部のそれぞれ対応する最小値１３１および最大値１３２が自ずと定まる。

[0093] この最小値１３１と最大値１３２は、それぞれＩＯ＿ｍｉｘの終点が描く円における横軸方向における各端部に対応するので、最小値１３１と最大値１３２との中間値１３２は、円の中心点に対応する。上述したように、円の中心点を横軸に投影した値はＩＯＲ＿ｓｙｓに対応するので、抵抗分漏洩電流算出部１８は、中間値１３２を算出することによって、ＩＯＲ＿ｓｙｓを算出することができる。

[0094] なお、ＩＯＲ＿ｓｙｓおよび対地電圧Ｖｓ∠１８０°に基づく三相モーター５の対地絶縁抵抗の算出は、上述した例と変わりない。

[0095] この方法では、ＩＯＲ＿ｓｙｓの算出のために複雑な方程式を用いて円の中心を求める必要がないので、簡単な計算によってＩＯＲ＿ｓｙｓを得ることができる。

[0096] 図１３の（ｂ）に、第３の方法によるＩＯＲ＿ｓｙｓの実際の算出結果の一例を示す。この例では、中間値１３２として、すなわちＩＯＲ＿ｓｙｓとして、４．３ｍＡが算出された。４．３ｍＡのＩＯＲ＿ｓｙｓを用いて算出された三相モーター５の対地絶縁抵抗は２７．１ｋΩであり、これは理論値の２７ｋΩによく一致する。

[0097] （本実施形態の利点）

以上のように、漏洩電流算出装置１は、商用電力系統２と三相モーター５との間にインバータ３が挿入されているか否かを判定する。漏洩電流算出装置１は、さらに、判定結果に応じた算出手順に基づき、三相モーター５と大地Ｅとの間を三相モーター５の対地絶縁抵抗を通じて流れる系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出する。詳細には、漏洩電流算出装置１は、イ

ンバータ３が挿入されていない場合、それに応じた算出手順に基づき対地絶縁抵抗分の漏洩電流を算出する。一方、インバータ３が挿入されている場合、それに応じた算出手順に基づき対地絶縁抵抗分の漏洩電流を算出する。したがって、設備にインバータ３がある場合も、ない場合も、対地絶縁抵抗分の漏洩電流の算出には漏洩電流算出装置１があれば十分である。言い換えると、漏洩電流算出装置１の他に、対地絶縁抵抗分の漏洩電流を計測するための装置は不要である。したがって本実施形態に係る漏洩電流算出装置１は、インバータの有無に関わらず対地絶縁抵抗分の漏洩電流を精度良く算出できる。

[0098] 〔実施形態２〕

図１４および図１５を参照して、本発明に係る実施形態２を以下に説明する。上述した実施形態１と共通する各部材には同じ符号を付し、詳細な説明を省略する。

[0099] （概略構成）

図１４は、本発明の実施形態２に係る漏洩電流算出装置１が適用される構成例を示す概略系統図である。本実施形態では、漏洩電流算出装置１の構成は、実施形態１と基本的に同一である。ただし本実施形態では、図１４に示すように、１台の漏洩電流算出装置１は、複数の三相モーター５ａおよび５ｂのそれぞれを監視するように構成できる。

[0100] 三相モーター５ａおよび５ｂは、それぞれインバータ３ａおよび３ｂによって駆動される。インバータ３ａおよび３ｂのそれぞれの入力側は、いずれも、共通の商用電力系統２に接続されている。インバータ３ａの出力側は三相モーター５ａに接続され、一方、インバータ３ｂの出力側は三相モーター５ｂに接続されている。

[0101] また、インバータ３ａと三相モーター５ａとの間に零相変流器４ａが配置されており、一方、インバータ３ｂと三相モーター５ｂとの間に零相変流器４ｂが配置されている。これらの零相変流器４ａおよび４ｂは、いずれも、漏洩電流算出装置１の漏洩電流計測部１２に接続されている。

[0102] （算出手順）

本実施形態では、漏洩電流算出装置１は、三相モーター５ａおよび５ｂのそれぞれに対応する対地絶縁抵抗分漏洩電流および対地絶縁抵抗を算出する。その手順について、以下に説明する。

[0103] 電圧計測部１１は、複数のインバータ３ａおよび３ｂのうちいずれかの入力側における線間電圧のうち少なくともいずれかを計測する。各インバータ３ａおよび３ｂの入力側は共通の商用電力系統２に接続されているので、たとえばインバータ３ａのＲ相とＳ相との間の電圧Ｖｒｓは、インバータ３ｂのＲ相とＳ相と間の電圧Ｖｒｓと完全に等しい。このように本実施形態では、電圧Ｖｒｓを一カ所のみで計測すればよいので、漏洩電流算出装置１の構成をより簡素にすることができる。

[0104] 対地電圧算出部１３は、インバータ３ａの入力側から計測された電圧Ｒｓに基づき、対地電圧Ｖｓ∠１８０°を算出する。電圧Ｖｒｓがインバータ３ａおよび３ｂに共通していることから、漏洩電流算出装置１は、電圧Ｖｓ∠１８０°を三相モーター５ａおよび三相モーター５ｂに共通する対地電圧として、以下の処理で用いる。

[0105] 漏洩電流計測部１２は、零相変流器４ａを通じて三相モーター５ａの漏洩電流を計測すると共に、零相変流器４ｂを通じて三相モーター５ｂの漏洩電流を計測する。すなわち漏洩電流算出装置１は、三相モーター５ａおよび５ｂに対して共通する１つの漏洩電流計測部１２を備えている。

[0106] なお、漏洩電流算出装置１は、各三相モーター５ａおよび５ｂのそれぞれに対応する複数の漏洩電流計測部１２ａおよび１２ｂを備えていても良い。この構成、漏洩電流計測部１２ａが零相変流器４ａ接続され、一方、漏洩電流計測部１２ｂが、零相変流器４ｂに接続されている。そして、漏洩電流計測部１２ａが零相変流器４ａを通じて三相モーター５ａの漏洩電流を計測し、一方、漏洩電流計測部１２ｂが、零相変流器４ｂを通じて三相モーター５ｂの漏洩電流を計測する。

[0107] 周波数成分抽出部１４は、三相モーター５ａの漏洩電流から、三相モータ

ー５ａに対応する周波数成分を抽出する。一方、三相モーター５ｂの漏洩電流から、三相モーター５ｂに対応する周波数成分を抽出する。

[0108] 位相差算出部１５は、算出された対地電圧と、三相モーター５ａの周波数成分との間の位相差を算出する。さらに、算出された対地電圧と、三相モーター５ｂの周波数成分との間の位相差を算出する。

[0109] 抵抗分漏洩電流算出部１８は、三相モーター５ａに対応する円の中心点に基づき、三相モーター５ａの対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出する。また、三相モーター５ｂに対応する円の中心点に基づき、三相モーター５ｂの対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出する。

[0110] 絶縁抵抗算出部１９は、対地電圧Ｖｓ∠１８０°と、三相モーター５ａの対地絶縁抵抗分漏洩電流とから、三相モーター５ａの対地絶縁抵抗を算出する。また、対地電圧Ｖｓ∠１８０°と、三相モーター５ｂの対地絶縁抵抗分漏洩電流とから、三相モーター５ｂの対地絶縁抵抗を算出する。

[0111] 図１５は、本発明の実施形態２における三相モーター５ごとの対地絶縁抵抗分漏洩電流または対地絶縁抵抗の算出値の時間的推移の一例を示す図である。図１５の（ａ）は、三相モーター５ａおよび５ｂのそれぞれの対地絶縁抵抗分漏洩電流の時間的推移を示す。図中、Ｃｈ１が三相モーター５ａに対応し、Ｃｈ２が三相モーター５ａに対応する。一方、図１５の（ｂ）は、三相モーター５ａおよび５ｂのそれぞれの対地絶縁抵抗の時間的推移を示す。図中、Ｃｈ１が三相モーター５ａに対応し、Ｃｈ２が三相モーター５ａに対応する。これらの図では、対地絶縁抵抗分漏洩電流または対地絶縁抵抗の時間的変化が三相モーター５ａと５ｂとでそれぞれ異なっている。漏洩電流算出装置１は、相互の値を比較したり、あるいはそれぞれの値を所定の閾値と比較したりすることによって、絶縁劣化している三相モーター５を適宜特定することができる。

[0112] （乖離度合いに基づく判定）

絶縁不良判定部２０は、三相モーター５ａの系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流と、三相モーター５ｂの系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流

とを互いに比較することによって、三相モーター５ａおよび５ｂにおける絶縁劣化の度合いをそれぞれ判定することができる。たとえば、図１５の（ａ）の例では、ある時点における三相モーター５ａの系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流と、同じ時点における三相モーター５ｂの系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流との間に、大きな乖離度１５１が生じている。絶縁不良判定部２０は、この乖離度１５１を検出した場合、より対地絶縁抵抗分漏洩電流の大きい三相モーター５ａの方が、絶縁劣化していると判定する。

