

(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  
2017年9月14日(14.09.2017)



(10) 国際公開番号  
WO 2017/154271 A1

- (51) 国際特許分類:  
G01R 31/02 (2006.01) G01R 19/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/084416
- (22) 国際出願日: 2016年11月21日(21.11.2016)
- (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 2016-046127 2016年3月9日(09.03.2016) 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: 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). ▲桑▼原 貴憲(KUWAHARA, Takanori); 〒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).
- (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, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, 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).

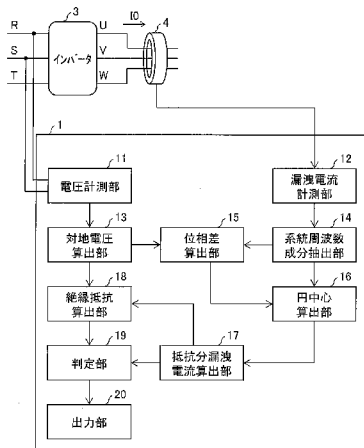
添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

(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】



- 3... INVERTER
- 11... VOLTAGE MEASUREMENT UNIT
- 12... LEAKAGE CURRENT MEASUREMENT UNIT
- 13... VOLTAGE-TO-GROUND CALCULATION UNIT
- 14... SYSTEM FREQUENCY COMPONENT EXTRACTION UNIT
- 15... PHASE DIFFERENCE CALCULATION UNIT
- 16... CIRCLE CENTER CALCULATION UNIT
- 17... LEAKAGE-CURRENT RESISTANCE PORTION CALCULATION UNIT
- 18... INSULATION RESISTANCE CALCULATION UNIT
- 19... DETERMINATION UNIT
- 20... OUTPUT UNIT

(57) Abstract: A leakage-current resistance portion calculation unit (17) calculates, on the basis of the center point of a circle drawn using each specific point specified by leakage current components extracted from at least three different points in time and a calculated phase difference, the insulation-to-ground resistance portion of the system-frequency portion of the leakage current of a commercial power system (2) that flows between a three-phase motor (5) and a ground (E) through the resistance of the insulation to ground of the three-phase motor (5). As a result, the insulation-to-ground resistance portion of the system-frequency portion of the leakage current of a commercial power system is calculated with a high degree of accuracy when the system frequency of the commercial power system and the operating frequency of an inverter match.

(57) 要約: 抵抗分漏洩電流算出部(17)は、少なくとも3つの異なる時点において抽出された漏洩電流成分および算出された位相差によって特定される各特定点が描く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商用電力系統(2)の系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出する。これにより、商用電力系統の系統周波数と、インバータ機器の運転周波数とが一致する場合に系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流が精度良く算出される。

WO 2017/154271 A1

## 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一例として、特許文献1に、基本交流周波数波形のゼロクロス間に対応する期間において周波数帯域の零相電流成分を積分することにより、対地漏洩電流のうちの、三相モーターの対地容量成分を除く対地絶縁抵抗成分を通じて流れる漏洩電流値を算出する漏洩電流算出装置が開示されている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 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

[0004] 特許文献1の漏洩電流算出装置は、商用電力システムの周波数と、インバータ機器の運転周波数との設定が異なる場合は、対地絶縁抵抗成分を通じて流れる漏洩電流を精度良く算出することができる。しかし、商用電力システムの周波数と、インバータ機器の運転周波数との設定が一致する場合は、算出される漏洩電流に誤差が生じる恐れがある。

[0005] 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、商用電力システムの系統周波数と、インバータ機器の運転周波数とが一致する場合に系統周波数分の対地絶縁抵抗分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

[0006] 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システムを電源とするインバータ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電圧計測部と、前記電圧計測部によって計測された少なくともいずれかの前記線間電圧から、前記商用電力システム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部と、前記インバータの出力側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、前記商用電力システムの系統周波数に同期する漏洩電流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、抽出された前記漏洩電流成分との位相差を決定する位相差決定部と、少なくとも3つの異なる時点において抽出された前記漏洩電流成分および決定された前記位相差によって特定される各特定点が描く円の中心点に基づき、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。

[0007] 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システムを電源とするインバータ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、前記商用電力システム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、前記インバータの出力側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、計測された前記漏洩電流から、前記商用電力システムの系統周波数に同期する漏洩電流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、決定された前記漏洩電流成分との位相差を決定する位相差決定工程と、少なくとも3つの異なる時点において抽出された前記漏洩電流成分および決定された前記位相差によって特定される各特定点が描く円の中心点に基づき、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前記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

[0008] 本発明によれば、商用電力システムの系統周波数と、インバータ機器の運転周波数とが一致する場合に、系統周波数分の対地絶縁抵抗分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

[0009] [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における商用電力システム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4]本発明の実施形態1における三相モーターと大地との間を流れる漏洩電流を説明する図である。

[図5]本発明の実施形態1における三相モーターと大地との間の対地絶縁抵抗を説明する図である。

[図6]本発明の実施形態1に係る漏洩電流算出装置が、商用電力システム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7]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8]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9]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10]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3の方法を説明する図である。

[図12]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13]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

[0010] [実施形態1]

図1～図11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。

[0011] (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サーボモーターなどの三相モーター5（負荷）を監視するように構成されている。

[0012] 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。

[0013] 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。

[0014] 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 $I_0$ を計測する。詳しくは後述するが、この零相電流 $I_0$ 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] (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 1 1、漏洩電流計測部 1 2、対地電圧算出部 1 3、系統周波数成分抽出部 1 4 (周波数成分抽出部)、位相差算出部 1 5 (位相差決定部)、円中心算出部 1 6、抵抗分漏洩電流算出部 1 7 (漏洩電流算出部)、絶縁抵抗算出部 1 8、判定部 1 9 (絶縁劣化負荷特定部、絶縁劣化判定部)、および出力部 2 0 を備えている。

[0016] 電圧計測部 1 1 は、インバータ 3 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。本実施形態では、インバータ 3 の入力側における 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良い。たとえば電圧計測部 1 1 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良い。なお、電圧計測部 1 1 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。

[0017] 対地電圧算出部 1 3 は、電圧計測部 1 1 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。

[0018] 漏洩電流計測部 1 2 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 1 2 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。

[0019] 系統周波数成分抽出部 1 4 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漏洩電流成分 (すなわち系統周波数と同一の周波数

の漏洩電流成分)を抽出する。この抽出処理には、たとえばDFT (Discrete Fourier Transform) またはFFT (Fast Fourier Transform) などを用いても良い。

[0020] 位相差算出部15は、算出された対地電圧と、抽出された漏洩電流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。

[0021] 円中心算出部16は、少なくとも3つの異なる時点において算出された漏洩電流成分および決定された位相差によって特定される各点(特定点)が描く円の中心点を算出する。

[0022] 抵抗分漏洩電流算出部17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。

[0023] 絶縁抵抗算出部18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、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。

[0024] 判定部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(絶縁劣化)の有無を判定する。

[0025] 出力部20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。

[0026] (対地電圧の算出)

図3は、本発明の実施形態1における商用電力系統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、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3を参照して以下に説明する。

- [0027] 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3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 $V_s$ であるため、N相と大地Eとの間の電圧は、系統電圧 $V_s$ と位相が $180^\circ$ 反転した電圧 $V_s \angle 180^\circ$ である。
- [0028] 一方、図3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 $V_s \angle 180^\circ$ に等しい。また、図3の（b）に示すように、U相の対地電圧 $E_u$ は、N相とU相との間の電圧 $V_u$ に、 $V_s \angle 180^\circ$ を加えたものである。V相の対地電圧 $E_v$ は、N相とV相との間の電圧 $V_v$ に、 $V_s \angle 180^\circ$ を加えたものである。W相の対地電圧 $E_w$ は、N相とW相との間の電圧 $V_w$ に、 $V_s \angle 180^\circ$ を加えたものである。すなわち、 $E_u = V_u + V_s \angle 180^\circ$ 、 $E_v = V_v + V_s \angle 180^\circ$ 、および $E_w = V_w + V_s \angle 180^\circ$ である。
- [0029] ここで、U相の電圧 $V_u$ 、V相の電圧 $V_v$ 、およびW相の電圧 $V_w$ は、互いに位相が $120^\circ$ 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、 $V_u + V_v + V_w = 0$ である。そのため、電圧 $V_s \angle 180^\circ$ 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。
- [0030] 図3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 $V_r$ と、対地電圧 $V_s$ 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 $V_s$ を算出することができる。系統電圧 $V_s$ と、対地電圧 $V_s \angle 180^\circ$ とは、互いに実効値が等しく、かつ、互いに位相が $180^\circ$ 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 $V_s$ の位相を $180^\circ$ ずらすことによって、対地電圧 $V_s \angle 180^\circ$ を算出することができる。

## [0031] (漏洩電流)

図4は、本発明の実施形態1における三相モーター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。

[0032] 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4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 $R_u$ および対地浮遊容量 $C_u$ は、いずれも、U相と大地Eとの間にあるインピーダンス $Z_u$ を構成する成分である。

[0033] 同様に、V相と大地Eとの間にある対地絶縁抵抗 $R_v$ および対地浮遊容量 $C_v$ は、いずれも、V相と大地Eとの間にあるインピーダンス $Z_v$ 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 $R_w$ および対地浮遊容量 $C_w$ は、いずれも、W相と大地Eとの間にあるインピーダンス $Z_w$ を構成する成分である。

[0034] 図4の(b)に示すように、インバータ3の出力側において、各相を通してそれぞれ漏洩電流が流れる。具体的には、U相を通して漏洩電流 $I_u$ が流れ、V相を通して漏洩電流 $I_v$ が流れ、W相を通して漏洩電流 $I_w$ が流れる。インバータ3の出力側を流れる零相電流 $I_0$ は、各相の漏洩電流の総和に等しい。したがって、 $I_0 = I_u + I_v + I_w$ である。

[0035] 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 $V_s \angle 180^\circ$ が同位相にかかる。そのため、 $I_u = V_s \angle 180^\circ \div Z_u$ 、 $I_v = V_s \angle 180^\circ \div Z_v$ 、 $I_w = V_s \angle 180^\circ \div Z_w$ である。したがって、 $I_0 = V_s \angle 180^\circ \div (1 \div Z_u + 1 \div Z_v + 1 \div Z_w)$ である。

