

(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
2015年8月27日(27.08.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/125506 A1

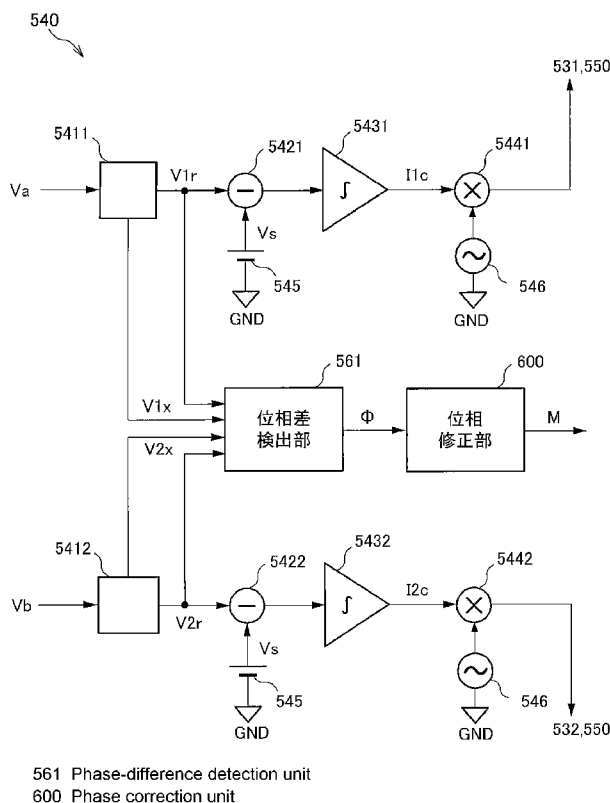
- (51) 国際特許分類:
G01R 31/36 (2006.01) **G01R 27/02** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/050273
- (22) 国際出願日: 2015年1月7日(07.01.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
PCT/JP2014/053912 2014年2月19日(19.02.2014) JP
- (71) 出願人: 日産自動車株式会社(NISSAN MOTOR CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2210023 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 青木 哲也(AOKI, Tetsuya); 〒2430123 神奈川県厚木市森の里青山1-1 日産自動車株式会社 知的財産部内 Kanagawa (JP). 酒井 政信(SAKAI, Masanobu); 〒2430123 神奈川県厚木市森の里青山1-1 日産自動車株式会社 知的財産部内 Kanagawa (JP). 松本 充彦(MATSUMOTO, Michihiko); 〒2430123 神奈川県厚木市森の里青山

- 1-1 日産自動車株式会社 知的財産部内 Kanagawa (JP). 西村 英高(NISHIMURA, Hidetaka); 〒2430123 神奈川県厚木市森の里青山1-1 日産自動車株式会社 知的財産部内 Kanagawa (JP). 佐藤 雅士(SATO, Masashi); 〒2430123 神奈川県厚木市森の里青山1-1 日産自動車株式会社 知的財産部内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 後藤 政喜, 外(GOTO, Masaki et al.); 〒1000013 東京都千代田区霞が関三丁目3番1号 尚友会館 後藤特許事務所 Tokyo (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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.

[続葉有]

(54) Title: IMPEDANCE MEASUREMENT DEVICE AND METHOD FOR CONTROLLING IMPEDANCE MEASUREMENT DEVICE

(54) 発明の名称: インピーダンス測定装置及びインピーダンス測定装置の制御方法



(57) Abstract: An impedance measurement device for outputting an AC current of a prescribed frequency to the positive-electrode terminal and the negative-electrode terminal of a layered battery, and detecting the AC potential difference between the positive-electrode terminal and an intermediate-point terminal, and the AC potential difference between the negative-electrode terminal and the intermediate-point terminal. The impedance measurement device adjusts the amplitude of the AC current in a manner such that the AC potential difference between the positive-electrode terminal and the intermediate-point terminal and the AC potential difference between the negative-electrode terminal and the intermediate-point terminal are identical, and calculates impedance on the basis of the adjusted AC current and the AC potential difference. The impedance measurement device corrects the phase difference of the AC current outputted to the positive-electrode terminal and the negative-electrode terminal, on the basis of the phase difference between the AC potential produced in the positive-electrode terminal and the AC potential produced in the negative-electrode terminal.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/125506 A1



(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))

インピーダンス測定装置は、積層電池の正極端子と負極端子のそれぞれに所定周波数の交流電流を出し、正極端子と中途点端子との間の交流電位差及び、負極端子と中途点端子との間の交流電位差を検出する。インピーダンス測定装置は、正極端子と中途点端子との間の交流電位差と、負極端子と中途点端子との間の交流電位差が一致するように交流電流の振幅を調整し、調整された交流電流と交流電位差とに基づいてインピーダンスを演算する。そしてインピーダンス測定装置は、正極端子に生じる交流電位と負極端子に生じる交流電位との間の位相差に基づいて、正極端子及び負極端子に出力される交流電流の位相差を修正する。

明 細 書

発明の名称：

インピーダンス測定装置及びインピーダンス測定装置の制御方法

技術分野

[0001] この発明は、積層電池のインピーダンスを測定するインピーダンス測定装置及びインピーダンス測定装置の制御方法に関する。

背景技術

[0002] WO 2 0 1 2 0 7 7 4 5 0 には、積層電池から負荷に電力を供給した状態で、燃料電池の内部抵抗を測定する装置が提案されている。

[0003] この測定装置は、積層電池に接続された負荷側に電流が漏れ出ないように、積層電池の正極端子及び負極端子に同一の交流電流を出力する。そして、積層電池の正極端子の電位から、正極端子と負極端子との間に位置する中途点端子の電位を引いた正極側の電位差と、負極端子の電位から上記中途点端子の電位を引いた負極側の電位差とが一致するように、夫々の電極端子に出力される交流電流の振幅を調整する。そして調整された交流電流と電位差とに基づいて積層電池の内部抵抗が測定される。

発明の概要

[0004] 積層電池の中には、燃料電池のように内部に静電容量成分を有しているものがある。燃料電池の静電容量成分は、燃料電池システムの運転状態によって変動する場合がある。このような場合には、正極側の静電容量と負極側の静電容量との差が大きくなり、正極側の電位差を示す検出信号と負極側の電位差を示す検出信号との間には位相差が生じる。

[0005] 正極側及び負極側の検出信号間に位相ズレが生じた状態では、測定装置から燃料電池へ出力される交流電流の一部が負荷の方へ漏れ出してしまう、インピーダンスの測定精度が悪くなるという問題がある。

[0006] 本発明は、このような問題点に着目してなされたものであり、積層電池の静電容量成分に起因するインピーダンスの測定精度が低下するのを抑制する

インピーダンス測定装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明によるインピーダンス測定装置のひとつの態様は、複数の電池セルが積層された積層電池の正極端子に対して積層電池のインピーダンスを測定するための所定周波数の交流電流を出力する第1電源部と、積層電池の負極端子に対して所定周波数の交流電流を出力する第2電源部と、を含む。そして正極端子と積層電池の中途点端子との間の交流電位差を検出する第1検出部と、負極端子と中途点端子との間の交流電位差を検出する第2検出部と、を含む。さらに第1検出部により検出される交流電位差と、第2検出部により検出される交流電位差とが一致するように、第1電源部及び第2電源部のうちの少なくとも一方から出力される交流電流の振幅を調整する調整部と、調整部により調整された交流電流と交流電位差とに基づいて、積層電池のインピーダンスを演算する演算部とを含む。このインピーダンス測定装置は、正極端子に生じる交流電位と負極端子に生じる交流電位との位相差に基づいて、第1電源部及び第2電源部から出力される交流電流の位相差を修正する修正部を含むことを特徴とする。

図面の簡単な説明

[0008] [図1A]図1 Aは、本発明の第1実施形態におけるインピーダンス測定装置により測定される積層電池の一例を示す外観斜視図である。

[図1B]図1 Bは、積層電池に積層される発電セルの構造を示す分解図である。

[図2]図2は、インピーダンス測定装置の基本構成を示す図である。

[図3]図3は、直流遮断部と電位差検出部とを示す図である。

[図4]図4は、積層電池の正極及び負極に交流電流を出力する電源部を示す図である。

[図5]図5は、正極及び負極の交流電流を調整する交流調整部の詳細と位相差検出部とを示す図である。

[図6]図6は、交流調整部に設けられる正極側検波回路の詳細を示す図である。

。

[図7]図7は、正極側及び負極側の交流電位差の位相差を示す図である。

[図8]図8は、位相差が生じたときに負荷の方に漏れ出す交流電流を示す図である。

[図9]図9は、積層電池のインピーダンスを演算する演算部の詳細を示す図である。

[図10]図10は、位相差に対する許容値を決定する手法の一例を示す図である。

[図11]図11は、交流調整部による等電位制御の方法を示すフローチャートである。

[図12]図12は、等電位制御を実行しているときのタイムチャートである。

[図13]図13は、位相差が生じていないときの正極及び負極の電位を示す図である。

[図14]図14は、位相差に基づいてインピーダンス測定装置の測定状態が不良であることを検知する検知方法を示すフローチャートである。

[図15]図15は、本発明の第2実施形態における位相差検出部を示す図である。

[図16A]図16Aは、正極及び負極の電源部に対する電流指令値が相反する方向に変化したことを判断する手法を示す図である。

[図16B]図16Bは、正極側電流指令値及び負極側電流指令値の各時間変化率の絶対差分と測定状態との関係を示す図である。

[図17]図17は、正極及び負極の電流指令値の差分に基づいて測定状態を診断する診断方法を示すフローチャートである。

[図18]図18は、本発明の第3実施形態における位相差検出部を示す図である。

[図19]図19は、位相差検出部の詳細を示す図である。

[図20]図20は、本発明の第4実施形態における位相差検出部を示す図である。

[図21]図21は、本発明の第6実施形態における位相修正部を示す図である。

[図22]図22は、位相可変電源部を備えるインピーダンス測定装置を示す図である。

[図23]図23は、正極側交流電流の位相を遅らせる方向に修正したときの図である。

[図24]図24は、本発明の第7実施形態におけるインピーダンス測定装置を示す図である。

[図25]図25は、本発明の第8実施形態における測定誤差を修正する手法を説明するための図である。

[図26]図26は、内部抵抗を補正する補正処理方法を示すフローチャートである。

[図27]図27は、本発明の第9実施形態における演算部の構成を示す図である。

[図28]図28は、正極側及び負極側の交流電位差の位相差の一例を示す図である。

[図29A]図29Aは、正極側及び負極側のインピーダンスの位相の一例を示す図である。

[図29B]図29Bは、正極側及び負極側のインピーダンスの位相の一例を示す図である。

[図29C]図29Cは、正極側及び負極側のインピーダンスの位相の一例を示す図である。

[図30]図30は、位相の修正に起因する誤差の補正を説明するための図である。

[図31]図31は、位相の修正に起因する誤差の補正方法を示すフローチャートである。

[図32]図32は、修正量と補正後のインピーダンスとの関係の一例を示す図である。

[図33]図33は、本発明の第10実施形態における演算部の構成を示す図である。

[図34]図34は、位相の調整に起因する誤差の他の補正方法を示すフローチャートである。

[図35]図35は、交流電流の周波数とインピーダンスとの関係を説明するための図である。

[図36]図36は、本発明の第11実施形態における演算部の構成を示す図である。

[図37]図37は、本発明の第12実施形態におけるインピーダンス測定装置を示す図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、添付図面を参照しながら本発明の実施形態について説明する。

[0010] (第1実施形態)

図1Aは、本発明の第1実施形態におけるインピーダンス測定装置により測定される積層電池の一例を示す外観斜視図である。図1Aでは、積層電池の一例として、複数の電池セルが積層された燃料電池スタック1が示されている。

[0011] 図1Aに示されるように、燃料電池スタック1は、複数の発電セル10と、集電プレート20と、絶縁プレート30と、エンドプレート40と、4本のテンションロッド50とを備える。

[0012] 発電セル10は、いわゆる電池セルのことであり、燃料電池スタック1に積層された燃料電池のうちのひとつを指す。発電セル10は、例えば1ボルト(V)程度の起電圧を生じる。発電セル10の詳細な構成については図1Bを参照して後述する。

[0013] 集電プレート20は、積層された発電セル10の外側にそれぞれ配置される。集電プレート20は、ガス不透過性の導電性部材、例えば緻密質カーボンで形成される。集電プレート20は、正極端子211及び負極端子212を備える。また正極端子211と負極端子212との中間には中途点端子2

13が設けられる。中途点端子213は、正極端子211から負極端子212へ積層された発電セル10のうち中間に位置する電池セル10に接続されている。なお、中途点端子213は、正極端子211と負極端子212との中点から外れた位置であってもよい。燃料電池スタック1の負極端子212から、発電セル10で生じた電子 e^- が取り出される。

[0014] 絶縁プレート30は、集電プレート20の外側にそれぞれ配置される。絶縁プレート30は、絶縁性の部材、例えばゴムなどで形成される。

[0015] エンドプレート40は、絶縁プレート30の外側にそれぞれ配置される。エンドプレート40は、剛性のある金属材料、例えば鋼などで形成される。

[0016] 一方のエンドプレート40(図1Aでは、左手前のエンドプレート40)には、アノード供給口41aと、アノード排出口41bと、カソード供給口42aと、カソード排出口42bと、冷却水供給口43aと、冷却水排出口43bとが設けられている。本実施形態では、アノード排出口41b、冷却水排出口43b及びカソード供給口42aは図中右側に設けられている。またカソード排出口42b、冷却水供給口43a及びアノード供給口41aは図中左側に設けられている。

[0017] テンションロッド50は、エンドプレート40の四隅付近にそれぞれ配置される。燃料電池スタック1は内部に貫通した孔(不図示)が形成されている。この貫通孔にテンションロッド50が挿通される。テンションロッド50は、剛性のある金属材料、例えば鋼などで形成される。テンションロッド50は、発電セル10同士の電気短絡を防止するため、表面には絶縁処理されている。このテンションロッド50にナット(奥にあるため図示されない)が螺合する。テンションロッド50とナットとが燃料電池スタック1を積層方向に締め付ける。

[0018] アノード供給口41aにアノードガスとしての水素を供給する方法としては、例えば水素ガスを水素貯蔵装置から直接供給する方法、又は水素を含有する燃料を改質して改質した水素含有ガスを供給する方法などがある。なお、水素貯蔵装置としては、高圧ガスタンク、液化水素タンク、水素吸蔵合金

タンクなどがある。水素を含有する燃料としては、天然ガス、メタノール、ガソリンなどがある。また、カソード供給口42aに供給するカソードガスとしては、一般的に空気が利用される。

[0019] 図1Bは、燃料電池スタック1に積層された発電セルの構造を示す分解図である。

[0020] 図1Bに示されるように、発電セル10は、膜電極接合体(Membrane Electrode Assembly; MEA)11の両面に、アノードセパレーター(アノードバイポーラープレート)12a及びカソードセパレーター(カソードバイポーラープレート)12bが配置される構造である。

[0021] MEA11は、イオン交換膜からなる電解質膜111の両面に電極触媒層112が形成される。この電極触媒層112の上にガス拡散層(Gas Diffusion Layer; GDL)113が形成される。

[0022] 電極触媒層112は、例えば白金が担持されたカーボンブラック粒子で形成される。

[0023] GDL113は、十分なガス拡散性及び導電性を有する部材、例えばカーボン繊維で形成される。

[0024] アノード供給口41aから供給されたアノードガスは、このGDL113aを流れてアノード電極触媒層112(112a)と反応し、アノード排出口41bから排出される。

[0025] カソード供給口42aから供給されたカソードガスは、このGDL113bを流れてカソード電極触媒層112(112b)と反応し、カソード排出口42bから排出される。

[0026] アノードセパレーター12aは、GDL113a及びシール14aを介してMEA11の片面(図1Bの裏面)に重ねられる。カソードセパレーター12bは、GDL113b及びシール14bを介してMEA11の片面(図1Bの表面)に重ねられる。シール14(14a, 14b)は、例えばシリコーンゴム、エチレンプロピレンゴム(ethylene propylene diene monomer; EPDM)、フッ素ゴムなどのゴム状弾性材である。アノードセパレーター12a及び

カソードセパレーター 12b は、例えばステンレスなどの金属製のセパレーター基体がプレス成型されて、一方の面に反応ガス流路が形成され、その反対面に反応ガス流路と交互に並ぶように冷却水流路が形成される。図 1B に示すようにアノードセパレーター 12a 及びカソードセパレーター 12b が重ねられて、冷却水流路が形成される。

[0027] MEA 11、アノードセパレーター 12a 及びカソードセパレーター 12b には、それぞれ孔 41a、41b、42a、42b、43a、43b が形成されており、これらが重ねられて、アノード供給口 41a、アノード排出口 41b、カソード供給口 42a、カソード排出口 42b、冷却水供給口 43a 及び冷却水排出口 43b が形成される。

[0028] 図 2 は、本実施形態におけるインピーダンス測定装置 5 の基本構成を示す図である。

[0029] インピーダンス測定装置 5 は、例えば車両に搭載された燃料電池スタック 1 の内部インピーダンスを測定する。燃料電池スタック 1 は、車両に搭載された負荷 3 と接続されている。負荷 3 は、電動モータや、燃料電池スタック 1 の発電のために使用される補機などである。コントロールユニット (C/U) 6 は、インピーダンス測定装置 5 で測定された測定結果に基づいて、負荷 3 の作動状態、及び、燃料電池スタック 1 の発電状態や湿潤状態などの運転状態を制御する。

[0030] インピーダンス測定装置 5 は、正極側直流遮断部 511 と、負極側直流遮断部 512 と、中途点直流遮断部 513 と、正極側電位差検出部 521 と、負極側電位差検出部 522 と、正極側電源部 531 と、負極側電源部 532 と、交流調整部 540 と、演算部 550 とを含む。

[0031] 正極側直流遮断部 511、負極側直流遮断部 512、中途点直流遮断部 513、正極側電位差検出部 521、及び、負極側電位差検出部 522 の詳細については、図 3 を参照して説明する。

[0032] 正極側直流遮断部 511 は、燃料電池スタック 1 の正極端子 211 に接続される。負極側直流遮断部 512 は、燃料電池スタック 1 の負極端子 212

に接続される。中途点直流遮断部 5 1 3 は、燃料電池スタック 1 の中途点端子 2 1 3 に接続される。直流遮断部 5 1 1 ~ 5 1 3 は、直流信号を遮断するが交流信号を流す。直流遮断部 5 1 1 ~ 5 1 3 は、例えばコンデンサーやトランスである。なお、波線で示している中途点直流遮断部 5 1 3 は、設けなくてもよい。

[0033] 正極側電位差検出部 5 2 1 は、正極端子 2 1 1 に生じる交流電位 V_a と、中途点端子 2 1 3 に生じる交流電位 V_c との電位差（以下、「交流電位差 V_1 」という。）を検出する。正極側電位差検出部 5 2 1 は、交流電位差 V_1 に応じて信号レベルが変化する検出信号を演算部 5 5 0 に出力する。

[0034] 負極側電位差検出部 5 2 2 は、負極端子 2 1 2 に生じる交流電位 V_b と、中途点端子 2 1 3 に生じる交流電位 V_c との電位差（以下「交流電位差 V_2 」と称する。）を検出する。負極側電位差検出部 5 2 2 は、交流電位差 V_2 に応じて信号レベルが変化する検出信号を演算部 5 5 0 に出力する。正極側電位差検出部 5 2 1 及び負極側電位差検出部 5 2 2 は、例えば差動アンプ(計装アンプ)により実現される。

[0035] 正極側電源部 5 3 1 及び負極側電源部 5 3 2 の詳細については、図 4 を参照して説明する。

[0036] 正極側電源部 5 3 1 は、基準周波数 f_b の交流電流を出力する第 1 電源部である。正極側電源部 5 3 1 は、例えばオペアンプ(OPアンプ)などの電圧電流変換回路によって実現される。この電圧電流変換回路によって、入力電圧 V_i に比例した電流 I_o が出力される。なお $I_o = V_i / R_s$ であり、 R_s は電流センシング抵抗である。この電圧電流変換回路は、入力電圧 V_i に応じて出力電流 I_o を調整可能な可変交流電流源である。

[0037] 電圧電流変換回路を正極側電源部 5 3 1 として使用することにより、出力電流 I_o を実測しなくても、入力電圧 $V_i \div$ 比例定数 R_s で出力電流 I_o を演算できるので、入力電圧 V_i を検出すれば出力電流 I_o を求めることができる。また、電圧電流変換回路の出力が電流なので、電流経路にコンデンサーのような位相角が生じる素子が介在しても、積層セル群を流れる交流電流

と正極側電源部 531 の出力電流とは同位相になる。さらには入力電圧 V_i とも同位相になる。したがって次段の抵抗算出において交流電流の位相ズレを考慮する必要がなく回路が簡素である。さらに、電流経路中のコンデンサーのインピーダンスがばらついていても、交流電流の位相変化の影響を受けない。このようなことから、正極側電源部 531 として図 4 に示すような回路を用いることが好適である。負極側電源部 532 についても同様の構成である。すなわち負極側電源部 532 は、基準周波数 f_b の交流電流を出力する第 2 電源部である。

[0038] 交流調整部 540 の詳細については、図 5 を参照して説明する。

[0039] 交流調整部 540 は、正極側の交流電位 V_a と負極側の交流電位 V_b とが一致するように、正極側電源部 531 及び負極側電源部 532 のうち少なくとも一方から出力される交流電流の振幅を調整する。

[0040] 本実施形態では交流調整部 540 は、正極側の交流電位差 V_1 と負極側の交流電位差 V_2 とが共に所定の値となるように、正極側電源部 531 から出力される交流電流の振幅と、負極側電源部 532 から出力される交流電流の振幅との両方を増減させる。交流調整部 540 は、例えば P I (Proportional Integral) 制御回路によって実現される。

[0041] また交流調整部 540 は、正極側電源部 531 及び負極側電源部 532 に対する指令信号を、正極側電源部 531 及び負極側電源部 532 から出力される交流電流 I_1 及び I_2 として演算部 550 にそれぞれ出力する。

[0042] 交流調整部 540 は、正極側検波回路 5411 と、正極側減算器 5421 と、正極側積分回路 5431 と、正極側乗算器 5441 と、負極側検波回路 5412 と、負極側減算器 5422 と、負極側積分回路 5432 と、負極側乗算器 5442 と、を含む。

[0043] さらに交流調整部 540 は、基準電源 545 及び交流信号源 546 を備える。基準電源 545 は、ゼロ (0) V を基準に定められた電位差 (以下、「基準電圧 V_s 」という。) を出力する。基準電圧 V_s は、正極側の交流電位差 V_1 と正極側の交流電位差 V_2 とを一致させるために予め定められた値で

ある。交流信号源 5 4 6 は、基準周波数 f_b の交流信号を発振させる発振源である。基準周波数 f_b は、燃料電池スタック 1 の内部インピーダンスを測定するのに適した所定の周波数に設定される。

[0044] 正極側検波回路 5 4 1 1 は、直流遮断部 5 1 1 と正極側電源部 5 3 1 との間を接続した信号線に生じる交流電位 V_a から、不要信号を除去すると共に、交流電位 V_a を交流電位 V_a の振幅に比例した直流信号に変換する。例えば、正極側検波回路 5 4 1 1 は、直流信号として、交流電位差 V_1 の平均値又は実効値を出力する。

[0045] 本実施形態では、正極側検波回路 5 4 1 1 は同期検波回路により実現される。正極側検波回路 5 4 1 1 は、正極側電源部 5 3 1 の出力端子に生じる交流電位 V_a から、交流電位差 V_1 の実軸成分 V_{1r} 及び虚軸成分 V_{1x} を抽出する。そして正極側検波回路 5 4 1 1 は、交流電位差 V_1 の実軸成分 V_{1r} を正極側減算器 5 4 2 1 に出力する。実軸成分 V_{1r} は、交流電位差 V_1 の平均値や実効値に相当する値であり、交流電流 I_1 に対して交流電位差 V_1 の位相が遅れるほど、実軸成分 V_{1r} の値は小さくなる。正極側検波回路 5 4 1 1 の詳細については図 6 を参照して後述する。

[0046] 正極側減算器 5 4 2 1 は、正極側検波回路 5 4 1 1 から出力される交流電位差 V_1 の実軸成分 V_{1r} から基準電圧 V_s を減算することにより、基準電圧 V_s から実軸成分 V_{1r} のズレ幅を示す差分信号を算出する。例えば、基準電圧 V_s からのズレ幅が大きくなるほど、差分信号の信号レベルは大きくなる。

[0047] 正極側積分回路 5 4 3 1 は、正極側減算器 5 4 2 1 から出力された差分信号を積分することにより、差分信号を平均化又は感度調節する。そして正極側積分回路 5 4 3 1 は、積分された差分信号を、正極側電流指令値 I_{1c} として正極側乗算器 5 4 4 1 に出力する。

[0048] 正極側乗算器 5 4 4 1 は、交流信号源 5 4 6 から出力される基準周波数 f_b の交流信号に正極側電流指令値 I_{1c} を乗算することにより、交流電位差 V_1 を基準電圧 V_s に収束させる交流電流 I_1 の指令信号を出力する。正極

側乗算器 5441 によって、正極側電流指令値 I_{1c} が大きくなるほど、指令信号の振幅は大きくなる。正極側乗算器 5451 は、その交流電流 I_1 の指令信号を正極側電源部 531 に出力する。交流電流 I_1 の指令信号として正極側電源部 531 に入力される交流電圧信号 V_i は、正極側電源部 531 によって交流電流信号 I_o に変換されて燃料電池スタック 1 の正極端子 211 へ出力される。

[0049] なお、負極側検波回路 5412、負極側減算器 5422、負極側積分回路 5432 及び負極側乗算器 5442 は、それぞれ、正極側検波回路 5411、正極側減算器 5421、正極側積分回路 5431 及び正極側乗算器 5441 と基本的に同じ構成である。

[0050] 図 6 は、正極側検波回路 5411 の構成の一例を示す図である。

[0051] 正極側検波回路 5411 は、同相成分抽出部 710 及び直交成分抽出部 720 を備える。

[0052] 同相成分抽出部 710 は、正極側電源部 531 から出力される交流電流 I_1 と同じ周波数成分を検出するための同相信号 $S_{in}(0)$ を、正極側電源部 531 からの交流電位 V_a に乗算することにより、交流電位差 V_1 の実軸成分 V_{1r} を抽出する。

[0053] 同相信号 $S_{in}(0)$ は、基準周波数 f_b の交流信号であって、正極側電源部 531 から出力される交流電流と位相が同じ交流信号である。同相信号 $S_{in}(0)$ は、例えば交流信号源 546 から同相成分抽出部 710 に入力される。

[0054] 同相成分抽出部 710 は、同相乗算部 711 及び同相低域フィルタ 712 を備える。

[0055] 同相乗算部 711 は、正極側の交流電位 V_a に同相信号 $S_{in}(0)$ を乗算する。これにより、同相乗算部 711 からは、交流電位 V_a の波形と、同相信号 $S_{in}(0)$ の波形との一致度合いに応じた同相交流信号が出力される。例えば、交流電位 V_a と同相信号 $S_{in}(0)$ の位相が完全に一致している場合には、全波整流波形の同相交流信号が出力される。また交流電位 V

aと同相信号 $S_{in}(0)$ との波形の一致度合いが大きいほど、実軸成分 V_{1r} は大きくなる。

[0056] 同相低域フィルタ712は、同相交流信号の直流成分を、実軸成分 V_{1r} として検出する。本実施形態では、同相低域フィルタ712は、同相交流信号の交流成分、すなわち高周波領域成分を除去して同相交流信号の直流成分を通過させるローパスフィルタ(LPF)により実現される。同相低域フィルタ712によって平滑化された同相交流信号は、正極側減算器5421及び位相差検出部561に入力される。

[0057] このように同相成分抽出部710は、正極側電源部531の出力電流 I_1 と同じ位相である同相信号 $S_{in}(0)$ を交流電位 V_a に乗算することにより交流電位差 V_a を整流する。これにより、交流電位 V_a から、実軸成分 V_{1r} として正極側電源部531の出力電流 I_1 と周波数が同じで位相が同じ交流信号のみを抽出できる。このため、交流電位 V_a がノイズに埋もれていても、確実に実軸成分 V_{1r} を検出することができる。

[0058] 直交成分抽出部720は、交流電位 V_a と交流電位 V_b との位相差を検出するために設けられている。

[0059] 直交成分抽出部720は、正極側電源部531の出力電流 I_1 と同じ周波数で位相が直交する成分を検出するための直交信号 $S_{in}(90)$ を、交流電位 V_a に乗算することにより、交流電位差 V_1 の虚軸成分 V_{1x} を抽出する。

[0060] 直交信号 $S_{in}(90)$ は、基準周波数 f_b の交流信号であって、正極側電源部531の出力電流に対して位相が90度だけ進み、かつ、同相信号 $S_{in}(0)$ と振幅が同じ交流信号である。直交信号 $S_{in}(90)$ は、例えば交流信号源546の位相を90度回転させて直交成分抽出部720に入力される。

[0061] 直交成分抽出部720は、直交乗算部721及び直交低域フィルタ722を備える。

[0062] 直交乗算部721は、交流電位 V_a に直交信号 $S_{in}(90)$ を乗算する

。これにより、直交乗算部 721 からは、交流電位 V_a の波形と直交信号 $S_{in}(90)$ の波形との一致度合いに応じた直交交流信号が出力される。

[0063] 直交低域フィルタ 722 は、直交交流信号の直流成分を、虚軸成分 V_{1x} として検出する。本実施形態では、直交低域フィルタ 722 は、直交交流信号の交流成分、すなわち高周波領域成分を除去して直交交流信号の直流成分を通過させるローパスフィルタにより実現される。直交低域フィルタ 722 によって平滑化された直交交流信号は、検出信号の虚軸成分 V_{1x} として位相差検出部 561 に入力される。

[0064] このように直交成分抽出部 720 は、直交信号 $S_{in}(90)$ を交流電位 V_a に乗算して整流する。これにより、交流電位 V_a から、虚軸成分 V_{1x} として正極側電源部 531 の出力電流と同じ周波数で位相が 90 度進んでいる交流信号のみを抽出することができる。このため、交流電位 V_a がノイズに埋もれていても、虚軸成分 V_{1x} を確実に検出することができる。