[0113] （閾値に基づく判定）

絶縁不良判定部２０は、三相モーター５ａおよび５ｂのうち、対応する対地絶縁抵抗分漏洩電流が規定の閾値を上回る三相モーター５を、絶縁劣化している三相モーター５ａとして特定することもできる。たとえば図１５の（ａ）では、三相モーター５ａの対地絶縁抵抗分漏洩電流がある時点以降では閾値１５２を上回っているので、絶縁不良判定部２０は、この時点以降、三相モーター５ａが絶縁劣化していることを特定することができる。

[0114] なお、上述した乖離度または閾値を用いた判定は、対地絶縁抵抗分漏洩電流のみならず、図１５の（ｂ）に示すように、三相モーター５ａおよび５ｂの対地絶縁抵抗を対象としても行うことができる。たとえば、図１５の（ｂ）では、ある時点における三相モーター５ａの対地絶縁抵抗と、同じ時点における三相モーター５ｂの対地絶縁抵抗との間に、大きな乖離度１５３が生じている。絶縁不良判定部２０は、この乖離度１５３を検出した場合、より対地絶縁抵抗の小さい三相モーター５ａの方が、絶縁劣化していると判定する。また、図１５の（ｂ）では、三相モーター５ａの対地絶縁抵抗がある時点以降では閾値１５４を下回っているので、絶縁不良判定部２０は、この時点以降、三相モーター５ａが絶縁劣化していることを特定することができる。

[0115] （変形例）

漏洩電流算出装置１が複数の漏洩電流計測部１２を備えている構成では、監視対象としない三相モーター５の漏洩電流を計測するための漏洩電流計測

部１２は不要である。漏洩電流算出装置１がこのような不要な漏洩電流計測部１２を備えていることは、漏洩電流算出装置１の無駄なコストアップに繋がる。

[0116] これを防ぐために、各漏洩電流計測部１２は、漏洩電流を計測するための増設ユニットであってもよい。この場合、漏洩電流算出装置１には、必要な数だけの漏洩電流計測部１２を搭載したり、あるいは不要となった漏洩電流計測部１２を漏洩電流算出装置１から取り外したりすることができるので、漏洩電流算出装置１のコストを抑えることができる。なお、漏洩電流計測部１２をこのような増設ユニットとして実現するためには、たとえば特開２０１３－１８１８１３に開示される技術を用いればよい。

[0117] （まとめ）

本発明の態様１に係る漏洩電流算出装置は、前記の課題を解決するために、異なる三相のうちいずれかが接地されている三相交流式の商用電力系統における線間電圧のうち少なくともいずれかを計測する電圧計測部と、前記電圧計測部によって計測された前記少なくともいずれかの線間電圧から、前記商用電力系統の中性点と大地と間の対地電圧を算出する対地電圧算出部と、前記商用電力系統に接続される負荷と前記大地との間を流れる漏洩電流を計測する漏洩電流計測部と、計測された漏洩電流から、前記商用電力系統の系統周波数に同期する周波数成分を抽出する周波数成分抽出部と、算出された前記対地電圧と、抽出された前記周波数成分との位相差を決定する位相差決定部と、前記商用電力系統と前記負荷との間にインバータが挿入されているか否かを判定する挿入判定部と、前記挿入判定部の判定結果に応じた算出手順に基づき、前記負荷と前記大地との間を前記負荷の対地絶縁抵抗を通じて流れる前記系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出する漏洩電流算出部とを備えていることを特徴としている。

[0118] 前記の構成によれば、漏洩電流算出装置は、商用電力系統と負荷との間にインバータが挿入されているか否かを判定する。漏洩電流算出装置は、さらに、判定結果に応じた算出手順に基づき、負荷と大地との間を負荷の対地絶

縁抵抗を通じて流れる前記系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出する。詳細には、漏洩電流算出装置は、インバータが挿入されていない場合、それに応じた算出手順に基づき対地絶縁抵抗分の漏洩電流を算出する。一方、インバータが挿入されている場合、それに応じた算出手順に基づき対地絶縁抵抗分の漏洩電流を算出する。したがって、設備にインバータがある場合も、ない場合も、対地絶縁抵抗分の漏洩電流の算出には漏洩電流算出装置があれば十分である。言い換えると、漏洩電流算出装置の他に、対地絶縁抵抗分の漏洩電流を計測するための装置は不要である。

[0119] 以上のように、本発明の態様１に係る漏洩電流算出装置は、インバータの有無に関わらず対地絶縁抵抗分の漏洩電流を精度良く算出できる。

[0120] 本発明の態様２に係る漏洩電流算出装置は、態様１において、前記挿入判定部は、前記インバータが挿入されているか否かを、前記漏洩電流算出装置の外部からの入力に基づき判定することを特徴としている。

[0121] 前記の構成によれば、インバータが挿入されているか否かを正確に判定できる。

[0122] 本発明の態様３に係る漏洩電流算出装置は、態様１において、前記挿入判定部は、前記インバータが挿入されているか否かを自動的に判定することを特徴としている。

[0123] 前記の構成によれば、漏洩電流算出装置のユーザの手間を掛けさせることなく、インバータが挿入されているか否かを判定できる。

[0124] 本発明の態様４に係る漏洩電流算出装置は、態様３において、任意の時間において計測された前記漏洩電流および決定された前記位相差の変化と、前記漏洩電流から抽出された前記周波数成分とに基づき、前記インバータが挿入されているか否かを判定することを特徴としている。

[0125] 前記の構成によれば、インバータが挿入されているか否かを正確に判定できる。

[0126] 本発明の態様５に係る漏洩電流算出方法は、前記の課題を解決するために、異なる三相のうちいずれかが接地されている三相交流式の商用電力系統に

おける線間電圧のうち少なくともいずれかを計測する電圧計測工程と、計測された前記少なくともいずれかの線間電圧から、前記商用電力系統の中性点と大地との間の対地電圧を算出する対地電圧算出工程と、前記商用電力系統に接続される負荷と前記大地との間を流れる漏洩電流を計測する漏洩電流計測工程と、計測された漏洩電流から、前記商用電力系統の系統周波数に同期する周波数成分を抽出する周波数成分抽出工程と、算出された前記対地電圧と、抽出された前記周波数成分との位相差を決定する位相差決定工程と、前記商用電力系統と前記負荷との間にインバータが挿入されているか否かを判定する挿入判定工程と、前記挿入判定工程の判定結果に応じた算出手順に基づき、前記負荷と前記大地との間を前記負荷の対地絶縁抵抗を通じて流れる前記系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出する漏洩電流算出工程とを有することを特徴としている。

[0127] 前記の構成によれば、インバータの有無に関わらず対地絶縁抵抗分の漏洩電流を精度良く算出することができる。

[0128] 本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能である。異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態も、本発明の技術的範囲に含まれる。各実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を組み合わせることによって、新しい技術的特徴を形成することもできる。

符号の説明

[0129] １１ 電圧計測部

１２ 漏洩電流計測部

１３ 対地電圧算出部

１４ 周波数成分抽出部

１５ 位相差算出部（位相差決定部）

１６ 挿入判定部

１７ 円中心算出部

１８ 抵抗分漏洩電流算出部（漏洩電流算出部）

１９　対地絶縁抵抗算出部

２０　絶縁劣化判定部（絶縁劣化負荷特定部、絶縁劣化判定部）

２１　出力部

請求の範囲

[請求項1] 異なる三相のうちいずれかが接地されている三相交流式の商用電力系統における線間電圧のうち少なくともいずれかを計測する電圧計測部と、

前記電圧計測部によって計測された前記少なくともいずれかの線間電圧から、前記商用電力系統の中性点と大地と間の対地電圧を算出する対地電圧算出部と、

前記商用電力系統に接続される負荷と前記大地との間を流れる漏洩電流を計測する漏洩電流計測部と、

計測された前記漏洩電流から、前記商用電力系統の系統周波数に同期する周波数成分を抽出する周波数成分抽出部と、

算出された前記対地電圧と、抽出された前記周波数成分との位相差を決定する位相差決定部と、

前記商用電力系統と前記負荷との間にインバータが挿入されているか否かを判定する挿入判定部と、

前記挿入判定部の判定結果に応じた算出手順に基づき、前記負荷と前記大地との間を前記負荷の対地絶縁抵抗を通じて流れる前記系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出する漏洩電流算出部とを備えていることを特徴とする漏洩電流算出装置。

[請求項2] 前記挿入判定部は、前記インバータが挿入されているか否かを、前記漏洩電流算出装置の外部からの入力に基づき判定することを特徴とする請求項１に記載の漏洩電流算出装置。