[0036] 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 $I_0$ 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 $I_0$ と表記する場合もある。

## [0037] (対地絶縁抵抗)

図5は、本発明の実施形態1における三相モーター5と大地Eとの間の対地絶縁抵抗を説明する図である。

[0038] 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 $V_s \angle 180^\circ$ が同位相にかかる。このことは、対地電圧 $V_s \angle 180^\circ$ がかかる共通の母線に $Z_u$ 、 $Z_v$ 、および $Z_w$ 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 $Z_0$ とすると、 $1 \div Z_0 = 1 \div Z_u + 1 \div Z_v + 1 \div Z_w$ である。この式を変形すると $I_0 = V_s \angle 180^\circ \div Z_0$ となり、したがって $Z_0 = V_s \angle 180^\circ \div I_0$ である。

[0039] 対地合成インピーダンス $Z_0$ 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、 $Z_0$ のうち対地絶縁抵抗を通じて流れる電流 $I_{0r}$ は、零相電流 $I_0$ と対地電圧 $V_s \angle 180^\circ$ との位相差を $\theta$ とすると、 $I_0 \times \cos \theta$ である。一方、 $Z_0$ のうち対地浮遊容量を通じて流れる電流 $I_{0c}$ は、 $I_0 \times \sin \theta$ である。

[0040] これにより、三相モーター5の対地絶縁抵抗 $R_0$ は、 $R_0 = V_s \angle 180^\circ \div I_{0r}$ 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 $C_0$ は、 $C_0 = V_s \angle 180^\circ \div I_{0c}$ によって算出される。

[0041] （漏洩電流の算出原理）

図6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。

[0042] 漏洩電流計測部12によって計測される漏洩電流 $I_0$ には、商用電力系統2の系統周波数に同期する成分（ $I_{0\_sys}$ ）と、インバータ3の運転周波数に同期する成分（ $I_{0\_inv}$ ）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 $I_0$ 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 $I_{0\_sys}$ のみを抽出する必要がある。

[0043] 図6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。

[0044] 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 $I_0$ から、系統周波数成分の漏洩電流 $I_{0\_sys}$ 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 $I_{0\_sys}$ 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 $I_{0\_inv}$ は含まれない。

[0045] 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 $V_s \angle 180^\circ$ 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 $I_0$ の位相は、対地浮遊容量の影響により対地電圧 $V_s \angle 180^\circ$ の位相からずれることになる。したがって、漏洩電流 $I_0$ から抽出される漏洩電流 $I_{0\_sys}$ の位相差 $\theta$ も、対地電圧 $V_s \angle 180^\circ$ の位相からずれている。

[0046] 図6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 $I_0$ から抽出される漏洩電流成分には、漏洩電流 $I_{0\_sys}$ のみが含まれている。そのため、対地電圧 $V_s \angle 180^\circ$ と漏洩電流成分( $I_{0\_sys}$ そのもの)との位相差 $\theta$ は、計測の時点に関わらず常に等しい。

[0047] したがって、図6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 $\theta$ の角度を設けて漏洩電流 $I_{0\_sys}$ のベクトルを描くと、このベクトルの終点P0は、漏洩電流 $I_{0\_sys}$ 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 $I_{0R\_sys}$ に精度良く対応する。すなわち、この投影点の値は、 $I_{0R\_sys}$ 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  $I_{OC\_sys}$  に精度良く対応する。すなわち、この投影点の値は、 $I_{OC\_sys}$  の実効値である。

[0048] 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  $I_O$  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  $I_{O\_sys}$  を精度良く算出することができる。この結果、対地電圧  $V_s \angle 180^\circ$  と、漏洩電流  $I_{OR\_sys}$  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。

[0049] (周波数が一致する場合)

一方、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  $I_O$  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、系統周波数成分抽出部 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  $I_{O\_sys}$  と、運転周波数分の漏洩電流  $I_{O\_inv}$  との両方が含まれているためである。

[0050] 系統周波数と運転周波数との設定が一致する場合、系統周波数成分抽出部 14 は、漏洩電流  $I_O$  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、系統周波数成分抽出部 14 が漏洩電流  $I_O$  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  $I_{O\_sys}$  と、運転周波数に同期する漏洩電流  $I_{O\_inv}$  とが混合された漏洩電流  $I_{O\_mix}$  が抽出される。

[0051] この場合、図 6 の (b) に示すように、平面座標系に描かれるベクトルは、 $I_{O\_sys}$  のベクトルと、 $I_{O\_inv}$  のベクトルとの合成ベクトル ( $I_{O\_mix}$  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、 $I_{O\_inv}$  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 6 の (b) に示すように、この変化は各終点が円 61 を描

くように発生する。

[0052] 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6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  $I_{OR\_sys}$  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  $I_{OR\_sys}$  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。

[0053] (円を描く理由)

図7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、抽出された漏洩電流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。

[0054] 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7の(a)に示すように、 $I_{O\_sys}$ の波形71と、 $I_{O\_inv}$ の波形72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。

[0055] 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  $I_O$  から抽出された漏洩電流  $I_{O\_mix}$  には、系統周波数分の漏洩電流  $I_{O\_sys}$  と、運転周波数分の漏洩電流  $I_{O\_inv}$  とが含まれている。この場合、決定される位相差  $\theta$  は、対地電圧  $V_s \angle 180^\circ$  と、漏洩電流  $I_{O\_mix}$  との位相差であるため、漏洩電流  $I_{O\_inv}$  に含まれる  $I_{O\_sys}$  の波形と  $I_{O\_inv}$  の波形との間にずれが生じることによって、位相差  $\theta$  の値が時間とも共にずれてゆく。これにより、漏洩電流  $I_{O\_mix}$  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7の(a)のP1~P3の波形のずれに対応して、漏洩電流  $I_O$  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  $\theta$  が時間的に変化するに伴い、 $I_{O\_mix}$  の終点は図7の(b)に示すように時間と共

に円73を描く。すなわち、P1～P3は原理的に円73上にプロットされる。

[0056] IO<sub>sys</sub>の終点は、円73の中心点74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74を算出し、さらに中心点74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、IOR<sub>sys</sub>およびIOC<sub>inv</sub>を精度良く算出する。

[0057] 漏洩電流IO<sub>mix</sub>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。

[0058] (第1の手法)

図8は、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。

[0059] 図8の例では、系統周波数成分抽出部14は、3つの異なる時点において、IO<sub>mix</sub>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 $\theta$ を算出する。これにより円中心算出部16は、3つの時点において決定された漏洩電流IO<sub>mix</sub>および位相差 $\theta$ とに基づき、各IO<sub>mix</sub>をベクトル表記した際の終点である点P1～P3を算出する。

[0060] 円中心算出部16は、これらの点P1～P3を通る円82を直接算出する代わりに、これらを頂点とする三角形81の外心を算出する。この外心は、三角形81に外接する円82の中心点83に一致する。このように図8の例では、円中心算出部16は、P1～P3を頂点とする三角形81の外心を算出することによって、これらの点を通る円82の中心点83を算出することができる。

[0061] 円中心算出部16は、算出した中心点83を抵抗分漏洩電流算出部17に出力する。図8に示すように、平面座標系の原点を始点とし、中心点83を終点とするベクトルは、漏洩電流IOから抽出された漏洩電流IO<sub>mix</sub>のうちの系統周波数分の漏洩電流IO<sub>sys</sub>に他ならない。そこで抵抗分漏洩電流算出部17は、算出された中心点83を横軸に投影することによつ

て、系統周波数分の漏洩電流  $I_{O\_sys}$  のうちの対地絶縁抵抗分の漏洩電流  $I_{OR\_sys}$  を算出することができる。

[0062] 抵抗分漏洩電流算出部 17 は、算出した  $I_{OR\_sys}$  を絶縁抵抗算出部 18 に出力する。絶縁抵抗算出部 18 は、漏洩電流  $I_{OR\_sys}$  および対地電圧  $V_s \angle 180^\circ$  を用いて、三相モーター 5 の対地絶縁抵抗を算出する。

[0063] この方法では、3つの点  $P_1 \sim P_3$  のみを用いて、中心点 83 が算出される。すなわち、 $I_{OR\_sys}$  を算出するためには、漏洩電流  $I_O$  を3つの異なる時点において計測すれば足りるので、 $I_{OR\_sys}$  を高速に算出することができる。

[0064] (第2の方法)

図9は、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。

[0065] 図9の例では、系統周波数成分抽出部 14 は、4つ以上の異なる時点において、 $I_{O\_mix}$  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  $\theta$  を算出する。これにより円中心算出部 16 は、4つ以上の時点において決定された漏洩電流  $I_{O\_mix}$  および位相差  $\theta$  とに基づき、各  $I_{O\_mix}$  をベクトル表記した際の終点である各点  $P_n$  ( $n=1, 2, 3, 4, \dots$ ) を算出する。

[0066] 円中心算出部 16 は、これらの各点  $P_n$  を通る円 91 の方程式を算出する。そして、この方程式を用いて、円 91 の中心点 92 を算出する。図9の例では、円中心算出部 16 は、算出された各点  $P_n$  を用いた円の最小二乗法によって、円 91 の方程式を算出する。以下、より具体的に説明する。

[0067] 図10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  $P_n$  が、点  $P_1 (x_1, y_1)$ 、点  $P_2 (x_2, y_2)$ 、点  $P_3 (x_3, y_3)$ 、点  $P_4 (x_4, y_4)$ 、 $\dots$  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 91 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) <sup>2</sup> = r <sup>2</sup>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。

[0068] 誤差Eは、 E = Σ ( ( x − a ) <sup>2</sup> × ( y − b ) <sup>2</sup> = r <sup>2</sup> ) 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、 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。

[0069] E = Σ ( x <sup>2</sup> + y <sup>2</sup> + A x + B y + C )

ここで、 A = − 2 a、 B = − 2 b、 C = a <sup>2</sup> + b <sup>2</sup> − r <sup>2</sup>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]

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

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]