[0065] 以上のように、正極側検波回路 5411 は、交流電位 V_a に基づいて交流電位差 V_1 の実軸成分 V_{1r} 及び虚軸成分 V_{1x} を検出する。そして正極側検波回路 5411 は、正極側電源部 531 から出力される交流電流の振幅をフィードバックするために実軸成分 V_{1r} を正極側減算器 5421 に出力する。また正極側検波回路 5411 は、燃料電池スタック 1 の正極端子 211 及び負極端子 212 に生じる交流電位の位相差を検出するために位相差検出部 561 へ交流電位差 V_1 の虚軸成分 V_{1x} を出力する。

[0066] なお、本実施形態では交流電位差 V_1 の実軸成分 V_{1r} を正極側減算器 5421 に出力する例について説明したが、交流電位 V_a から交流電位差 V_1 のベクトル値 V_{1p} を求めて正極側減算器 5421 に出力するようにしてもよい。具体的には、次式のとおりに、実軸成分 V_{1r} の二乗値と虚軸成分 V_{1x} の二乗値との和の平方根を演算してベクトル値 V_{p1} が求められる。

[0067] [数1]

$$V_{1p} = \sqrt{V_{1r}^2 + V_{1x}^2} \quad \dots (1)$$

また、本実施形態では正極側電源部 531 の出力端子に生じる交流電位 V_a から、交流電位差 V_1 の実軸成分 V_{1r} 及び虚軸成分 V_{1x} を抽出する例について説明した。しかし、交流電位 V_a の代わりに正極側電位差検出部 521 の出力信号から、交流電位差 V_1 の実軸成分 V_{1r} 及び虚軸成分 V_{1x} を抽出してもよい。例えば、正極側電位差検出部 521 から出力される交流電位差 V_1 を示す検出信号に対して同相信号 $\sin(0)$ を乗算することにより、交流電位差 V_1 の実軸成分 V_{1r} を検出することができる。

[0068] 上述のとおり、交流調整部 540 は、交流電位 V_a から抽出した交流電位差 V_1 の実軸成分 V_{1r} が基準電圧 V_s となるように、正極側電源部 531 から出力される交流電流の振幅を調整する。同様に交流調整部 540 は、交流電位 V_b から抽出した交流電位差 V_2 の実軸成分 V_{2r} が基準電圧 V_s となるように、負極側電源部 532 から出力される交流電流の振幅を調整する。

[0069] このため、交流電位 V_a 及び交流電位 V_b が互いに同じレベルに制御されるので、正極端子 211 に重畳される交流電位の振幅と、負極端子 212 に重畳される交流電位の振幅とが互いに等しくなる。これにより、インピーダンス測定装置 5 から燃料電池スタック 1 を介して負荷 3 に交流電流が漏れ出るのを防ぐことができる。なお、以下では、交流電位 V_a と交流電位 V_b とが等電位となるように、正極側電源部 531 及び負極側電源部 532 を制御することを「等電位制御」という。

[0070] しかしながら、発電セル 10 は、等価的に抵抗成分の他に静電容量（キャパシタンス）成分を有しているので、燃料電池スタック 1 の内部で合成される静電容量成分によって、等電位制御が正しく機能しなくなる場合がある。以下に等電位制御が正しく機能しなくなる場合について説明する。

[0071] 燃料電池スタック 1 の等価回路は、図 2 に示したように、正極側の内部抵抗 R_1 及び負極側の内部抵抗 R_2 と、正極側の静電容量 C_1 及び負極側の静電容量 C_2 とが並列に接続された回路として表すことができる。そして、この静電容量 C_1 と静電容量 C_2 は、燃料電池スタック 1 の運転状態や負荷 3

の運転状態などによって、大きく変化することを発明者は知見した。

[0072] 例えば、燃料電池スタック 1 の発電中に負荷 3 から要求される電力が急峻に増加し、燃料電池スタック 1 から取り出す出力電流が増大するときには、燃料電池スタック 1 内のアノードガス及びカソードガスのガス濃度が上昇する。これに伴い静電容量 C_1 と静電容量 C_2 が変化して、交流電位差 V_1 を示す検出信号と交流電位差 V_2 を示す検出信号との間の位相差 ϕ が大きくなる。

[0073] 図 7 は、交流電位差 V_1 及び V_2 を示す検出信号間の位相ズレを説明するための図である。

[0074] 図 7 には、交流電位差 V_1 を表わすベクトル 611 と、交流電位差 V_2 を表わすベクトル 612 と、ベクトル 611 からベクトル 612 を引いた電位差 V_e を表わす差分ベクトル 613 とが示されている。また、一点破線によって検出信号の振幅が示されている。

[0075] なお、横軸が、交流電流 I_1 及び I_2 を基準とした交流電位差 V_1 及び V_2 の実軸成分を示し、縦軸が、交流電位差 V_1 及び V_2 の虚軸成分を示している。

[0076] 図 7 では、ベクトル 611 及びベクトル 612 の大きさが基準電圧 V_s に調整されており、燃料電池スタック 1 又は負荷 3 の運転状態によって、静電容量 C_2 のリアクタンスが静電容量 C_1 よりも小さくなったときのベクトル 611 及びベクトル 612 が示されている。

[0077] ベクトル 611 は、静電容量 C_1 によって、交流電流 I_1 に対し位相角 θ_1 だけ遅れている。ベクトル 611 の実軸成分 V_{1r} は、交流電流 I_1 と内部抵抗 R_1 とを乗算した値である。虚軸成分 V_{1x} は、交流電流 I_1 と容量リアクタンス X_{1c} とを乗算した値である。なお、容量リアクタンス X_{1c} は、交流電流 I_1 の角速度 ω と静電容量 C_1 とを乗算した値の逆数である。

[0078] ベクトル 612 は、静電容量 C_2 によって、交流電流 I_2 に対し位相角 θ_2 だけ遅れている。ベクトル 612 の実軸成分 V_{2r} は、交流電流 I_2 と内部抵抗 R_2 とを乗算した値である。虚軸成分 V_{2x} は、交流電流 I_2 と容量

リアクタンス $\times 2c$ とを乗算した値である。なお、容量リアクタンス $\times 1c$ は、交流電流 I_2 の角速度 ω と静電容量 C_2 とを乗算した値の逆数である。

[0079] ここでベクトル 611 の位相角 θ_1 がベクトル 612 の位相角 θ_2 よりも小さくなる場合について説明する。

[0080] 燃料電池スタック 1 では、図 1 に示したようにアノード排出口 $41b$ は正極端子 211 側に設けられている。例えば、アノード排出口 $41b$ から窒素などの不純物ガスを排出するためのパージ弁が設けられた燃料電池システムでは、アノード排出口 $41b$ の付近、すなわち正極端子 211 側に不純物ガスが蓄積されやすい。このため、正極端子 211 から中途点端子 213 まで積層された発電セル群の水素濃度は、中途点端子 213 から負極端子 212 まで積層された発電セル群の水素濃度よりも低くなることもある。

[0081] このような状況では、燃料電池スタック 1 内の水素濃度が低くなるほど、交流電流に対する発電セル 10 が有する静電容量成分は小さくなるので、静電容量 C_1 が静電容量 C_2 よりも小さくなる。その結果、図 7 に示したようにベクトル 611 の位相角 θ_1 がベクトル 612 の位相角 θ_2 よりも小さくなり、交流電位差 V_1 を示す検出信号と交流電位差 V_2 を示す検出信号との間には位相差 ϕ が生じる。

[0082] 図 8 は、交流電位差 V_1 及び V_2 を示す検出信号間に位相差 ϕ が生じたときの負荷 3 に漏れ出す交流電流を示す観念図である。

[0083] 図 $8(a)$ は、図 7 に示したベクトル 611 の交流電位差 V_1 、及びベクトル 612 の交流電位差 V_2 の波形を示す図である。図 $8(b)$ は、差分ベクトル 613 の交流電位差 V_e の波形を示す図である。図 $8(a)$ 及び図 $8(b)$ では、縦軸が共に振幅を示し、横軸は互いに共通の時間軸である。

[0084] 図 $8(a)$ に示すように、交流電位差 V_1 と交流電位差 V_2 との間には、ベクトル 611 の位相角 θ_1 とベクトル 612 の位相角 θ_2 との位相差 ϕ が生じている。このような場合には、図 $8(b)$ に示すように、燃料電池スタック 1 の正極端子 211 と負極端子 212 との間には、交流電位差 V_e が生じる。

- [0085] 交流電位差 V_e によって、正極側電源部 531 及び負極側電源部 532 から燃料電池スタック 1 へ出力される交流電流 I_1 又は I_2 の一部が、燃料電池スタック 1 を流れずに負荷 3 の方に漏れ出す。ここでは、負極側電源部 532 から出力される交流電流 I_2 の一部が燃料電池スタック 1 の負極端子 212 から負荷 3 の方に漏れ出す。
- [0086] 負荷 3 に交流電流 I_2 の一部が漏れ出すと、例えば内部抵抗 R_2 を演算するために用いられる電流指令値 I_2 と、抵抗成分 R_2 に実際に流れる電流の実際値とに誤差が生じるので、算出される内部抵抗 R_2 の誤差が大きくなってしまう。位相差 ϕ が大きくなるほど、負荷 3 に漏れ出す電流量も多くなるため、内部抵抗 R_2 の測定精度が低下する。
- [0087] このため、燃料電池スタック 1 の運転状態によって静電容量 C_1 又は静電容量 C_2 が変動して、交流電位差 V_1 及び V_2 の検出信号間に位相差 ϕ が生じた状態では、内部抵抗 R_1 及び R_2 の測定結果に含まれる誤差が許容範囲を超えてしまうことがある。
- [0088] このような測定状態であっても、正極側検波回路 5411 及び負極側検波回路 5412 から出力される検出信号の信号レベルは、いずれも等電位制御によって一定の値を示すことになる。そのため、インピーダンス測定装置 5 の測定状態が不良であることが検知されずに、インピーダンスの測定が行われてしまう。
- [0089] そこで本発明の実施形態では、燃料電池スタック 1 の静電容量成分に起因する正極端子 211 及び負極端子 212 の双方に供給される交流電位の位相差を検出し、その位相差に基づいて、インピーダンスを測定している測定状態が不良か否かを診断する。
- [0090] 第 1 実施形態では、図 5 に示した位相差検出部 561 及び判定回路 562 により実現される。
- [0091] 位相差検出部 561 は、燃料電池スタック 1 の正極端子 211 に生じる交流電位と負極端子 212 に生じる交流電位との間の位相差を検出する回路である。位相差検出部 561 は、正極側検波回路 5411 から出力される交流

電位差 V_1 の検出信号と、負極側検波回路 5412 から出力される交流電位差 V_2 の検出信号とに基づいて、交流電位差 V_1 と交流電位差 V_2 との間の位相差を算出する。

[0092] 具体的には、位相差検出部 561 は、次式に従って、正極側検波回路 5411 から出力される交流電位差 V_1 の実軸成分 V_{1r} 及び虚軸成分 V_{1x} を用いて、交流電位差 V_1 の位相角 θ_1 を演算する。

[0093] [数2]

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{V_{1r}}{V_{1x}} \right) \quad \dots (2)$$

さらに位相差検出部 561 は、次式に従って、負極側検波回路 5412 から出力される交流電位差 V_2 の実軸成分 V_{2r} 及び虚軸成分 V_{2x} を用いて、交流電位差 V_2 の位相角 θ_2 を演算する。

[0094] [数3]

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{V_{2r}}{V_{2x}} \right) \quad \dots (3)$$

そして位相差検出部 561 は、次式のとおり、交流電位差 V_1 の位相角 θ_1 から交流電位差 V_2 の位相角 θ_2 を減算した値を、正極端子 211 に生じる交流電位と負極端子に生じる交流電位との間の位相差 Φ として算出して、判定回路 562 に出力する。

[0095] [数4]

$$\Phi = \theta_1 - \theta_2 \quad \dots (4)$$

判定回路 562 は、位相差検出部 561 から出力される位相差 Φ と、予め定められた許容値 T_{h1} とを比較して、内部抵抗 R_1 及び R_2 を測定している測定状態が不良であるか否かを診断する。

[0096] 位相差 Φ の許容値 T_{h1} は、測定誤差を許容できる範囲内の上限値、すなわち閾値であり、実験データ等によって設定される。なお、許容値 T_{h1} の決定手法については図 10 を参照して後述する。

- [0097] 本実施形態では、判定回路562は、位相差 ϕ が許容値 T_{h1} よりも大きい場合、又は、位相差 ϕ が許容値 T_{h1} と等しい場合には、位相差 ϕ が原因で等電位制御が不良であると判断し、測定状態が不良である旨を示すH（High）レベルの判定信号を生成する。
- [0098] 一方、判定回路562は、位相差 ϕ が許容値 T_{h1} よりも小さい場合には、測定状態が不良でない旨を示すL（Low）レベルの判定信号を生成する。そして判定回路562は、生成した判定信号を、コントローラユニット6又は演算部550に出力する。
- [0099] 演算部550の詳細については、図9を参照して説明する。
- [0100] 演算部550には、正極側電位差検出部521及び負極側電位差検出部522から出力される交流電位差 V_1 及び V_2 を示す検出信号と、正極側電源部531及び負極側電源部532に対する交流電流 I_1 及び I_2 の指令信号とが入力される。すなわち、演算部550は、交流電流 I_1 及び I_2 の検出値と、交流電位差 V_1 及び V_2 の検出値とを取得する。
- [0101] 演算部550は、交流電位差 V_1 及び V_2 と、交流電流 I_1 及び I_2 とに基づいて、燃料電池スタック1の内部インピーダンスを演算する。
- [0102] 例えば、演算部550は、正極側電位差検出部521からの検出信号に基づいて交流電位差 V_1 の実軸成分及び虚軸成分を演算するとともに、負極側電位差検出部522からの検出信号に基づいて交流電位差 V_2 の実軸成分及び虚軸成分を演算する。
- [0103] 本実施形態では、演算部550は、交流電位差 V_1 の実軸成分を交流電流 I_1 により除算することによって内部抵抗 R_1 を算出し、交流電位差 V_2 の実軸成分を交流電流 I_2 により除算することによって内部抵抗 R_2 を算出する。なお、演算部550は、交流電位差 V_1 及び V_2 の虚軸成分を用いて静電容量 C_1 及び C_2 を算出してもよい。
- [0104] なお、演算部550は、正極側電位差検出部521及び負極側電位差検出部522からの検出信号に基づいて交流電位差 V_1 及び V_2 の平均値又は実効値を求め、交流調整部540からの指令信号に基づいて交流電流 I_1 及び

I 2の平均値又は実効値を求めるようにしてもよい。そして演算部550は、交流電位差V1の平均値又は実効値を、交流電流I1の平均値又は実効値により除算して内部抵抗R1を算出し、交流電位差V2の平均値又は実効値を、交流電流I2の平均値又は実効値により除算して内部抵抗R1を算出する。

- [0105] 演算部550は、AD (Analog Digital) 変換器551及びマイコンチップ552を備える。
- [0106] AD変換器551は、アナログ信号である交流電流の指令信号(I1, I2)及び交流電位差の検出信号(V1, V2)をデジタル数値信号に変換し、マイコンチップ552に転送する。
- [0107] マイコンチップ552は、内部抵抗Rn及び燃料電池スタック1全体の内部抵抗Rを算出するプログラムを予め記憶している。マイコンチップ552は、所定の微小時間間隔で順次演算し、又は、コントローラユニット6の要求に応じて演算結果を出力する。なお内部抵抗Rn及び燃料電池スタック1全体の内部抵抗Rは、次式で演算される。

[0108] [数5]

$$\text{抵抗演算式 } R_n = \frac{V_n}{I_n} \quad (n=1, 2, \dots, n) \quad \dots (5-1)$$

$$\text{全体の抵抗値 } R = \sum R_n \quad \dots (5-2)$$

演算部550は、アナログ演算ICを用いたアナログ演算回路で実現してもよい。アナログ演算回路によれば、時間的に連続した抵抗値の変化をコントローラユニット6に出力することができる。

- [0109] コントローラユニット6は、インピーダンスの測定結果として演算部550から出力される内部抵抗Rを取得すると共に、測定状態の判定結果として判定回路562から出力される判定信号を取得する。判定信号は、例えば演算部550を介してコントローラユニット6に入力される。
- [0110] コントローラユニット6は、内部抵抗Rの測定結果に応じて、燃料電池スタック1の運転状態を制御する。例えばコントローラユニット6は、内

部抵抗 R が高い場合には、燃料電池スタック 1 の電解質膜が乾いた状態であると判断し、燃料電池スタック 1 に供給されるカソードガスの流量を減らす。これにより、燃料電池スタック 1 から持ち出される水分量を減少させることができる。

[0111] 本実施形態では、コントローラーユニット 6 は、静電容量 C_1 と静電容量 C_2 とのバランスが崩れ、交流電位差 V_1 及び V_2 の位相差 ϕ が大きくなって判定信号が H レベルになると、測定状態が不良であると判定して内部抵抗 R の測定結果を破棄する。

[0112] そしてコントローラーユニット 6 は、判定信号が L レベルから H レベルに切り替わる前に演算部 550 で演算された内部抵抗 R を測定結果として設定し、判定信号が L レベルに戻るまで測定結果を固定する。

[0113] 具体的には、コントローラーユニット 6 は、所定のサンプリング周期で内部抵抗 R を取得するたびに、その抵抗値を不図示のメモリに時系列に記録し、特定の期間だけメモリに保持する。そしてコントローラーユニット 6 は、判定信号が L レベルから H レベルに切り替わった時点でメモリに保持された複数の抵抗値に基づいて、測定結果として用いられる固定値を算出する。固定値としては、例えば、メモリに保持された複数の抵抗値を平均した平均値や、複数の抵抗値のうち最後にメモリに記録された最新の値などが用いられる。

[0114] なお、ここではインピーダンス測定装置 5 の測定状態が不良であると判定した場合には内部抵抗 R の測定結果を破棄する例について説明したが、破棄せずに測定不良を示す符号や位相差検出部 561 で検出された位相差 ϕ などを測定結果に付した測定データを生成するようにしてもよい。コントローラーユニット 6 には、燃料電池スタック 1 のカソードガス供給流量や、アノードガス供給流量、冷却水温度などを制御するための制御ブロックが複数存在し、仮に制御ブロックごとに要求される内部抵抗 R の測定精度が異なる場合には、測定データに付された符号に応じて測定結果の取り扱いを変えることが可能となる。

[0115] また、本実施形態では、交流調整部 540 に判定回路 562 を設ける例について説明したが、これに限られるものではない。

[0116] 例えば、位相差検出部 561 によって検出される位相差 Φ をコントローラユニット 6 に直接入力し、コントローラユニット 6 が、インピーダンス測定装置 5 の測定状態が不良か否かを診断するようにしてもよい。あるいは、位相差 Φ を演算部 550 に入力し、演算部 550 が、測定状態の診断を行い、測定不良と判定された場合に演算結果を破棄して測定不良と判定される前の測定結果をコントローラユニット 6 に出力するようにしてもよい。

[0117] さらに、本実施形態では、位相差検出部 561 において交流電位差 V_1 と交流電位差 V_2 の位相差 Φ を演算する例について説明したが、演算部 550 において位相差 Φ を求めても良い。

[0118] 具体的には、正極側検波回路 5411 から出力される実軸成分 V_{1r} 及び虚軸成分 V_{1x} と、負極側検波回路 5412 から出力される実軸成分 V_{2r} 及び虚軸成分 V_{2x} を演算部 550 に入力し、演算部 550 において式 (2) ~ 式 (4) を計算させて位相差 Φ を求める。

[0119] また、本実施形態では、測定状態が不良か否かを検知するのに、交流電位差 V_1 と交流電位差 V_2 との位相差 Φ を用いる例について説明したが、正極側の虚軸成分 V_{1x} と負極側の虚軸成分 V_{2x} との差分 ΔV_x を用いても良い。

[0120] 交流電位差 V_1 と交流電位差 V_2 との位相差 Φ は、次式に示すとおり、正極側の虚軸成分 V_{1x} から負極側の虚軸成分 V_{2x} を減算した差分 ΔV_x に対して比例関係がある。例えば、検出信号の位相差 Φ が大きくなるほど、虚軸成分の差分 ΔV_x が大きくなる。

[0121] [数6]

$$\Phi \propto (V_{1x} - V_{2x}) \quad \dots (6)$$

したがって、式 (6) の関係を利用することにより、虚軸成分の差分 ΔV_x が所定の許容値を超えた場合には、測定状態が不良であると判定すること

が可能となる。なお許容値は、インピーダンスの測定誤差を許容できる範囲内の上限値であり、実験データ等からシステム設計に応じて設定される。

[0122] 次に交流電位 V_a と交流電位 V_b との間の位相差 Φ についての許容値 Th_1 を設定する設定手法について説明する。

[0123] 図 10 は、判定回路 562 で用いる位相差 Φ についての許容値を設定する設定手法の一例を説明するための図である。

[0124] 図 10 では、位相差 Φ の大きさに応じて振幅値が変化する漏れ電流 I_L (Φ) とインピーダンスの測定誤差 E との関係が線形性を有していることを想定している。このような場合には、インピーダンス測定装置 5 の回路構成をモデル化して伝達関数 G を求める。

[0125] 伝達関数 G の回路モデルとしては、正極側及び負極側の交流電流 I_1 及び I_2 が燃料電池スタック 1 に入力される。そして燃料電池スタック 1 からインピーダンス測定装置 5 には、交流電位差 V_1 及び V_2 と、交流電流 I_1 及び I_2 と、交流電流 I_1 又は I_2 の一部が燃料電池スタック 1 の一方の電極端子から負荷 3 に漏れ出し他方の電極端子へ流れる漏れ電流 I_L (Φ) と、が入力される。これにより、インピーダンス測定装置 5 からは、漏れ電流 I_L (Φ) に応じた測定誤差 E (Φ) が内部抵抗 R に加算され、その加算値が測定結果として出力される。

[0126] この伝達関数 G の入力は、基準電圧 V_s に調整したときの正極側及び負極側の交流電位差 V_1 及び V_2 、交流電流 I_1 から漏れ電流 I_L を減算した正極側の交流電流 ($I_1 - I_L$) 並びに、交流電流 I_2 に漏れ電流 I_L を加算した負極側の交流電流 ($I_2 + I_L$) である。これらの入力に対して伝達関数 G の出力は、内部抵抗 R (V_s , I_1 , I_2) に測定誤差 E (Φ) を加算した値となる。

[0127] このような伝達関数 G の逆数 G^{-1} に対し、測定結果の用途に応じて定められた測定誤差の許容値 E (Φ) を逆伝達関数 G^{-1} に代入することにより、漏れ電流 I_L (Φ) が算出され、この算出値は、測定状態が不良か否かを判定するための判定値として用いられる。この判定値によって位相差 Φ の許容値 Th_1

が定められる。

[0128] なお、ここでは伝達関数 G を求めて許容値 T_{h1} を設定する例について説明したが、これに限られるものではない。例えば、位相差検出部 561 により検出される位相差 ϕ と、インピーダンス測定装置 5 による測定誤差 $E(\phi)$ との関係を予め実験などにより求め、その結果から、許容される測定誤差 $E(\phi)$ に対応する位相差 ϕ を許容値 T_{h1} として設定するようにしてもよい。

[0129] また、本実施形態では許容値 T_{h1} を予め定められた値に固定する例について説明したが、燃料電池スタック 1 の使用時間が長くなるに連れて燃料電池スタック 1 を構成する物質の特性が劣化するので、このような劣化要因を考慮して許容値 T_{h1} を適宜変更するようにしてもよい。

[0130] 例えば、燃料電池スタック 1 が使用された時間の積算値と位相差 ϕ の許容値との関係を示すデータテーブルや関数式などをインピーダンス測定装置 5 に予め記憶しておき、そのデータテーブルなどを用いてインピーダンス測定装置 5 の起動時などに許容値 T_{h1} を変更する。また燃料電池スタック 1 の使用積算時間の他に、インピーダンス測定装置 5 に設けられた正極側電源部 531 及び負極側電源部 532 の交流電流の発振精度の低下などに起因する変動要素を考慮して許容値 T_{h1} を設定又は補正してもよい。

[0131] これにより、インピーダンスの測定状態が不良であるか否かを判定するのに用いられる許容値を適切に設定することができる。このため、測定状態が不良であるか否かを適切に診断することができ、測定結果に対する信頼性を高めることができる。

[0132] 図 11 は、交流調整部 540 で行われる制御をコントローラーによって実現するときの制御方法の一例を示すフローチャートである。

[0133] ステップ S1 においてコントローラーは、正極交流電位 V_a が所定値よりも大きいかな否かを判定する。コントローラーは、判定結果が否であればステップ S2 へ処理を移行し、判定結果が肯であればステップ S3 へ処理を移行する。

- [0134] ステップS 2においてコントローラーは、正極交流電位 V_a が所定値よりも小さいか否かを判定する。コントローラーは、判定結果が否であればステップS 4へ処理を移行し、判定結果が肯であればステップS 5へ処理を移行する。
- [0135] ステップS 3においてコントローラーは、正極側電源部5 3 1の出力を下げる。すなわち、コントローラーは、交流電流 I_1 の振幅を小さくする。これによって正極交流電位 V_a が下がる。
- [0136] ステップS 4においてコントローラーは、正極側電源部5 3 1の出力を維持する。これによって正極交流電位 V_a が維持される。
- [0137] ステップS 5においてコントローラーは、正極側電源部5 3 1の出力を上げる。これによって正極交流電位 V_a が上がる。
- [0138] ステップS 6においてコントローラーは、負極の交流電位 V_b が所定値よりも大きいかな否かを判定する。コントローラーは、判定結果が否であればステップS 7へ処理を移行し、判定結果が肯であればステップS 8へ処理を移行する。
- [0139] ステップS 7においてコントローラーは、負極の交流電位 V_b が所定値よりも小さいかな否かを判定する。コントローラーは、判定結果が否であればステップS 9へ処理を移行し、判定結果が肯であればステップS 10へ処理を移行する。
- [0140] ステップS 8においてコントローラーは、負極側電源部5 3 2の出力を下げる。これによって負極交流電位 V_b が下がる。
- [0141] ステップS 9においてコントローラーは、負極側電源部5 3 2の出力を維持する。これによって負極交流電位 V_b が維持される。
- [0142] ステップS 10においてコントローラーは、負極側電源部5 3 2の出力を上げる。これによって負極交流電位 V_b が上がる。
- [0143] ステップS 11においてコントローラーは、交流電位 V_a 及び交流電位 V_b が所定値であるかな否かを判定する。コントローラーは、判定結果が肯であればステップS 12へ処理を移行し、判定結果が否であれば処理を抜ける。

- [0144] ステップS 1 2においてコントローラーは、上述の式（5－1）及び式（5－2）に基づいて内部抵抗値を演算する。
- [0145] 図1 2は、インピーダンス測定装置5の制御をコントローラーが実行したときのタイムチャートである。なおフローチャートとの対応が判りやすくなるようにステップ番号を併記する。
- [0146] 図1 2の初期は、正極側の内部抵抗値R 1が、負極側の内部抵抗値R 2よりも高い状態である(図1 2 (A))。このような状態でコントローラーが制御を開始する。
- [0147] 時刻t 0では、正極交流電位V aも負極交流電位V bも制御レベルに達していない(図1 2 (C))。この状態では、コントローラーは、ステップS 1→S 2→S 5→S 6→S 7→S 1 0→S 1 1を繰り返す。これによって正極側の交流電流I 1及び負極側の交流電流I 2が増大する(図1 2 (B))。
- [0148] 時刻t 1で正極の交流電位V aが制御レベルに達したら(図1 2 (C))、コントローラーは、ステップS 1→S 2→S 4→S 6→S 7→S 1 0→S 1 1を繰り返す。これによって正極側交流電流I 1が維持されるとともに、負極側の交流電流I 2は増大する(図1 2 (B))。
- [0149] 時刻t 2で負極交流電位V bも制御レベルに達して正極の交流電位V aと同レベルになったら(図1 2 (C))、コントローラーは、ステップS 1→S 2→S 4→S 6→S 7→S 9→S 1 1→S 1 2を処理する。これによって正極側の交流電流I 1及び負極側の交流電流I 2が維持される。そして式（1－1）に基づいて、正極側の内部抵抗値R 1及び負極側の内部抵抗値R 2が演算される。そして正極側の内部抵抗値R 1と負極側の内部抵抗値R 2とが足し合わされて全体の内部抵抗Rが求められる。
- [0150] 時刻t 3以降は燃料電池スタックの湿潤状態が変化するなどして負極側の内部抵抗値R 2が上昇している(図1 2 (A))。この場合には、コントローラーは、ステップS 1→S 2→S 4→S 6→S 8→S 1 1→S 1 2を繰り返す。このように処理することで負極側の内部抵抗値R 2が上昇に合わせて負極側の交流電流I 2を下げるので、負極の交流電位V bは正極の交流電位V

aと同レベルに維持される。したがってこの状態でも内部抵抗Rが演算される。

[0151] 時刻 t_4 以降は負極側の内部抵抗値 R_2 が正極側の内部抵抗値 R_1 に一致するようになる(図12(A))。この場合には、コントローラーは、ステップ $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_4 \rightarrow S_6 \rightarrow S_7 \rightarrow S_9 \rightarrow S_{11} \rightarrow S_{12}$ を繰り返す。このように処理することで正極側の交流電位 V_a と負極側の交流電位 V_b とが同レベルに維持され(図12(C))、内部抵抗Rが演算される。

[0152] 次にインピーダンス測定装置5の等電位制御によって測定状態が良好のときの作用効果を説明する。

[0153] 図13は、インピーダンス測定装置5の測定状態が良好である場合において、燃料電池スタック1の正極端子211に生じる正極電位、及び、負極端子212に生じる負極電位の状態を例示する図である。

[0154] 燃料電池スタック1の出力中は、正極端子211及び負極端子212の間に電位差 V_3 が生じる。インピーダンス測定装置5が起動(ON)する前は、正極電位及び負極電位は一定であり、負荷3に直流電圧が供給される。その後インピーダンス測定装置5が起動し、正極側電源部531及び負極側電源部532から交流電流 I_1 及び I_2 が出力されると、正極電位に交流電位 V_a が重畳され、負極電位に交流電位 V_b が重畳される。