[請求項3] 前記挿入判定部は、前記インバータが挿入されているか否かを自動的に判定することを特徴とする請求項１に記載の漏洩電流算出装置。

[請求項4] 前記挿入判定部は、

任意の時間において計測された前記漏洩電流および決定された前記位相差の変化と、前記漏洩電流から抽出された前記周波数成分とに基づき、前記インバータが挿入されているか否かを判定することを特徴

とする請求項３に記載の漏洩電流算出装置。

[請求項5] 異なる三相のうちいずれかが接地されている三相交流式の商用電力系統における線間電圧のうち少なくともいずれかを計測する電圧計測工程と、

計測された前記少なくともいずれかの線間電圧から、前記商用電力系統の中性点と大地との間の対地電圧を算出する対地電圧算出工程と、

前記商用電力系統に接続される負荷と前記大地との間を流れる漏洩電流を計測する漏洩電流計測工程と、

計測された漏洩電流から、前記商用電力系統の系統周波数に同期する周波数成分を抽出する周波数成分抽出工程と、

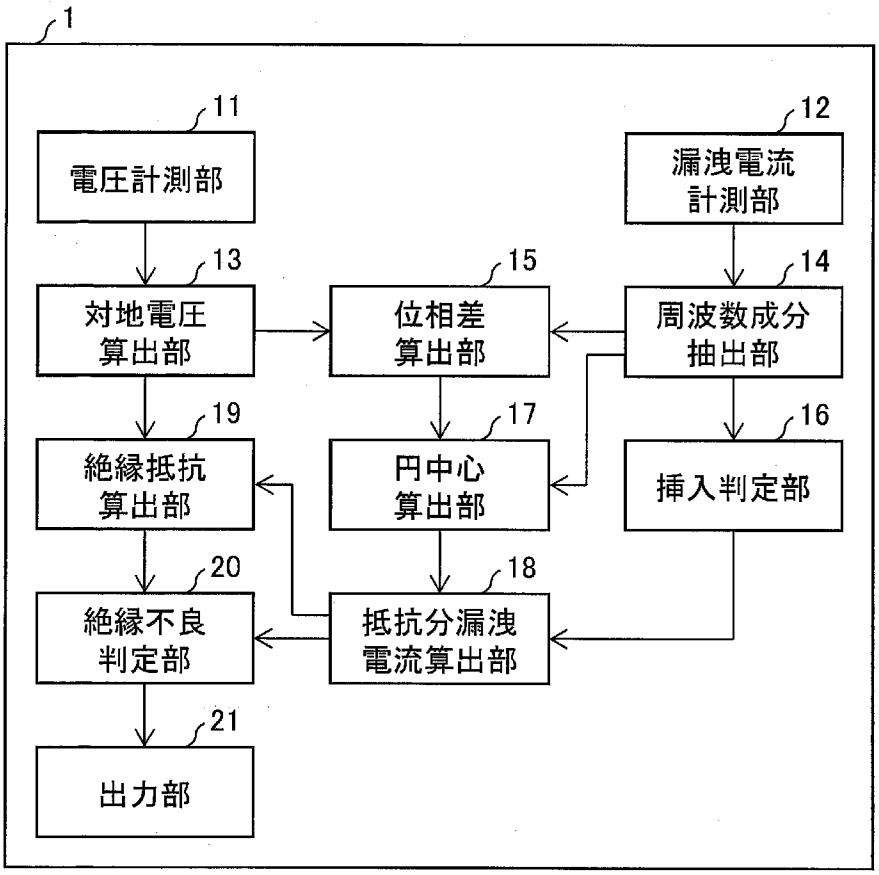
算出された前記対地電圧と、抽出された前記周波数成分との位相差を決定する位相差決定工程と、

前記商用電力系統と前記負荷との間にインバータが挿入されているか否かを判定する挿入判定工程と、

前記挿入判定工程の判定結果に応じた算出手順に基づき、前記負荷と前記大地との間を前記負荷の対地絶縁抵抗を通じて流れる前記系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出する漏洩電流算出工程とを有することを特徴とする漏洩電流算出方法。

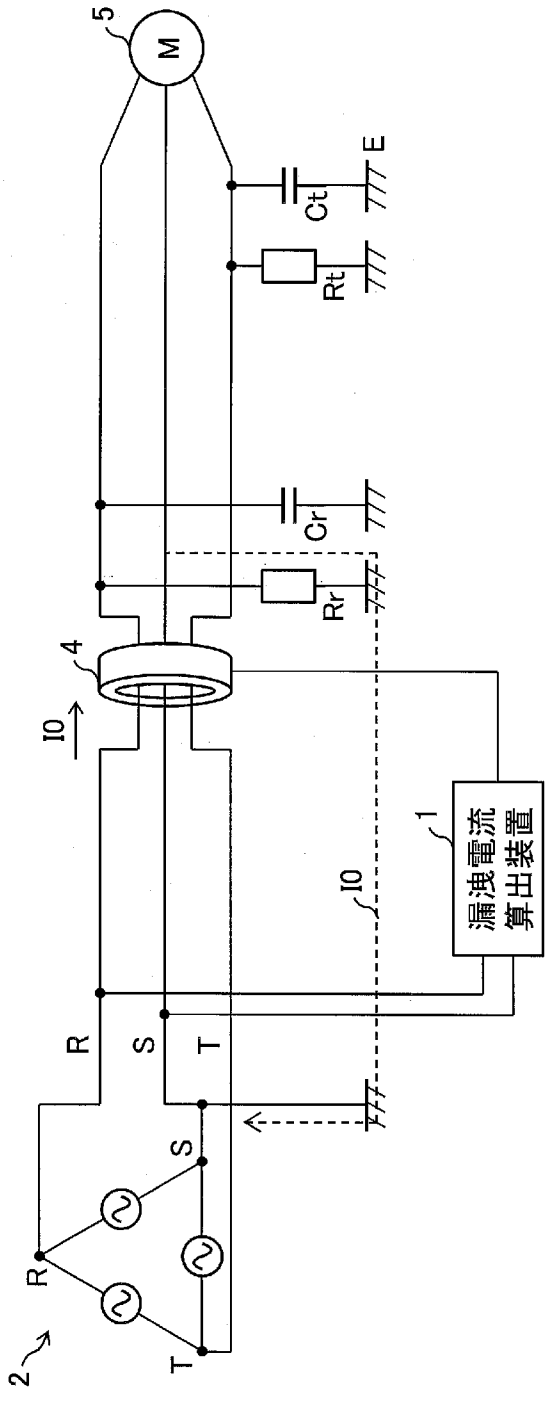
[図1]

図 1


1
11
電圧計測部
12
漏洩電流
計測部
13
対地電圧
算出部
15
位相差
算出部
14
周波数成分
抽出部
19
絶縁抵抗
算出部
17
円中心
算出部
16
挿入判定部
20
絶縁不良
判定部
18
抵抗分漏洩
電流算出部
21
出力部

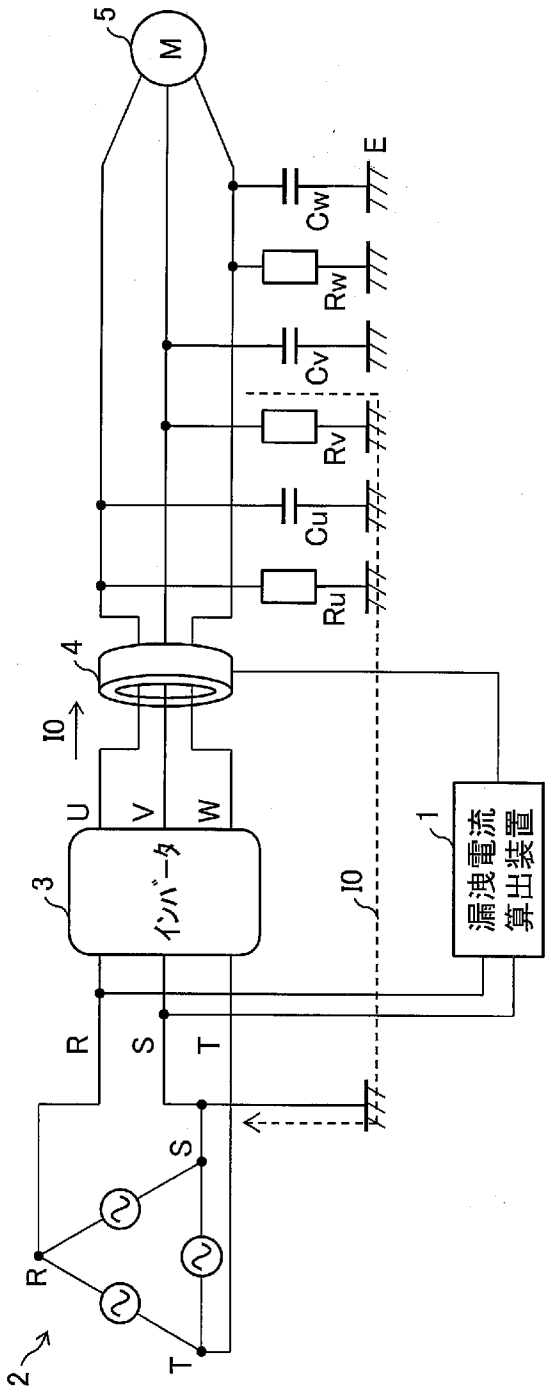
[図2]