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

この行列式を展開すると、次の行列式が得られる。

[数3]

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

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 9 1 の方程式が算出されるので、これを用いて中心点 9 2 を算出する。中心点 9

2に基づく対地絶縁抵抗分の漏洩電流 $I_{0\_sys}$ の算出、ならびに漏洩電流 $I_{0\_sys}$ および対地電圧 $V_s \angle 180^\circ$ に基づく三相モーター5の対地絶縁抵抗の算出は、上述した例と変わらない。

[0070] この方法では、円91の算出に円の最小二乗法が用いられるので、円91の中心点92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 $I_{0\_sys}$ 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。

[0071] 図9の(b)に、 $I_{0\_sys}$ の実際の算出結果の一例を示す。この例では、円91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92を横軸に投影すると、値は4.4 mAとなり、そのため $I_{OR\_sys}$ として4.4 mA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 $I_{0\_sys}$ の理論値は4.3 mAであるので、算出結果が理論値に良く一致したことが分かる。また、4.4 mAの $I_{0\_sys}$ を用いて算出された三相モーター5の対地絶縁抵抗は26.9 k $\Omega$ であり、これも理論値の27 k $\Omega$ に良く一致する。

[0072] (第3の方法)

図11は、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。

[0073] 図11の例では、系統周波数成分抽出部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、 $I_{0\_mix}$ における対地絶縁抵抗分の漏洩電流の最小値と、 $I_{0\_mix}$ 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、 $I_{OR\_sys}$ として算出する。

[0074] この方法では、系統周波数成分抽出部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、 $I_{0\_mix}$ 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 $\theta$ を算出する。この方法では、円中心算出部16は円の中心を算出しない。その代わりに、絶

縁抵抗算出部 18 が、各時点において得られた漏洩電流  $I_{0\_mix}$  および位相差  $\theta$  を用いて、各時点における漏洩電流  $I_{0\_mix}$  のうちの対地絶縁抵抗分の漏洩電流  $I_{OR\_mix}$  を算出する。これは、 $I_{0\_mix}$  に  $\cos \theta$  を乗算することによって得られる。すなわち、 $I_{OR\_mix} = I_{0\_mix} \times \cos \theta$  である。

[0075] 絶縁抵抗算出部 18 は、 $I_{OR\_mix}$  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。 $I_{OR\_mix}$  の値は、 $I_{0\_mix}$  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  $I_{OR\_mix}$  には、線の端部のそれぞれ対応する最小値 111 および最大値 112 が必ずと定まる。

[0076] この最小値 111 と最大値 112 は、それぞれ  $I_{0\_mix}$  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 111 と最大値 112 との中間値 113 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  $I_{OR\_sys}$  に対応するので、抵抗分漏洩電流算出部 17 は、中間値 113 を算出することによって、 $I_{OR\_sys}$  を算出することができる。

[0077] なお、 $I_{OR\_sys}$  および対地電圧  $V_s \angle 180^\circ$  に基づく三相モーター 5 の対地絶縁抵抗の算出は、上述した例と変わらない。

[0078] この方法では、 $I_{OR\_sys}$  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  $I_{OR\_sys}$  を得ることができる。

[0079] 図 11 の (b) に、第 3 の方法による  $I_{OR\_sys}$  の実際の算出結果の一例を示す。この例では、中間値 113 として、すなわち  $I_{OR\_sys}$  として、4.3 mA が算出された。4.3 mA の  $I_{OR\_sys}$  を用いて算出された三相モーター 5 の対地絶縁抵抗は 27.1 k $\Omega$  であり、これは理論値の 27 k $\Omega$  に良く一致する。

## [0080] [実施形態2]

図12および図13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。

## [0081] (概略構成)

図12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12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ことができる。

[0082] 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。

[0083] 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。

## [0084] (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。

[0085] 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 $R_s$ は、インバータ3bのR相とS相との電圧 $R_s$ と完全に等しい。このように本実施形態では、電圧

$R_s$ を一カ所のみで計測すれば良いので、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。

[0086] 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 $R_s$ に基づき、対地電圧 $V_s \angle 180^\circ$ を算出する。電圧 $R_s$ 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 $V_s \angle 180^\circ$ 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。

[0087] 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。

[0088] 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。

[0089] 系統周波数成分抽出部14は、三相モーター5aの漏洩電流から、三相モーター5aに対応する漏洩電流成分を抽出する。一方、三相モーター5bの漏洩電流から、三相モーター5bに対応する漏洩電流成分を抽出する。

[0090] 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の漏洩電流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の漏洩電流成分との間の位相差を算出する。

[0091] 抵抗分漏洩電流算出部17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。

[0092] 絶縁抵抗算出部 18 は、対地電圧  $V_s \angle 180^\circ$  と、三相モーター 5 a の対地絶縁抵抗分漏洩電流とから、三相モーター 5 a の対地絶縁抵抗を算出する。また、対地電圧  $V_s \angle 180^\circ$  と、三相モーター 5 b の対地絶縁抵抗分漏洩電流とから、三相モーター 5 b の対地絶縁抵抗を算出する。

[0093] 図 13 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 13 の (a) は、三相モーター 5 a および 5 b 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、Ch 1 が三相モーター 5 a に対応し、Ch 2 が三相モーター 5 b に対応する。一方、図 13 の (b) は、三相モーター 5 a および 5 b のそれぞれの対地絶縁抵抗の時間的推移を示す。図中、Ch 1 が三相モーター 5 a に対応し、Ch 2 が三相モーター 5 b 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 5 a と 5 b 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。

[0094] (乖離度合いに基づく判定)

判定部 19 は、三相モーター 5 a 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 5 b 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 5 a および 5 b 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 13 の (a) の例では、ある時点における三相モーター 5 a 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 5 b 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 131 が生じている。判定部 19 は、この乖離度 131 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 5 a の方が、絶縁劣化していると判定する。

[0095] (閾値に基づく判定)

判定部 19 は、三相モーター 5 a および 5 b 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 aを、絶縁劣化している三相モーター5 aとして特定することもできる。たとえば図13の(a)では、三相モーター5 aの対地絶縁抵抗分漏洩電流がある時点以降では閾値132を上回っているので、判定部19は、この時点以降、三相モーター5 aが絶縁劣化していることを特定することができる。

[0096] 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13の(b)に示すように、三相モーター5 aおよび5 b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13の(b)では、ある時点における三相モーター5 aの対地絶縁抵抗と、同じ時点における三相モーター5 bの対地絶縁抵抗との間に、大きな乖離度133が生じている。判定部19は、この乖離度133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5 aの方が、絶縁劣化していると判定する。また、図13の(b)では、三相モーター5 aの対地絶縁抵抗がある時点以降では閾値134を下回っているので、判定部19は、この時点以降、三相モーター5 aが絶縁劣化していることを特定することができる。

[0097] (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。

[0098] 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良い。この場合、必要な数だけの漏洩電流計測部12を漏洩電流算出装置1に搭載したり、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、たとえば日本国公開特許公報「特開2013-181813号」に開示される技術を用いれば良い

。

[0099]     〔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システムを電源とするインバータ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電圧計測部と、前記電圧計測部によって計測された少なくともいずれかの前記線間電圧から、前記商用電力システム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部と、前記インバータの出力側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、前記商用電力システムの系統周波数に同期する漏洩電流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、抽出された前記漏洩電流成分との位相差を決定する位相差決定部と、少なくとも 3 つの異なる時点において抽出された前記漏洩電流成分および決定された前記位相差によって特定される各特定点が描く円の中心点に基づき、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。

[0100]     商用電力システム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、漏洩電流から抽出される漏洩電流成分には、系統周波数に同期する漏洩電流と運転周波数に同期する漏洩電流との双方が含まれている。両者の周波数は厳密には一致せず、相互にわずかにずれているため、対地電圧と漏洩電流成分との位相差は、計測時点ごとに互いにずれてゆく。そのため、漏洩電流成分と位相差とによって規定される点は、計測時点ごとに変化し円を描く。

[0101]     ここで、前記の構成によれば、漏洩電流算出装置は、少なくとも 3 つの異なる時点において抽出された漏洩電流成分および算出された位相差によって特定される各特定点が描く円の中心点に基づき、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系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出する。この円の中心点は、漏洩電流成分に含まれる系統周波数分の漏洩電流

を表すベクトルの終点に対応する。そのため、漏洩電流算出装置はこの中心点に基づくことによって、系統周波数分の漏洩電流のうちの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。

[0102] 以上のように、本発明の態様1に係る漏洩電流算出装置によれば、商用電力システムの系統周波数と、インバータ機器の運転周波数とが一致する場合に、系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流を精度良く算出することができる。

[0103] 本発明の態様2に係る漏洩電流算出装置は、前記態様1において、算出された前記対地電圧と、算出された前記系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流とに基づき、前記インバータの出力側における前記負荷の対地絶縁抵抗を算出する対地絶縁抵抗算出部をさらに備えていることを特徴としている。

[0104] 前記の構成によれば、負荷の対地絶縁抵抗をより精度良く算出することができる。

[0105] 本発明の態様3に係る漏洩電流算出装置は、前記態様1または2において、前記漏洩電流算出部は、3つの前記特定点によって規定される三角形に外接する外接円の方程式に基づき、前記円の中心点を特定することを特徴としている。

[0106] 前記の構成によれば、系統周波数分の対地抵抗分漏洩電流を、より高速に算出することができる。

[0107] 本発明の態様4に係る漏洩電流算出装置は、前記態様1または2において、前記漏洩電流算出部は、円の最小二乗法に基づき、前記円の中心点を特定することを特徴としている。

[0108] 前記の構成によれば、系統周波数分の対地抵抗分漏洩電流を、より精度良く算出することができる。

[0109] 本発明の態様5に係る漏洩電流算出装置は、前記態様1または2において、前記漏洩電流算出部は、一定時間内の各時点において抽出された前記漏洩電流成分および決定された前記位相差とに基づき、前記各時点における対地絶縁抵抗分漏洩電流をそれぞれ算出し、さらに、算出された各値のうち最大値と最小値との中間値を、前記系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流とし