[0155] そして交流調整部540による指令に応じて正極側電源部531及び負極側電源部532は、交流電流 I_1 及び I_2 の振幅を調整して出力する。

[0156] 正極側電源部531から出力された交流電流 I_1 は、正極側直流遮断部511を介して、燃料電池スタック1の正極端子211に出力され、中途点端子213及び中途点直流遮断部513を介して正極側電位差検出部521に流れる。このとき、正極端子211と中途点端子213との間には、内部抵抗 R_1 と静電容量 C_1 とで定まるインピーダンス、及び交流電流 I_1 によって交流電位差 V_1 ($V_1 = V_a - V_c$) が生じる。この交流電位差 V_1 は、正極側電位差検出部521で検出される。

[0157] 一方、負極側電源部532から出力された交流電流 I_2 は、負極側直流遮

断部 5 1 2 を介して燃料電池スタック 1 の負極端子 2 1 2 に出力され、中途点端子 2 1 3 及び中途点直流遮断部 5 1 3 を介して負極側電位差検出部 5 2 2 に流れる。このとき、負極端子 2 1 2 と中途点端子 2 1 3 との間には、内部抵抗 R_2 と静電容量 C_2 とで定まるインピーダンス、及び交流電流 I_2 によって交流電位差 V_2 ($V_2 = V_b - V_c$) が生じる。この交流電位差 V_2 は、負極側電位差検出部 5 2 2 で検出される。

[0158] 交流調整部 5 4 0 は、燃料電池スタック 1 の正極側の交流電位差 V_1 と、負極側の交流電位差 V_2 との差 ($V_1 - V_2$)、すなわち交流電位 V_a と交流電位 V_b との差 ($V_a - V_b$) が常に小さくなるように、正極側電源部 5 3 1 及び負極側電源部 5 3 2 を調節する。

[0159] このため、正極電位の交流成分 V_a の振幅と負極電位の交流成分 V_b の振幅とが同じになるように調整されるので、交流電位 V_a と交流電位 V_b との間に位相差 ϕ が生じていない状態では、電位差 V_3 は変動せずに一定となる。

[0160] そして演算部 5 5 0 は、正極側電位差検出部 5 2 1 及び負極側電位差検出部 5 2 2 から出力される交流電位差 V_1 及び V_2 と、正極側電源部 5 3 1 及び負極側電源部 5 3 2 から出力される交流電流 I_1 及び I_2 とを用いてオームの法則を適用する。これにより、演算部 5 5 0 において、燃料電池スタック 1 の正極側の内部抵抗 R_1 及び負極側の内部抵抗 R_2 が算出される。

[0161] ここでは、正極端子 2 1 1 及び負極端子 2 1 2 の交流電位が同じになるので、正極端子 2 1 1 及び負極端子 2 1 2 に走行用モータなどの負荷装置 3 が接続されていても、負荷装置 3 に交流電流が漏洩してしまうことを抑制できる。

[0162] これにより、内部抵抗の測定対象である燃料電池スタック 1 に流れる交流電流値 I_1 及び I_2 と、正極側電源部 5 3 1 及び負極側電源部 5 3 2 から出力される交流電流値とが略一致する。このため、正極側電源部 5 3 1 及び負極側電源部 5 3 2 から出力される交流電流値によって燃料電池スタック 1 の内部抵抗値 R_1 及び内部抵抗値 R_2 を正確に求めることができる。さらに負

荷装置 3 の状態によらず、稼働中の燃料電池スタック 1 の内部抵抗値 R_1 及び内部抵抗値 R_2 に基づいて燃料電池スタック 1 全体の内部抵抗値 R を正確に測定することができる。また、正極側電源部 531 及び負極側電源部 532 を使用するので、燃料電池スタック 1 が停止中であっても内部抵抗 R を測定できるのである。

[0163] 図 14 は、インピーダンス測定装置 5 の測定状態が不良か否かを検知する不良検知方法の処理手順例を示すフローチャートである。

[0164] ステップ S101 において正極側検波回路 5411 は、正極側の交流電位差 V_1 を実軸成分 V_{1r} 及び虚軸成分 V_{1x} に分解し、実軸成分 V_{1r} 及び虚軸成分 V_{1x} を位相差検出部 561 に出力する。

[0165] ステップ S102 において位相差検出部 561 は、式 (2) に従って、交流電位差 V_1 の実軸成分 V_{1r} 及び虚軸成分 V_{1x} に基づいて、交流電流 I_1 に対する交流電位差 V_1 の位相角 θ_1 を演算する。

[0166] ステップ S103 において負極側検波回路 5412 は、負極側の交流電位差 V_2 を実軸成分 V_{2r} 及び虚軸成分 V_{2x} に分解し、実軸成分 V_{1r} 及び虚軸成分 V_{1c} を位相差検出部 561 に出力する。

[0167] ステップ S104 において位相差検出部 561 は、式 (3) に従って、交流電位差 V_2 の実軸成分 V_{2r} 及び虚軸成分 V_{2x} に基づいて、交流電流 I_2 に対する交流電位差 V_2 の位相角 θ_2 を演算する。

[0168] ステップ S105 において位相差検出部 561 は、式 (4) に従って、交流電位差 V_1 の位相角 θ_1 から交流電位差 V_2 の位相角 θ_2 を減算した値を、交流電位差 V_1 と交流電位差 V_2 との間の位相差 Φ として、判定回路 562 に出力する。

[0169] ステップ S106 において判定回路 562 は、位相差 Φ が許容値 T_{h1} よりも小さいか否かを判断する。そして判定回路 562 は、位相差 Φ が許容値 T_{h1} よりも小さい場合には、内部抵抗 R の測定状態が良好であると判定する。一方、位相差 Φ が許容値 T_{h1} 以上である場合には、判定回路 562 は、測定状態が不良であると判定する。判定回路 562 は、その判定した結果

を演算部 550 に出力する。

[0170] ステップ S 107 において内部抵抗 R の測定状態が良好であると判定された場合には、演算部 550 は、図 11 に示したステップ S 12 で演算された抵抗値を測定結果として、コントローラユニット 6 に出力する。なお、演算部 550 は、ステップ S 12 で演算された抵抗値と判定結果と位相差 ϕ とが示された測定データを生成して出力してもよい。

[0171] 一方、ステップ S 108 において内部抵抗 R の測定状態が不良であると判定された場合には、演算部 550 は、測定不良に伴う測定結果処理を実行する。

[0172] 測定結果処理において、演算部 550 は、ステップ S 12 で演算された抵抗値を破棄し、測定不良と判定される前の抵抗値を測定結果として、コントローラユニット 6 に例えば所定時間だけ出力する。あるいは演算部 550 は、ステップ S 12 で演算された抵抗値と判定結果とが示された測定データを生成して出力してもよい。

[0173] ステップ S 107 又は S 108 で処理が終了すると、位相差 ϕ に基づく不良検知方法の一連の処理手順が終了する。

[0174] 本発明の第 1 実施形態によれば、積層電池の一例である燃料電池スタック 1 のインピーダンスを測定する。このインピーダンス測定装置 5 は、燃料電池スタック 1 の正極端子 211 に対して所定の基準周波数 f_b の交流電流を出力する正極側電源部 531 と、燃料電池スタック 1 の負極端子 212 に対して基準周波数 f_b の交流電流を出力する負極側電源部 532 とを備える。さらに正極端子 211 と中途点端子 213 との間の交流電位差 V_1 を検出する正極側電位差検出部 521 と、負極端子 212 と中途点端子 213 との間の交流電位差 V_2 を検出する負極側電位差検出部 522 とを備える。そして交流電位差 V_1 と交流電位差 V_2 とが一致するように、正極側電源部 531 及び負極側電源部 532 のうち少なくとも一方から出力される交流電流の振幅を調整する交流調整部 540 と、調整された交流電流と交流電位差とに基づいてインピーダンスを演算する演算部 550 を備える。

[0175] さらにインピーダンス測定装置 5 は、正極端子 2 1 1 に生じる交流電位と、負極端子 2 1 2 に生じる交流電位との間の位相差 ϕ 、又は、位相差 ϕ と相関関係のあるパラメータを求める位相差検出部 5 6 1 を備える。そして位相差 ϕ 又は位相差 ϕ に関するパラメータに基づいて、測定状態が不良であるか否かを診断する診断処理、測定結果を破棄するキャンセル処理、及び測定結果を信頼性の高い所定の値に固定するホールド処理のうちいずれかの処理を実行する。

[0176] このように、正極端子 2 1 1 に生じる交流電位と負極端子 2 1 2 に生じる交流電位との間の位相差 ϕ を検出することにより、測定状態の診断処理や、測定結果のキャンセル処理、ホールド処理が実行されるので、測定結果についての信頼性を確保できる。したがって、積層電池の静電容量成分のバラツキに起因してインピーダンス測定装置 5 の測定精度が低下したときの測定結果に対する信頼性の維持向上を図ることができる。

[0177] 例えば、燃料電池スタック 1 の運転状態によっては基準周波数 f_b の交流信号に対する燃料電池スタック 1 の静電容量成分が変化し、正極側の静電容量 C_1 と負極側の静電容量 C_2 との差が大きくなる場合がある。このような場合には、燃料電池スタック 1 の正極端子 2 1 1 に生じる交流電位と、負極端子 2 1 2 に生じる交流電位との間の位相差 ϕ が大きくなり、燃料電池スタック 1 に接続された負荷 3 へ漏れ出す交流電流が多くなる。

[0178] その結果、正極側電源部 5 3 1 の出力電流 I_1 と内部抵抗 R_1 に流れる実際の電流との間の誤差、及び、負極側電源部 5 3 2 の出力電流 I_2 と内部抵抗 R_2 に流れる実際の電流との間の誤差が共に大きくなるので、内部抵抗 R の測定精度が低下してしまう。

[0179] また、インピーダンス測定装置 5 によって測定された内部抵抗 R は、燃料電池システムにおいて、例えば燃料電池スタック 1 の湿潤度を制御するために使用される。このため、内部抵抗 R の測定精度が低下した状態、すなわちインピーダンス測定装置 5 の測定状態が不良である状態で測定された内部抵抗 R では、燃料電池スタック 1 の湿潤度を適切に制御することが困難となる

。

[0180] この対策として本実施形態では、インピーダンス測定装置 5 が、位相差 ϕ 、又は位相差 ϕ に関するパラメータを検出して、静電容量 C_1 と静電容量 C_2 とのバラツキが原因でインピーダンスの測定精度が低下していることを検知する。

[0181] 例えば、インピーダンス測定装置 5 は、位相差 ϕ に基づいて測定状態が不良であると判断した場合には、測定結果に併せて、測定状態が不良である旨の診断結果を出力する。これにより、測定結果を使用するシステムにおいて、測定結果の用途や、システムから要求される測定精度などが異なる場合に、測定状態の診断結果に応じて、内部抵抗 R を使用するか否かを判断することが可能となる。

[0182] あるいは、インピーダンス測定装置 5 は、測定状態が不良であると判定した場合には、測定結果を破棄してもよい。これにより、測定精度が低く信頼性の低い測定結果が出力されることがないので、信頼性の高い測定結果だけを確実にコントローラユニット 6 などへ出力することができる。

[0183] さらに測定状態が不良であるときであっても、不良と判定される前に測定された過去の測定結果を出力するようにしてもよい。これにより、インピーダンス測定装置 5 の測定状態にかかわらず、その測定結果を利用して制御を継続しなければならないシステムに対して、測定状態が良好であったときの測定結果、すなわち測定精度の高い測定結果を出力することが可能となる。

[0184] 通常、燃料電池スタック 1 では、内部抵抗 R は主に発電セル 10 の湿り度合いによって変化するのに対して、静電容量 C_1 又は C_2 は燃料電池スタック 1 内のガス状態や負荷 3 の作動状態などによって変化する。このため、内部抵抗 R の変化と静電容量 C の変化とは相関性が低いといえる。

[0185] したがって、静電容量 C_1 又は C_2 の変動に伴い位相差 ϕ が大きくなって測定状態が不良と判定されるような状況でも、抵抗成分 R は一定の値を示す可能性が高い。このため、位相差 ϕ に基づいて測定状態が不良であると判定された場合には、不良と判定される前の内部抵抗値を測定結果として出力す

ることにより、出力結果に対する信頼性を向上させることが可能となる。

[0186] このように第1実施形態によれば、積層電池の静電容量成分に起因するインピーダンス測定装置5における測定精度の低下に対して測定結果についての信頼性の維持向上を図ることができる。

[0187] また本実施形態では、位相差検出部561は、正極側検波回路5411から出力される交流電位差V1を示す検出信号と、負極側検波回路5412から出力される交流電位差V2を示す検出信号とに基づいて、位相差 ϕ を演算する。

[0188] そして、インピーダンス測定装置5は、位相差 ϕ が所定の閾値 T_{h1} 以上である場合には、測定状態が不良であると判定し、位相差 ϕ が閾値 T_{h1} よりも小さい場合には、測定状態が良好であると判定する。閾値 T_{h1} は、システムから要求される測定精度の許容範囲などによって設定される。

[0189] このため、インピーダンス測定装置5は、交流電位差V1と交流電位差V2との間に位相差 ϕ が生じて、測定誤差の許容範囲内では測定状態が良好であると判定し、位相差 ϕ が許容範囲を超えた場合にのみ測定不良であると判定する。これにより、測定結果を使用するシステムの要求に応じて、簡単かつ適切に測定状態を診断することができる。

[0190] なお、本実施形態では交流電位差V1及びV2の各検出信号として、正極側検波回路5411及び負極側検波回路5412から出力される検出信号を用いる例について説明した。しかし、正極側検波回路5411及び負極側検波回路5412から出力される検出信号の代わりに、正極側電位差検出部521及び負極側電位差検出部522から出力される検出信号を用いて位相差 ϕ を求めるようにしてもよい。

[0191] (第2実施形態)

図15は、本発明の第2実施形態における交流調整部540及び位相差検出部571の構成を示す図である。

[0192] 第2実施形態では、図5に示した位相差検出部561及び判定回路562に代えて位相差検出部571及び判定回路572を備えている。なお、位相

差検出部 571 及び判定回路 572 以外の構成は、図 5 に示した交流調整部 540 と同じ構成であるため、ここでの説明を省略する。

[0193] 位相差検出部 571 には、正極側積分回路 5431 から出力される正極側電流指令値 I_{1c} と、負極側積分回路 5432 から出力される負極側電流指令値 I_{2c} とが、入力される。

[0194] 位相差検出部 571 は、正極側電流指令値 I_{1c} の時間変化量 ΔI_{1c} と、負極側電流指令値 I_{2c} の時間変化量 ΔI_{2c} との差分を算出する。時間変化量 ΔI_{1c} 及び ΔI_{2c} は、時間変化率のことであり、正極側電流指令値 I_{1c} 及び負極側電流指令値 I_{2c} が同一時間内に増加又は減少した量を示す。

[0195] 一般的に、燃料電池スタック 1 の内部抵抗 R が変化するとき、正極側電流指令値 I_{1c} と負極側電流指令値 I_{2c} の差分がほぼ一定の状態、正極側電流指令値 I_{1c} 及び負極側電流指令値 I_{2c} が互いに同じ方向に変化する。例えば、内部抵抗 R が低下するときには、正極側電流指令値 I_{1c} と負極側電流指令値 I_{2c} が共に増加し、内部抵抗 R が上昇するとき、正極側電流指令値 I_{1c} と負極側電流指令値 I_{2c} が共に減少する。

[0196] これに対し、燃料電池スタック 1 の正極端子 211 と負極端子 212 との間の出力電圧が急激に変動したときは、正極側電流指令値 I_{c1} 及び負極側電流指令値 I_{2c} が相反する方向に変化しやすい。このように変化する理由は、燃料電池スタック 1 の出力電圧の変動によって正極側電源部 531 に電圧変動が伝わり、交流電位 V_a の位相角などが変わってしまうからである。その結果、位相差 ϕ が大きくなって負荷 3 に漏れ出す電流量が大きくなる。

[0197] そこで位相差検出部 571 は、位相差 ϕ に関連するパラメータとして、時間変化量 ΔI_{1c} から時間変化量 ΔI_{2c} を減算した差分の絶対値を用いて、正極側電流指令値 I_{c1} 及び負極側電流指令値 I_{2c} が相反する方向に変化したか否かを判断する。

[0198] 図 16A は、正極側電流指令値 I_{c1} 及び負極側電流指令値 I_{2c} が相反する方向に変化したか否かを判断する判断手法を示す図である。図 16B は

、正極側電流指令値 $I1c$ 及び負極側電流指令値 $I2c$ の絶対差分と測定状態との関係を示す図である。

[0199] 図 16A では、位相差検出部 571 は、所定の判定周期（S 秒）ごとに、正極側電流指令値 $I1c$ 及び負極側電流指令値 $I2c$ を共に取得し、その正極側電流指令値 $I1c$ 及び負極側電流指令値 $I2c$ を共にメモリ 5711 に記録する。これと共に位相差検出部 571 は、前回記録した正極側電流指令値 $I1c$ 及び負極側電流指令値 $I2c$ をメモリ 5711 から読み出す。

[0200] 時刻 n において、位相差検出部 571 は、正極側電流指令値 $I1c(n)$ を取得し、時刻 n から S 秒前に取得した前回の正極側電流指令値 $I1c(n-s)$ をメモリ 5711 から読み出す。なお、ここでは電流指令値の取得時刻が括弧により示される。

[0201] そして位相差検出部 571 は、次式のとおり、今回取得した正極側電流指令値 $I1c(n)$ から、前回取得した正極側電流指令値 $I1c(n-s)$ を減算することにより、正極側電流指令値 $I1c$ の時間変化量 $\Delta I1c$ を算出する。

[0202] [数7]

$$\Delta I1c = I1c(n) - I1c(n-s) \quad \dots (7)$$

ここでは、正極側電流指令値 $I1c$ は減少しているため、時間変化量 $\Delta I1c$ は負（マイナス）の値となる。

[0203] また位相差検出部 571 は、時刻 n において負極側電流指令値 $I2c(n)$ を取得し、前回取得した負極側電流指令値 $I2c(n-s)$ をメモリ 5711 から読み出す。そして位相差検出部 571 は、次式のとおり、今回取得した負極側電流指令値 $I2c(n)$ から、前回取得した負極側電流指令値 $I2c(n-s)$ を減算することにより、負極側電流指令値 $I2c$ の時間変化量 $\Delta I2c$ を算出する。

[0204] [数8]

$$\Delta I2c = I2c(n) - I2c(n-s) \quad \dots (8)$$

ここでは、負極側電流指令値 I_{2c} は増加しているため、時間変化量 ΔI_{2c} は正（プラス）の値となる。

[0205] 次に位相差検出部 571 は、次式のとおり、正極側電流指令値 I_{1c} の時間変化量 ΔI_{1c} から、負極側電流指令値 I_{2c} の時間変化量 ΔI_{2c} を減算し、その減算した値の絶対値を算出する。

[0206] 時刻 n では、時間変化量 ΔI_{1c} は負の値であり、時間変化量 ΔI_{2c} は正の値であるので、時間変化量 ΔI_{1c} と時間変化量 ΔI_{2c} との差分の絶対値は最も大きな値となる。このように、正極側電流指令値 I_{1c} 及び負極側電流指令値 I_{2c} が相反する方向に変化したときには、正極側電流指令値 I_{1c} の時間変化量 ΔI_{1c} と負極側電流指令値 I_{2c} の時間変化量 ΔI_{2c} との差分の絶対値（絶対差分）が大きくなる。

[0207] このため、図 16B に示すように、時間変化量 ΔI_{1c} と時間変化量 ΔI_{2c} との差分の絶対値（ $|\Delta I_{1c} - \Delta I_{2c}|$ ）が、予め定められた許容値 $Th2$ よりも大きくなるときには、測定状態が不良であると判定される。

[0208] したがって本実施形態では、判定回路 572 は、次式のとおり、正極側電流指令値 I_{1c} の時間変化量 ΔI_{1c} と負極側電流指令値 I_{2c} の時間変化量 ΔI_{2c} との差分の絶対値が許容値 $Th2$ よりも大きいかな否かを判断する。

[0209] [数9]

$$|\Delta I_{1c} - \Delta I_{2c}| < Th2 \quad \dots (9)$$

そして図 16A に示すように時刻 n において、判定回路 572 は、時間変化量 ΔI_{1c} と時間変化量 ΔI_{2c} との差分の絶対値が許容値 $Th2$ よりも大きいと判断し、インピーダンスの測定状態が不良であると判定する。

[0210] このような状況では、燃料電池スタック 1 に供給される交流電流 I_1 及び I_2 の一部が負荷 3 に漏れている状態において等電位制御が平衡状態となるため、時刻 n 以降についても測定状態が不良であるとの判定結果がインピーダンス測定装置 5 から出力される。

- [0211] なお、本実施形態では時間変化量 $\Delta I1c$ と時間変化量 $\Delta I2c$ との差分の絶対値を用いて測定状態を判定する例について説明したが、判定回路572は、時間変化量 $\Delta I1c$ と時間変化量 $\Delta I2c$ との差分のまま、測定状態を判定するようにしてもよい。この場合には、正（プラス）及び負（マイナス）の許容値が共に判定回路572に設定され、判定回路572は、正の許容値から負の許容値までの許容範囲を超えるときには、測定状態が不良であると判定する。
- [0212] 図17は、正極側電流指令値 $I1c$ の時間変化量 $\Delta I1c$ と負極側電流指令値 $I2c$ の時間変化量 $\Delta I2c$ との差分に基づいて測定状態を診断する診断方法の処理手順を示すフローチャートである。この演算方法は、所定の判定周期S秒ごとに実行される。
- [0213] ステップS201において位相差検出部571は、判定周期のS秒が経過するまで待機する。
- [0214] ステップS202において位相差検出部571は、時刻nの正極側電流指令値 $I1c(n)$ 及び負極側電流指令値 $I2c(n)$ を共に取得する。
- [0215] ステップS203において位相差検出部571は、今回取得した正極側電流指令値 $I1c(n)$ 及び負極側電流指令値 $I2c(n)$ を共にメモリ5711に記録し、メモリ5711から、S秒前に取得した前回の正極側電流指令値 $I1c(n-s)$ 及び負極側電流指令値 $I2c(n-s)$ を読み出す。
- [0216] ステップS204において位相差検出部571は、式(7)に従って、今回取得した正極側電流指令値 $I1c(n)$ から、前回取得した正極側電流指令値 $I1c(n-s)$ を減算して、正極側電流指令値 $I1c$ の時間変化量 $\Delta I1c$ を算出する。
- [0217] ステップS205において位相差検出部571は、式(8)に従って、今回取得した負極側電流指令値 $I2c(n)$ から、前回取得した負極側電流指令値 $I2c(n-s)$ を減算して、負極側電流指令値 $I2c$ の時間変化量 $\Delta I2c$ を算出する。
- [0218] そしてステップS206において位相差検出部571は、時間変化量 $\Delta I1c$

1 c と時間変化量 $\Delta I 2 c$ との差分の絶対値を位相差 ϕ に関するパラメータとして設定し、判定回路 572 に出力する。

[0219] ステップ S 207 において判定回路 572 は、式 (9) に従って、時間変化量 $\Delta I 1 c$ と時間変化量 $\Delta I 2 c$ との差分の絶対値が許容値 $T h 2$ を超えているか否かを判断する。

[0220] ステップ S 208 において判定回路 572 は、時間変化量 $\Delta I 1 c$ と時間変化量 $\Delta I 2 c$ との差分の絶対値が許容値 $T h 2$ 以下である場合には、測定状態が良好であると判定する。この後、例えば図 13 で示したステップ S 107 の処理と同様に、演算部 550 は、演算した抵抗値をコントローラユニット 6 に出力する。

[0221] ステップ S 209 において判定回路 572 は、時間変化量 $\Delta I 1 c$ と時間変化量 $\Delta I 2 c$ との差分の絶対値が許容値 $T h 2$ よりも大きい場合には、測定状態が不良であると判定する。そして図 13 で示したステップ S 107 の処理と同様に、演算部 550 は、演算された抵抗値をコントローラユニット 6 に出力する。この後、例えば図 13 で示したステップ S 108 の処理と同様に、演算部 550 は測定結果処理を実行する。

[0222] ステップ S 208 又は S 209 の処理が終了すると、時間変化量 $\Delta I 1 c$ と時間変化量 $\Delta I 2 c$ との差分に基づく診断方法の一連の処理手順が終了する。

[0223] 本発明の第 2 実施形態によれば、交流調整部 540 は、正極側検波回路 5411 によって交流電位差 $V 1$ の実軸成分 $V 1 r$ を抽出して正極側電源部 531 に対する正極側電流指令値 $I 1 c$ を算出する。これと共に交流調整部 540 は、負極側検波回路 5412 によって交流電位差 $V 2$ の実軸成分 $V 2 r$ を抽出して負極側電源部 532 に対する負極側電流指令値 $I 2 c$ を算出する。

[0224] そして判定回路 572 は、正極側電流指令値 $I 1 c$ 及び負極側電流指令値 $I 2 c$ のうち、一方の値が減少した時に他方の値が増加した場合には、インピーダンス測定装置 5 の測定状態が不良であると判定する。

- [0225] これにより、燃料電池スタック 1 の出力電圧が過渡的に変化したことが原因で、位相角 ϕ が大きくなってインピーダンス測定装置 5 が測定不良となったことを検知できる。
- [0226] 燃料電池スタック 1 の出力電力が過渡的に変化する状況としては、例えば、燃料電池スタック 1 の起動処理が完了した後、燃料電池スタック 1 と負荷 3 との間に接続された遮断器を、遮断状態から接続状態に切り替えたときに該当する。このような状況では、燃料電池スタック 1 から負荷 3 へ流れる電流量が過渡的に大きく変化するので、燃料電池スタック 1 で消費されるアノードガス及びカソードガスの消費量が過渡的に増大してガス濃度が変化すると共に、燃料電池スタック 1 の出力電圧が変動する。その結果、正極側電源部 531 から供給される交流電流の位相がシフトしやすくなり、正極側の静電容量 C_1 と負極側の静電容量 C_2 とのバランスが崩れて、交流電流 I_1 又は I_2 の一部が負荷 3 へ漏れてしまう。
- [0227] あるいは、燃料電池スタック 1 から負荷 3 に発電電流が供給されている状態で、車両を急に加速するためアクセル操作量を大きくしたときにも、燃料電池スタック 1 から負荷 3 に供給される発電電流の変化量が過渡的に大きくなる。このような状況でも、燃料電池スタック 1 内でガス濃度が変化すると共に燃料電池スタック 1 の出力電圧が急激に変動する。
- [0228] 特に、アノードガスを循環させずに燃料電池スタック 1 内に溜めて発電するような燃料電池システムでは、燃料電池スタック 1 内のアノードガス流路は上流側に比べて下流側に不純物が滞留する。そのため、燃料電池スタック 1 から出力される発電電流の過渡的な変化によって、燃料電池スタック 1 の正極側と負極側とでガス濃度のバラツキが大きくなり、正極側の静電容量 C_1 と負極側の静電容量 C_2 とのバランスが大きく崩れてしまう。
- [0229] このように燃料電池スタック 1 の出力電圧が過渡的に変化したときには、正極側電流指令値 I_{1c} と負極側電流指令値 I_{2c} とが相反する方向に変化する。この特性を本実施形態では利用して、位相差 ϕ が大きくなることが検出される。これにより、インピーダンス測定装置 5 は、測定状態が不良であ

ることを検知することができる。

[0230] 本実施形態では、位相差検出部 571 は、位相差 ϕ に関するパラメータとして、正極側電流指令値 I_{1c} の時間変化量 ΔI_{1c} から、負極側電流指令値 I_{2c} の時間変化量 ΔI_{2c} を減算した差分を算出する。判定回路 572 は、その差分が所定の許容範囲を超えた場合、あるいは、時間変化量 ΔI_{1c} と時間変化量 ΔI_{2c} との差分の絶対値が許容値 T_h2 を超えた場合には、測定不良であると判定する。時間変化量 ΔI_{1c} と時間変化量 ΔI_{2c} との差分の絶対値を用いることにより、1 個の許容値を設定するだけで測定状態の判定を行えるので、判定回路 572 を簡易な構成にすることができる。

[0231] 正極側電流指令値 I_{1c} は、交流電位差 V_1 の位相角 θ_1 の変化に応じて変わり、負極側電流指令値 I_{2c} は、交流電位差 V_2 の位相角 θ_2 の変化に応じて変わる。このため、静電容量 C_1 及び静電容量 C_2 のいずれかの大きさが変わると、正極側電流指令値 I_{1c} と負極側電流指令値 I_{2c} の差分が変化する。ただし、正極側電流指令値 I_{1c} と負極側電流指令値 I_{2c} の差分は、燃料電池スタック 1 の内部抵抗 R の変化によっても変化する。このため、より正確に診断するには、内部抵抗 R の変化と位相差 ϕ の変化とを切り分ける必要がある。

[0232] 負荷 3 側の状態が変化することによって位相差 ϕ が変化するときは、正極側電流指令値 I_{1c} と負極側電流指令値 I_{2c} とが一時的に反対方向に変化する。これに対して、内部抵抗 R の大きさが変化するときは、正極側電流指令値 I_{1c} と負極側電流指令値 I_{2c} とが共に緩やかに同一方向に変化する。したがって、単位時間あたりの時間変化量 ΔI_{1c} 及び ΔI_{2c} の差分を算出することにより、正極側電流指令値 I_{1c} と負極側電流指令値 I_{2c} とに基づいて位相差 ϕ の変動を精度よく検出することができるようになる。

[0233] なお、本実施形態では位相差検出部 571 が極側電流指令値 I_{1c} 及び負極側電流指令値 I_{2c} の時間変化量をそれぞれ演算してこれらの差分の絶対値を算出する例について説明した。しかし、正極側電流指令値 I_{1c} 及び負極側電流指令値 I_{2c} を演算部 550 に入力し、演算部 550 において時間

変化量の差分の絶対値を求めるようにしてもよい。

[0234] (第3実施形態)

図18は、本発明の第3実施形態における交流調整部540及び位相差検出部581の構成を示す図である。

[0235] 第3実施形態では、図5に示した位相差検出部561及び判定回路562に代えて位相差検出部581及び判定回路582を備えている。なお、位相差検出部581及び判定回路582以外の構成は、図5に示した交流調整部540と同じ構成であるため、同一符号を付してここでの説明を省略する。