図 2



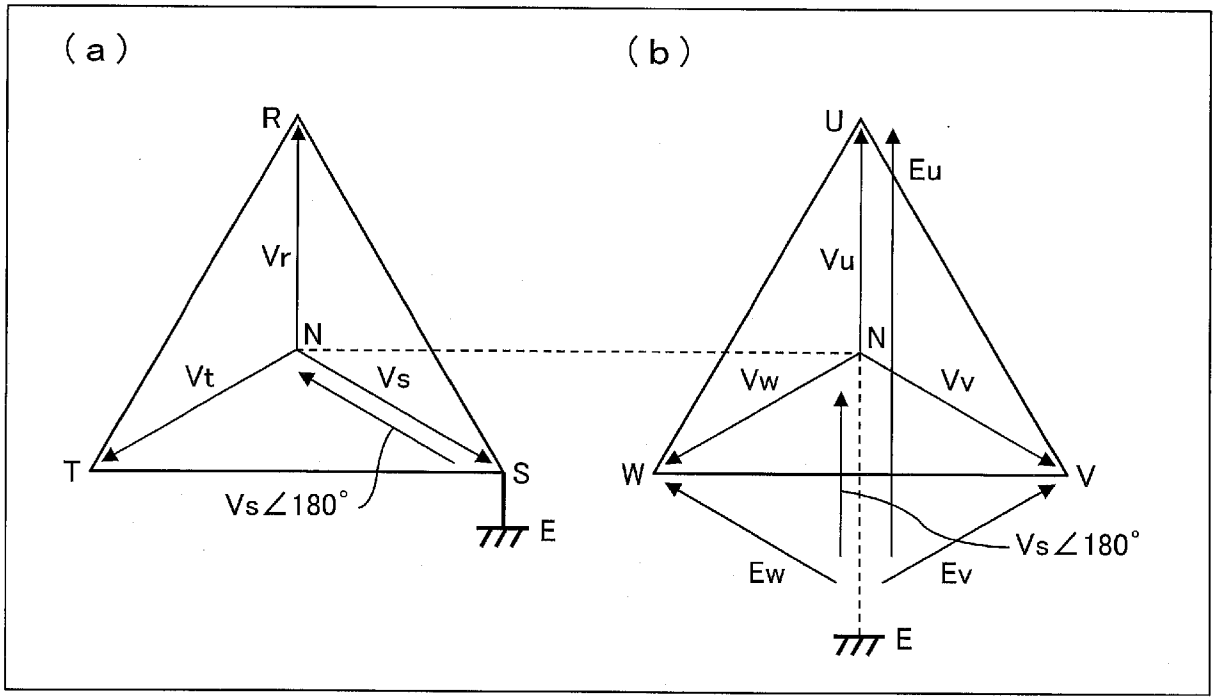
[図3]

図 3



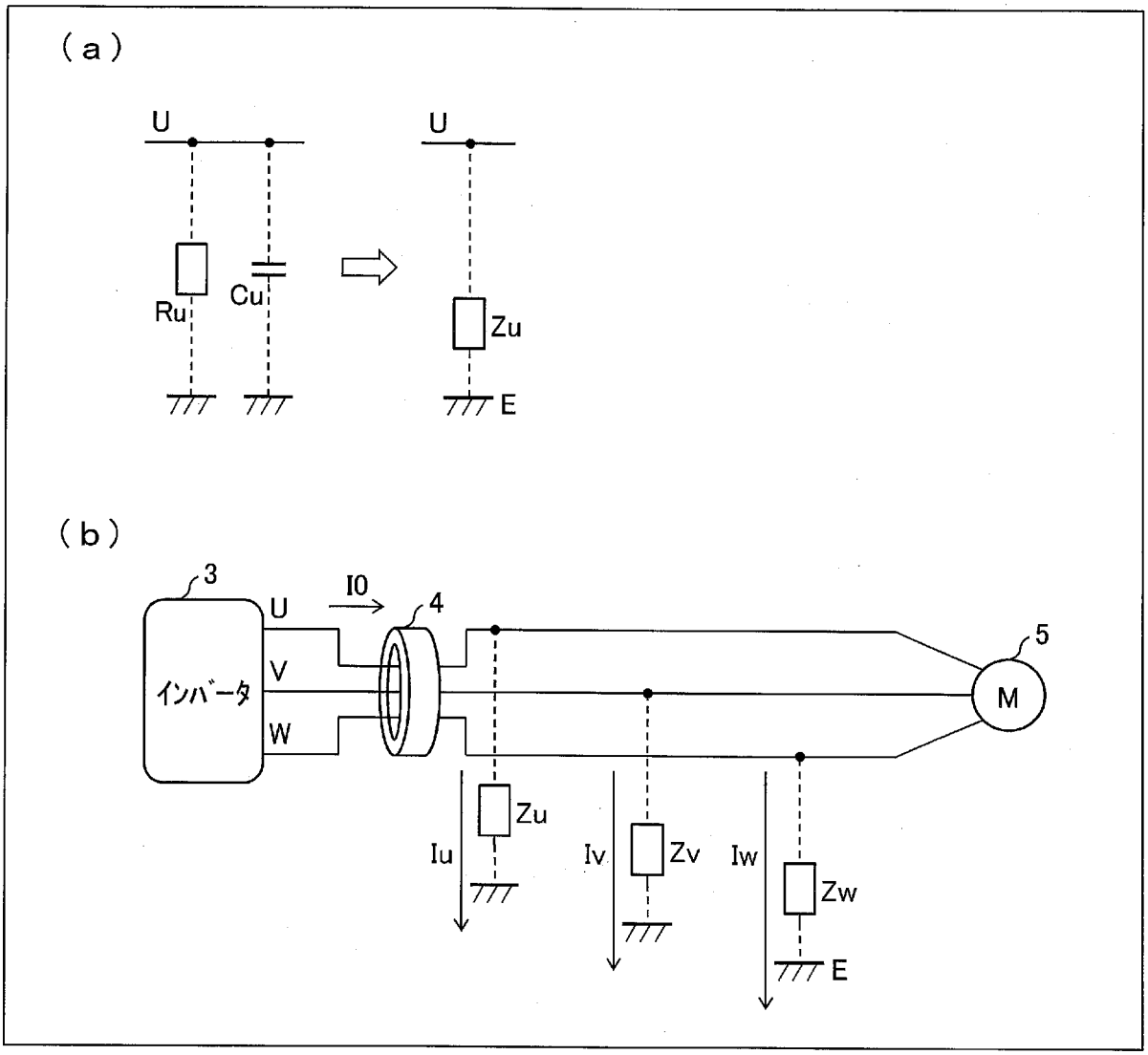
[図4]