て算出することを特徴としている。

[0110] 前記の構成によれば、複雑な演算を用いずに、系統周波数分の対地抵抗分漏洩電流を算出することができる。

[0111] 本発明の態様6に係る漏洩電流算出装置は、前記態様1～5において、複数の前記インバータのそれぞれの出力側に、複数の前記負荷のそれぞれが個別に接続されており、複数の前記インバータのそれぞれの前記入力側が、同じ前記商用電力系統に接続されており、前記電圧計測部は、複数の前記インバータのうちいずれかの前記入力側における前記線間電圧のうち少なくともいずれかを計測し、前記漏洩電流計測部は、複数の前記負荷のそれぞれに対応する複数の前記漏洩電流を計測し、前記周波数成分抽出部は、計測された複数の前記漏洩電流のそれぞれから、複数の前記負荷のそれぞれに対応する複数の前記漏洩電流成分を抽出し、前記位相差決定部は、算出された前記対地電圧と、抽出された複数の前記漏洩電流成分とに基づき、複数の位相差を決定し、前記漏洩電流算出部は、前記複数の負荷のそれぞれに対応する複数の前記円の中心点に基づき、前記負荷のそれぞれに対応する複数の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ことを特徴としている。

[0112] 前記の構成によれば、複数の異なる負荷の系統周波数分の対地抵抗分漏洩電流を、1台の漏洩電流算出装置によって算出することができる。また、電圧計測部による電圧の計測は、複数のインバータのうちいずれかの入力側で良いので、電圧の計測を一カ所のみとすることができる。これにより、漏洩電流算出装置の構成をより簡素にすることができる。

[0113] 本発明の態様7に係る漏洩電流算出装置は、前記態様6において、複数の前記負荷のうち、対応する前記系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流が規定の閾値を超えた前記負荷を、絶縁劣化している前記負荷として特定する絶縁劣化負荷特定部をさらに備えていることを特徴としている。

[0114] 前記の構成によれば、絶縁劣化を起こした負荷を精度良く特定することができる。

[0115] 本発明の態様8に係る漏洩電流算出装置は、前記態様6または7において

、複数の前記系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流を互いに比較することによって、複数の前記負荷における絶縁劣化の度合いをそれぞれ判定する絶縁劣化判定部をさらに備えていることを特徴としている。

[0116] 前記の構成によれば、絶縁劣化を起こした負荷を精度良く特定することができる。

[0117] 本発明の態様9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システムを電源とするインバータ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、前記商用電力システム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、前記インバータの出力側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、計測された前記漏洩電流から、前記商用電力システムの系統周波数に同期する漏洩電流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、決定された前記漏洩電流成分との位相差を決定する位相差決定工程と、少なくとも3つの異なる時点において抽出された前記漏洩電流成分および決定された前記位相差によって特定される各特定点が描く円の中心点に基づき、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前記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。

[0118] 前記の構成によれば、商用電力システムの系統周波数と、インバータ機器の運転周波数とが一致する場合に、系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流を精度良く算出することができる。

[0119] 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

- [0120] 1 1 電圧計測部
- 1 2 漏洩電流計測部
- 1 3 対地電圧算出部
- 1 4 系統周波数成分抽出部（周波数成分抽出部）
- 1 5 位相差算出部（位相差決定部）
- 1 6 円中心算出部
- 1 7 抵抗分漏洩電流算出部（漏洩電流算出部）
- 1 8 絶縁抵抗算出部
- 1 9 判定部（絶縁劣化負荷特定部、絶縁劣化判定部）
- 2 0 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システムを電源とするインバータ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、前記商用電力システム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、
- 前記インバータの出力側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、前記商用電力システムの系統周波数に同期する漏洩電流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、抽出された前記漏洩電流成分との位相差を決定する位相差決定部と、
- 少なくとも3つの異なる時点において抽出された前記漏洩電流成分および決定された前記位相差によって特定される各特定点が描く円の中心点に基づき、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] 算出された前記対地電圧と、算出された前記系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流とに基づき、前記インバータの出力側における対地絶縁抵抗を算出する絶縁抵抗算出部をさらに備えてい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] 前記漏洩電流算出部は、3つの前記特定点によって規定される三角形に外接する円の方程式に基づき、前記円の中心点を特定することを特徴とする請求項1または2に記載の漏洩電流算出装置。
- [請求項4] 前記漏洩電流算出部は、円の最小二乗法に基づき、前記円の中心点を特定することを特徴とする請求項1または2に記載の漏洩電流算出

装置。

[請求項5] 前記漏洩電流算出部は、一定時間内の各時点において抽出された前記漏洩電流成分および決定された前記位相差とに基づき、前記各時点における対地絶縁抵抗分漏洩電流をそれぞれ算出し、さらに、算出された各値のうち最大値と最小値との中間値を、前記系統周波数分の前記対地絶縁抵抗分漏洩電流として算出することを特徴とする請求項1または2に記載の漏洩電流算出装置。

[請求項6] 複数の前記インバータのそれぞれの出力側に、複数の前記負荷のそれぞれが個別に接続されており、

複数の前記インバータのそれぞれの前記入力側が、同じ前記商用電力系統に接続されており、

前記電圧計測部は、複数の前記インバータのうちいずれかの前記入力側における前記線間電圧のうち少なくともいずれかを計測し、

前記漏洩電流計測部は、複数の前記負荷のそれぞれに対応する複数の前記漏洩電流を計測し、

前記周波数成分抽出部は、計測された複数の前記漏洩電流のそれぞれから、複数の前記負荷のそれぞれに対応する複数の前記漏洩電流成分を抽出し、

前記位相差決定部は、算出された前記対地電圧と、抽出された複数の前記漏洩電流成分とに基づき、複数の位相差を決定し、

前記漏洩電流算出部は、複数の前記負荷のそれぞれに対応する複数の前記円の中心点に基づき、前記負荷のそれぞれに対応する複数の前記系統周波数分の前記対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出することを特徴とする請求項1～5のいずれか1項に記載の漏洩電流算出装置。

[請求項7] 複数の前記負荷のうち、対応する前記系統周波数分の前記対地絶縁抵抗分漏洩電流が規定の閾値を超えた前記負荷を、絶縁劣化している前記負荷として特定する絶縁劣化負荷特定部をさらに備えていることを特徴とする請求項6に記載の漏洩電流算出装置。

[請求項8] 複数の前記系統周波数分の前記対地絶縁抵抗分漏洩電流を互いに比較することによって、複数の前記負荷における絶縁劣化の度合いをそれぞれ判定する絶縁劣化判定部をさらに備えていることを特徴とする請求項6または7に記載の漏洩電流算出装置。

[請求項9] 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システムを電源とするインバータ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、前記商用電力システム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、

、

前記インバータの出力側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、

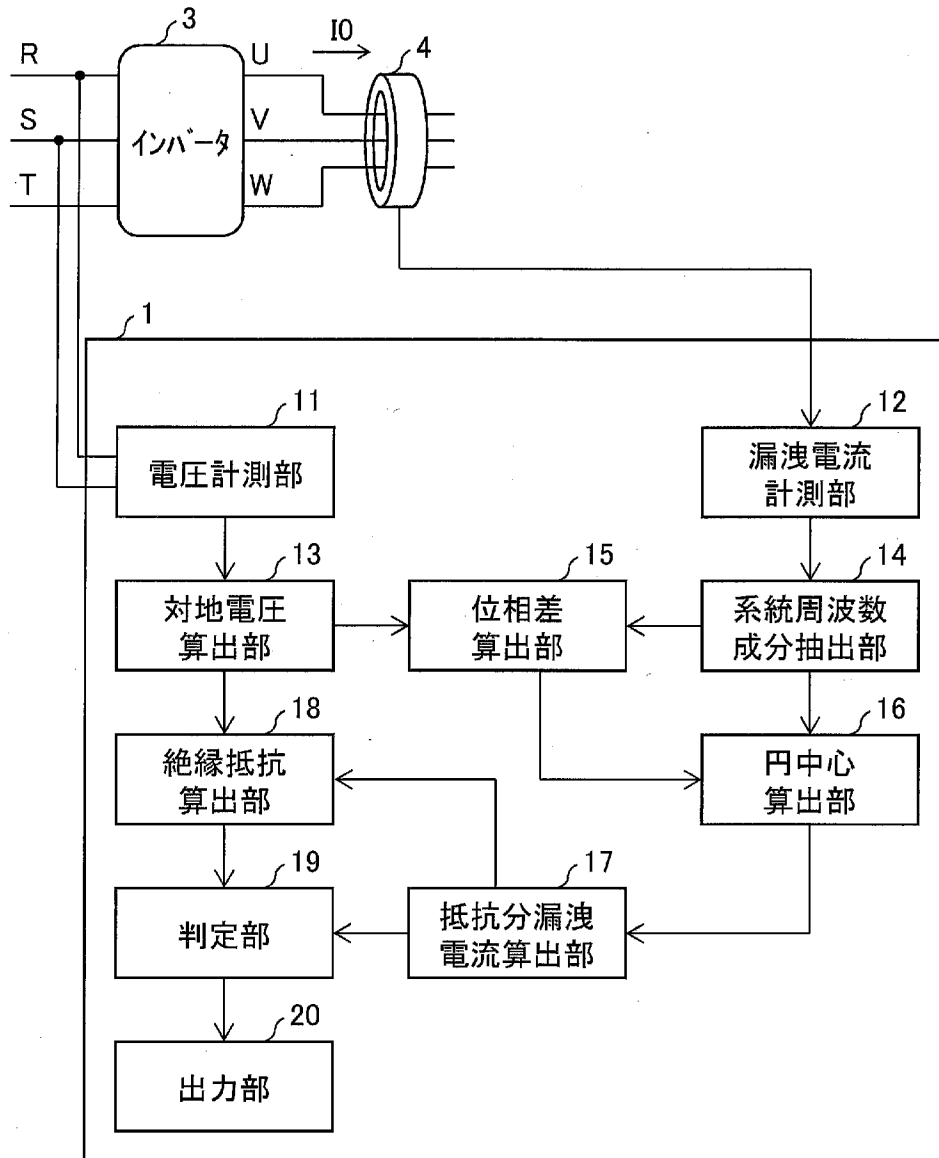
計測された前記漏洩電流から、前記商用電力システムの系統周波数に同期する漏洩電流成分を抽出する周波数成分抽出工程と、