[0236] 位相差検出部581には、正極側電源部531の出力端子と負極側電源部532の出力端子とがそれぞれ接続される。そして正極側電源部531の出力端子に生じる交流電位 V_a と負極側電源部532の出力端子に生じる交流電位 V_b とが位相差検出部581に入力される。

[0237] 位相差検出部581は、交流電位 V_a と交流電位 V_b との電位差($V_a - V_b$)の交流成分を検出する。すなわち、位相差検出部581は、燃料電池スタック1の正極端子211と負極端子212との間の電位差 V_3 の交流成分を検出する。

[0238] 通常、燃料電池スタック1の正極端子211に生じる交流電位と負極端子212に生じる交流電位との間の位相差 ϕ は、正極側電源部531の出力端子に生じる交流電位 V_a と負極側電源部532の出力端子に生じる交流電位 V_b との間の位相差と等しくなるように設計される。このため、交流電位 V_a と交流電位 V_b との間に位相差が生じていない状態では、燃料電池スタック1の出力電圧である電位差 V_3 を示す検出信号は、等電位制御によって一定の値を示す。これに対して、交流電位 V_a と交流電位 V_b との間に位相差 ϕ が生じている状態では、電位差 V_3 を示す検出信号には交流成分が含まれることになる。

[0239] 位相差 ϕ が大きくなるほど、交流電位 V_a と交流電位 V_b との電位差($V_a - V_b$)の交流成分の振幅が大きくなるため、電位差($V_a - V_b$)は、位相差 ϕ と相関関係のあるパラメータとして利用することができる。

- [0240] このため、位相差検出部 581 は、交流電位 V_a と交流電位 V_b との電位差 ($V_a - V_b$) の交流成分を、位相差 ϕ に関するパラメータとして検出する。
- [0241] 図 19 は、位相差検出部 581 の詳細構成を示す回路図である。
- [0242] 位相差検出部 581 は、差動アンプ 5811 と、乗算部 5812 と、低域通過フィルタ 5813 と、を備える。
- [0243] 差動アンプ 5811 は、交流電位 V_a から交流電位 V_b を減算した電位差 ($V_a - V_b$) を検出し、電位差 V_3 を示す検出信号として乗算部 5812 に出力する。差動アンプ 5811 は、図 3 に示した正極側電位差検出部 521 及び負極側電位差検出部 522 と同じ構成である。
- [0244] 乗算部 5812 は、差動アンプ 5811 から出力される検出信号に同相信号 $\sin(0)$ を乗算する。これにより、乗算部 5812 からは、検出信号から不要信号を除去して電位差 V_3 に含まれる交流成分を示す信号が出力される。
- [0245] なお、同相信号 $\sin(0)$ は、正極側電源部 531 及び負極側電源部 532 から出力される基準周波数 f_b の交流電流に対して位相が同じである交流信号である。同相信号 $\sin(0)$ は、例えば交流信号源 546 から乗算部 5812 に入力される。
- [0246] 低域通過フィルタ 5813 は、乗算部 5812 から出力される信号を平滑化して出力信号の直流成分を通過させる LPF である。低域通過フィルタ 5813 によって、出力信号の振幅成分が検出される。このため、低域通過フィルタ 5813 で平滑化された直流信号は、電位差 V_3 に含まれる交流成分の振幅値として、判定回路 582 に入力される。
- [0247] このように位相差検出部 581 は、燃料電池スタック 1 の正極端子 211 と負極端子 212 との間の電位差 V_3 に含まれる交流成分の振幅値を検出し、位相差 ϕ に関するパラメータとして判定回路 582 に出力する。
- [0248] 判定回路 582 は、電位差 V_3 に含まれる交流成分の振幅値が、予め定められた許容値 Th_3 を超えた場合には、測定状態が不良であると判定し、H

レベルの判定信号を出力する。なお電位差 V_3 の交流成分に関する許容値 T_{h3} は、例えば、位相差 ϕ の許容値 T_{h1} と同じように実験データ等により設定される。

[0249] 本発明の第3実施形態によれば、正極側直流遮断部511と正極側電源部531との間を接続した信号線と、負極側直流遮断部512と負極側電源部532との間を接続した信号線と、が共に位相差検出部581に対して接続される。

[0250] 位相差検出部581は、燃料電池スタック1の正極端子211に生じる交流電位と負極端子212に生じる交流電位との電位差 V_3 として、交流電位 V_a と交流電位 V_b との電位差($V_a - V_b$)を検出する。そしてインピーダンス測定装置5は、電位差($V_a - V_b$)に含まれる交流成分を、位相差 ϕ に関するパラメータとして算出し、その交流成分が所定の閾値を超えた場合に、測定状態が不良であると判定する。

[0251] このように正極側電源部531の出力端子に生じる交流電位 V_a から、負極側電源部532の出力端子に生じる交流電位 V_b を減算した電位差($V_a - V_b$)が、燃料電池スタック1の正極端子211と負極端子212との間の交流電位差 V_e として検出される。

[0252] これにより、第1実施形態及び第2実施形態に比べて、燃料電池スタック1の正極端子211に生じる交流電位と、負極端子212に生じる交流電位との電位差 V_3 に生じる交流成分をより直接的に検出することができる。このため、燃料電池スタック1の正極端子211に生じる交流電位と、負極端子212に生じる交流電位との間の位相差 ϕ を精度よく求めることができる。したがって、位相差 ϕ に起因する測定状態の不良をより確実に判定することができる。

[0253] また、電位差 V_3 に生じる交流成分をより直接的に検出することができるので、燃料電池スタック1の内部状態の変化や負荷3の作動状態の変化などの影響を受け難くなり、判定精度を向上させることができる。

[0254] さらに本実施形態では、第1実施形態のように正極側と負極側の両方に対

して直交乗算部 7 2 1 及び直交低域フィルタ 7 2 2 を設ける必要がないので、セル電圧測定装置 5 に用いられる乗算器や L P F などの数を削減することができる。

[0255] (第 4 実施形態)

図 2 0 は、本発明の第 4 実施形態における位相差検出部 5 9 1 の構成を示す図である。

[0256] 第 4 実施形態では、図 5 に示した位相差検出部 5 6 1 及び判定回路 5 6 2 に代えて、電流センサ 5 9 0、位相差検出部 5 9 1 及び判定回路 5 9 2 を備えている。なお、他の構成は、図 5 に示した交流調整部 5 4 0 と同一の構成であるため、同一符号を付してここでの説明を省略する。

[0257] 電流センサ 5 9 0 は、燃料電池スタック 1 と負荷 3 との間に接続される。本実施形態では電流センサ 5 9 0 は、燃料電池スタック 1 の正極端子 2 1 1 と負荷 3 の正極端子との間に接続されている。

[0258] 電流センサ 5 9 0 は、燃料電池スタック 1 から負荷 3 へ漏れ出す漏れ電流 I_L を検出する。例えば、電流センサ 5 9 0 は、燃料電池スタック 1 から負荷 3 に流れる電流から、交流成分を抽出して、抽出された交流成分の振幅値を、漏れ電流 I_L として検出する。電流センサ 5 9 0 は、その検出された漏れ電流 I_L を位相差検出部 5 9 1 に出力する。

[0259] 交流電位 V_a と交流電位 V_b との位相差 ϕ が大きくなるほど、燃料電池スタック 1 から負荷 3 へ流れる交流電流の振幅値、すなわち漏れ電流 I_L は大きくなる。このため、漏れ電流 I_L は、位相差 ϕ と関連するパラメータとして利用することができる。

[0260] 位相差検出部 5 9 1 は、漏れ電流 I_L に応じて、位相差 ϕ に関連する検出信号を判定回路 5 9 2 に出力する。本実施形態では漏れ電流 I_L が大きくなるほど、位相差検出部 5 9 1 は、検出信号の信号レベルを高くする。

[0261] 判定回路 5 9 2 は、位相差検出部 5 9 1 から出力される検出信号、予め定められた許容値 T_{h4} よりも大きい場合には、測定状態が不良であると判定し、Hレベルの判定信号を出力する。なお許容値 T_{h4} は、位相差 ϕ の許容

値 T_{h1} と同じように実験データ等により設定される。

[0262] 本発明の第4実施形態によれば、燃料電池スタック1と負荷3との間に接続された電流センサ590によって検出される交流の漏れ電流 I_L を、正極端子211及び負極端子212に生じる交流電位同士の位相差 ϕ と相関関係のあるパラメータとして利用する。そしてインピーダンス測定装置5は、電流センサ590によって検出される漏れ電流 I_L が、所定の閾値を超えた場合に測定状態が不良であると判定する。

[0263] このため、位相差 ϕ が原因で正極側電源部531及び負極側電源部532によって燃料電池スタック1に入力される交流電流が負荷3に漏れ出した場合に、その漏れ電流 I_L をより確実に検出することができる。したがって、漏れ電流 I_L の大きさに基づいてインピーダンスの測定誤差を正確に推定できるので、測定不良の検知をより精度良く行うことができる。このため、測定結果に対する信頼性の維持向上を図ることができる。

[0264] (第5実施形態)

本発明の第5実施形態におけるインピーダンス測定装置について説明する。なお、本実施形態のインピーダンス測定装置については、図5に示したインピーダンス測定装置5と構成が基本的に同じであり、図5と同一符号を付して説明する。

[0265] 本実施形態では、位相差 ϕ に基づいて測定状態が不良か否かを検知する不良検知処理を実行する期間を限定する。これにより、無用な診断処理を削減することができるので、インピーダンス測定装置5の演算負荷を軽減することができる。

[0266] 具体的にはインピーダンス測定装置5は、コントローラユニット6から送信される指令に従って、測定状態の診断処理を実行する。

[0267] コントローラユニット6は、燃料電池スタック1にアノードガス及びカソードガスを供給して燃料電池スタック1を発電させる燃料電池システムの運転状態を制御する。具体的には、コントローラユニット6は、燃料電池スタック1に対して負荷3から要求される電力や、燃料電池スタック1の発

電状態などを管理し、燃料電池スタック 1 に供給されるアノードガス及びカソードガスの供給量などを制御する。

[0268] インピーダンス測定装置 5 は、燃料電池スタック 1 の静電容量 C_1 及び C_2 が変動しやすい所定の診断条件が成立したときに、測定状態の診断処理を実行する。

[0269] 上述の診断条件としては、燃料電池スタック 1 を起動するときに行われる起動処理や、燃料電池スタック 1 の停止処理中に行われるパージ処理、車両がアイドルストップ状態から復帰するときに行われる再起動処理などの開始時が望ましい。このような処理が実行されている間は、静電容量 C_1 と静電容量 C_2 との差が大きくなりやすい。なお、停止処理中に行われるパージ処理とは、燃料電池スタック 1 内に存在するアノードガスの圧力が所定の値まで低下するまで、アノードガス排出通路に設けられたパージ弁を開弁する処理のことである。

[0270] 上述の処理を開始する場合には、コントローラユニット 6 は、インピーダンス測定装置 5 に対して診断実行指令を送信する。そしてインピーダンス測定装置 5 は、診断実行指令を受信すると、診断条件が成立したと判断し、測定状態の診断処理を実行する。

[0271] また、内部抵抗 R の測定値がシステム予測値を超過して燃料電池システムが異常状態と判定された後、異常状態が回避されて通常の処理に復帰しても、復帰直後は、内部抵抗 R の測定状態が未だに良好状態に回復していない可能性もある。

[0272] そのため、燃料電池スタック 1 の異常状態を回復させる回復処理を診断条件に追加するようにしてもよい。この場合、コントローラユニット 6 は、回復処理を開始する際にインピーダンス測定装置 5 に診断実行指令を送信する。なお、回復処理としては、例えば、フラッシングが発生した場合にカソードガスの供給量やバージ量などを増加させる処理が挙げられる。

[0273] また、交流電位差 V_1 又は V_2 の検出信号レベルや、交流電流 I_1 又は I_2 の検出信号レベル、内部抵抗 R の測定値などの平均変化率が極端に大きく

なり、所定の閾値を超えた時についても、診断処理を実行するようにしてもよい。このような時には位相差 ϕ が大きくなっている可能性があるからである。

[0274] その他の診断条件としては、内部抵抗 R の測定結果に対して高い信頼性が要求される処理が実行される時などが考えられる。

[0275] なお、本実施形態では診断処理を実行する期間を特定の処理が行われているときだけに限定する例について説明したが、診断条件が成立していないときは判定周期 S を長くして診断処理を行い、診断条件が成立したときに判定周期 S を短くするようにしてもよい。これにより、測定結果に対する信頼性の低下を抑制しつつ、インピーダンス測定装置5の処理負荷を軽減することができる。

[0276] 次に、交流電位差 V_1 と交流電位差 V_2 との間で位相差 ϕ が生じた場合において、インピーダンス測定装置5によって測定される内部抵抗 R の測定精度が低下するのを抑制する手法について説明する。

[0277] (第6実施形態)

図21は、本発明の第6実施形態における交流調整部540の詳細を示す図である。交流調整部540は、図5に示した判定回路562に代えて位相修正部600を備えている。

[0278] 位相修正部600は、位相差検出部561から出力される位相差 ϕ に基づいて、正極側電源部531から出力される交流電流 I_1 と、負極側電源部532から出力される交流電流 I_2 との間の位相差（位相ズレ）を修正する。

[0279] 位相修正部600は、位相差検出部561から出力される位相差 ϕ が小さくなるように、交流電流 I_1 の位相、又は交流電流 I_2 の位相をシフトさせるシフト量を、位相ズレの修正に必要な修正量 M として算出する。

[0280] 図22は、本実施形態におけるインピーダンス測定装置5の構成を示す図である。

[0281] ここでは、図2に示した正極側電源部531に代えて、位相可変電源部5311が設けられている。

- [0282] 位相可変電源部 5311 は、基準周波数 f_b の交流電流 I_1 を出力し、かつ、交流電流 I_1 の位相を変更可能な交流源である。
- [0283] 位相可変電源部 5311 は、正極側電源部 531 と同様に交流調整部 540 から出力される指令信号に応じて、基準周波数 f_b の交流電流 I_1 を出力する。さらに位相可変電源部 5311 は、位相修正部 600 から出力される修正量 M に応じて、交流電流 I_1 の位相をシフトさせる。
- [0284] 位相可変電源部 5311 は、例えば、図 4 に示した電圧電流変換回路に加えて、公知の移相回路を備えることにより実現される。この移相回路としては、オールパスフィルタを構成する状態変数型フィルタなどが用いられる。本実施形態では移相回路は、電圧電流変換回路の入力端子と、正極側乗算器 5441 の出力端子との間に接続される。
- [0285] このような移相回路においては、フィルタの中心周波数を変化させることにより、電圧電流変換回路へ出力する交流電流 I_1 の位相がシフトする。そのため、位相修正部 600 に電圧制御型発振回路（VCO: Voltage-controlled oscillator）等が設けられ、電圧制御型発振器回路によって修正量 M が周波数に変換され、その周波数がフィルタの中心周波数として移相回路に入力される。
- [0286] 図 23 は、位相修正部 600 から出力される修正量 M に応じて、位相可変電源部 5311 から出力される交流電流 I の位相をシフトさせる方向を説明するための図である。この例では、修正量 M がゼロのときには、交流電位 I_1 と交流電流 I_2 の位相が一致している。
- [0287] 本実施形態では、交流電位差 V_2 に対して交流電位差 V_1 の位相が進む方向にシフトするほど、位相修正部 600 から出力される修正量 M がゼロよりも大きな正（プラス）の値になる。
- [0288] したがって、図 23 に示すように、修正量 M がゼロよりも大きくなるほど、位相可変電源部 5311 から出力される交流電流 I_1 の位相は、交流電流 I_2 に対して遅れる方向に移行される。
- [0289] 一方、交流電位差 V_1 に対して交流電位差 V_2 の位相が進む方向にシフト

するほど、修正量Mがゼロよりも小さな負（マイナス）の値になるので、位相可変電源部5311から出力される交流電流I1の位相は、進む方向にシフトされる。

[0290] なお、本実施形態では正極側電源部531に代えて位相可変電源部5311を設ける例について説明したが、負極側電源部532を位相可変電源部5311に代え、位相差 ϕ が小さくなるように交流電流I2の位相をシフトさせるようにしてもよい。

[0291] このような場合には、位相差 ϕ を小さくするために、交流電流I2の位相を、交流電流I1の位相をシフトさせたときとは反対の方向にシフトさせる必要があることから、位相修正部600には、例えば位相差 ϕ の符号を反転させる反転回路が設けられる。例えば、位相差 ϕ がゼロよりも大きくなるほど、修正量Mがゼロよりも小さくなるので、位相可変電源部5311から出力される交流電流I2の位相は、交流電流I1に対して進む方向にシフトする。

[0292] 本発明の第6実施形態によれば、位相修正部600によって、交流電位差V1と交流電位差V2との間の位相差 ϕ に基づいて、交流電流I1の位相、又は交流電流I2の位相が修正される。これにより、位相差 ϕ が小さくなるので、内部抵抗R1の演算に用いられる交流電流I1と、内部抵抗R1に実際に流れる実電流との誤差と、内部抵抗R2の演算に用いられる交流電流I2と、内部抵抗R2に実際に流れる実電流との誤差とが小さくなる。このため、交流電流I1及び交流電流I2に基づいて算出される内部抵抗Rの測定精度の低下を抑制することができる。

[0293] したがって、燃料電池スタック1の内部インピーダンスを測定するインピーダンス測定装置5において、燃料電池スタック1内の静電容量成分のバラツキに起因する測定精度の低下を抑制することができる。

[0294] また本実施形態では、位相修正部600は、交流電位差V1と交流電位差V2との間の位相差 ϕ が小さくなるように、位相可変電源部5311に設けた移相回路から出力される交流電流I1の位相をシフトさせる。

[0295] これにより、燃料電池スタック 1 の内部状態や負荷 3 の状態が変化したことに伴い、静電容量 C_1 と静電容量 C_2 とのバランスが崩れたときであっても、交流電位差 V_2 に対して交流電位差 V_1 の位相を近づけることができる。このため、静電容量 C_1 と静電容量 C_2 との差が大きくなっても、位相差 ϕ が拡大するのを抑えることができるので、内部抵抗 R の測定精度の低下を抑制することができる。

[0296] なお、本実施形態では正極側電源部 531 と交流信号源 546 との間に移相回路を設ける例について説明したが、正極側電源部 531 と燃料電池スタック 1 の正極端子 211 との間に位相回路を設けるようにしてもよい。

[0297] なお、本実施形態では交流電流 I_1 の位相をシフトさせる手法として、位相可変電源部 5311 を用いる例について説明したが、これに限られるものではない。そこで他の例として、位相可変電源部 5311 を用いずに交流電流 I_1 の位相をシフトさせる手法について図 24 を参照して説明する。

[0298] (第 7 実施形態)

図 24 は、本発明の第 7 実施形態における位相修正部 600 の構成例を示す図である。

[0299] ここでは、図 5 に示した正極側乗算器 5441 に基準周波数 f_b の交流信号を出力する交流信号源 546 に代えて、位相可変交流信号源 5461 が設けられている。

[0300] 位相可変交流信号源 5461 は、基準周波数 f_b の交流信号を出力し、かつ、交流信号の位相を変更可能な交流源である。

[0301] 位相修正部 600 は、PI 制御によって交流電流 I_1 の位相を修正するために積分回路 601 を備えている。

[0302] 積分回路 601 は、位相差検出部 561 から出力される位相差 ϕ を積分し、積分された値を修正量 M として位相可変交流信号源 5461 に出力する。積分回路 601 によって、位相差検出部 561 から出力される検出信号に含まれるノイズ成分が抑制されるので、交流電流 I_1 の位相を的確にシフトさせることが可能となる。

[0303] 例えば、積分回路 601 から出力される修正量 M がゼロよりも大きくなるほど、位相可変交流信号源 5461 から出力される交流信号の位相が遅れる方向にシフトする。これに伴い、正極側電源部 531 から出力される交流電流 I_1 の位相についても遅れる方向にシフトする。

[0304] 一方、修正量 M がゼロよりも小さくなるほど、位相可変交流信号源 5461 から出力される交流信号の位相が進む方向にシフトするので、正極側電源部 531 から出力される交流電流 I_1 の位相も同様に進む方向にシフトする。

[0305] このように、位相可変交流信号源 5461 を設けて基準周波数 f_b の交流信号の位相をシフトさせることにより、交流電位差 V_1 と交流電位差 V_2 との間の位相差 ϕ が小さくなるように、交流電流 I_1 の位相をシフトさせることができる。

[0306] なお、本実施形態では正極側電源部 531 の交流信号源 546 の代わりに位相可変交流信号源 5461 を設けたが、負極側電源部 532 の交流信号源 546 の代わりに位相可変交流信号源 5461 を設けるようにしてもよい。

[0307] このような場合には、第 6 実施形態で述べたように、位相差 ϕ の符号を反転させる反転回路が位相修正部 600 に設けられる。例えば、位相差 ϕ がゼロよりも大きくなるほど、修正量 M がゼロよりも小さくなるので、位相可変電源部 5311 から出力される交流電流 I_2 の位相が進む方向にシフトする。

[0308] 本発明の第 7 実施形態によれば、交流信号源 546 の代わりに位相可変交流信号源 5461 が用いられ、積分回路 601 から出力される修正量 M によって、位相可変交流信号源 5461 から出力される交流信号の位相が修正される。これにより、交流電位差 V_2 に対して交流電位差 V_1 の位相が近づき、位相差 ϕ が小さくなるので、燃料電池スタック 1 から負荷 3 に漏れ出る漏れ電流 I_L を減らすことができる。したがって、燃料電池スタック 1 の内部抵抗 R についての測定精度を向上させることができる。

[0309] また、位相可変交流信号源 5461 を用いることにより、正極側電源部 5

31に移相回路を設けて移相調整機能を付加した場合に比べて、回路構成の簡素化が図られ、かつ、安価に交流電流I1の位相を変更することができる。すなわち、コストの増加を抑制しつつ、回路構成を簡素化することができる。

[0310] (第8実施形態)

なお、第6実施形態及び第7実施形態では交流電流I1又は交流電流I2の位相を修正する例について説明したが、インピーダンス測定装置5で測定される測定結果の誤差(ズレ)を修正するようにしてもよい。以下に、図5で示した演算部550で演算された内部抵抗Rを補正する例について説明する。

[0311] 図25は、交流電位差V1と交流電位差V2との間の位相差Φに起因する交流電流I1及び交流電流I2の誤差を修正する手法を説明するための図である。

[0312] 図25には、燃料電池スタック1の等価回路、及び、負荷3のインピーダンスZ_Lに流れる交流電流I1及び交流電流I2の経路が示されている。ここでは、図7に示したように、交流電位差V2よりも交流電位差V1の位相が位相差Φだけ進んでいる状態を想定している。

[0313] 燃料電池スタック1の正極端子211に生じる交流電位と、負極端子212に生じる交流電位との交流電位差V_eの振幅は、次式により表わすことができる。

[0314] [数10]

$$V_e = 2 * V_s * \sin\left(\frac{\Phi}{2}\right) \quad \dots (10)$$

なお、基準電圧V_sは、図5で述べた通り、交流電位差V1及び交流電位差V2の振幅を一致させるために予め定められた値である。

[0315] 式(10)に示したとおり、交流電位差V_eの振幅は、交流電位差V1及び交流電位差V2の振幅、すなわち基準電圧V_sに比例し、0度から90度までの範囲内において位相差Φに応じて大きくなる。

[0316] 交流電位差 V_1 と交流電位差 V_2 との間の位相差 ϕ によって、負極側電源部 532 から燃料電池スタック 1 の負極端子 212 に出力される交流電流 I_2 の一部が、負荷 3 の方に漏れ出す。この漏れ電流 I_L は、次式で表わすことができる。

[0317] [数11]

$$I_L = \frac{\dot{V}_e}{Z} \quad \dots (11)$$

なお、負荷 3 のインピーダンス Z_L は、予め実験等で求められた値であり、例えば図 5 に示した位相修正部 600 に記録されている。

[0318] 漏れ電流 I_L は、燃料電池スタック 1 の負極端子 212 から負荷 3 を経由して正極端子 211 に流れる。正極端子 211 では、漏れ電流 I_L が交流電流 I_1 に合流し、交流電流 I_1 に漏れ電流 I_L が加えられた電流 ($I_1 + I_L$) が、内部抵抗 R_1 を通って中途点端子 213 に出力される。

[0319] 一方、負極端子 212 では、交流電流 I_2 から漏れ電流 I_L が差し引かれた電流 ($I_2 - I_L$) が内部抵抗 R_2 を通って中途点端子 213 に出力される。

[0320] このため、漏れ電流 I_L によって生じる内部抵抗 R_1 及び R_2 の測定誤差は、次式のとおり、演算部 550 で演算される内部抵抗 R_1 及び R_2 の測定値 R_{1m} 及び R_{2m} と、内部抵抗 R_1 及び R_2 の実際値 R_{1r} 及び R_{2r} との比によって表わすことができる。

[0321] [数12]

$$\frac{R_{1m}}{R_{1r}} = \frac{I_1 + I_L}{I_1} = 1 + \frac{I_L}{I_1} \quad \dots (12-1)$$

$$\frac{R_{2m}}{R_{2r}} = \frac{I_2 - I_L}{I_2} = 1 - \frac{I_L}{I_2} \quad \dots (12-2)$$

つまり、交流電流 I_1 及び I_2 の検出値に対する漏れ電流 I_L の比が、内部抵抗 R_1 及び R_2 の測定誤差となる。そして、検出信号に示される交流電位差 V_1 及び V_2 と、交流電流 I_1 及び I_2 とに基づいて求めた測定値 R_{1m} 及び R_{2m} に対して、次式の補正処理を施すことにより、漏れ電流 I_L による

測定誤差を修正することができる。

[0322] [数13]

$$R1r = R1m \left/ \left(1 + \frac{I_L}{I1} \right) \right. \quad \dots (13-1)$$

$$R2r = R2m \left/ \left(1 - \frac{I_L}{I2} \right) \right. \quad \dots (13-2)$$

式(13)に示された補正処理は、例えば、図21に示した位相修正部600において実行される。

[0323] 図26は、本実施形態における位相差中に伴う測定誤差を修正する修正方法の一例を示すフローチャートである。この例では、位相修正部600によって内部抵抗R1及びR2の補正処理が実行される。

[0324] まず、ステップS301において位相修正部600は、位相差検出部561から出力される位相差φを取得する。

[0325] ステップS302において位相修正部600は、式(10)に従って、位相差検出部561から取得した位相差φと、予め定められた基準電位Vsとに基づいて、交流電位差Veの振幅値を演算する。

[0326] ステップS303において位相修正部600は、式(11)に従って、交流電位差Veと、負荷3のインピーダンスZ_Lとに基づいて、負荷3に漏れ出る漏れ電流I_Lを演算する。

[0327] ステップS304において位相修正部600は、内部抵抗R1及びR2を補正する補正処理を実行する。

[0328] 具体的には、位相修正部600は、式(13-1)に従って、漏れ電流I_Lと、演算部550で演算された内部抵抗値R1mとに基づいて、内部抵抗値R1mを実際値R1rに補正する。位相修正部600は、式(13-2)に従って、漏れ電流I_Lと、演算部550で演算された内部抵抗値R2mとに基づいて、内部抵抗値R2mを実際値R2rに補正する。

[0329] そして位相修正部600は、補正後の内部抵抗R1及び内部抵抗R2を演算部550に出力して、位相差中に伴う測定誤差を修正する修正方法についての一連の処理が終了する。この後、図11に示したステップS12で燃料

電池スタック 1 全体の内部抵抗 R が演算される。

[0330] このようにインピーダンス測定装置 5 では、交流電位差 V_1 と交流電位差 V_2 との間の位相差 ϕ に起因する内部抵抗 R の測定誤差が修正される。

[0331] 本発明の第 8 実施形態によれば、位相修正部 600 によって、交流電位差 V_1 と交流電位差 V_2 との間の位相差 ϕ に基づいて漏れ電流 I_L が演算され、漏れ電流 I_L に基づいて、位相差 ϕ に伴う交流電流 I_1 及び交流電流 I_2 の誤差である位相ズレが修正される。

[0332] すなわち、位相修正部 600 は、位相差 ϕ に基づいて演算される漏れ電流 I_L に応じて、正極側電源部 531 から出力される交流電流 I_1 の検出値、及び、負極側電源部 532 から出力される交流電流 I_2 の検出値を補正して交流電流 I_1 と交流電流 I_2 との位相差を修正する。これにより、インピーダンス測定装置 5 によって測定された内部抵抗 R の測定誤差を修正することができる。したがって、インピーダンス測定装置 5 において燃料電池スタック 1 の静電容量成分に起因するインピーダンスの測定精度が低下するのを抑制できる。

[0333] このため、燃料電池スタック 1 のインピーダンスが変化したときや、静電容量 C_1 と静電容量 C_2 のバランスが崩れたときなどに交流電位差 V_1 と交流電位差 V_2 との間の位相差 ϕ が大きくなっても、演算処理によって内部抵抗 R の測定誤差を修正できる。したがって、第 7 実施形態に比べて、インピーダンス測定装置 5 を簡素な回路構成にすることができる。

[0334] 以上の本発明の第 6 実施形態から第 8 実施形態によれば、位相修正部 600 によって、燃料電池スタック 1 の正極端子 211 に生じる交流電位と、負極端子 212 に生じる交流電位との間の位相差 ϕ が検出される。そして位相差 ϕ に基づいて、正極側電源部 531 及び負極側電源部 532 のうちの少なくとも一方から出力される交流電流の位相差が修正される。これにより、インピーダンス測定装置 5 から負荷 3 への漏れ電流に起因するインピーダンスの測定精度が低下することを抑制できる。

[0335] なお、第 6 実施形態及び第 7 実施形態では、位相差 ϕ に基づいて正極側電

源部 531 又は負極側電源部 532 から出力される交流信号 I₂ を補正して交流信号 I₁ 又は I₂ の位相を修正する例について説明したが、これに限られるものではない。例えば、位相修正部 600 は、式 (11) のとおり、位相差 ϕ に基づいて漏れ電流 I_L を演算し、漏れ電流 I_L に応じて交流電流 I₁ 及び交流電流 I₂ を補正して交流電流 I₁ と交流電流 I₂ との間の位相差を修正するようにしてもよい。この場合には、漏れ電流 I_L ごとに、交流信号 I₁ 及び I₂ の位相についてのシフト量が対応付けられたマップが位相修正部 600 に予め設定されている。