図 4



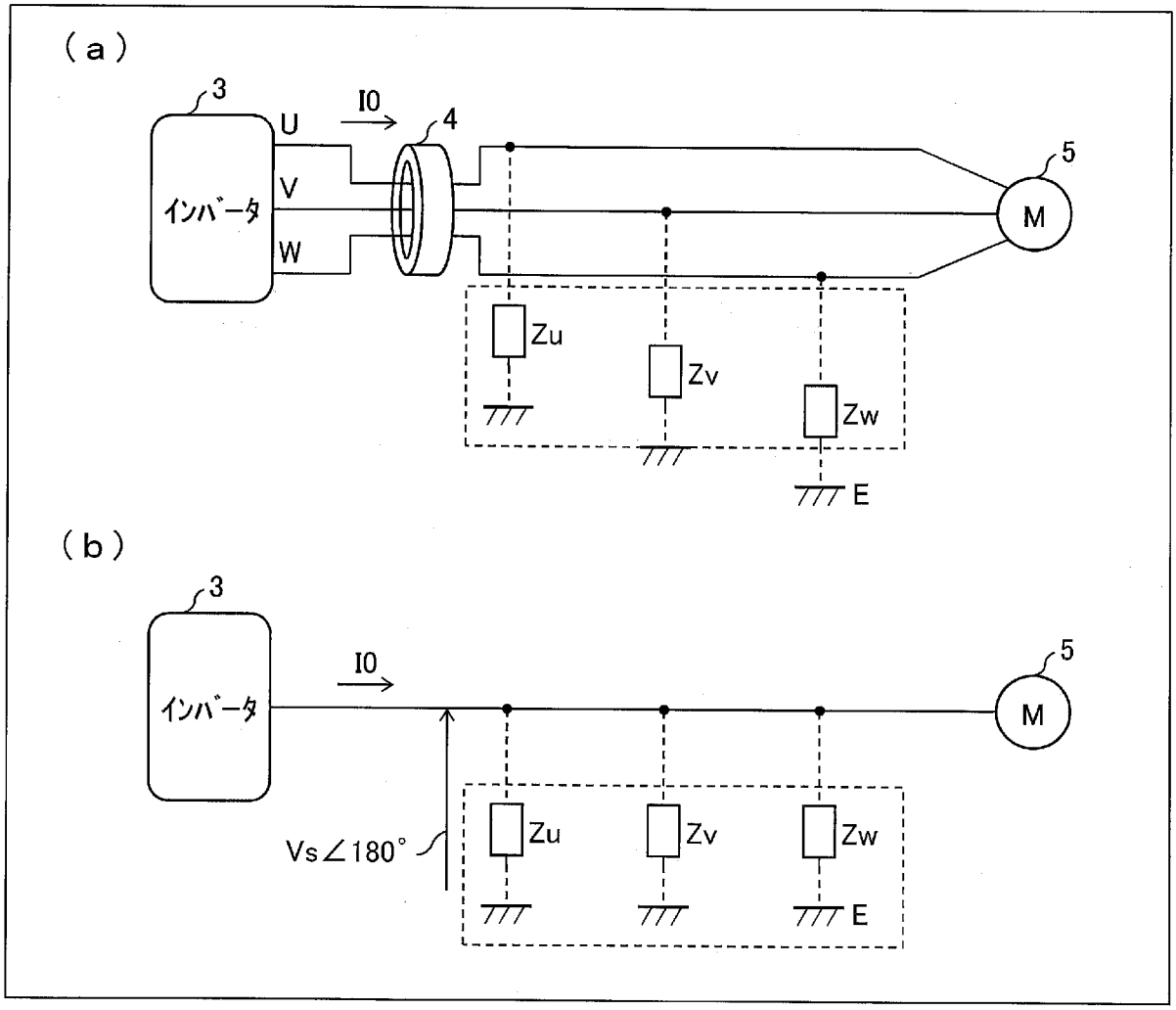
[図5]

図 5



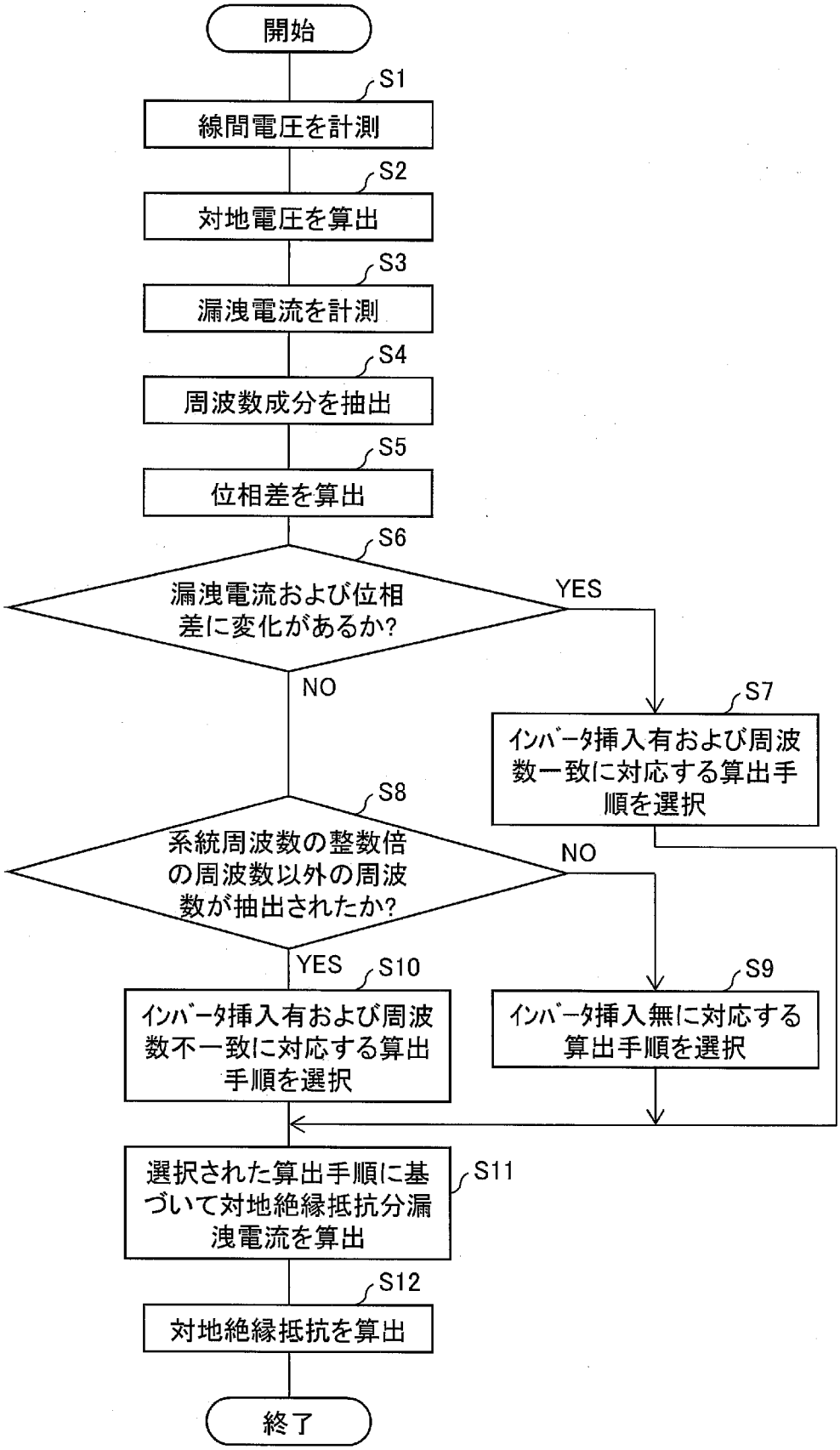
[図6]

図 6



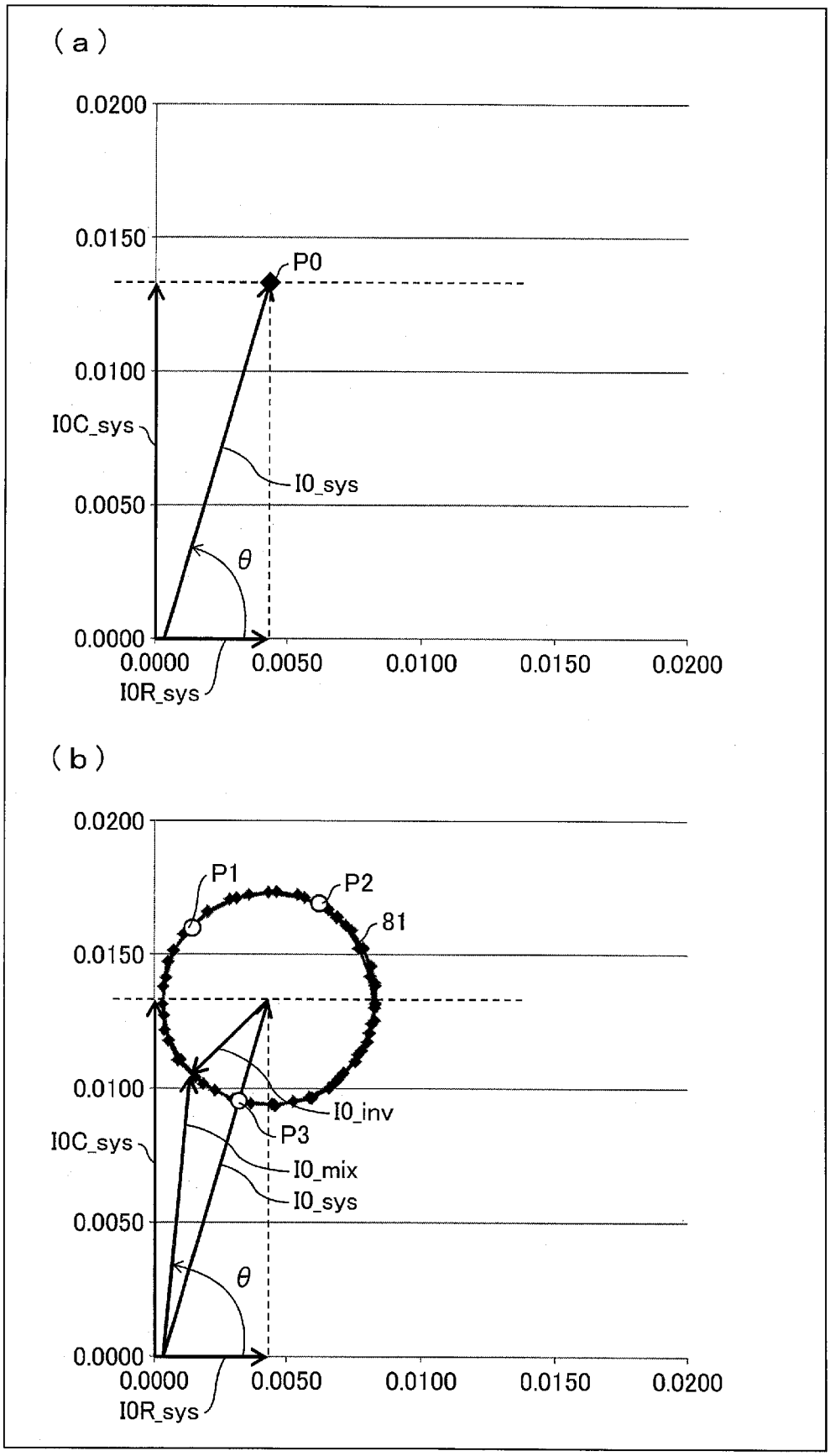
[図7]