算出された前記対地電圧と、抽出された前記漏洩電流成分との位相差を決定する位相差決定工程と、

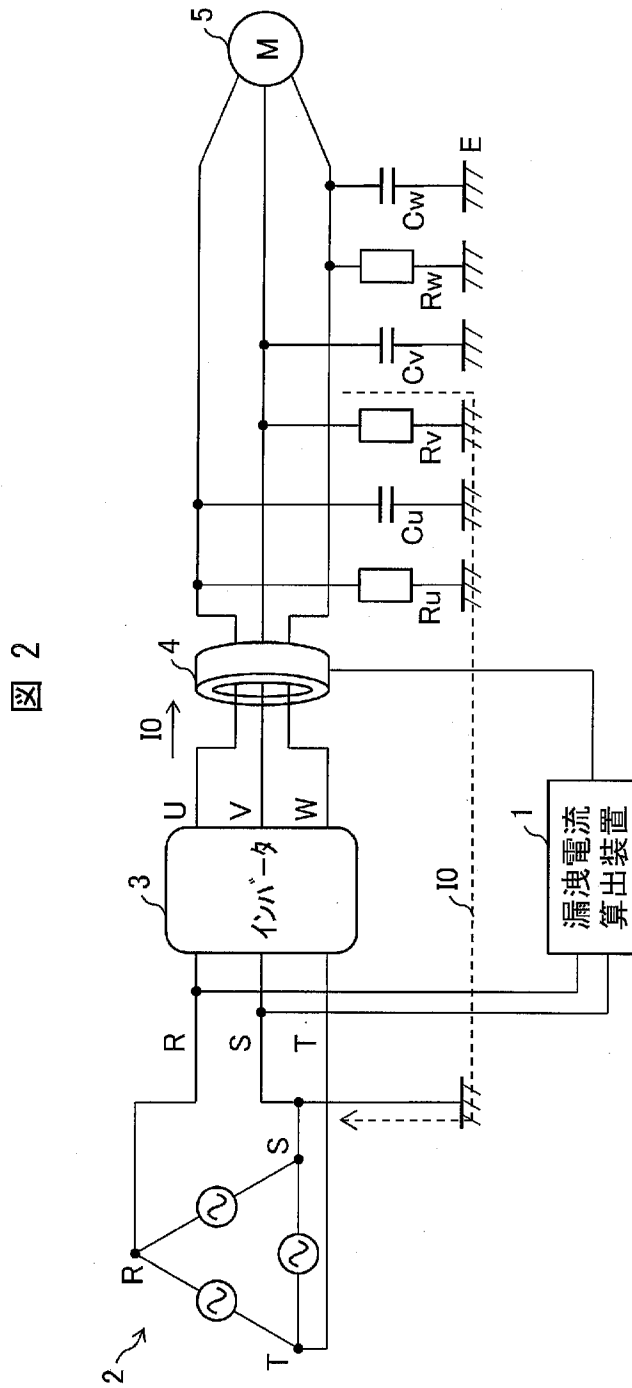
少なくとも3つの異なる時点において抽出された前記漏洩電流成分および決定された前記位相差とによって特定される各特定点が描く円の中心点に基づき、前記負荷と前記大地との間を前記負荷の対地絶縁抵抗を通じて流れる前記系統周波数分の対地絶縁抵抗分漏洩電流を算出する漏洩電流算出工程とを有することを特徴とする漏洩電流算出方法。

[図1]

図 1

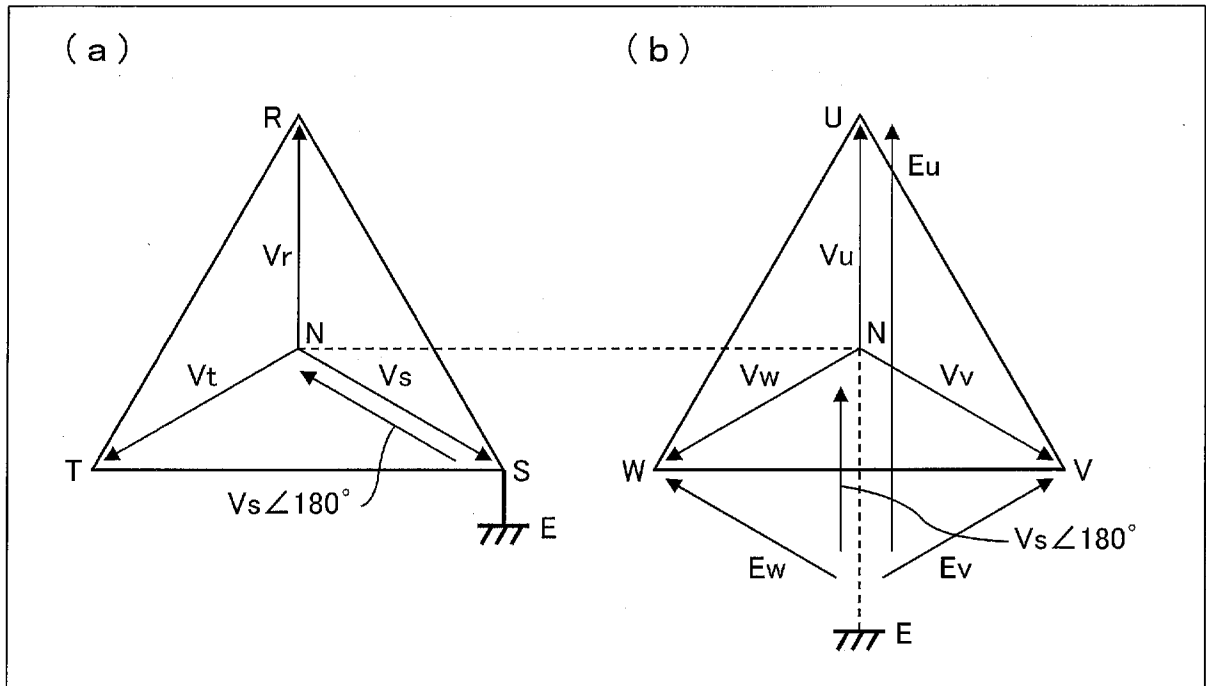


[図2]



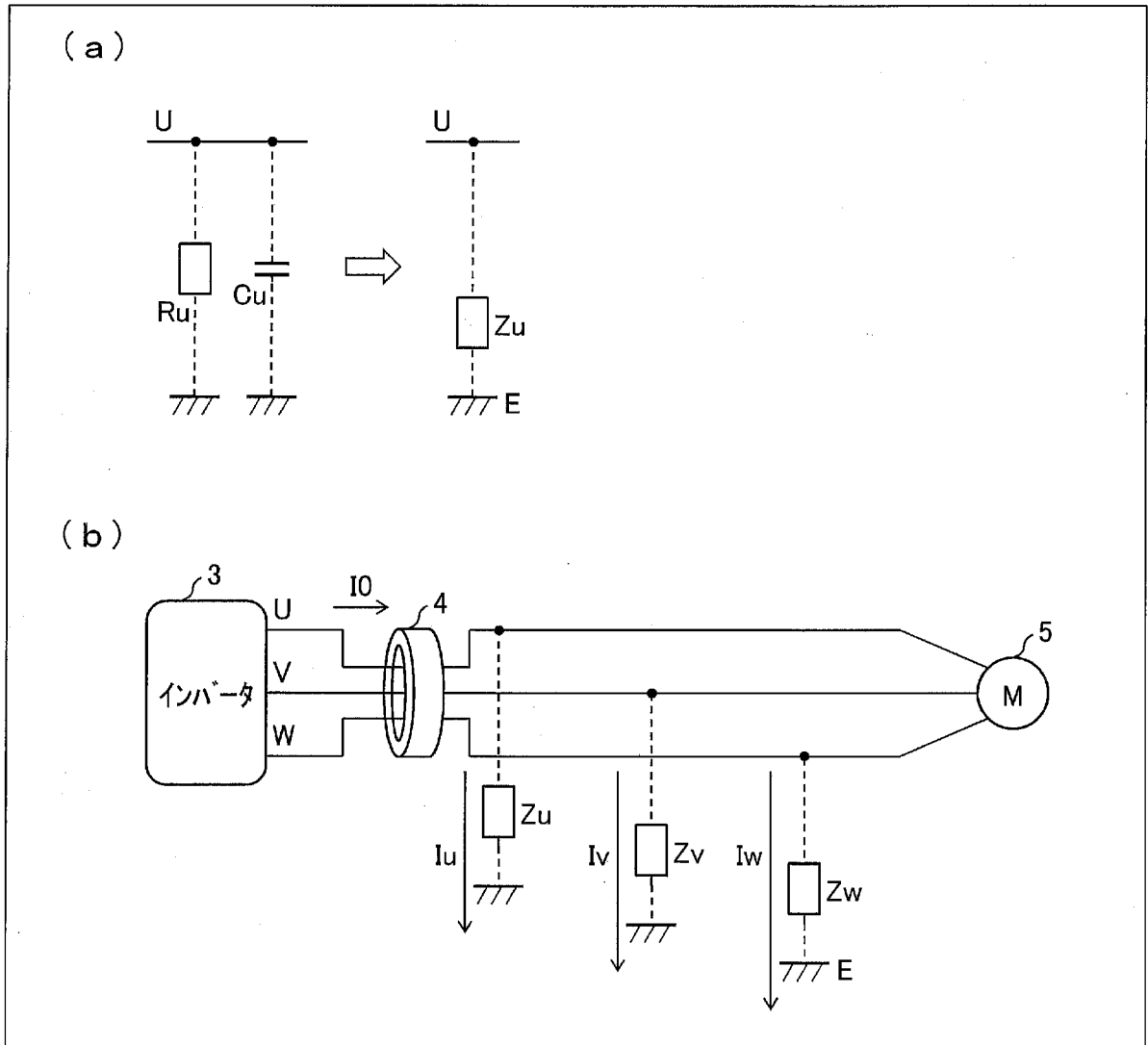
[図3]