[0336] (第 9 実施形態)

第 6 実施形態及び第 7 実施形態においては、交流調整部 540 の位相修正部 600 が交流電流 I₁ または I₂ の位相を修正する例について説明した。しかしながら、位相修正部 600 により交流電流 I₁ または I₂ の位相が修正されることに伴い、位相修正部 600 により修正される位相量に応じた誤差が、インピーダンスの演算結果に含まれてしまう。特に、交流電流 I₁ 及び I₂ の周波数が低くなるほど、後述する理由により、インピーダンスの演算結果に含まれる誤差が大きくなる。そこで本発明の第 9 実施形態においては、インピーダンスの演算結果に対して、交流電流 I₁ または I₂ の位相が修正されたことに起因する誤差を補正する例について説明する。

[0337] 本実施形態のインピーダンス測定装置は、第 6 実施形態又は第 7 実施形態のインピーダンス測定装置 5 と同様の構成を有する。これらの同様の構成については同じ符号を付し、説明を省略する。

[0338] 本実施形態では、位相修正部 600 は、交流電流 I₁ と交流電流 I₂ とのうち、交流電流 I₂ の位相の修正量 M を算出する。後述するように、交流電流 I₂ の位相が修正されることに起因して、算出部 5521 により算出された負極側のインピーダンス Z₂ の位相角には、修正量 M に相当するずれが生じてしまう。そのため、例えば、第 7 実施形態に示したような位相可変交流信号源 5461 に相当する構成が、交流信号源 547 に代えて負極側に設けられている。そして、位相修正部 600 は、算出した修正量 M を、負極側に

設けられた位相可変電源部に出力するとともに、算出した修正量 M をインピーダンス Z_2 の位相角を補正するために用いられる修正量 $\Delta \xi$ として演算部550に出力する。

[0339] 図27は、演算部550の詳細な構成を示す図である。演算部550には、上述のように、位相修正部600から修正量 $\Delta \xi$ が入力される。また、図22に示したように、演算部550には、正極側電位差検出部521から交流電位差 V_1 が入力され、負極側電位差検出部522から交流電位差 V_2 が入力され、交流調整部540から交流電流 I_1 及び I_2 が入力される。

[0340] 演算部550は、図9に示した演算部550と同様に、AD変換器551と、マイコンチップ552とを有する。また、マイコンチップ552は、算出部5521と、補正部5522とを有する。

[0341] 算出部5521は、AD変換器551から出力された交流電位差 V_1 及び交流電流 I_1 を用いて、正極側のインピーダンス Z_1 を算出する。そして、算出部5521は、算出した正極側のインピーダンス Z_1 を出力する。

[0342] また、算出部5521は、AD変換器551から出力された交流電位差 V_2 及び交流電流 I_2 を用いて、負極側のインピーダンス Z_2 を算出する。そして、算出部5521は、算出した負極側のインピーダンス Z_2 を出力する。

[0343] 補正部5522は、位相修正部600から修正量 $\Delta \xi$ を受け付ける。補正部5522は、インピーダンス Z_2 に対して、交流電流 I_2 の位相が修正されたことに起因する誤差を、修正量 $\Delta \xi$ に応じて補正する。そして、補正部5522は、補正後のインピーダンス Z_2 をインピーダンス Z_{2C} として出力する。また、補正部5522は、算出部5521から出力されたインピーダンス Z_1 を補正することなく出力する。

[0344] ここで、補正部5522がインピーダンス Z_2 を補正する方法について、具体的に説明する。まず、正極側のインピーダンス Z_1 と負極側のインピーダンス Z_2 との位相差について説明する。

[0345] 図28は、正極側の交流電位差 V_1 と負極側の交流電位差 V_2 との位相差

ϕ の一例を示す図である。横軸は、交流電流 I_1 及び I_2 の位相角を基準とした交流電位差 V_1 及び V_2 の実軸成分を示し、縦軸は、交流電位差 V_1 及び V_2 の虚軸成分を示している。ここでは、位相修正部 600 は、交流電流 I_2 の位相を修正していない。

[0346] 交流電位差 V_1 の位相は、交流電流 I_1 の位相に対して位相角 θ_1 だけ遅れている。また、交流電位差 V_2 の位相は、交流電流 I_2 の位相に対して位相角 θ_1 よりも大きい位相角 θ_2 だけ遅れている。そのため、交流電位差 V_1 と交流電位差 V_2 との間には、位相差 ϕ が生じている。

[0347] 上述のように、交流電位差 V_1 と交流電位差 V_2 との間に位相差 ϕ が生じていると、負荷 3 に電流が漏れ出てしまう。このような電流の漏れを低減するために、位相修正部 600 は、交流電位差 V_1 と交流電位差 V_2 との位相が等しくなるように、交流電流 I_2 の位相を修正する。

[0348] さらに、交流調整部 540 は、交流電位差 V_1 の振幅と交流電位差 V_2 の振幅とが等しくなるように、交流電流 I_1 及び交流電流 I_2 の振幅を調整する。このように、交流電位差 V_1 と交流電位差 V_2 との大きさ及び位相が等しくなるように、交流電流 I_1 及び I_2 が等電位制御される。

[0349] 次に、位相修正部 600 により交流電流 I_2 の位相が修正されることに起因して、インピーダンス Z_1 の位相角とインピーダンス Z_2 の位相角との間にずれが生じることについて説明する。

[0350] 図 29A、図 29B、および、図 29C の各図は、算出部 5521 により算出されたインピーダンス Z_1 及びインピーダンス Z_2 の位相角の一例を示す図である。各図においては、インピーダンス Z_1 及び Z_2 の実軸に対する位相角が示されており、位相角の遅れが大きくなるほど正（プラス）方向に大きく示されている。

[0351] 図 29A には、燃料電池スタック 1 に静電容量成分がなく内部抵抗だけがある場合の、インピーダンス Z_1 及び Z_2 の位相角が示されている。

[0352] 一般に、インピーダンス測定装置 5 は、出荷時などに、測定回路の個体差等の影響を受けないように理想的な状態に調整されている。また、内部抵抗

はインピーダンスの位相角に影響を与えない。そのため、インピーダンス Z_1 及び Z_2 の位相角は、進みも遅れもせずゼロである。

[0353] 図 29B には、位相修正部 600 によって交流電流 I_2 の位相が修正されていない場合の、インピーダンス Z_1 及び Z_2 の位相角が示されている。

[0354] 一般に、燃料電池スタック 1 の静電容量成分が大きくなるほど、インピーダンスの位相角の遅れが大きくなる。ここでは、燃料電池スタック 1 の負極側の静電容量成分は、正極側の静電容量成分よりも大きい。そのため、インピーダンス Z_2 の位相角 θ_2 は、インピーダンス Z_1 の位相角 θ_1 よりも大きい。したがって、インピーダンス Z_1 の位相角 θ_1 とインピーダンス Z_2 の位相角 θ_2 との間には、位相差 ϕ が生じてしまう。

[0355] 図 29C には、位相修正部 600 によって交流電流 I_2 の位相が修正されている場合の、インピーダンス Z_1 及び Z_2 の位相角が示されている。

[0356] 位相修正部 600 は、位相差 ϕ がゼロになるように、交流電流 I_2 の位相を修正量 $\Delta \xi$ だけ進める。これに伴い、交流電位差 V_2 の位相は、交流電流 I_2 の位相が進められた分だけ、すなわち、修正量 $\Delta \xi$ だけ能動的に進む。ここで、インピーダンス Z_2 は、交流電位差 V_2 を交流電流 I_2 の振幅により除算することにより算出される。そのため、インピーダンス Z_2 の位相角は、交流電流 I_2 の位相が修正されると、交流電位差 V_2 の位相が進んだ分だけ、すなわち、修正量 $\Delta \xi$ だけ進む。

[0357] また、交流電流 I_2 の位相が修正されると、負荷 3 への漏れ電流が減少する。そのため、交流電位差 V_1 の位相は、変化量 $\Delta \phi$ だけ受動的に遅れる。ここで、インピーダンス Z_1 は、交流電位差 V_1 を交流電流 I_1 の振幅により除算することにより算出される。そのため、インピーダンス Z_1 の位相角は、負荷 3 への漏れ電流が減少すると、交流電位差 V_1 の位相が遅れた分だけ、すなわち、変化量 $\Delta \phi$ だけ遅れる。

[0358] このように、インピーダンス Z_1 の位相角とインピーダンス Z_2 の位相角との位相差 ϕ がゼロになるように、交流電流 I_2 の位相が修正される。ここで、交流電流 I_2 の位相が修正されると、負荷 3 への漏れ電流が減少し、交

流電位差 V_1 の位相が変化量 $\Delta\phi$ だけ受動的に遅れる。

[0359] なお、ここでは漏れ電流が減少した場合には、交流電位差 V_1 の位相が変化量 $\Delta\phi$ だけ遅れる例について説明した。しかしながら、燃料電池スタック 1 の容量成分や、負荷 3 などの大きさによっては、負荷 3 への漏れ電流が減少すると、交流電位差 V_1 の位相が進むこともある。

[0360] このように、交流電流 I_2 の位相が修正量 $\Delta\xi$ だけ修正されると、インピーダンス Z_2 の位相角は修正量 $\Delta\xi$ だけ進む。そして、交流電流 I_2 の位相が修正されると漏れ電流が低減するため、インピーダンス Z_1 の位相角は、変化量 $\Delta\phi$ だけ遅れる。したがって、インピーダンス Z_1 及び Z_2 の位相角は、ともに位相角 ξ に修正される。このように、インピーダンス Z_1 の位相角の受動的な変化量 $\Delta\phi$ が考慮されるため、交流電流 I_2 の位相を修正前の位相差 ϕ ではなく修正量 $\Delta\xi$ だけ進めることにより、位相差 ϕ がゼロになる。

[0361] 次に、補正部 5522 によるインピーダンス Z_2 の補正方法について説明する。

[0362] 図 30 は、インピーダンス Z_2 に対して、交流電流 I_2 の位相が修正されたことに起因する誤差を補正する方法を説明するための図である。図 30 においては、算出部 5521 により算出されたインピーダンス Z_2 と、補正部 5522 により誤差を補正した後のインピーダンス Z_{2C} とが示されている。なお、横軸は、インピーダンス Z_2 及び Z_{2C} の実軸成分を示し、縦軸は、インピーダンス Z_2 及び Z_{2C} の虚軸成分を示している。

[0363] 上述のように、交流電流 I_2 の位相が修正されたときには、インピーダンス Z_2 の位相角が修正量 $\Delta\xi$ だけ進んでしまい、インピーダンス Z_2 に誤差が含まれる。これに対して、補正部 5522 は、インピーダンス Z_2 の位相角を修正量 $\Delta\xi$ だけ遅らせることにより、交流電流 I_2 の位相の修正に起因する誤差を補正する。

[0364] ここで、補正前のインピーダンス Z_2 と補正後のインピーダンス Z_{2C} とは、以下の関係が成り立つ。

[0365] [数14]

$$\begin{aligned}
 Z2Cr : \sqrt{Z2r^2 + Z2x^2} \cos(\xi + \Delta\xi) &= \sqrt{Z2r^2 + Z2x^2} (\cos\xi \cos\Delta\xi - \sin\xi \sin\Delta\xi) \\
 &= Z2r \cos\Delta\xi - Z2x \sin\Delta\xi \quad \cdots (14-1) \\
 Z2Cx : \sqrt{Z2r^2 + Z2x^2} \sin(\xi + \Delta\xi) &= \sqrt{Z2r^2 + Z2x^2} (\sin\xi \cos\Delta\xi + \cos\xi \sin\Delta\xi) \\
 &= Z2r \sin\Delta\xi + Z2x \cos\Delta\xi \quad \cdots (14-2)
 \end{aligned}$$

このように、補正部5522は、式(14-1)及び式(14-2)を用いて、インピーダンスZ2を補正することにより、補正後のインピーダンスZ2Cを算出する。

[0366] ここで、本実施形態のインピーダンス測定装置5の動作について説明する。

[0367] 図31は、交流電流I2の位相が修正されたことに起因するインピーダンスZ2の誤差を補正する処理を示すフローチャートである。なお、この処理が開始されるときには、位相修正部600による位相の修正は行われていない。

[0368] ステップS401において、交流調整部540は、交流電位差V1の実軸成分V1r及び虚軸成分V1xと、交流電位差V1の位相角θ1と、交流電位差V2の実軸成分V2r及び虚軸成分V2xと、交流電位差V2の位相角θ2とを測定する。例えば、交流調整部540は、図14に示されたステップS101～S104と同様の処理を行う。

[0369] 次に、ステップS402において、交流調整部540は、交流電位差V2の位相角θ2から交流電位差V1の位相角θ1を減算することにより、位相差φを算出する。なお、この処理は、図14に示されたステップS105と同様の処理である。

[0370] 次に、ステップS403において、交流調整部540は、位相差φが所定の範囲内にあるか否かを判定する。ここで、負荷3への漏れ電流を発生させないためには、位相差φがゼロであることが望ましい。そのため、例えば、交流調整部540は、位相差φが-1度(degree)以上であり、かつ、+1度未満であるような所定の範囲内にあるか否かを判定する。

- [0371] 交流調整部540が、位相差 ϕ が所定の範囲を超えると判定した場合には（ステップS403：No）、位相修正部600は、位相差 ϕ がゼロになるように、交流電流I2の位相をシフトさせる（ステップS404）。そして、インピーダンス測定装置5は、ステップS401の処理に戻る。
- [0372] 交流調整部540が、位相差 ϕ が所定の範囲内にあると判定した場合には（ステップS403：Yes）、ステップS405の処理へと進む。
- [0373] ステップS405においては、位相修正部600は、位相差 ϕ が所定の範囲内にあるときの、位相修正部600が交流電流I2の位相をシフトさせた位相角を、修正量 $\Delta\theta$ として決定する。位相修正部600は、決定した修正量 $\Delta\theta$ を演算部550に出力する。なお、ステップS404の処理が行われなかった場合には、位相修正部600は、修正量 $\Delta\theta$ にゼロを設定する。
- [0374] そして、算出部5521は、交流電位差V1と交流電流I1とから、インピーダンスZ1の実軸成分Z1rおよび虚軸成分Z1xを求める。また、算出部5521は、交流電位差V2と交流電流I2とから、インピーダンスZ2の実軸成分Z2rおよび虚軸成分Z2xを求める。
- [0375] 例えば、算出部5521は、図6に示した正極側検波回路5411と同様に、同相成分抽出部710及び直交成分抽出部720を有し、これらの構成を用いて、交流電位差V1の実軸成分V1r及び虚軸成分V1xを求める。そして、算出部5521は、実軸成分V1rを交流電流I1の振幅で除算することにより、インピーダンスZ1の実軸成分Z1rを算出する。また、算出部5521は、虚軸成分V1xを、交流電流I1の振幅で除算することにより、インピーダンスZ1の虚軸成分Z1xを算出する。
- [0376] 同様に、算出部5521は、負極側検波回路5412と同様の構成を有し、これらの構成を用いて、インピーダンスZ2の実軸成分Z2r及び虚軸成分Z2xを求める。
- [0377] 次に、ステップS406において、補正部5522は、インピーダンスZ2の実軸成分Z2r及び虚軸成分Z2xと、修正量 $\Delta\theta$ とを用いて、式（14-1）及び式（14-2）に基づいて、補正後の実軸成分Z2Cr及び虚

軸成分 $Z_2 C_x$ を算出する。このようにして、補正部 5522 は、補正後のインピーダンス $Z_2 C$ を算出する。

[0378] なお、補正部 5522 は、式 (14-1) 及び式 (14-2) 中の三角関数の計算部分について、予め設定されたマップを用いて計算するようにしてもよい。例えば、補正部 5522 には、角度 θ と、角度 θ のときの正弦関数 ($\sin \theta$) 及び余弦関数 ($\cos \theta$) とを対応付けたマップである三角関数表が記憶される。

[0379] そして、補正部 5522 は、記憶している三角関数表を用いて、 $\sin \Delta \xi$ 及び $\cos \Delta \xi$ を求める。補正部 5522 は、これらの $\sin \Delta \xi$ 及び $\cos \Delta \xi$ と、インピーダンス Z_2 の実軸成分 $Z_2 r$ 及び虚軸成分 $Z_2 x$ とを用いて、式 (14-1) 及び式 (14-2) のうちの以下の計算を行うことにより、補正後の実軸成分 $Z_2 C_r$ 及び虚軸成分 $Z_2 C_x$ を算出する。

[0380] [数15]

$$Z_2 C_r : Z_2 r \cos \Delta \xi - Z_2 x \sin \Delta \xi$$

$$Z_2 C_x : Z_2 r \sin \Delta \xi + Z_2 x \cos \Delta \xi$$

また、補正部 5522 は、予め、以下の値を計算しておく。

[0381] [数16]

$$\text{補正前のインピーダンス } Z_2 \text{ の位相角 : } \xi = \tan^{-1} \frac{Z_2 x}{Z_2 r}$$

$$\text{補正前のインピーダンス } Z_2 \text{ の大きさ : } |Z_2| = \sqrt{Z_2 r^2 + Z_2 x^2}$$

[0382] 補正部 5522 は、計算した補正前の位相角 ξ と、位相修正部 600 により修正された修正量 $\Delta \xi$ とを加算することにより、補正後の位相角 ($\xi + \Delta \xi$) を算出する。補正部 5522 は、記憶している三角関数表を用いて、 $\sin (\xi + \Delta \xi)$ 及び $\cos (\xi + \Delta \xi)$ を求める。そして、補正部 5522 は、これらの $\sin (\xi + \Delta \xi)$ 及び $\cos (\xi + \Delta \xi)$ と、補正前のインピーダンス Z_2 の大きさ $|Z_2|$ とを用いて、式 (14-1) 及び式 (14-2) のうちの以下の計算を行うことにより、補正後の実軸成分 $Z_2 C_r$ 及び虚軸成分 $Z_2 C_x$ を算出する。

2 C x を算出する。

[0383] [数17]

$$Z2Cr : \sqrt{Z2r^2 + Z2x^2} (\cos \xi \cos \Delta \xi - \sin \xi \sin \Delta \xi)$$

$$Z2Cx : \sqrt{Z2r^2 + Z2x^2} (\sin \xi \cos \Delta \xi + \cos \xi \sin \Delta \xi)$$

次に、ステップ S 4 0 7 において、補正部 5 5 2 2 は、インピーダンス Z 2 C をコントローラユニット 6 に出力する。さらに、補正部 5 5 2 2 は、インピーダンス Z 1 をコントローラユニット 6 に出力する。

[0384] ステップ S 4 0 7 の処理を終えると、インピーダンス測定装置 5 は、インピーダンス測定に関する処理を終える。

[0385] ここで、補正部 5 5 2 2 による補正に用いられる修正量 $\Delta \xi$ と、補正部 5 5 2 2 による補正後のインピーダンス Z 2 の実軸成分 Z 2 r 及び虚軸成分 Z 2 x との関係について説明する。

[0386] 図 3 2 は、補正部 5 5 2 2 による補正に用いられる修正量 $\Delta \xi$ と、補正部 5 5 2 2 によって補正された後のインピーダンス Z 2 C との関係の一例を示す図である。ここでは、インピーダンス Z 2 の実軸成分 Z 2 r 及び虚軸成分 Z 2 x は、ともに 1. 5 Ω である。したがって、インピーダンス Z 2 の位相角は、4 5 度である。

[0387] まず、修正量 $\Delta \xi$ と補正後の実軸成分 Z 2 r との関係について説明する。修正量 $\Delta \xi$ が - 9 0 度から - 4 5 度までの範囲においては、修正量 $\Delta \xi$ が小さくなるほど、補正後の実軸成分 Z 2 r は大きくなる。修正量 $\Delta \xi$ が - 4 5 度から + 9 0 度までの範囲においては、修正量 $\Delta \xi$ が大きくなるほど、補正後の実軸成分 Z 2 r は小さくなる。

[0388] 次に、修正量 $\Delta \xi$ と補正後の虚軸成分 Z 2 x との関係について説明する。修正量 $\Delta \xi$ が - 9 0 度から + 4 5 度までの範囲においては、修正量 $\Delta \xi$ が大きくなるほど、補正後の虚軸成分 Z 2 x は大きくなる。修正量 $\Delta \xi$ が + 4 5 度から + 9 0 度までの範囲においては、修正量 $\Delta \xi$ が大きくなるほど、補正後の虚軸成分 Z 2 x は小さくなる。

- [0389] このように、修正量 $\Delta\xi$ が大きくなるときには、補正後のインピーダンス Z_2 の実軸成分 Z_{2r} 及び虚軸成分 Z_{2x} は、大きくなることもあれば、小さくなることもある。しかしながら、修正量 $\Delta\xi$ が -45 度から $+45$ 度までの範囲においては、修正量 $\Delta\xi$ が大きくなるほど、補正後の実軸成分 Z_{2r} は小さくなり、補正後の虚軸成分 Z_{2x} は大きくなる。
- [0390] 一般に、燃料電池スタック1の正極側と負極側の状態は大きく異なる。そのため、インピーダンス Z_1 の位相角とインピーダンス Z_2 の位相角とは概ね同じであり、修正量 $\Delta\xi$ が0度近傍の値、すなわち、 -45 度から $+45$ 度までの範囲にある値になることが多い。そのため、多くの場合、修正量 $\Delta\xi$ が大きくなるほど、補正後の実軸成分 Z_{2r} は小さくなり、補正後の虚軸成分 Z_{2x} は大きくなる。
- [0391] なお、本実施形態においては、位相修正部600が交流電流 I_2 の位相を修正する例を用いて説明したが、これに限らない。位相修正部600は交流電流 I_1 の位相を修正してもよい。このような場合には、補正部5522は、正極側のインピーダンス Z_1 の誤差を補正する。
- [0392] また、本実施形態においては、位相修正部600は、インピーダンス Z_2 の実軸成分 Z_{2r} 及び虚軸成分 Z_{2x} の両方を補正したがこれに限らない。位相修正部600は、実軸成分 Z_{2r} または虚軸成分 Z_{2x} のいずれか一方を補正してもよい。
- [0393] 例えば、コントローラユニット6は、燃料電池スタック1の運転状態の制御に、インピーダンス Z_2 の虚軸成分 Z_{2x} を用いずに、実軸成分 Z_{2r} のみを用いることがある。このようなときには、補正部5522は、実軸成分 Z_{2r} だけを補正し、虚軸成分 Z_{2x} を補正する。
- [0394] 本発明の第9実施形態によれば、補正部5522は、位相修正部600による交流電流 I_2 の修正量 $\Delta\xi$ に応じて、算出部5521により算出された負極側のインピーダンス Z_2 の実軸成分 Z_{2r} 及び虚軸成分 Z_{2x} を補正する。
- [0395] ここで、交流電位差 V_1 の位相と交流電位差 V_2 の位相との間に位相差 ϕ

が生じてしまうと、負荷 3 への漏れ電流が発生し、インピーダンス測定装置 5 は、インピーダンス Z_1 及び Z_2 を正確に測定できない。そのため、位相修正部 600 によって交流電流 I_2 の位相が修正量 $\Delta \xi$ だけ修正されることにより、位相差 ϕ がゼロになり、漏れ電流が低減する。

[0396] しかしながら、交流電流 I_2 の位相が修正量 $\Delta \xi$ だけ修正されると、インピーダンス Z_2 の位相角が修正量 $\Delta \xi$ だけずれてしまい誤差が生じる。これに対して、本実施形態においては、補正部 5522 がインピーダンス Z_2 の位相角を修正量 $\Delta \xi$ だけ補正することにより、交流電流 I_2 の位相が修正されることに起因する誤差が補正される。

[0397] このように、交流電流 I_2 の位相が修正されることにより負荷 3 への漏れ電流が発生しておらず、さらに、交流電流 I_2 の位相が修正されることに起因するインピーダンス Z_2 の誤差が補正されている。そのため、補正部 5522 により誤差が補正されたインピーダンス $Z_2 C$ は、より正確な値となる。したがって、コントローラユニット 6 は、より正確なインピーダンス $Z_2 C$ を用いることにより、燃料電池スタック 1 の運転状態を適切に制御することができる。

[0398] また、補正部 5522 は、インピーダンス Z_2 の位相角を、交流電流 I_2 がシフトされた位相の大きさである修正量 $\Delta \xi$ だけ、交流電流 I_2 がシフトされた方向とは逆方向に補正する。このようにして、補正部 5522 は、インピーダンス Z_2 に含まれる誤差を適切に補正するため、インピーダンス $Z_2 C$ はより正確な値となる。このようにして、コントローラユニット 6 は、より正確なインピーダンス $Z_2 C$ を用いることにより、燃料電池スタック 1 の運転状態を適切に制御することができる。

[0399] また、補正部 5522 は、算出部 5521 が算出するインピーダンス Z_2 の実軸成分 $Z_2 r$ および虚軸成分 $Z_2 x$ の少なくとも一方について補正する。このように、必要に応じて、補正部 5522 による実軸成分 $Z_2 r$ 又は虚軸成分 $Z_2 x$ のいずれか一方の補正処理を省略することにより、インピーダ

ンス測定装置 5 の処理負荷を軽減することができる。

[0400] (第 10 実施形態)

第 9 実施形態では、補正部 5522 が算出部 5521 により算出されたインピーダンス Z_2 を常に補正する例について説明した。第 10 実施形態では、必要に応じて補正部 5522 がインピーダンス Z_2 を補正する例について説明する。

[0401] 図 33 は、本実施形態の演算部 550 の構成を示す図である。本実施形態の演算部 550 では、図 27 に示したマイコンチップ 552 が、さらに、判定部 5523 を有する。なお、以下では、図 27 に示した演算部 550 と同じ構成については、同じ符号を付し、説明を省略する。

[0402] 判定部 5523 は、位相修正部 600 から位相角の修正量 $\Delta \xi$ を受け付ける。

[0403] 上述のように、位相修正部 600 により交流電流 I_2 の位相が修正量 $\Delta \xi$ だけ修正されると、インピーダンス Z_2 の位相角は修正量 $\Delta \xi$ だけずれる。そのため、位相修正部 600 による交流電流 I_2 の位相の修正量 $\Delta \xi$ が小さければ、インピーダンス Z_2 に含まれる誤差は小さくなる。

[0404] このように、交流電流 I_2 の位相が修正されることに起因するインピーダンス Z_2 の誤差が小さい場合には、補正部 5522 による補正を行わなくても、インピーダンス Z_2 は概ね正確な値となる。そのため、補正部 5522 によってインピーダンス Z_2 を補正する必要性が低い。したがって、判定部 5523 は、交流電流 I_2 の位相が修正される修正量 $\Delta \xi$ に基づいて、補正部 5522 による補正が必要であるか否かを判定する。

[0405] 補正部 5522 は、判定部 5523 により補正が必要であると判定された場合には、インピーダンス Z_2 を補正する。そして、補正部 5522 は、補正後のインピーダンス $Z_2 C$ をコントロールユニット 6 に出力する。一方、補正部 5522 は、判定部 5523 により補正が必要ないと判定された場合には、インピーダンス Z_2 を補正することなくコントロールユニット 6 に出力する。

[0406] 図34は、本実施形態のインピーダンス測定装置5の動作を示すフローチャートである。ここでは、図31に示した一連の処理に加えて、さらにステップS501の処理が行われる。また、判定部5523は、修正量 $\Delta\xi$ に基づいて補正部5522による補正が必要であるか否かを判定するために、所定の閾値として、例えば、 -5 度以上から $+5$ 度までの範囲を、あらかじめ記憶している。

[0407] ステップS501において、判定部5523は、修正量 $\Delta\xi$ に基づいて補正部5522による補正が必要であるか否かを判定する。

[0408] 判定部5523は、修正量 $\Delta\xi$ が所定の範囲を超える場合には、補正が必要であると判定する（ステップS501：Yes）。そして、判定部5523は、補正が必要である旨を示す判定結果を補正部5522に出力する。補正部5522は、補正が必要である旨を示す判定結果を受け付けると、S406の処理に進み、インピーダンス Z_2 を補正する。

[0409] 判定部5523は、修正量 $\Delta\xi$ が所定の範囲内にある場合には、補正が必要でないと判定する（ステップS501：No）。そして、判定部5523は、補正が必要でない旨を示す判定結果を補正部5522に出力する。補正部5522は、補正が必要でない旨を示す判定結果を受け付けると、ステップS407へ進む。

[0410] なお、本実施形態においては、判定部5523は、修正量 $\Delta\xi$ を用いて補正が必要であるか否かを判定したがこれに限らない。判定部5523は、例えば、インピーダンス測定装置5から出力される交流電流 I_1 及び I_2 の周波数を用いて補正が必要か否かを判定してもよい。

[0411] ここで、インピーダンスの測定に用いられる交流電流 I_1 及び I_2 の周波数と、補正部5522による補正の必要性との関係について説明する。

[0412] 図35は、燃料電池スタック1のインピーダンスの測定に用いられる交流電流の周波数と、インピーダンスの測定結果との関係の一例を示す図である。一般に、このような図は、ナイキスト線図と称される。

[0413] 図35においては、交流電流の周波数を変化させたときの燃料電池スタッ

ク 1 のインピーダンスの特性が示されている。図 3 5 に示すように、交流電流の周波数が高くなるほど、インピーダンスの位相角が進む。また、交流電流の周波数が低くなるほど、インピーダンスの位相角が遅れる。

[0414] インピーダンス Z_H は、周波数が概ね 1 K H z よりも高い周波数の交流電流を用いたときの測定結果である。なお、このような高周波の交流電流を用いた測定は、H F R (High Frequency Resistance) 測定と称される。

[0415] インピーダンス Z_L は、周波数が H F R 測定にて用いられた交流電流の周波数よりも低い周波数の交流電流を用いたときの測定結果である。なお、このような、H F R 測定にて用いられた低周波数の交流電流を用いて測定されたインピーダンスを、L F I (Low Frequency Impedance) と呼ぶことにする。

[0416] 図 3 5 に示したように、インピーダンス Z_H は、実軸近傍にあるため、位相角の遅れが発生しにくい。したがって、インピーダンス Z_1 及び Z_2 の位相角の遅れが小さくなり、インピーダンス Z_1 とインピーダンス Z_2 との間で位相差 ϕ が小さくなりやすい。位相差 ϕ が小さい場合には、位相差 ϕ がゼロになるように交流電流 I_2 の位相が修正されるため、交流電流 I_2 の位相の修正量 $\Delta \xi$ は小さくなる。