図 7


開始
S1
線間電圧を計測
S2
対地電圧を算出
S3
漏洩電流を計測
S4
周波数成分を抽出
S5
位相差を算出
S6
漏洩電流および位相差に変化があるか?
YES
NO
S7
インバータ挿入有および周波数一致に対応する算出手順を選択
S8
系統周波数の整数倍の周波数以外の周波数が抽出されたか?
NO
YES
S10
インバータ挿入有および周波数不一致に対応する算出手順を選択
S9
インバータ挿入無に対応する算出手順を選択
S11
選択された算出手順に基づいて対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出
S12
対地絶縁抵抗を算出
終了

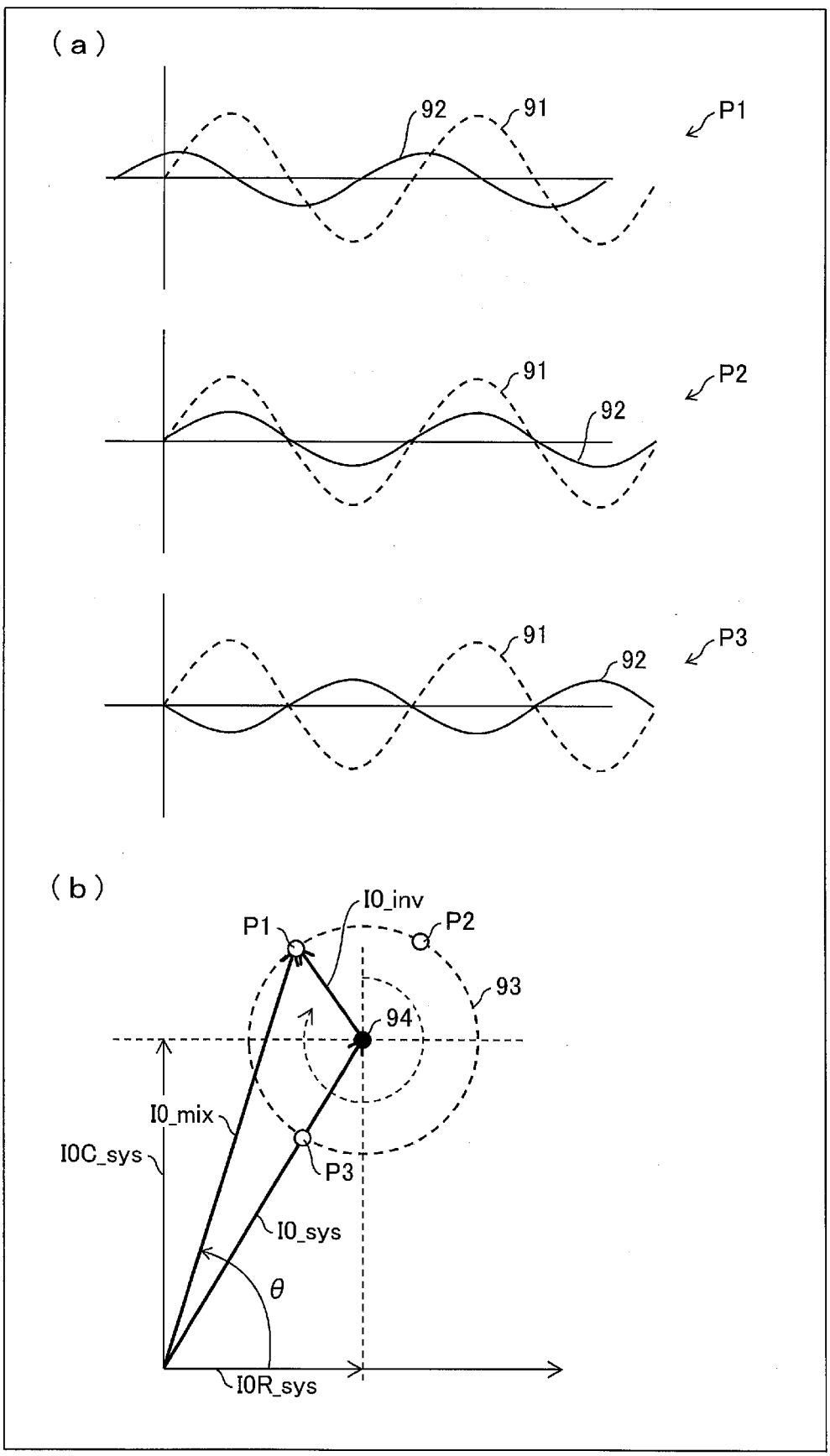
[図8]

図 8


(a)
0.0200
0.0150
0.0100
0.0050
0.0000
P0
I0C_sys
I0_sys
θ
0.0000
0.0050
0.0100
0.0150
0.0200
I0R_sys
(b)
0.0200
0.0150
0.0100
0.0050
0.0000
P1
P2
81
I0_inv
P3
I0C_sys
I0_mix
I0_sys
θ
0.0000
0.0050
0.0100
0.0150
0.0200
I0R_sys

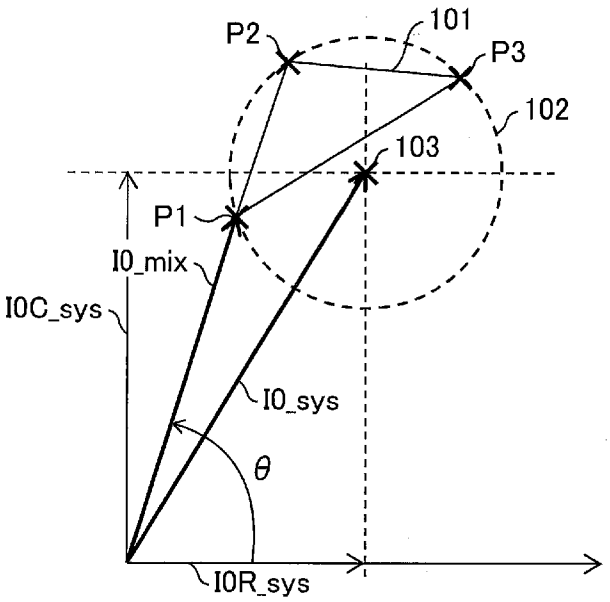
[図9]

図 9


(a)
92
91
P1
91
92
P2
91
92
P3
(b)
I0_inv
P1
P2
93
94
I0_mix
I0C_sys
P3
I0_sys
θ
I0R_sys