図 3



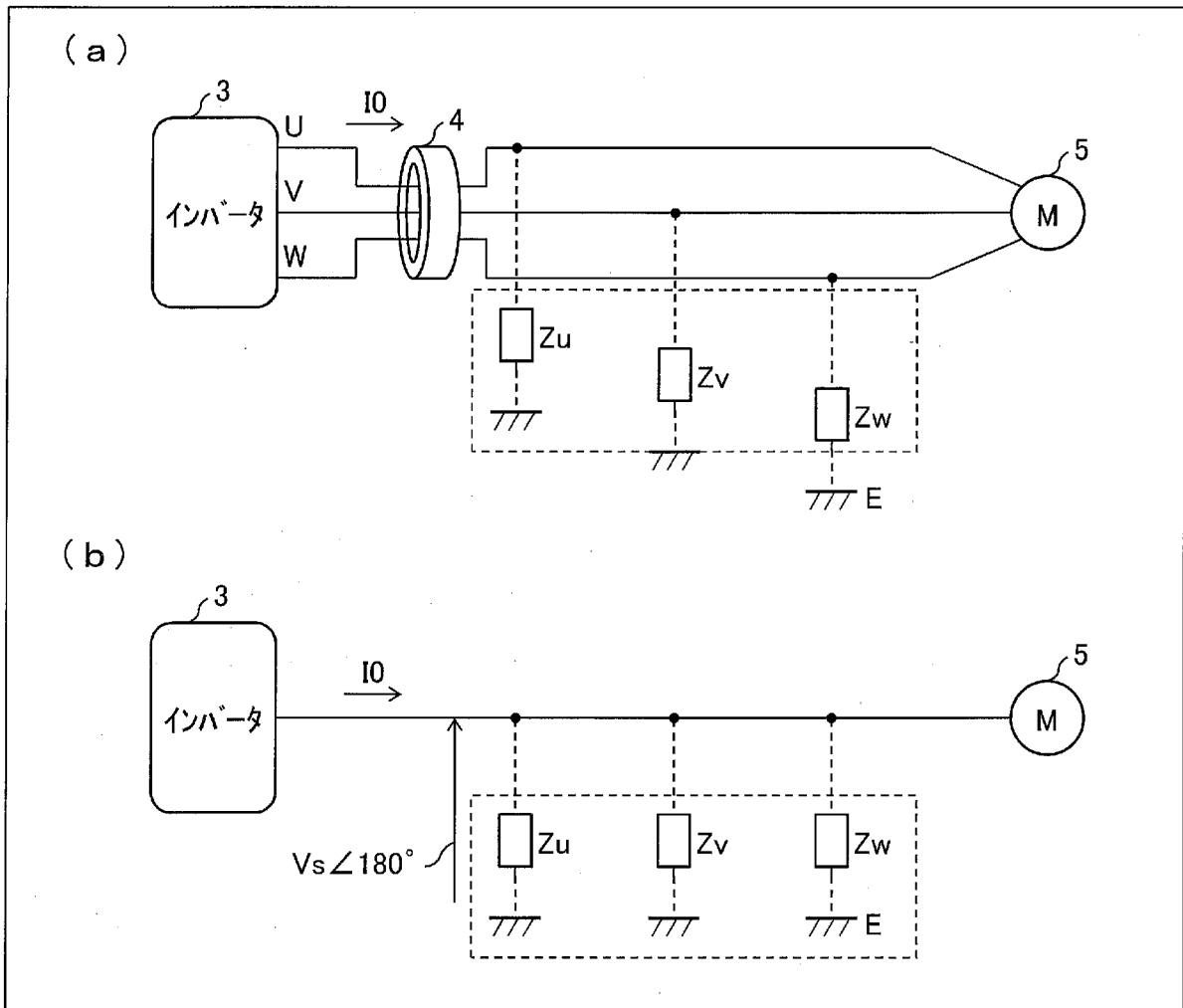
[図4]

図 4



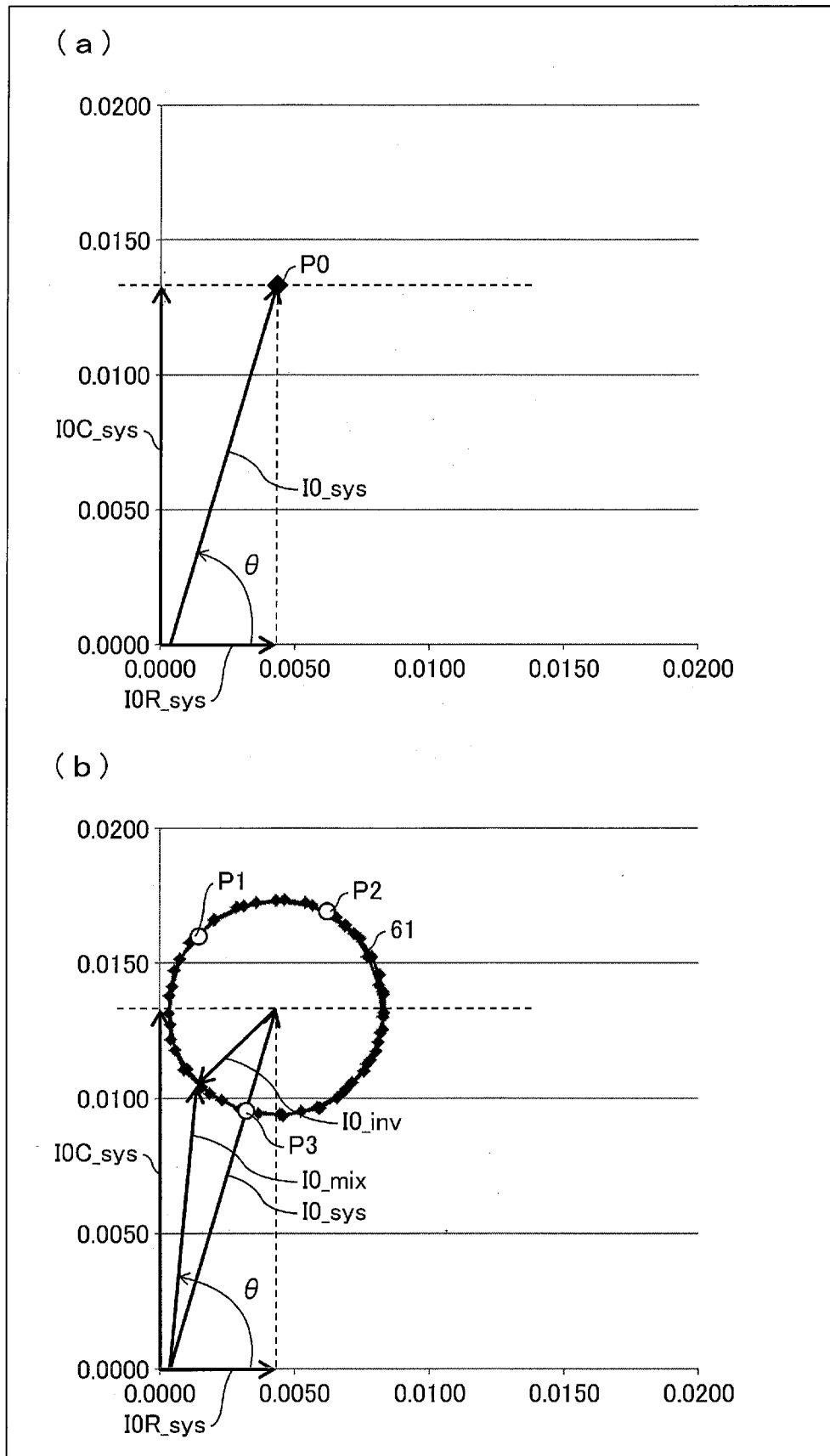
[図5]

図 5



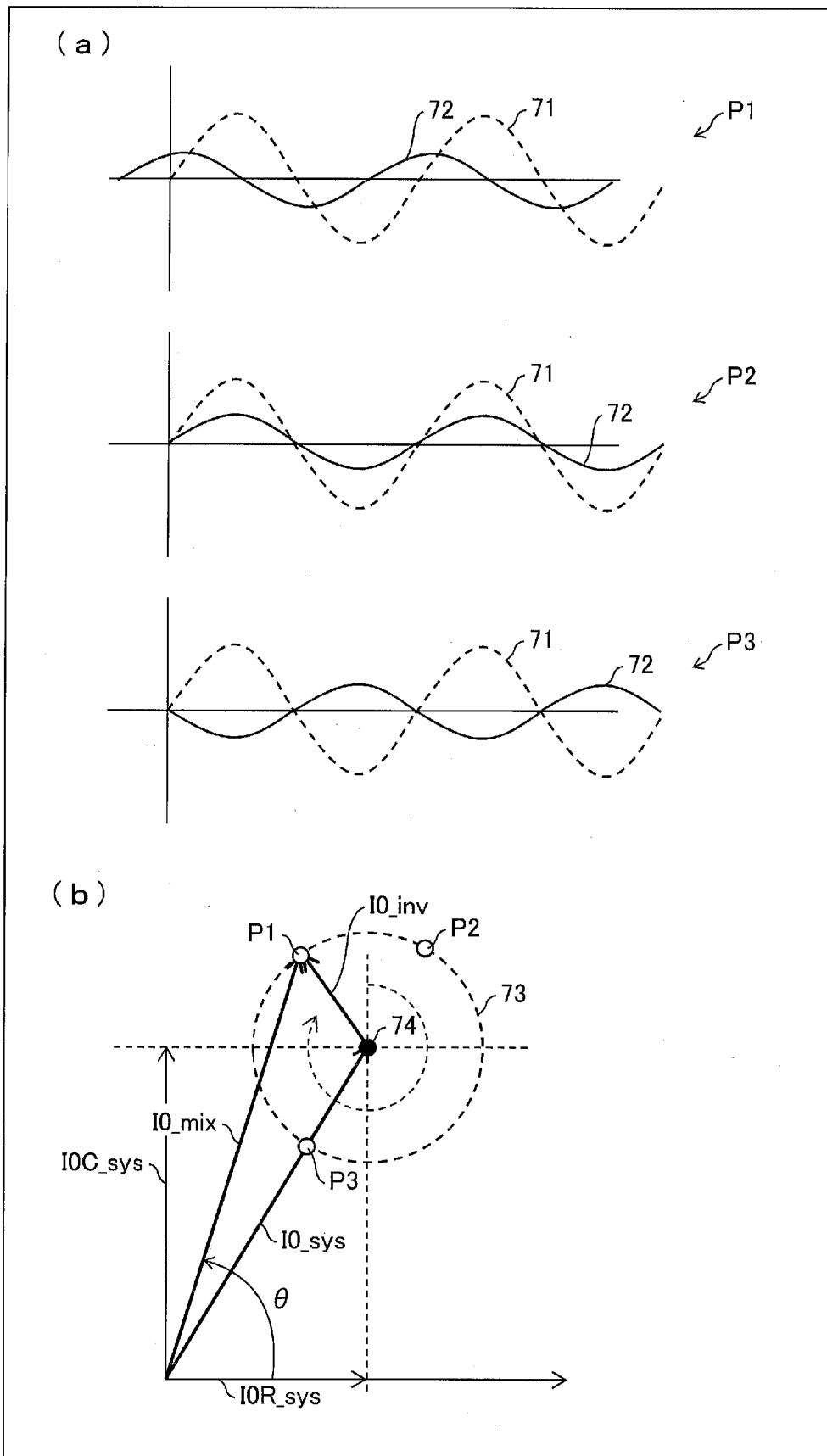
[図6]