[0417] そして、修正量 $\Delta \xi$ が小さくなるほど、インピーダンス Z_2 に含まれる位相修正部 6 0 0 による位相の修正に起因する誤差が小さくなる。そのため、インピーダンス Z_2 は、補正部 5 5 2 2 により補正されなくても、概ね正確な値となる。したがって、H F R 測定においては、補正部 5 5 2 2 による補正の必要性は低い。

[0418] 一方、インピーダンス Z_L は、実軸から離れているため、位相角の遅れが発生しやすい。したがって、インピーダンス Z_1 及び Z_2 の位相角の遅れが大きくなり、位相差 ϕ が大きくなりやすい。位相差 ϕ が大きい場合には、交流電流 I_2 の位相の修正量 $\Delta \xi$ は大きくなる。

[0419] そして、修正量 $\Delta \xi$ が大きくなるほど、インピーダンス Z_2 に含まれる、位相修正部 6 0 0 による位相の修正に起因する誤差が大きくなる。したがっ

て、L F I 測定においては、補正部 5 5 2 2 による補正の必要性は高い。

[0420] そのため、判定部 5 5 2 3 は、補正が必要であるか否かを判定するために、基準周波数として、例えば 1 K H z を記憶している。ステップ S 5 0 1 において、判定部 5 5 2 3 は、交流電流 I 1 及び I 2 の周波数と基準周波数とを比較し、交流電流 I 1 及び I 2 の周波数が基準周波数よりも小さい場合には、補正が必要であると判定する（ステップ S 5 0 1 : Y e s）。一方、判定部 5 5 2 3 は、交流電流 I 1 及び I 2 の周波数が、基準周波数以上である場合には、補正が必要でないと判定する（ステップ S 5 0 1 : N o）。

[0421] このように、本発明の第 1 0 実施形態によれば、判定部 5 5 2 3 は、補正が必要か否かを判定する。そして、補正部 5 5 2 2 は、判定部 5 5 2 3 により補正の必要がないと判定された場合には、補正部 5 5 2 2 による補正処理を省略することができる。したがって、インピーダンス測定装置 5 の処理負荷を軽減することができる。

[0422] また、交流電流 I 2 の位相が修正される修正量 $\Delta \xi$ が小さければ、インピーダンス Z 2 の位相角に生じる交流電流 I 2 の位相の修正に起因する誤差が小さくなる。したがって、インピーダンス Z 2 は概ね正確な値となる。そのため、判定部 5 5 2 3 は、補正部 5 5 2 2 による補正が必要ないと判定する。このように、必要に応じて補正部 5 5 2 2 による補正処理を省略することができるため、インピーダンス測定装置 5 の処理負荷を軽減することができる。

[0423] また、燃料電池スタック 1 のインピーダンスを測定する交流電流 I 1 及び I 2 の周波数が高くなると、図 3 5 のナイキスト線図に示されるように、インピーダンス Z 1 及び Z 2 は、実軸近傍にあり、位相角が小さくなる。したがって、インピーダンス Z 1 とインピーダンス Z 2 との位相差 ϕ が小さくなりやすい。位相差 ϕ がゼロになるように交流電流 I 2 の位相が修正されるため、位相差 ϕ が小さい時には、交流電流 I 2 の位相の修正量 $\Delta \xi$ は小さくなる。このように交流電流 I 2 の位相の修正量 $\Delta \xi$ が小さければ、インピーダンス Z 2 に含まれる、交流電流 I 2 の位相の修正に起因する誤差が小さくな

る。

[0424] したがって、インピーダンス Z_2 は概ね正確な値となるため、判定部5523は、補正部5522による補正が必要ないと判定する。補正部5522は、判定部5523により補正が必要ないと判定された場合には、補正を行わない。このように、必要に応じて補正部5522による補正処理を省略することができるため、インピーダンス測定装置5の処理負荷を軽減することができる。

[0425] (第11実施形態)

第10実施形態では、判定部5523は、補正部5522による補正が必要か否かを判定する例について説明した。第11実施形態においては、判定部5523が、補正部5522による補正が必要か否かを判定する他の方法について説明する。

[0426] 図36は、本実施形態の演算部550の構成を示す図である。演算部550においては、図33に示した判定部5523は、算出部5521からインピーダンス Z_1 及び Z_2 を受け付ける。なお、以下では、図33に示した演算部550と同じ構成については、同じ符号を付し、説明を省略する。

[0427] 算出部5521は、算出したインピーダンス Z_1 及び Z_2 を、補正部5522に出力する。算出部5521は、算出したインピーダンス Z_1 及び Z_2 を、さらに、判定部5523に出力する。

[0428] 判定部5523は、インピーダンス Z_1 及び Z_2 を用いて、燃料電池スタック1の状態が正常か否かを判定する。

[0429] ここで、燃料電池スタック1の状態が正常である場合には、インピーダンス Z_2 の測定結果に誤差が生じにくいため、補正部5522による補正の処理は必要ない。一方、燃料電池スタック1の状態が正常でない場合には、インピーダンス Z_2 の測定結果に誤差が生じやすいため、補正部5522による補正の処理が必要である。

[0430] そのため、補正部5522は、判定部5523により燃料電池スタック1の状態が正常と判定された場合には、インピーダンス Z_2 を補正しない。一

方、補正部 5522 は、判定部 5523 により燃料電池スタック 1 の状態が正常でないと判定された場合には、インピーダンス Z_2 を補正する。

[0431] ここで、本実施形態のインピーダンス測定装置 5 による動作について詳細に説明する。インピーダンス測定装置 5 は、図 34 に示した動作と同様の処理を行う。以下では、ステップ S501 の処理を中心に説明する。

[0432] 一般に、燃料電池スタック 1 の状態が正常であれば、算出部 5521 により算出されるインピーダンス Z_2 の実軸成分 Z_{2r} は所定の範囲内の値となる。そのため、判定部 5523 は、燃料電池スタック 1 の状態が正常であるか否かを判定するために、例えば、 $1\ \Omega$ 以上であり、かつ、 $2\ \Omega$ 未満である範囲を、所定の实軸範囲として記憶している。

[0433] ステップ S501 において、判定部 5523 は、補正部 5522 による補正が必要か否かを判定するために、インピーダンス Z_2 の実軸成分 Z_{2r} が、所定の实軸範囲内にあるか否かを判定する。

[0434] 判定部 5523 は、実軸成分 Z_{2r} が所定の实軸範囲内にある場合には、燃料電池スタック 1 の状態が正常であり、補正部 5522 による補正の必要がないと判定する（ステップ S501 : No）。

[0435] 一方、判定部 5523 は、実軸成分 Z_{2r} が所定の实軸範囲を超える場合には、燃料電池スタック 1 の状態が正常でなく、補正部 5522 による補正の必要があると判定する（ステップ S501 : Yes）。

[0436] なお、本実施形態においては、判定部 5523 は、インピーダンス Z_2 の実軸成分 Z_{2r} を用いて、燃料電池スタック 1 の状態が正常か否かを判定したが、これに限らない。判定部 5523 は、インピーダンス Z_2 の虚軸成分 Z_{2x} を用いて、燃料電池スタック 1 の状態が正常か否かを判定してもよい。

[0437] また、判定部 5523 は、正極側のインピーダンス Z_1 を用いて、燃料電池スタック 1 の状態が正常か否かを判定してもよい。また、判定部 5523 は、インピーダンス Z_1 及び Z_2 の両方を用いて、燃料電池スタック 1 の状態が正常か否かを判定してもよい。

[0438] このように、本発明の第 1 1 実施形態によれば、判定部 5 5 2 3 は、燃料電池スタック 1 の状態が正常であるか否かを判定する。ここで、燃料電池スタック 1 の状態が正常である場合には、インピーダンス Z_2 の測定結果に誤差が生じにくいため、補正部 5 5 2 2 による補正の必要性は低い。一方、燃料電池スタック 1 の状態が正常でない場合には、インピーダンス Z_2 の測定結果に誤差が生じやすいため、補正部 5 5 2 2 による補正の必要性が高い。

[0439] そのため、補正部 5 5 2 2 は、判定部 5 5 2 3 により燃料電池スタック 1 の状態が正常であると判断された場合には、インピーダンス Z_2 を補正しない。このように、必要に応じて補正部 5 5 2 2 による補正処理を省略することができるため、インピーダンス測定装置 5 の処理負荷を軽減することができる。

[0440] また、判定部 5 5 2 3 は、算出されたインピーダンス Z_2 が所定の範囲内にあるか否かを判定し、その判定結果に応じて燃料電池スタック 1 の状態が正常であるか否かを判定する。そして、補正部 5 5 2 2 は、判定部によりインピーダンス Z_2 が所定の範囲内にあると判定された場合には、インピーダンス Z_2 を補正しない。このように、必要に応じて補正部 5 5 2 2 による補正処理を省略することができるため、インピーダンス測定装置 5 の処理負荷を軽減することができる。

[0441] (第 1 2 実施形態)

第 1 0 実施形態及び第 1 1 実施形態では、判定部 5 5 2 3 は、補正部 5 5 2 2 による補正が必要か否かを判定する例について説明した。第 1 2 実施形態においては、判定部 5 5 2 3 が、補正部 5 5 2 2 による補正が必要か否かを判定するさらに他の方法について説明する。

[0442] 図 3 7 は、本実施形態のインピーダンス測定装置 5 の構成を示す図である。本実施形態のインピーダンス測定装置 5 は、図 2 2 に示したインピーダンス測定装置 5 が、さらに、収集部 8 0 0 を有する。なお、図 2 2 に示したインピーダンス測定装置 5 と同じ構成については、同じ符号を付し、説明を省

略する。

[0443] 収集部 800 は、燃料電池スタック 1 による発電状況に応じて変化する発電情報を収集する。例えば、収集部 800 は、燃料電池スタック 1 に供給される冷却水の温度や、燃料電池スタック 1 に供給されるガス圧力や、燃料電池スタック 1 の出力電圧などを、発電情報として収集する。収集部 800 は、収集した発電情報を、判定部 5523 に出力する。

[0444] 判定部 5523 は、燃料電池スタック 1 の状態が正常か否かを判断するために、発電情報についての所定の基準を記憶している。判定部 5523 は、収集部 800 により収集された発電情報が所定の基準を満たすか否かを判定する。

[0445] ここで、収集部 800 により収集された発電情報が所定の基準を満たす場合には、燃料電池スタック 1 の状態が正常であり、インピーダンス Z_2 は正確な値であることが多い。そのため、補正部 5522 による補正の必要性は低い。

[0446] 一方、収集部 800 により収集された発電情報が所定の基準を満たさない場合には、燃料電池スタック 1 の状態が正常でなく、インピーダンス Z_2 は正常でない値であることが多い。そのため、補正部 5522 による補正の必要性は高い。

[0447] したがって、補正部 5522 は、収集部 800 により収集された発電情報が所定の基準を満たす場合には、インピーダンス Z_2 を補正しない。一方、補正部 5522 は、収集部 800 により収集された発電情報が所定の基準を満たさない場合には、インピーダンス Z_2 を補正する。

[0448] ここで、本実施形態のインピーダンス測定装置 5 による動作について詳細に説明する。インピーダンス測定装置 5 は、図 34 に示した処理と同様の処理を行う。以下では、ステップ S501 の処理を中心に説明する。

[0449] ステップ S501 において、判定部 5523 は、補正部 5522 による補正が必要か否かを判定するために、収集部 800 により収集された発電情報が所定の基準を満たすか否かを判定する。そして、判定部 5523 は、判定

結果を補正部 5 5 2 2 に出力する。

[0450] 判定部 5 5 2 3 は、収集部 8 0 0 により収集された発電情報が所定の基準を満たす場合には、燃料電池スタック 1 の状態が正常であると判定する（ステップ S 5 0 1 : N o）。

[0451] 一方、判定部 5 5 2 3 は、収集部 8 0 0 により収集された発電情報が所定の基準を満たさない場合には、燃料電池スタック 1 の状態が正常でないと判定する（ステップ S 5 0 1 : Y e s）。

[0452] 例えば、燃料電池スタック 1 の状態が正常であれば、燃料電池スタック 1 の温度は摂氏 9 0 度程度である。そこで、燃料電池スタック 1 の異常な状態を特定するために、収集部 8 0 0 により燃料電池スタック 1 の温度が測定される。一方、判定部 5 5 2 3 は、例えば、摂氏 5 0 度以上であり、かつ、摂氏 9 5 度未満である範囲を、所定の温度範囲として、あらかじめ記憶している。

[0453] 判定部 5 5 2 3 は、収集部 8 0 0 により測定された燃料電池スタック 1 の温度が所定の温度範囲を超える場合には、燃料電池スタック 1 の状態が正常でなく、補正部 5 5 2 2 による補正の必要があると判定する（ステップ S 5 0 1 : Y e s）。

[0454] 一方、判定部 5 5 2 3 は、収集部 8 0 0 により測定された燃料電池スタック 1 の温度が所定の温度範囲内にある場合には、燃料電池スタック 1 の状態が正常であり、補正部 5 5 2 2 による補正の必要がないと判定する（ステップ S 5 0 1 : N o）。

[0455] また、燃料電池スタック 1 の状態が正常であれば、燃料電池スタック 1 に供給されるガス圧力は、1 1 0 K P a ~ 2 5 0 K P a 程度である。そこで、燃料電池スタック 1 の異常な状態を特定するために、収集部 8 0 0 により燃料電池スタック 1 に供給されるガス圧力が測定される。一方、判定部 5 5 2 3 は、所定の圧力範囲として、例えば、1 0 0 K P a 以上であり、かつ、2 7 0 K P a 未満である範囲を、所定の圧力範囲として記憶している。

[0456] 判定部 5 5 2 3 は、収集部 8 0 0 により測定されたガス圧力が所定の圧力

範囲を超える場合には、燃料電池スタック 1 の状態が正常でなく、補正部 5522 による補正の必要があると判定する（ステップ S501 : Yes）。

[0457] 一方、判定部 5523 は、収集部 800 により測定されたガス圧力が所定のガス圧力範囲内にある場合には、燃料電池スタック 1 の状態が正常であり、補正部 5522 による補正の必要がないと判定する（ステップ S501 : No）。

[0458] なお、本実施形態においては、判定部 5523 は、マイコンチップ 552 内に設けられたが、これに限らない。例えば、判定部 5523 は、収集部 800 内に設けられてもよい。

[0459] また、本実施形態においては、判定部 5523 が、収集部 800 により収集された発電情報が所定の基準を満たすか判定し、その判定結果に応じて補正部 5522 による補正が必要であるか否かを判定したが、これに限らない。判定部 5523 は、収集部 800 により収集された発電情報が所定の基準を満たすかを判定し、その判定結果に応じて補正部 5522 による補正が必要であるか否かを判定しなくてもよい。

[0460] このような場合には、補正部 5522 は、判定部 5523 が収集部 800 により収集された発電情報が所定の基準を満たさないと判定した場合には、インピーダンス Z2 を補正する。一方、補正部 5522 は、判定部 5523 が収集部 800 により収集された発電情報が所定の基準を満たすと判定した場合には、インピーダンス Z2 を補正しない。

[0461] このように、本発明の第 12 実施形態によれば、判定部 5523 は、収集部 800 によって収集された燃料電池スタック 1 の発電状況に応じて変化する発電情報を収集し、収集した発電情報を用いて、燃料電池スタック 1 の状態が正常か否かを判断する。

[0462] ここで、第 11 実施形態においては、判定部 5523 は、位相修正部 600 による位相の修正量 $\Delta \xi$ を用いて、燃料電池スタック 1 の状態が正常か否かを判断した。ここで、例えば、燃料電池スタック 1 の正極側及び負極側の状態が同じように変化して異常な状態になってしまった場合には、インピーダ

ンス Z_1 の位相角 θ_1 とインピーダンス Z_2 の位相角 θ_2 との間に位相差 ϕ が生じず、位相修正部600により位相の修正が行われないことがある。このような場合には、位相修正部600による位相の修正量 $\Delta\phi$ がゼロのままであり、判定部5523は、燃料電池スタック1の状態が正常であるか否かの判断を誤ってしまう。

[0463] 一方、本実施形態においては、燃料電池スタック1の状態が変化すると、収集部800により収集される発電情報が変化する。したがって、上述のような燃料電池スタック1の正極側及び負極側の状態が同じように変化して異常な状態になってしまった場合でも、燃料電池スタック1全体の状態が変化しているため、収集部800により収集される発電情報が変化する。このように、判定部5523は、燃料電池スタック1の発電状況に応じて変化する発電情報を用いることにより、燃料電池スタック1の状態が正常であるか否かをより正確に判断することができる。

[0464] このように、判定部5523は、補正部5522による補正が必要か否かの判定を適切に行うことができる。そのため、補正部5522によるインピーダンス Z_2 の補正処理が適切なタイミングで省略されることにより、インピーダンス測定装置5の処理負荷を適切に低減できる。

[0465] 以上、本発明の実施形態について説明したが、上記実施形態は本発明の適用例の一部を示したに過ぎず、本発明の技術的範囲を上記実施形態の具体的構成に限定する趣旨ではない。

[0466] 例えば、上記実施形態では、インピーダンス測定装置5により燃料電池スタック1の内部インピーダンスを測定する例について説明したが、測定対象は、複数の電池セルが積層された積層電池であればよく、例えば積層型のリチウムバッテリーであってもよい。リチウムバッテリーであっても、電池セルの個体差によって正極側の静電容量 C_1 と負極側の静電容量 C_2 とに差が生じて位相差 ϕ が生じる場合がある。このような場合にも、上記実施形態と同じように本願発明の効果を得ることができる。

[0467] なお、上記実施形態は、適宜組み合わせ可能である。

[0468] 本国際出願は、2014年2月19日に日本国特許庁を受理官庁として出願された国際出願PCT／JP2014／053912に基づく優先権を主張し、この出願の全ての内容は参照により本明細書に組み込まれる。

請求の範囲

[請求項1]

複数の電池セルが積層された積層電池と、
前記積層電池の正極端子に対し、前記積層電池のインピーダンスを測定するための所定周波数の交流電流を出力する第1電源部と、
前記積層電池の負極端子に対し、前記所定周波数の交流電流を出力する第2電源部と、
前記正極端子と前記積層電池の中途点端子との間の交流電位差を検出する第1検出部と、
前記負極端子と前記中途点端子との間の交流電位差を検出する第2検出部と、
前記第1検出部により検出される交流電位差と、前記第2検出部により検出される交流電位差とが一致するように、前記第1電源部及び前記第2電源部のうちの少なくとも一方から出力される交流電流の振幅を調整する調整部と、
前記調整部により調整された交流電流と交流電位差とに基づいて、前記積層電池のインピーダンスを演算する演算部と、
前記正極端子に生じる交流電位と前記負極端子に生じる交流電位との間の位相差に基づいて、前記第1電源部及び前記第2電源部から出力される交流電流の位相差を修正する修正部と、
を含むインピーダンス測定装置。

[請求項2]

請求項1に記載のインピーダンス測定装置であって、
前記修正部は、前記位相差に基づいて、前記第1電源部から出力される交流電流の位相、又は、前記第2電源部から出力される交流電流の位相を修正する、
インピーダンス測定装置。

[請求項3]

請求項2に記載のインピーダンス測定装置であって、
前記第1電源部及び前記第2電源部のうちの一方は、前記交流電流の位相を変化させる移相回路を含み、

前記修正部は、前記位相差が小さくなるように前記移相回路から出力される電流の位相を制御する、
インピーダンス測定装置。

[請求項4] 請求項1に記載のインピーダンス測定装置であって、
前記修正部は、前記位相差に基づいて演算される漏れ電流に応じて、前記第1電源部から出力される交流電流値、及び、前記第2電源部から出力される交流電流値を補正して前記位相差を修正する、
インピーダンス測定装置。

[請求項5] 請求項1から4のいずれか1項に記載のインピーダンス測定装置であって、
前記修正部により修正される位相量に応じて、前記演算部により算出されるインピーダンスを補正する補正部をさらに含む、
インピーダンス測定装置。

[請求項6] 請求項5に記載のインピーダンス測定装置であって、
前記修正部により修正される位相量が大きいほど、前記補正部は、前記演算部により算出されるインピーダンスの位相角を大きく変化させる、
インピーダンス測定装置。

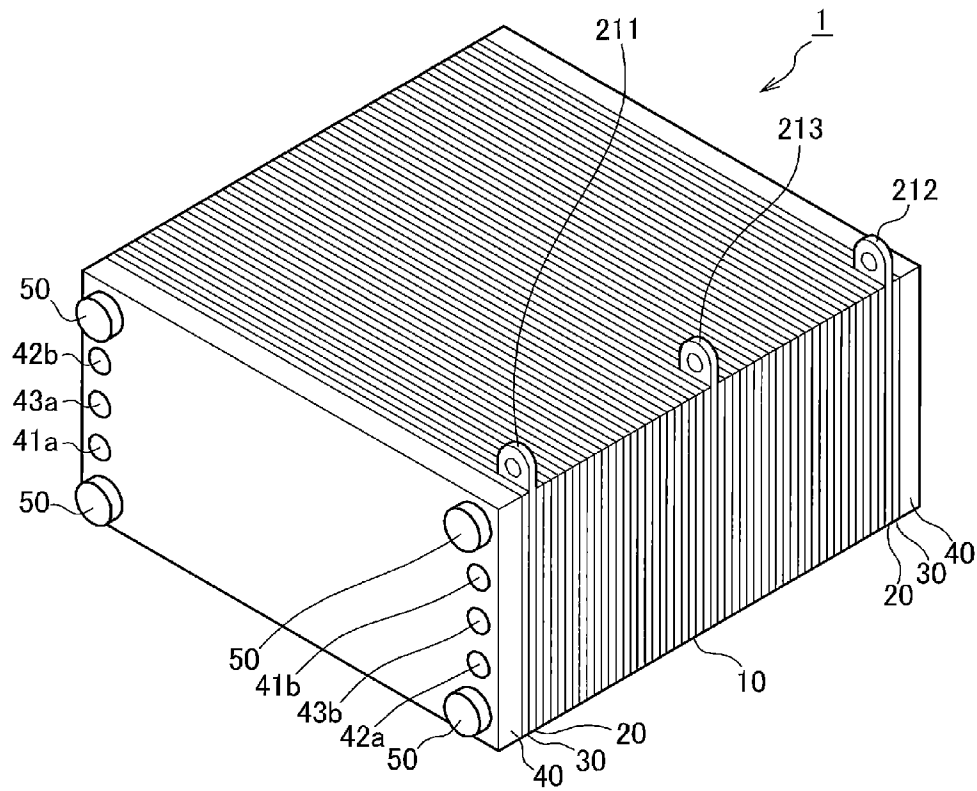
[請求項7] 請求項5または6に記載のインピーダンス測定装置であって、
前記補正部は、前記修正部によって位相が修正される方向とは逆方向に、前記演算部により算出されるインピーダンスの位相角を変化させる、
インピーダンス測定装置。

[請求項8] 請求項5から7のいずれか1項に記載のインピーダンス測定装置であって、
前記補正部は、前記演算部により算出されたインピーダンスの実部および虚部のうちの少なくとも一方を補正する、
インピーダンス測定装置。

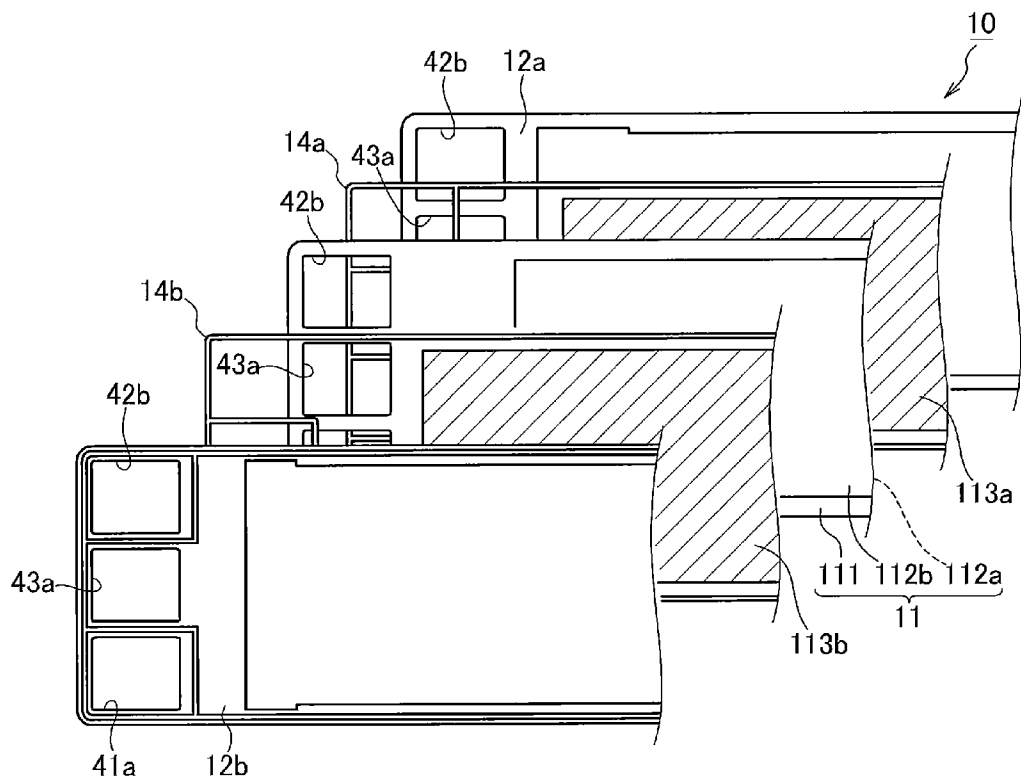
- [請求項9] 請求項5から8のいずれか1項に記載のインピーダンス測定装置であって、
 前記補正部による補正が必要か否かを判定する判定部を含み、
 前記補正部は、前記判定部により補正が必要と判定された場合には、
 前記演算部により算出されるインピーダンスを補正する、
 インピーダンス測定装置。
- [請求項10] 請求項9に記載のインピーダンス測定装置であって、
 前記判定部は、前記修正部により修正される位相角が所定の範囲を超える場合には、前記補正部による補正が必要と判定する、
 インピーダンス測定装置。
- [請求項11] 請求項9に記載のインピーダンス測定装置であって、
 前記判定部は、前記積層電池のインピーダンスの測定に用いる交流電流の周波数が所定の閾値よりも小さい場合には、前記補正部による補正が必要と判定する、
 インピーダンス測定装置。
- [請求項12] 請求項9に記載のインピーダンス測定装置であって、
 前記判定部は、さらに、前記積層電池の状態が正常か否かを判定し、
 前記補正部は、前記判定部により前記積層電池の状態が正常でないと判定された場合には、前記演算部により算出されるインピーダンスを補正する、
 インピーダンス測定装置。
- [請求項13] 請求項12に記載のインピーダンス測定装置であって、
 前記判定部は、前記演算部により算出されたインピーダンスの値が所定の範囲内にあるか否かを判定し、前記インピーダンスの値が前記所定の範囲を超える場合には、前記積層電池の状態が正常でないと判断する、
 インピーダンス測定装置。

- [請求項14] 請求項9に記載のインピーダンス測定装置であって、
前記積層電池による発電状況に応じて変化する発電情報を収集する
収集部をさらに含み、
前記判定部は、さらに、前記収集部によって収集された前記発電情
報が所定の基準を満たすか否かを判定し、
前記補正部は、前記判定部により前記発電情報が所定の基準を満た
さないと判定された場合には、前記演算部により算出されるインピー
ダンスを補正する、
ことを特徴とするインピーダンス測定装置。
- [請求項15] 複数の電池セルが積層された積層電池と、前記積層電池の正極端子
に対し、前記積層電池のインピーダンスを測定するための所定周波数
の交流電流を出力する第1電源部と、前記積層電池の負極端子に対し
、前記所定周波数の交流電流を出力する第2電源部と、を備えるイン
ピーダンス測定装置の制御方法であって、
前記正極端子と前記積層電池の中途点端子との間の交流電位差を検
出する第1検出工程と、
前記負極端子と前記中途点端子との間の交流電位差を検出する第2
検出工程と、
前記第1検出工程により検出される交流電位差と、前記第2検出工
程により検出される交流電位差とが一致するように、前記第1電源部
及び前記第2電源部のうちの少なくとも一方から出力される交流電流
の振幅を調整する調整工程と、
前記調整工程により調整された交流電流と交流電位差とに基づいて
、前記積層電池のインピーダンスを演算する演算工程と、
前記正極端子に生じる交流電位と前記負極端子に生じる交流電位と
の間の位相差に基づいて、前記第1電源部及び前記第2電源部から出
力される交流電流の位相差を修正する修正工程と、
を含むインピーダンス測定装置の制御方法。