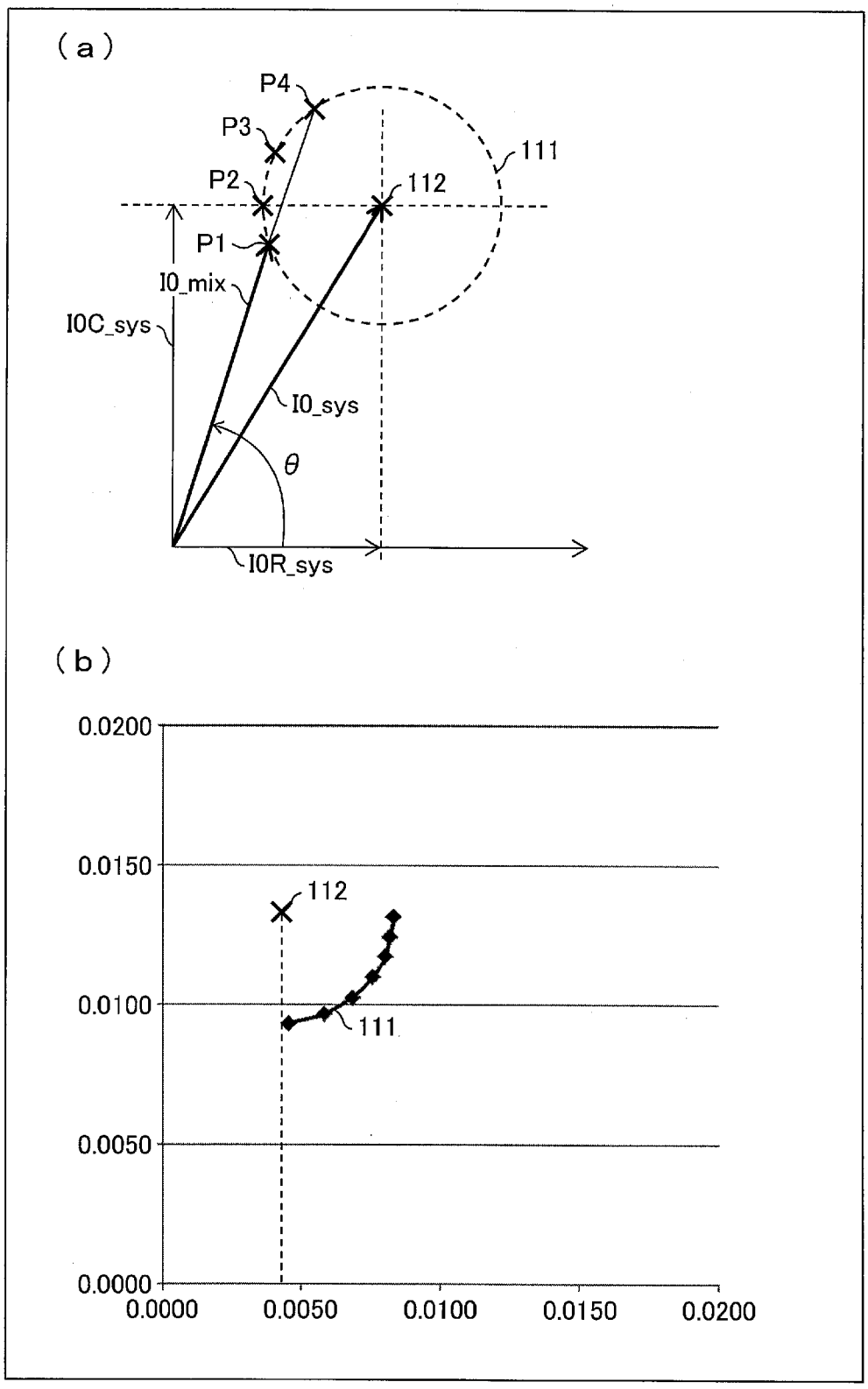
[図10]

図 10



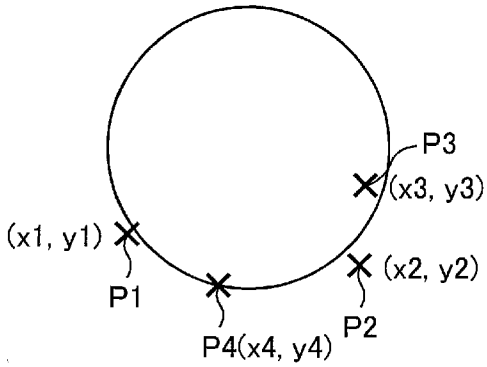
[図11]

図 11


(a)
P4
P3
P2
P1
111
112
I0_mix
I0C_sys
I0_sys
θ
I0R_sys
(b)
0.0200
0.0150
0.0100
0.0050
0.0000
112
111
0.0000
0.0050
0.0100
0.0150
0.0200

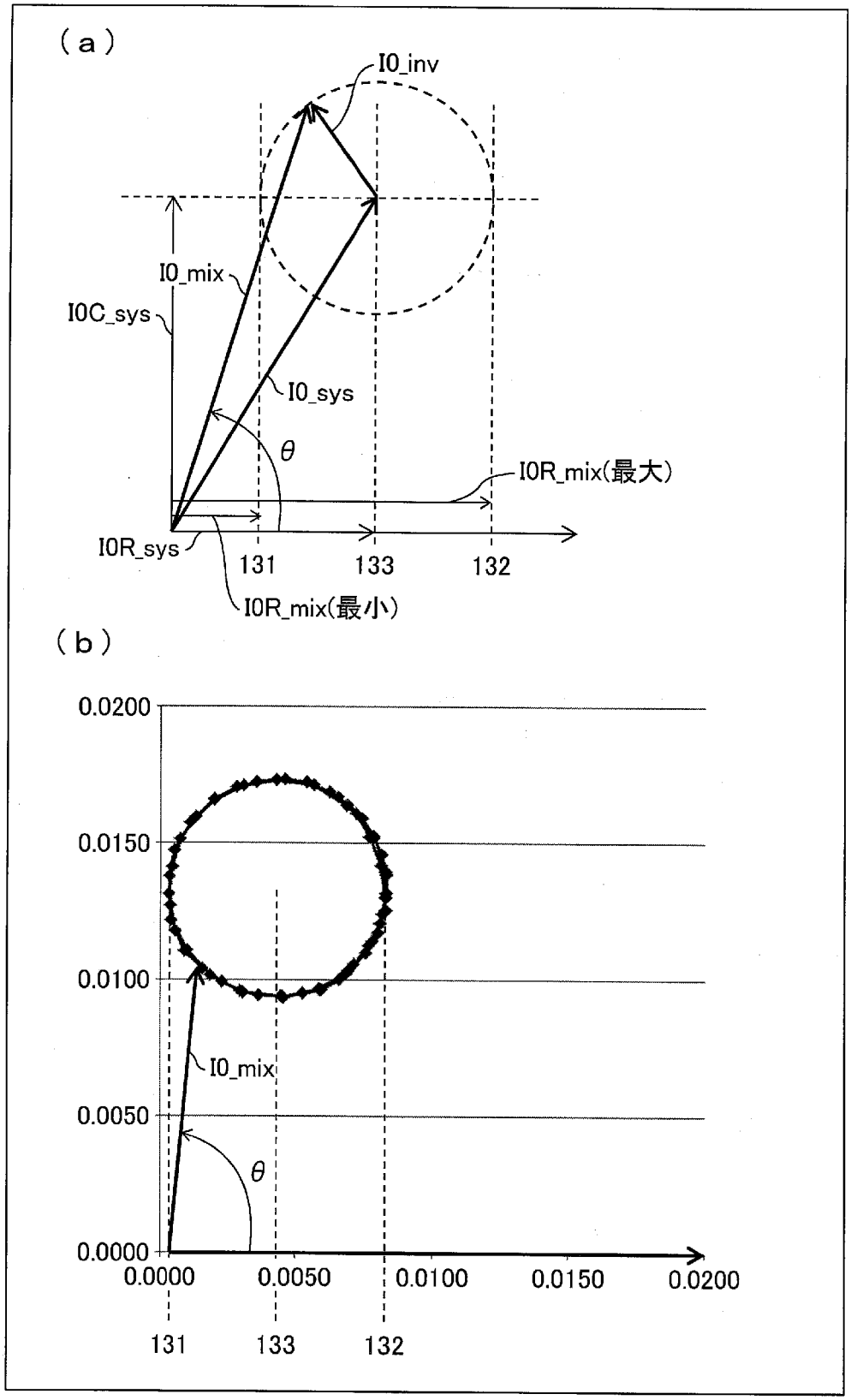
[図12]