図 6



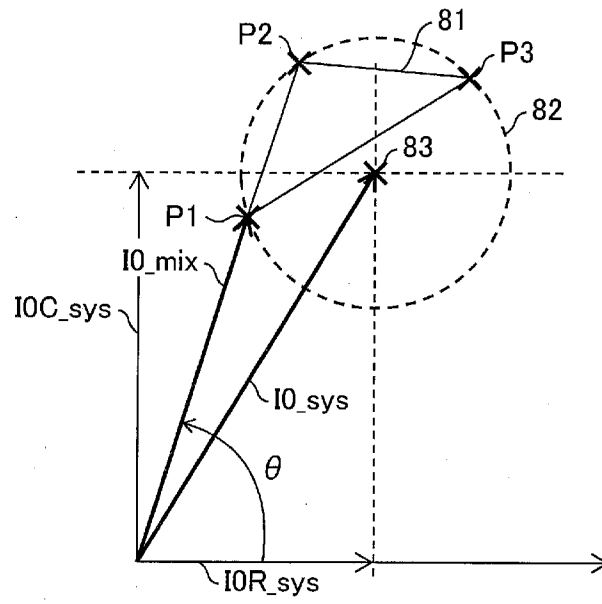
[図7]

図 7



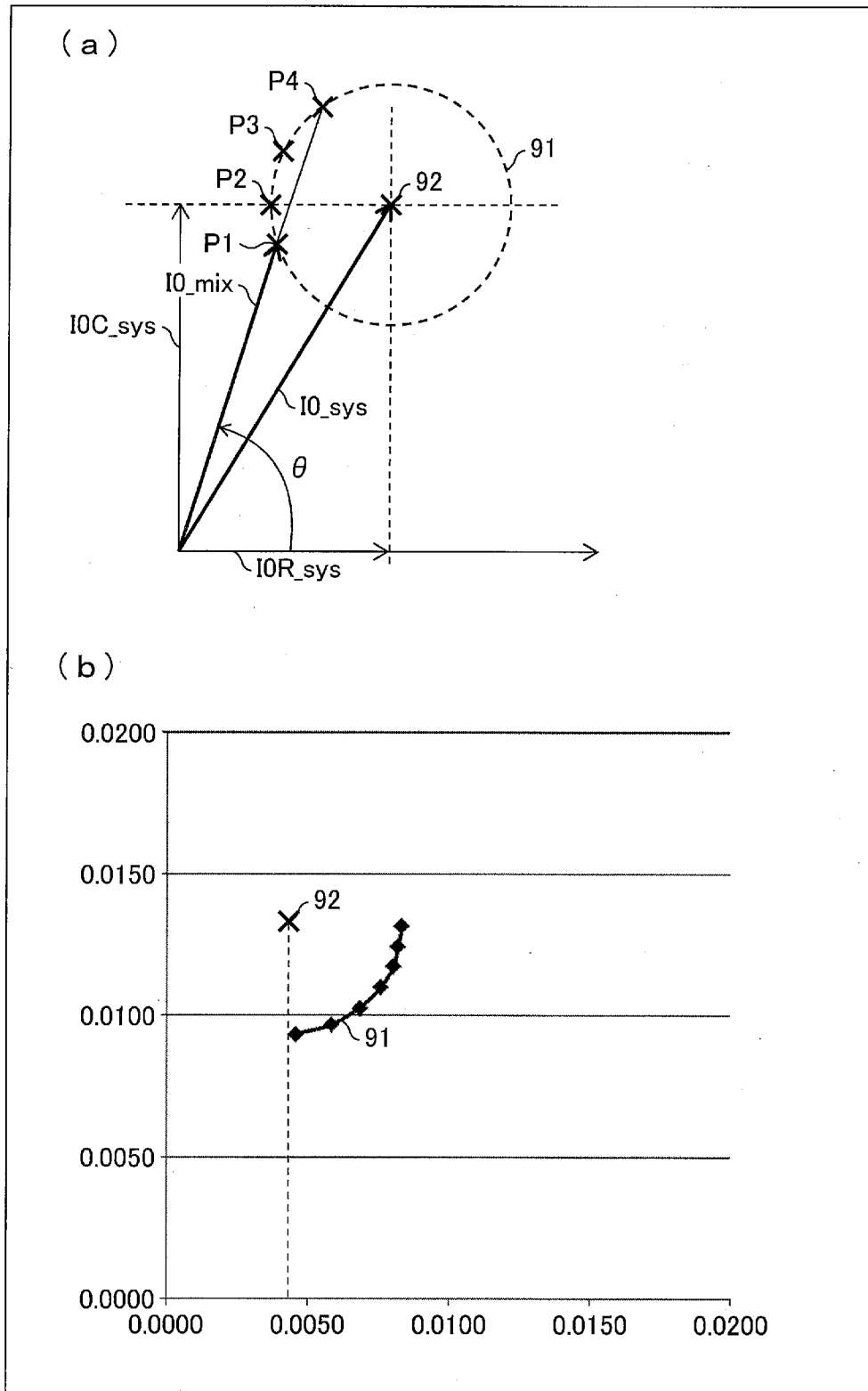
[図8]

図 8



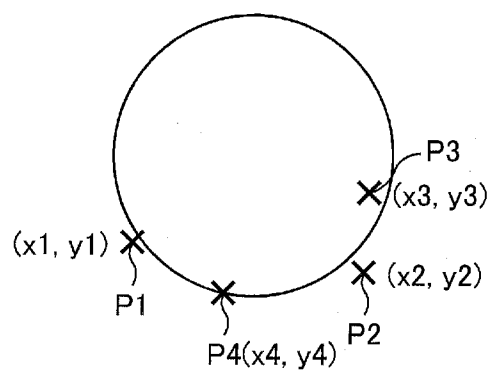
[図9]

図 9



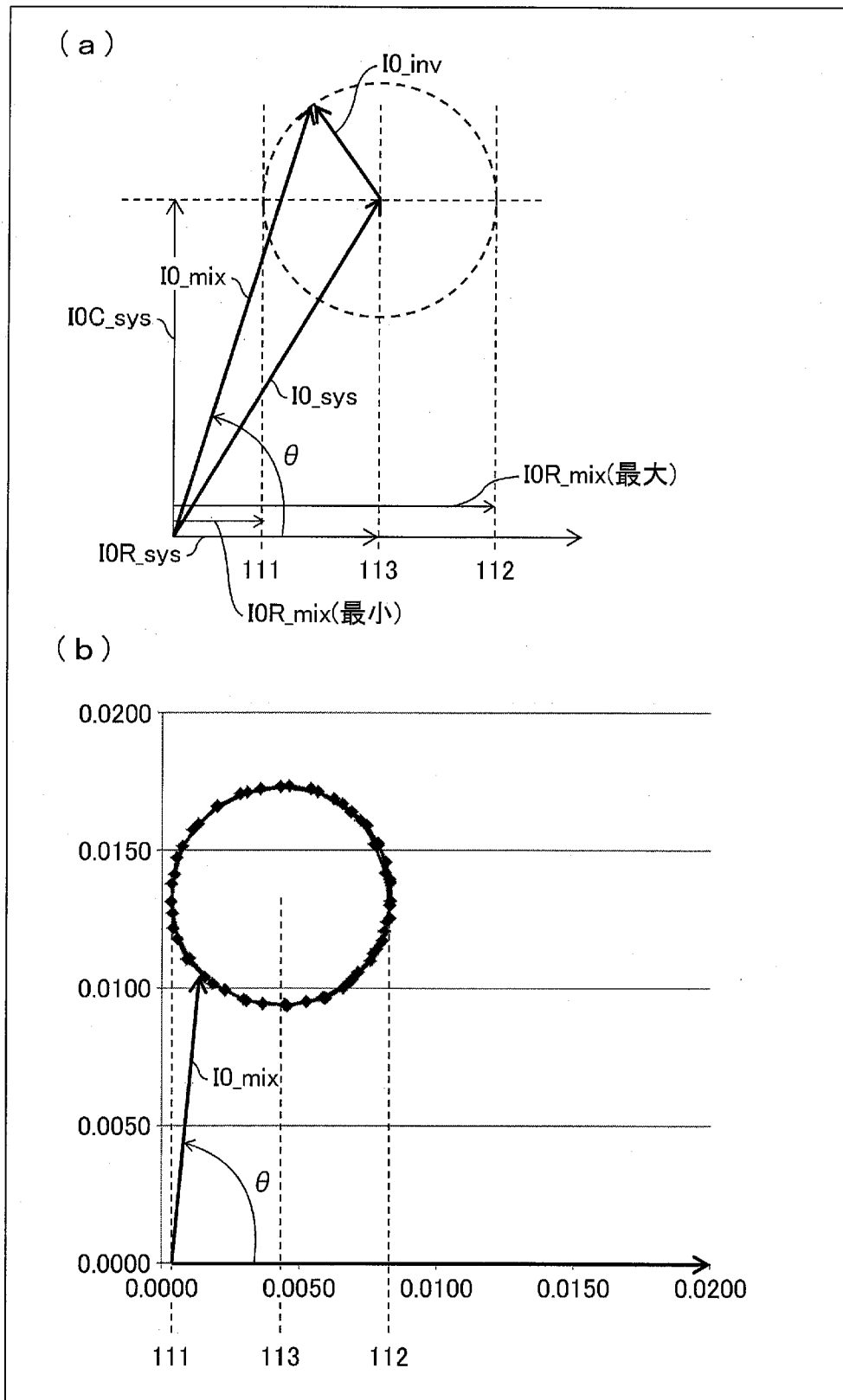
[図10]