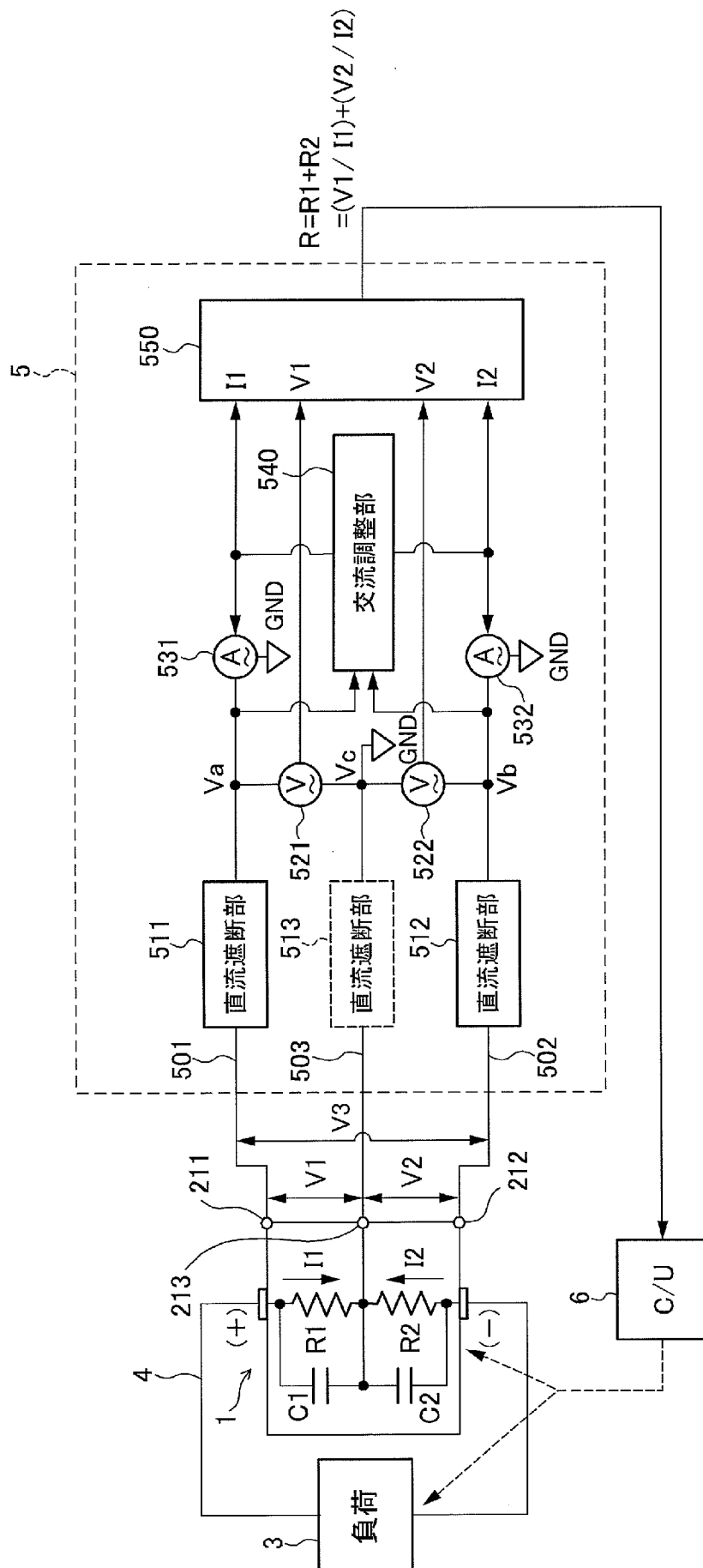
[図1A]



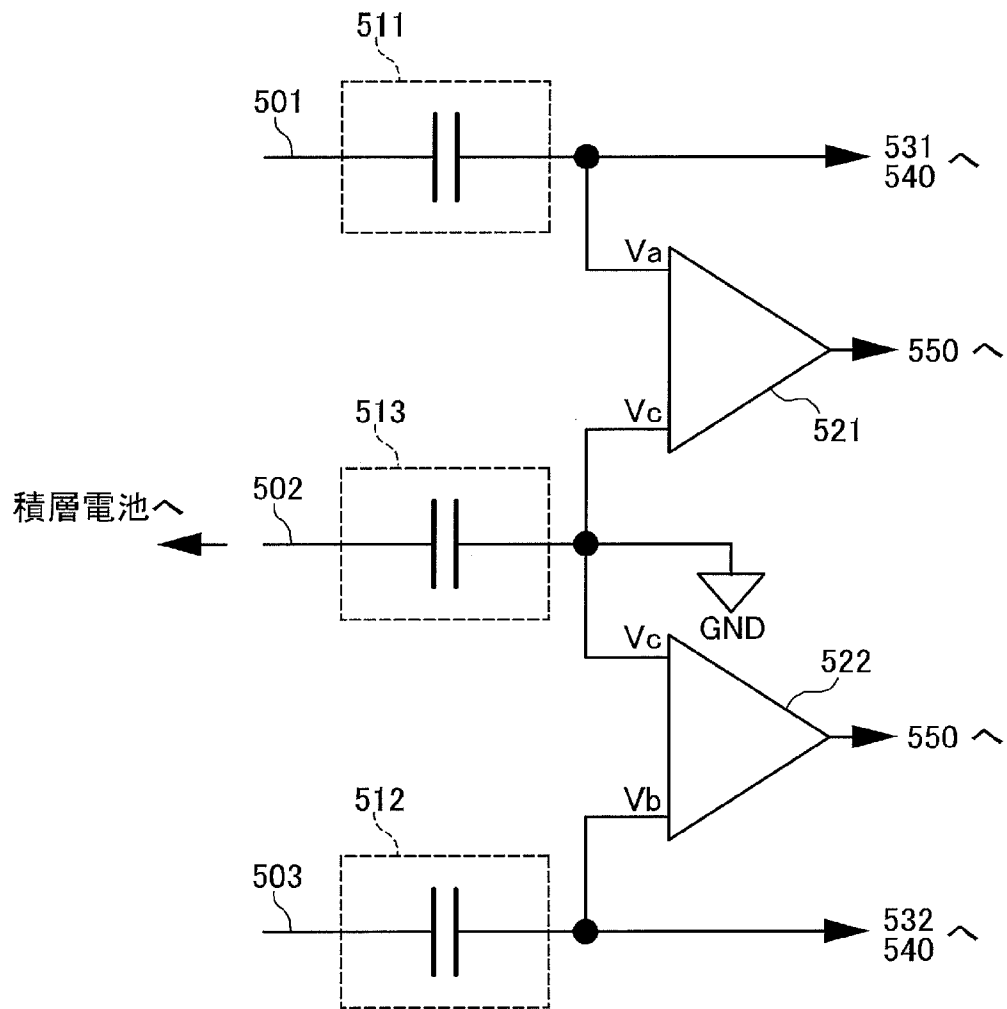
[図1B]



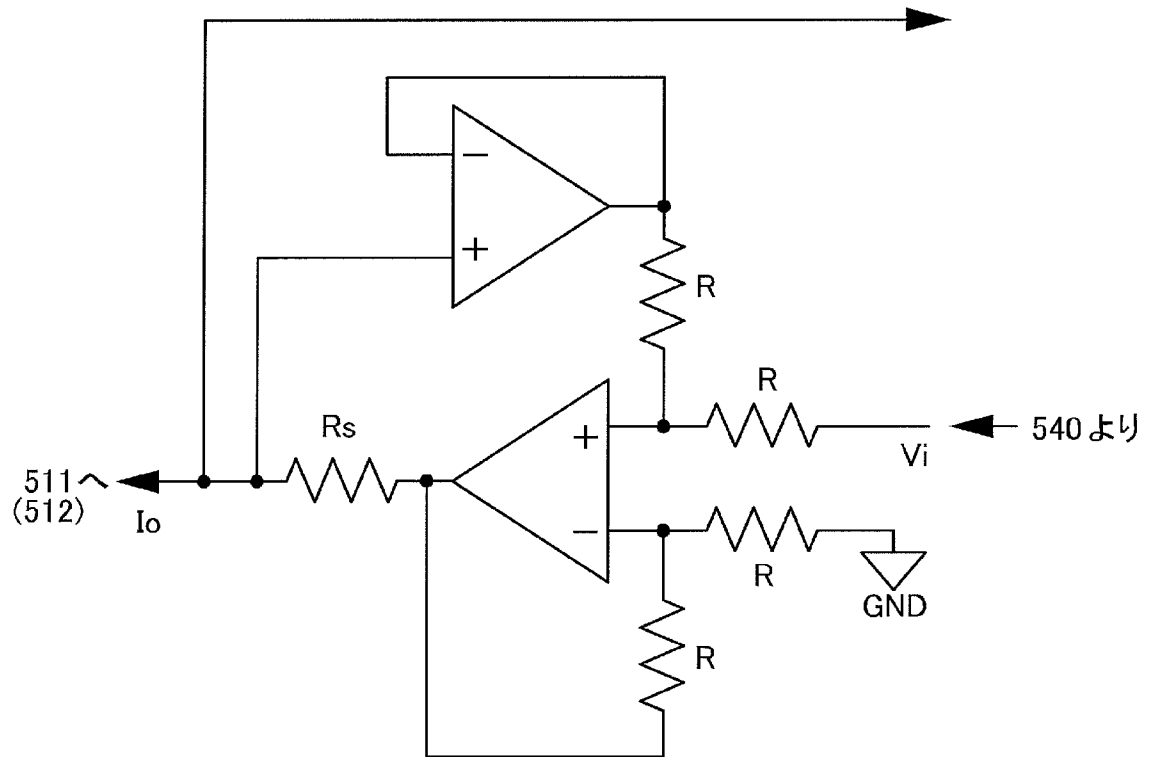
[図2]



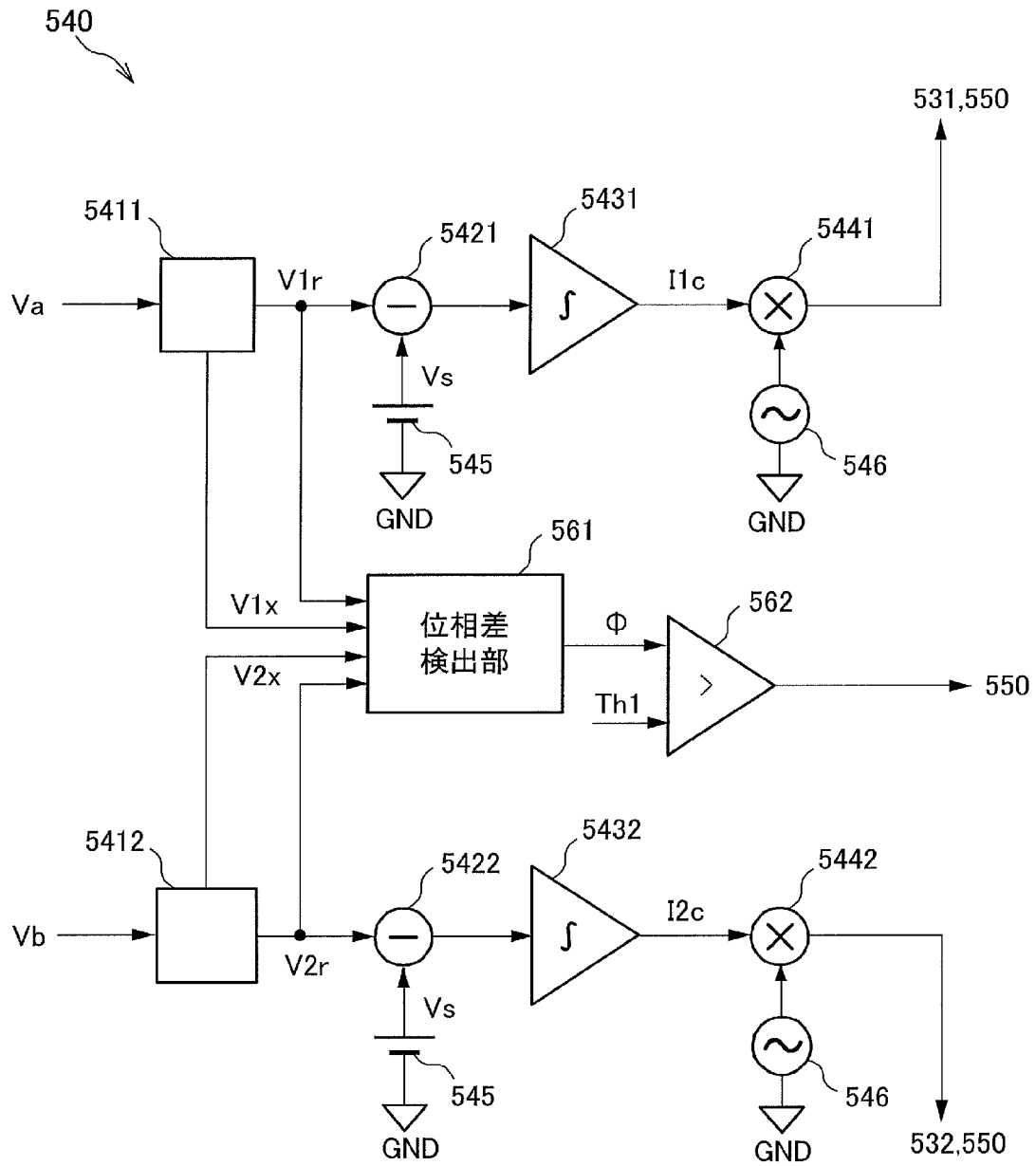
[図3]



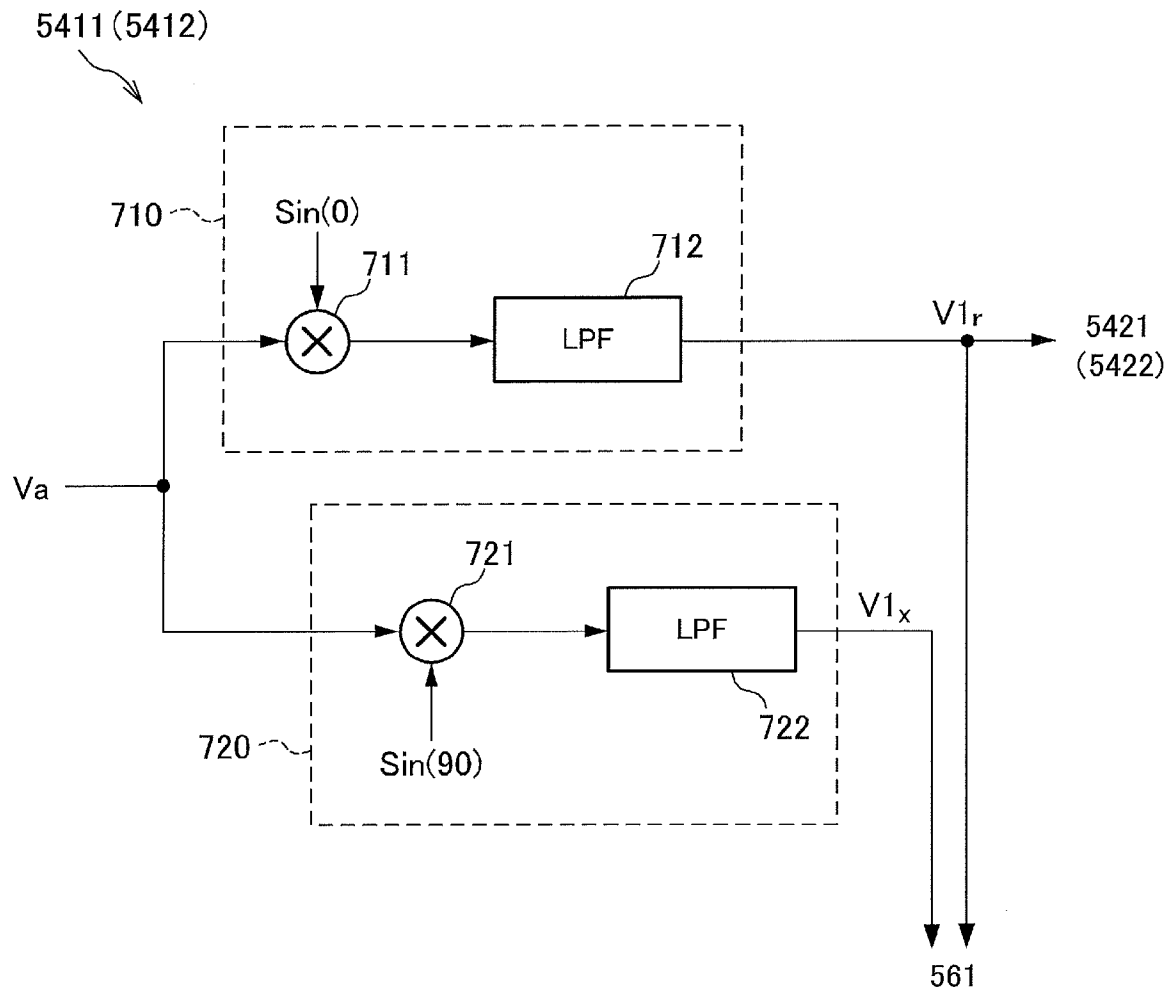
531(532)



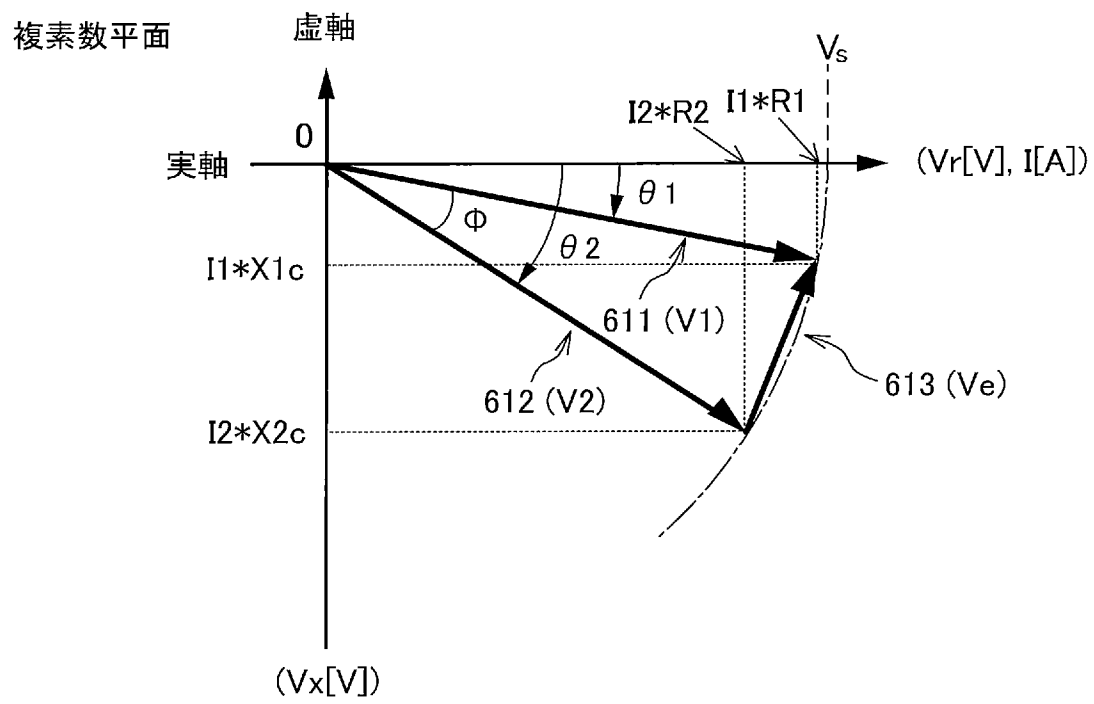
[図5]



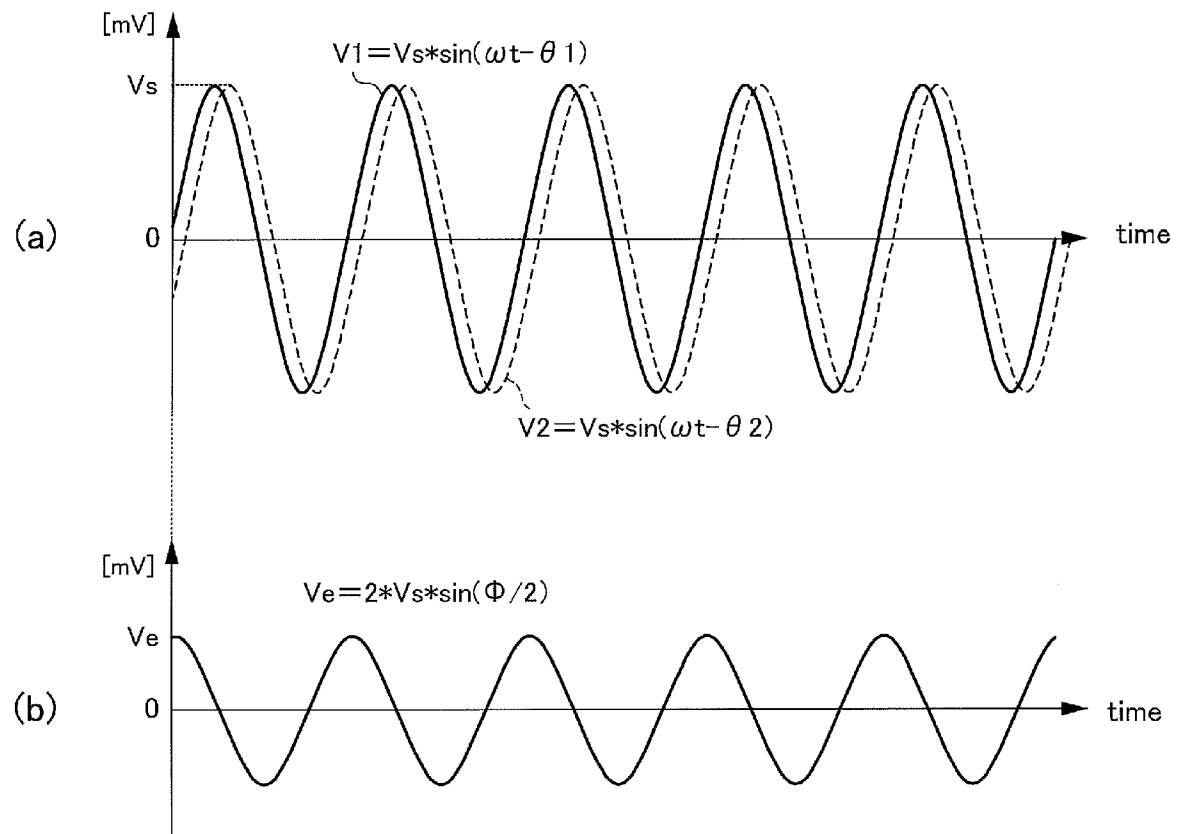
[図6]



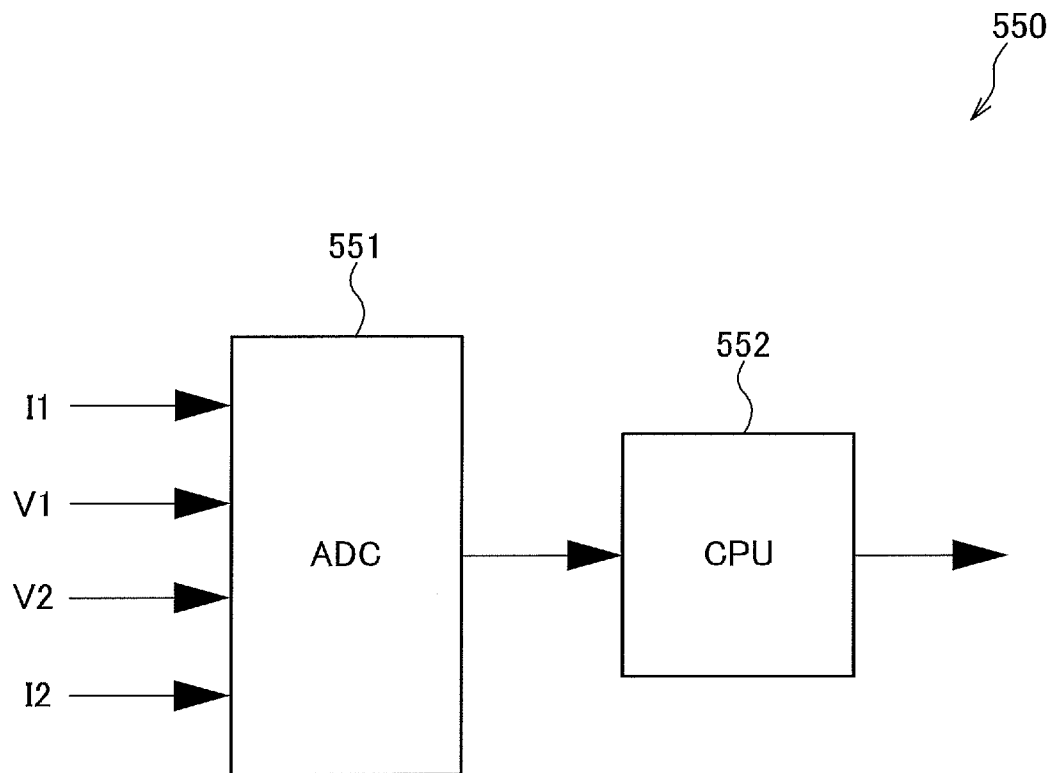
[図7]



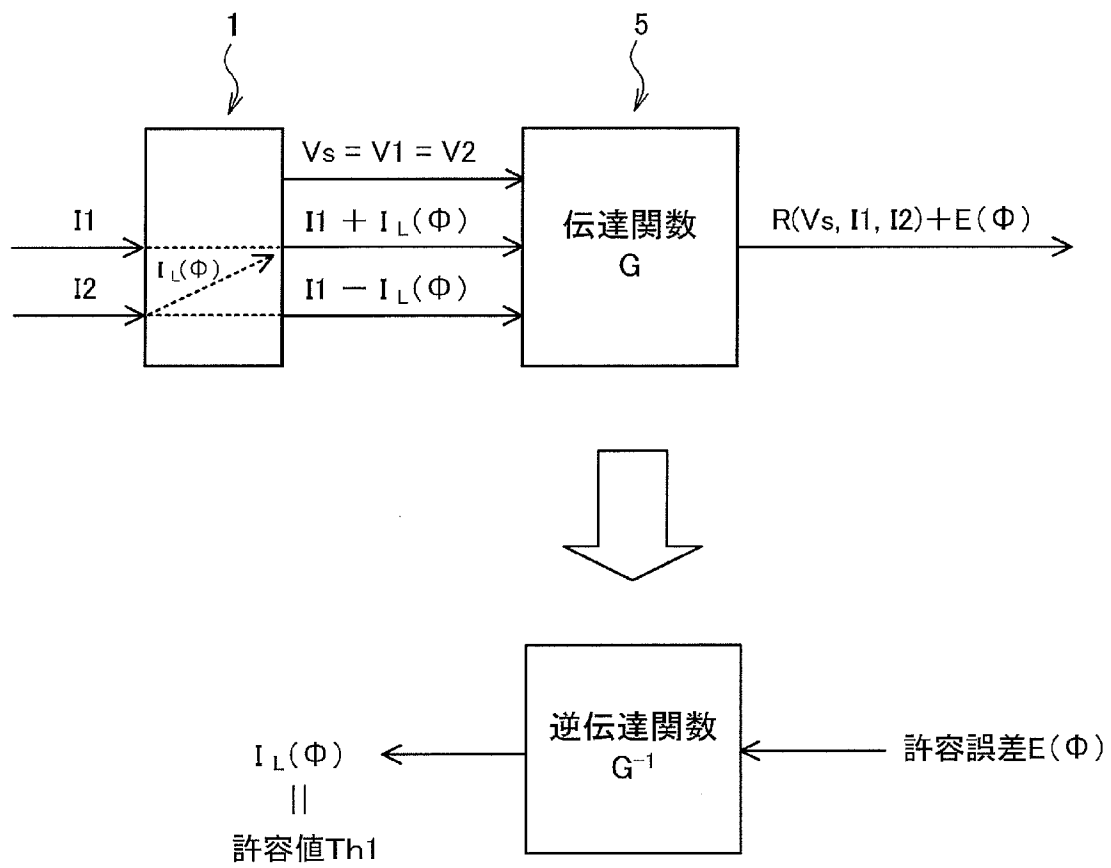
[図8]



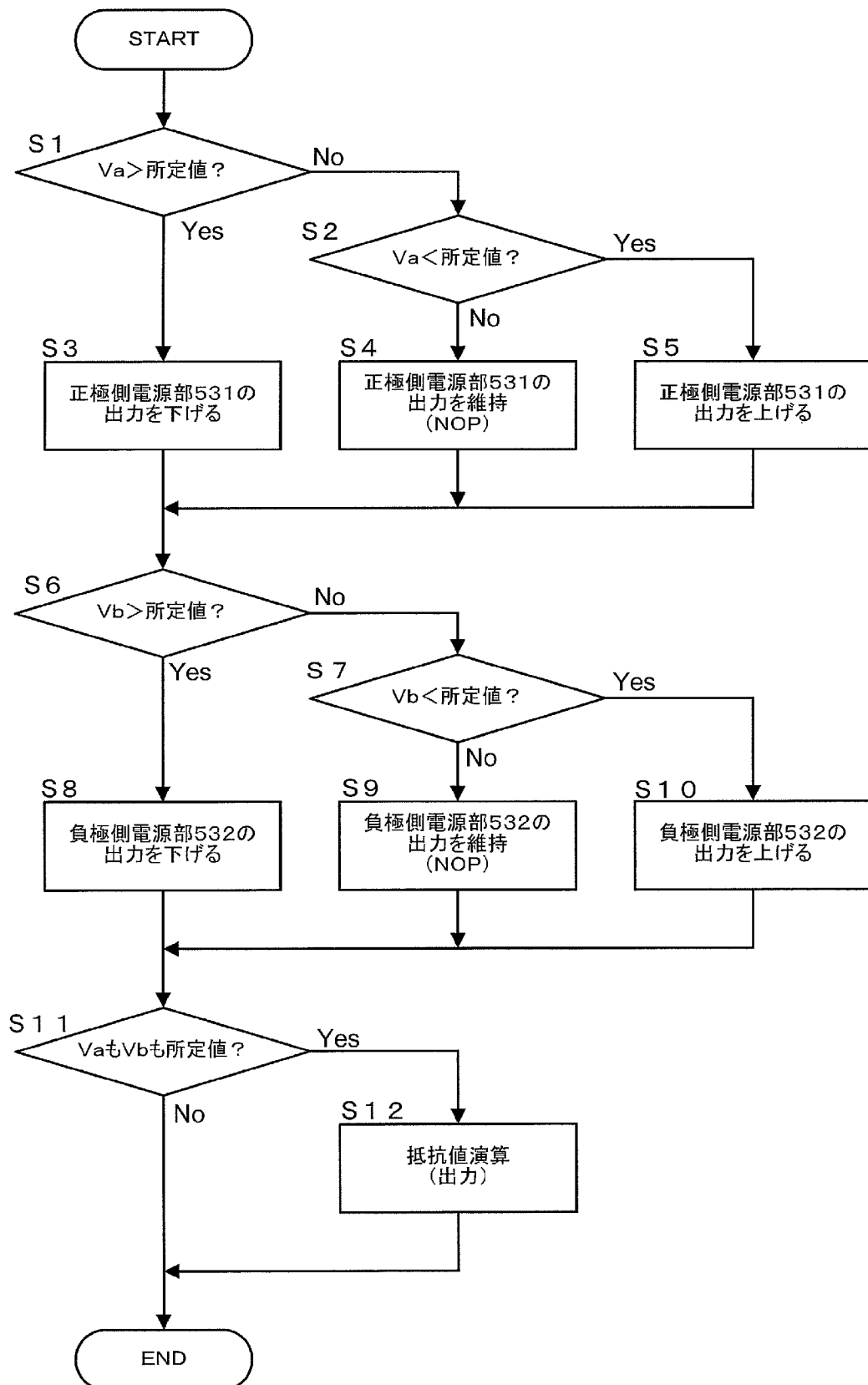
[図9]