図 12



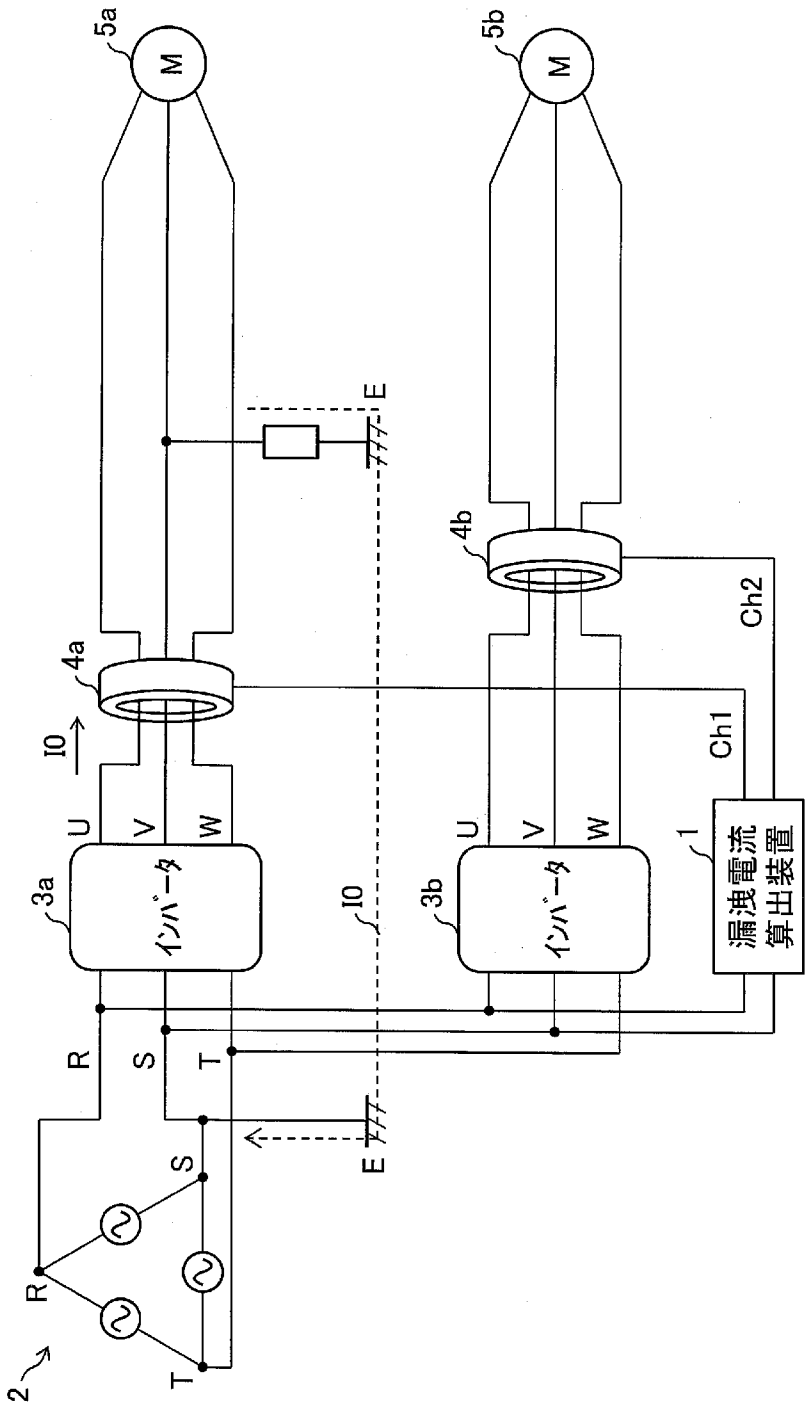
[図13]

図 13


(a)
I0_inv
I0_mix
I0C_sys
I0_sys
θ
I0R_mix(最大)
I0R_sys
131
133
132
I0R_mix(最小)
(b)
0.0200
0.0150
0.0100
0.0050
0.0000
I0_mix
θ
0.0000
0.0050
0.0100
0.0150
0.0200
131
133
132

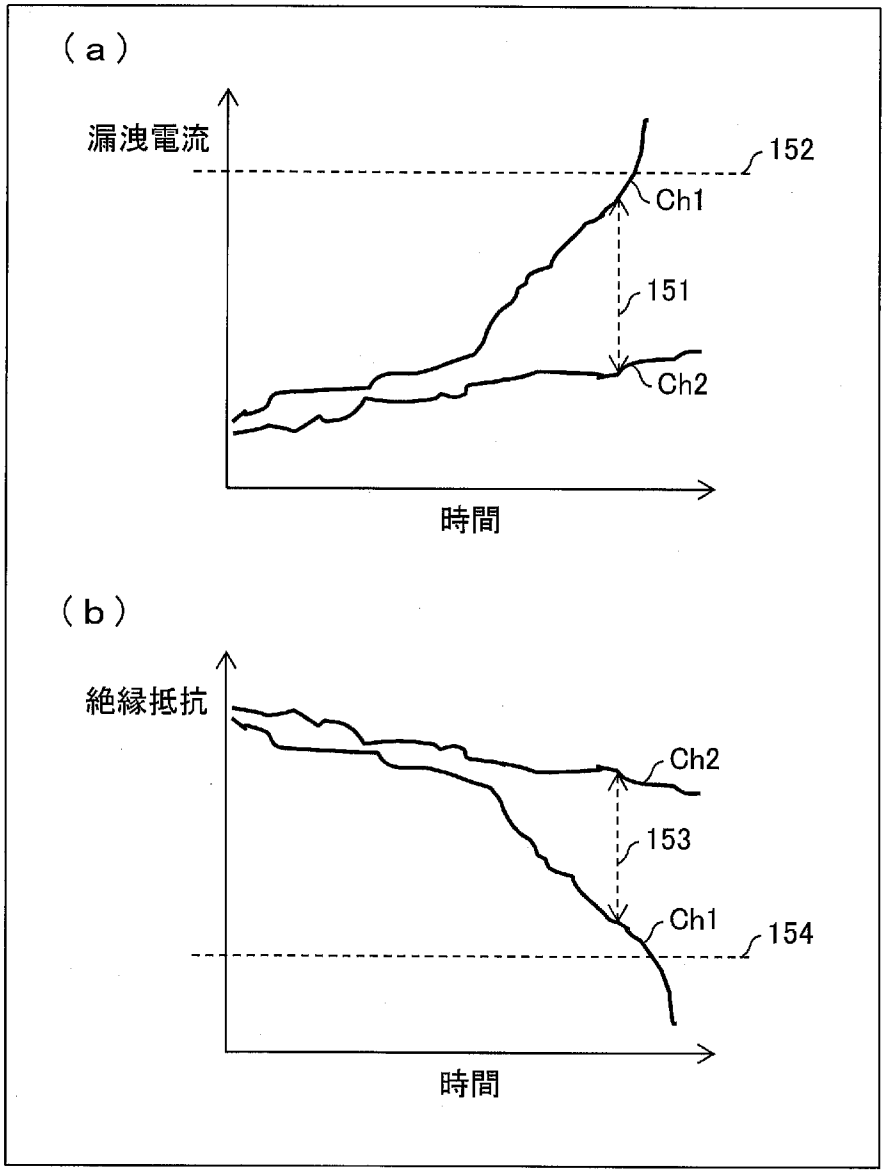
[図14]

図 14


5a
M
5b
M
E
4b
Ch2
4a
I0
Ch1
U
V
W
3a
インバータ
I0
3b
インバータ
1
漏洩電流
算出装置
R
S
T
S
E
R
T
2

[図15]

図 15



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/005804

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int. Cl. G01R31/02(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int. Cl. G01R31/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018
Registered utility model specifications of Japan 1996-2018
Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2012-251817 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 20 December 2012, entire text, all drawings & CN 102809717 A	1-5
A	WO 2006/035519 A1 (ATOJI, Toyotsugu) 06 April 2006, entire text, all drawings & US 2008/0165462 A1 & EP 1855122 A1 & CN 101120259 A & KR 10-2010-0039434 A & HK 1116543 A & AU 2005288465 A & KR 10-2011-0050571 A & TW 200702673 A	1-5
A	JP 2011-153910 A (PATOKKUSU JAPAN CORP.) 11 August 2011, entire text, all drawings (Family: none)	1-5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
26.04.2018	15.05.2018
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/005804

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 5631444 B1 (TANASHIN DENKI CO., LTD.) 17 October 2014, entire text, all drawings & US 2016/0124038 A1 & WO 2014/192217 A1 & EP 3006947 A1 & TW 201447321 A & KR 10-2015-0131395 A & CN 105264393 A	1-5
P, A	WO 2017/154271 A1 (OMRON CORP.) 14 September 2017, entire text, all drawings & JP 2017-161362 A	1-5

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１８／００５８０４

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01R31/02(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01R31/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１８年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１８年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１８年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2012-251817 A (三菱電機株式会社) 2012.12.20, 全文, 全図 & CN 102809717 A	1-5
A	WO 2006/035519 A1 (阿閉　豊次) 2006.04.06, 全文, 全図 & US 2008/0165462 A1 & EP 1855122 A1 & CN 101120259 A & KR 10-2010-0039434 A & HK 1116543 A & AU 2005288465 A & KR 10-2011-0050571 A & TW 200702673 A	1-5

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
２６．０４．２０１８	１５．０５．２０１８

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｓ　３０１５
山崎　仁之
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２１６

C（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2011-153910 A (パトックス．ジャパン株式会社) 2011.08.11, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-5
A	JP 5631444 B1 (タナシン電機株式会社) 2014.10.17, 全文, 全図 & US 2016/0124038 A1 & WO 2014/192217 A1 & EP 3006947 A1 & TW 201447321 A & KR 10-2015-0131395 A & CN 105264393 A	1-5
P,A	WO 2017/154271 A1 (オムロン株式会社) 2017.09.14, 全文, 全図 & JP 2017-161362 A	1-5