図 10



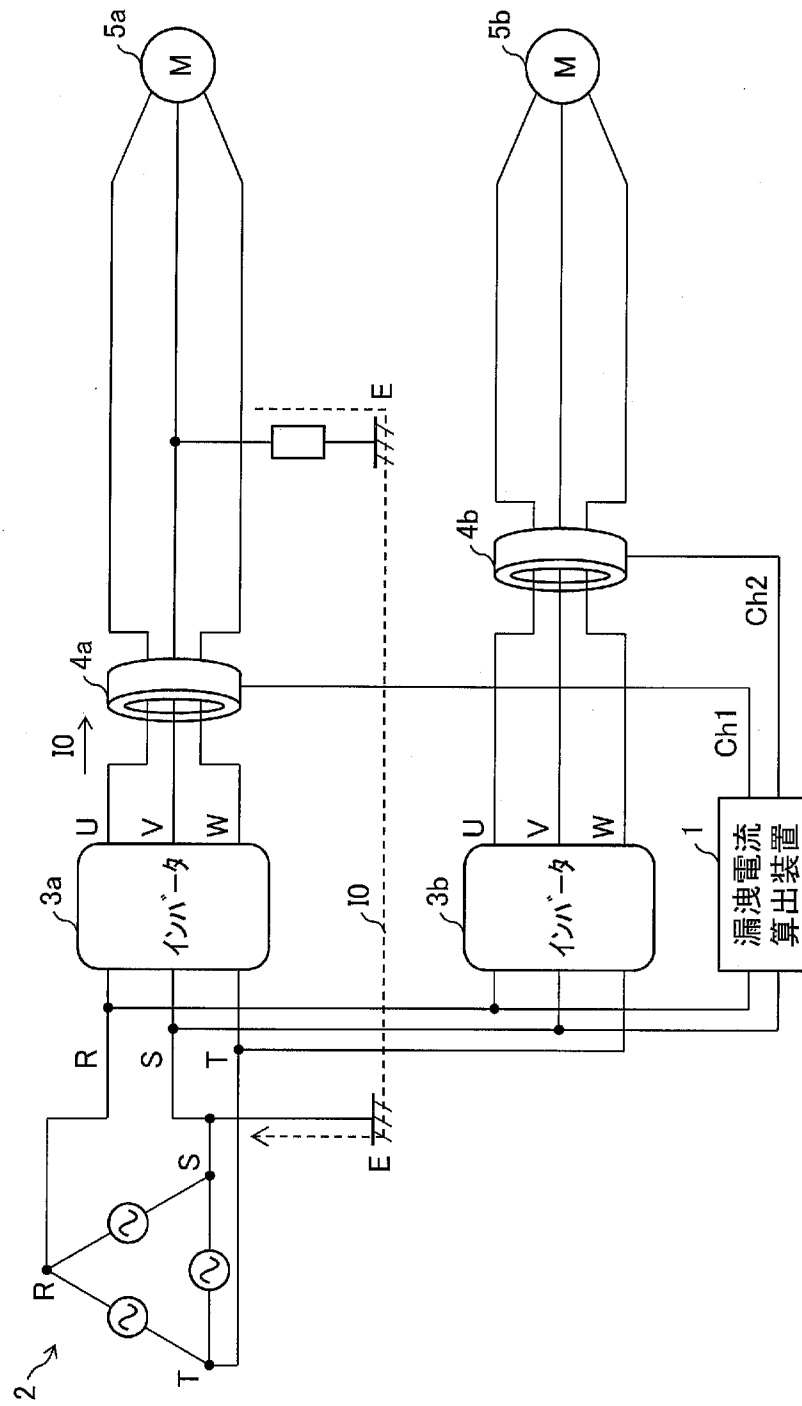
[図11]

図 11



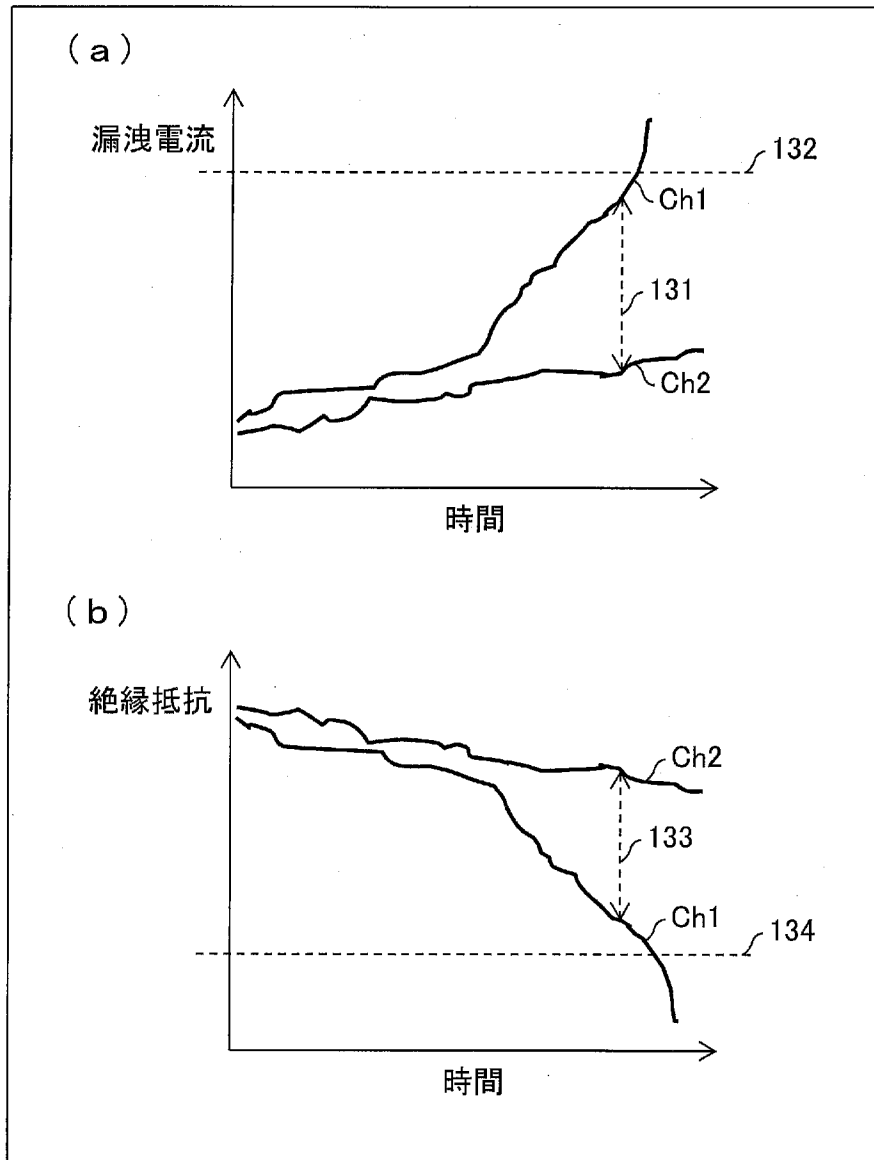
[図12]

図 12



[図13]

図 13



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2016/084416

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
G01R31/02(2006.01)i, G01R19/00(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)  
G01R31/02, G01R19/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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 5631444 B1 (Tanashin Denki Co., Ltd.), 26 November 2014 (26.11.2014), entire text & WO 2014/192217 A1 & JP 2014-228519 A & EP 3006947 A1 & US 2016/0124038 A1 & KR 10-2015-0131395 A & CN 105264393 A & TW 201447321 A	1-9
A	JP 2011-153910 A (Pattcs. Japan Corp.), 11 August 2011 (11.08.2011), entire text (Family: none)	1-9

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

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 02 February 2017 (02.02.17)	Date of mailing of the international search report 14 February 2017 (14.02.17)
--	---

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/JP2016/084416

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2006/035519 A1 (Takemi ONO), 06 April 2006 (06.04.2006), entire text & JP 4159590 B2                      & EP 1855122 A1 & US 2008/0165462 A1                & KR 10-2007-0085378 A & CN 101120259 A                    & TW 200702673 A & AU 2005288465 A	1-9

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, G01R19/00(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, G01R19/00

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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 5631444 B1（タナシン電機株式会社）2014.11.26, 全文 & WO 2014/192217 A1 & JP 2014-228519 A & EP 3006947 A1 & US 2016/0124038 A1 & KR 10-2015-0131395 A & CN 105264393 A & TW 201447321 A	1-9
A	JP 2011-153910 A（パトックス、ジャパン株式会社）2011.08.11, 全文（ファミリーなし）	1-9

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                                | 「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     |
| 「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                        | 「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                     |
| 「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） | 「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 |
| 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献                                     | 「&」同一パテントファミリー文献   |
| 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願                                  |  |

国際調査を完了した日

02.02.2017

国際調査報告の発送日

14.02.2017

国際調査機関の名称及びあて先  
日本国特許庁（ISA/J P）  
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）

小川 浩史

2S

9114

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	WO 2006/035519 A1 (大野武美) 2006. 04. 06, 全文 & JP 4159590 B2 & EP 1855122 A1 & US 2008/0165462 A1 & KR 10-2007-0085378 A & CN 101120259 A & TW 200702673 A & AU 2005288465 A	1-9