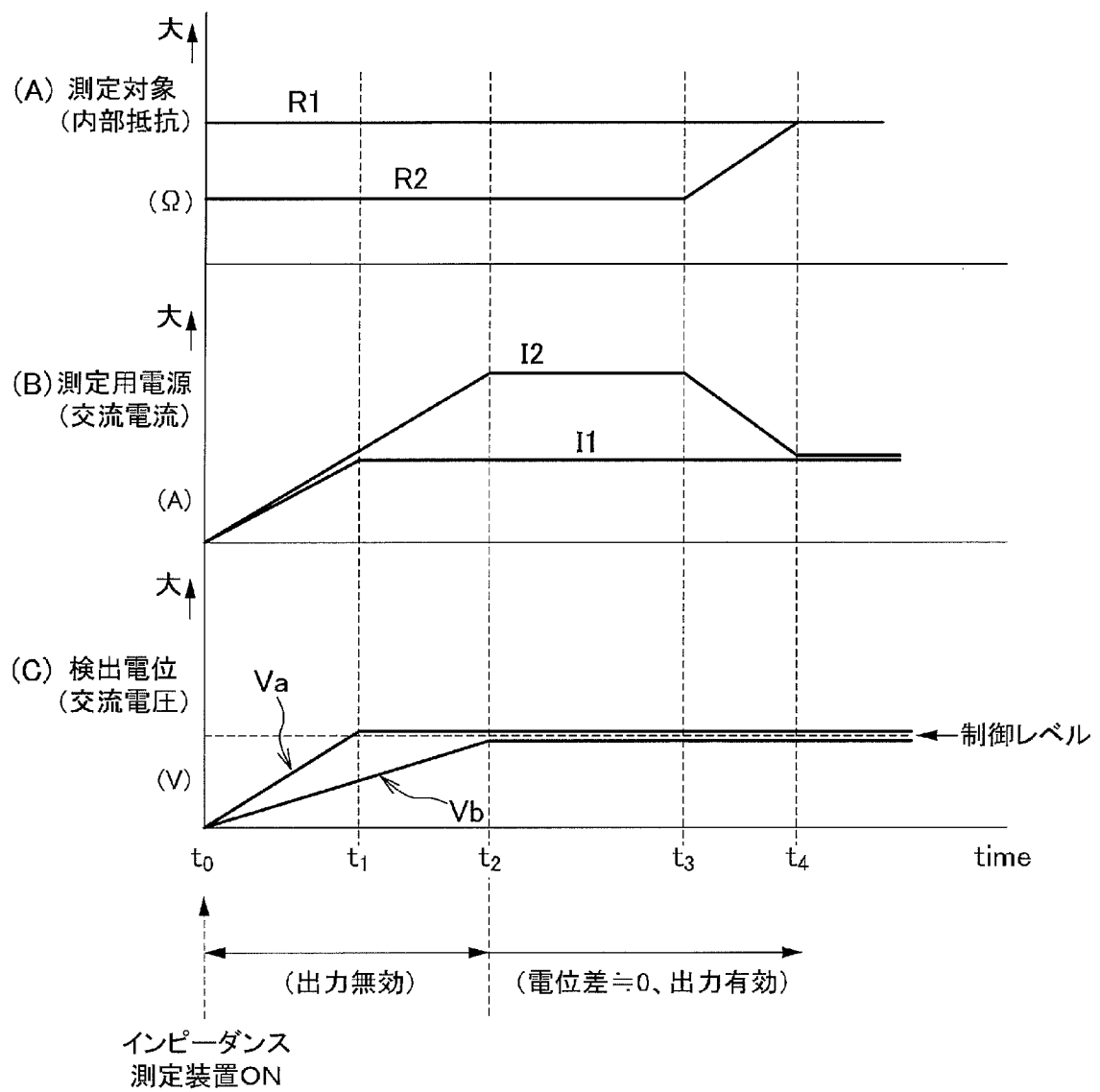
[図10]



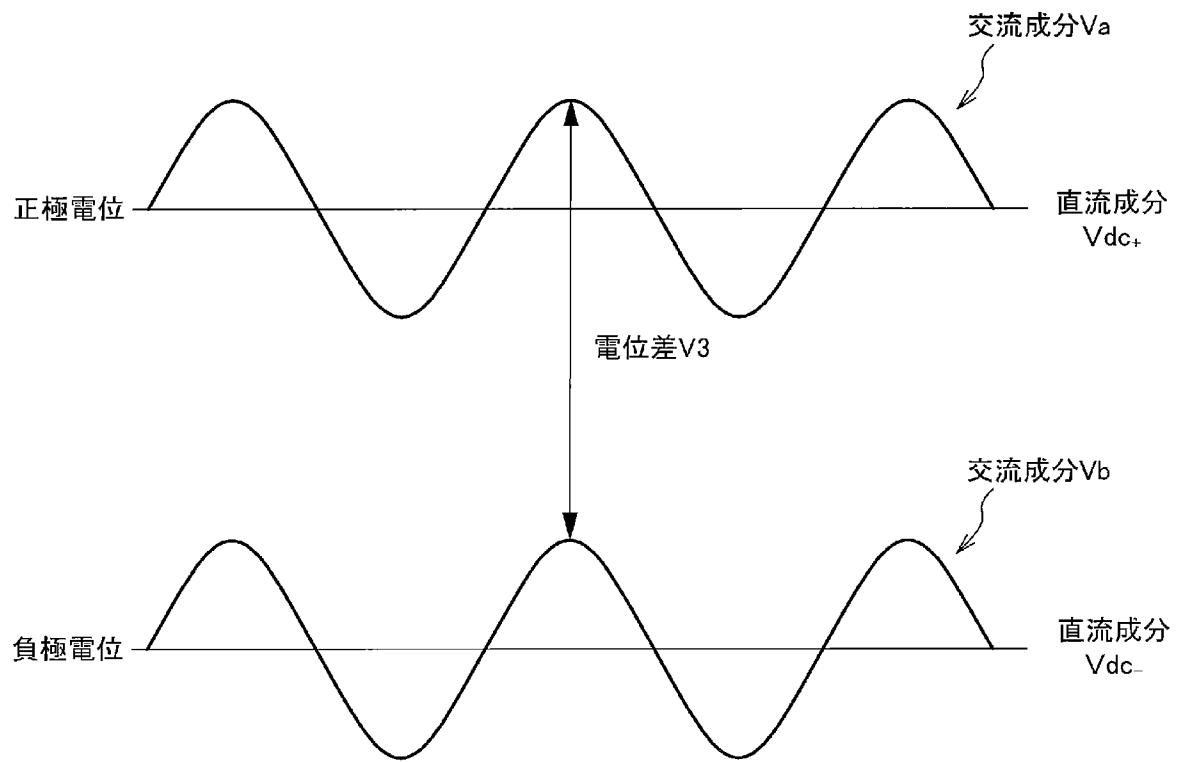
[図11]



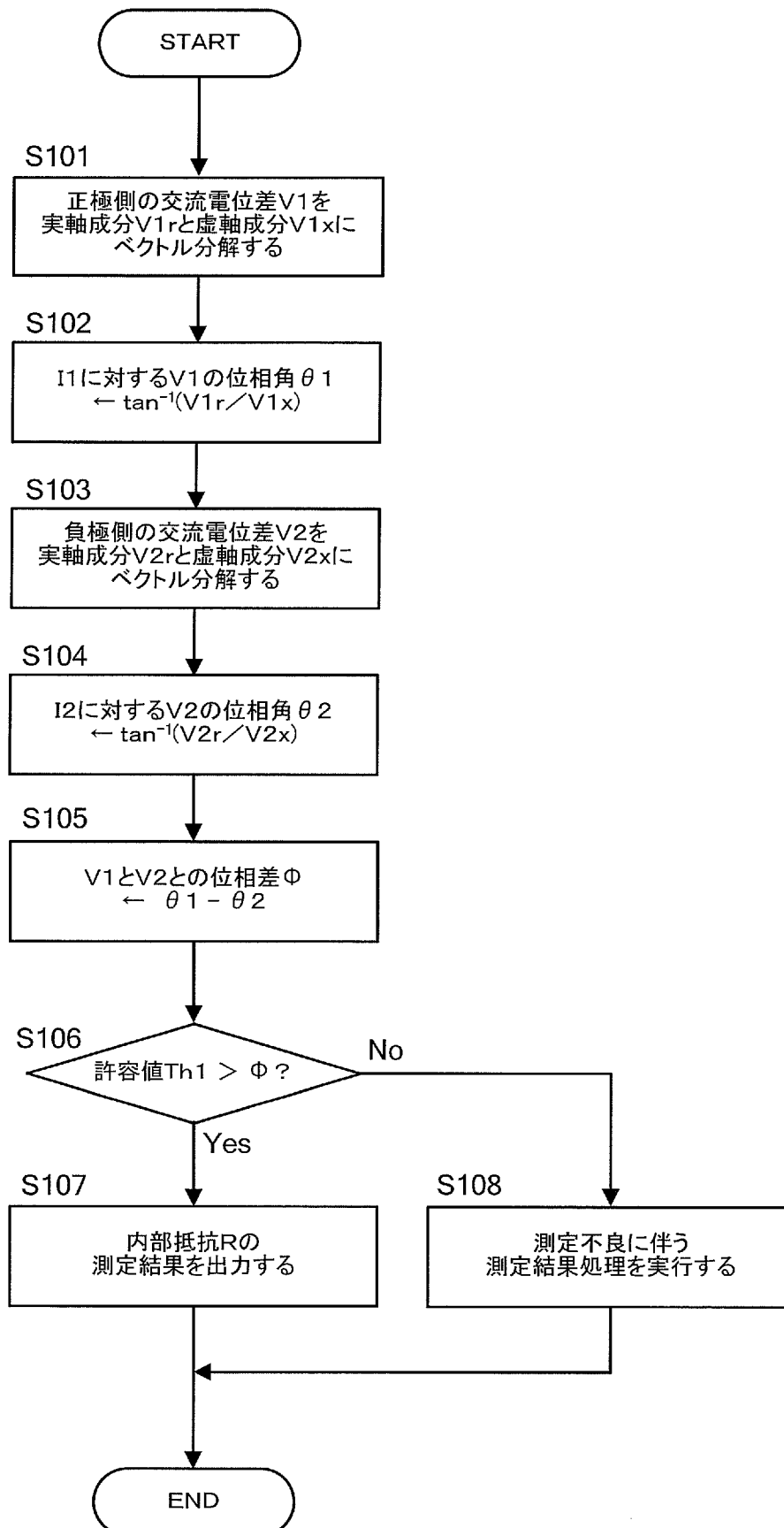
[図12]



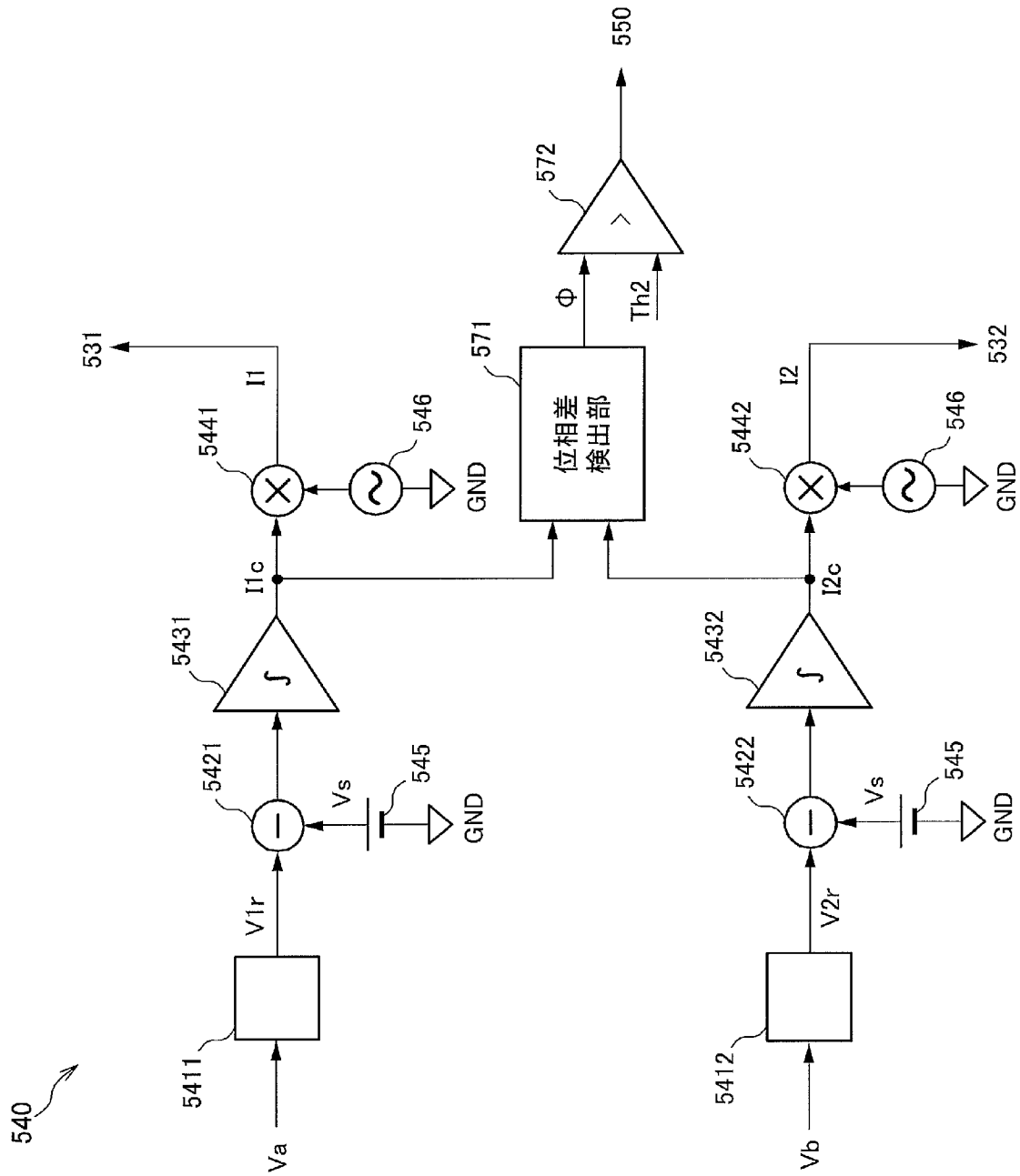
[図13]



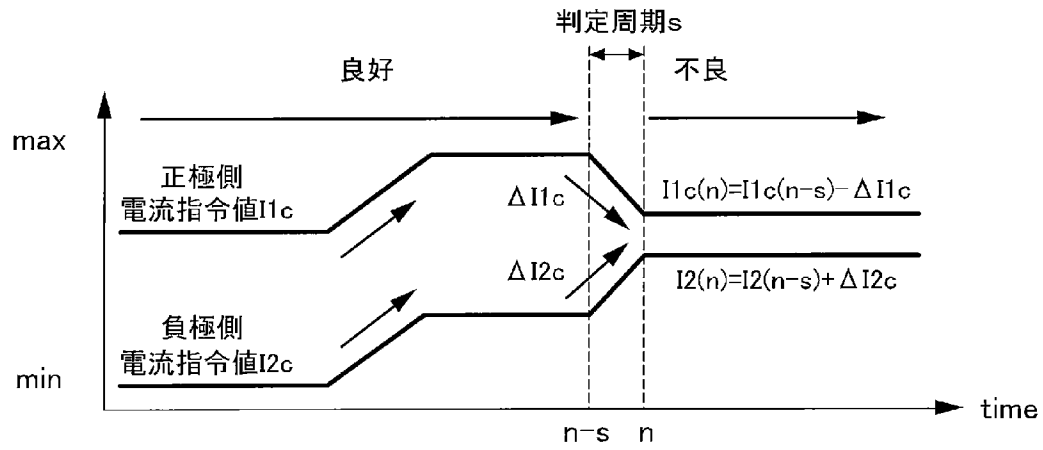
[図14]



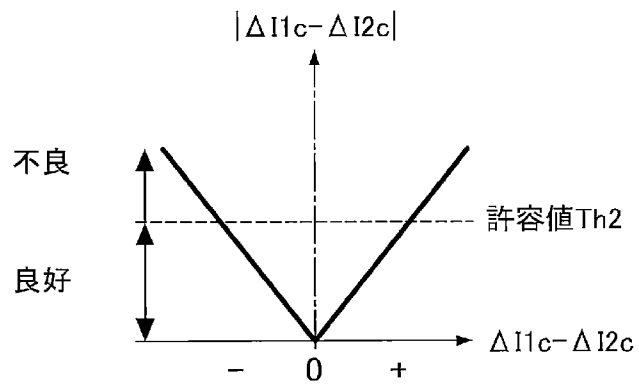
[図15]



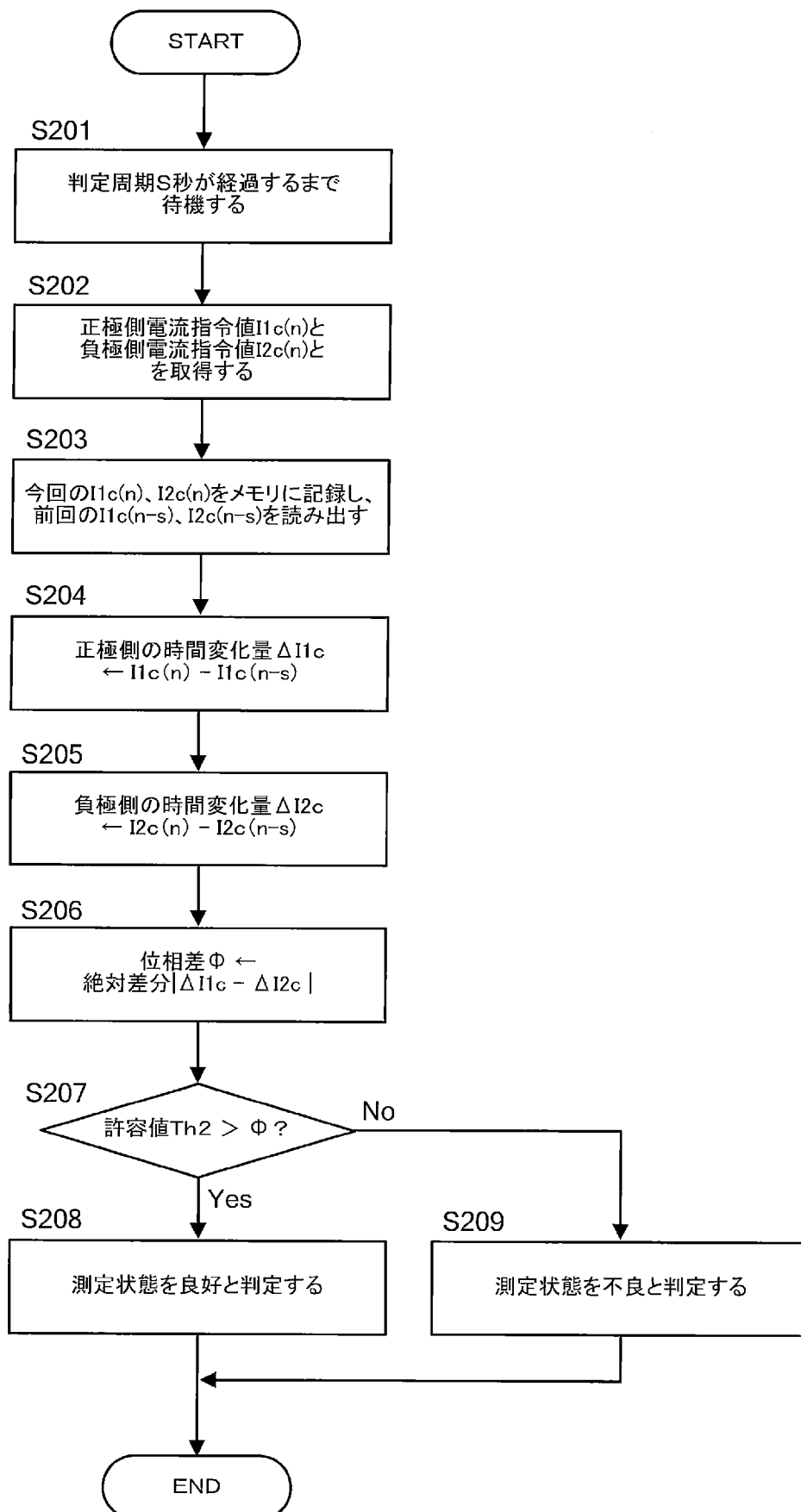
[図16A]



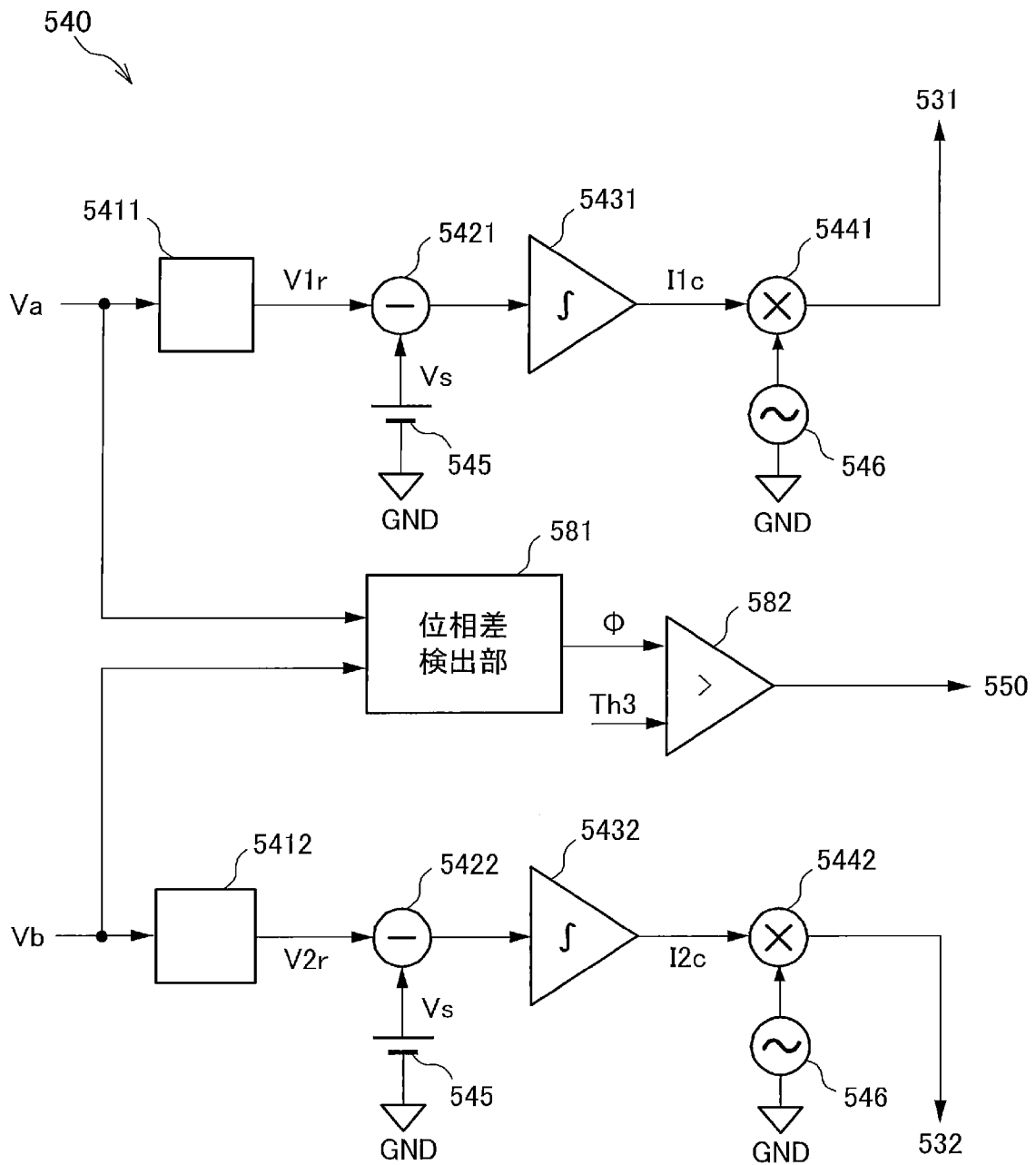
[図16B]



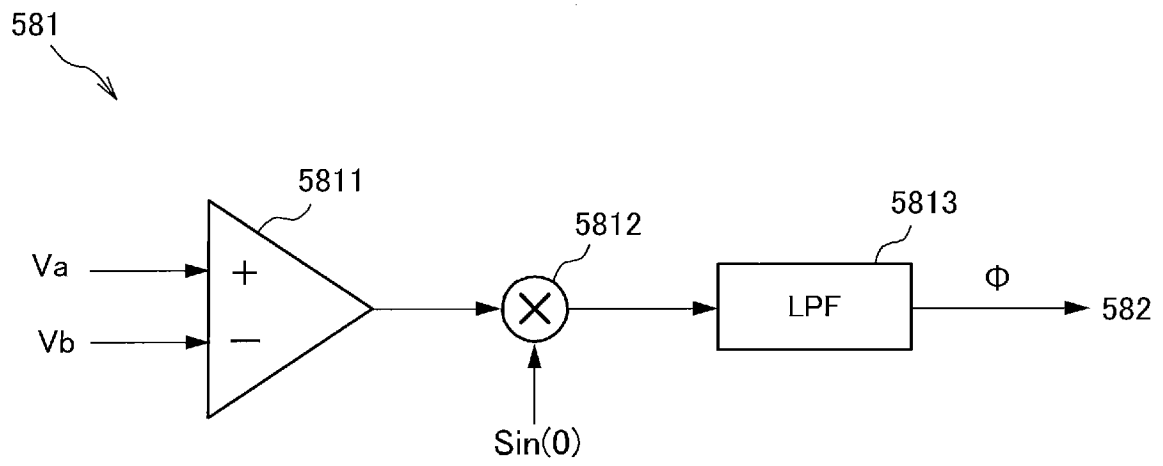
[図17]



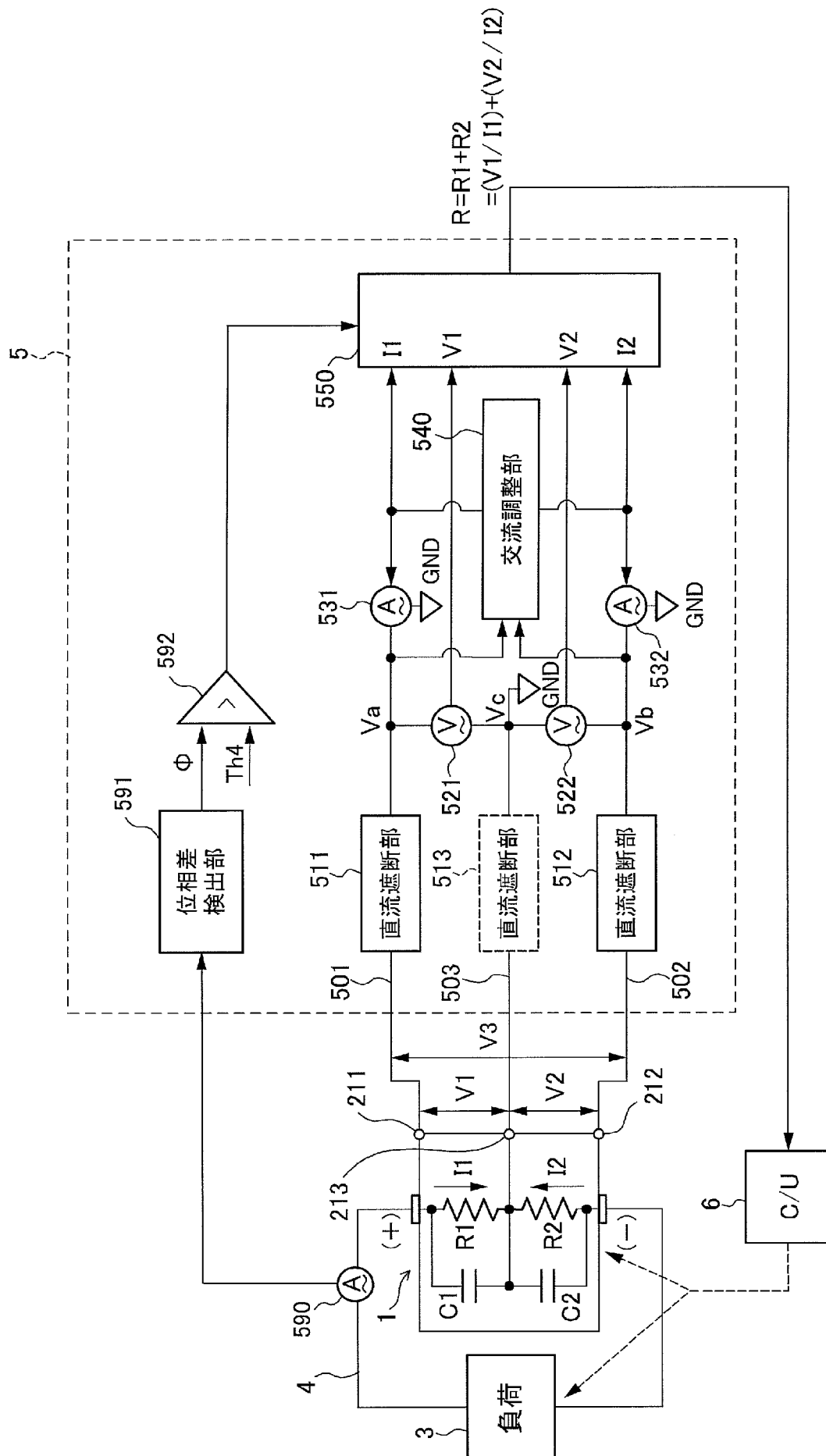
[図18]



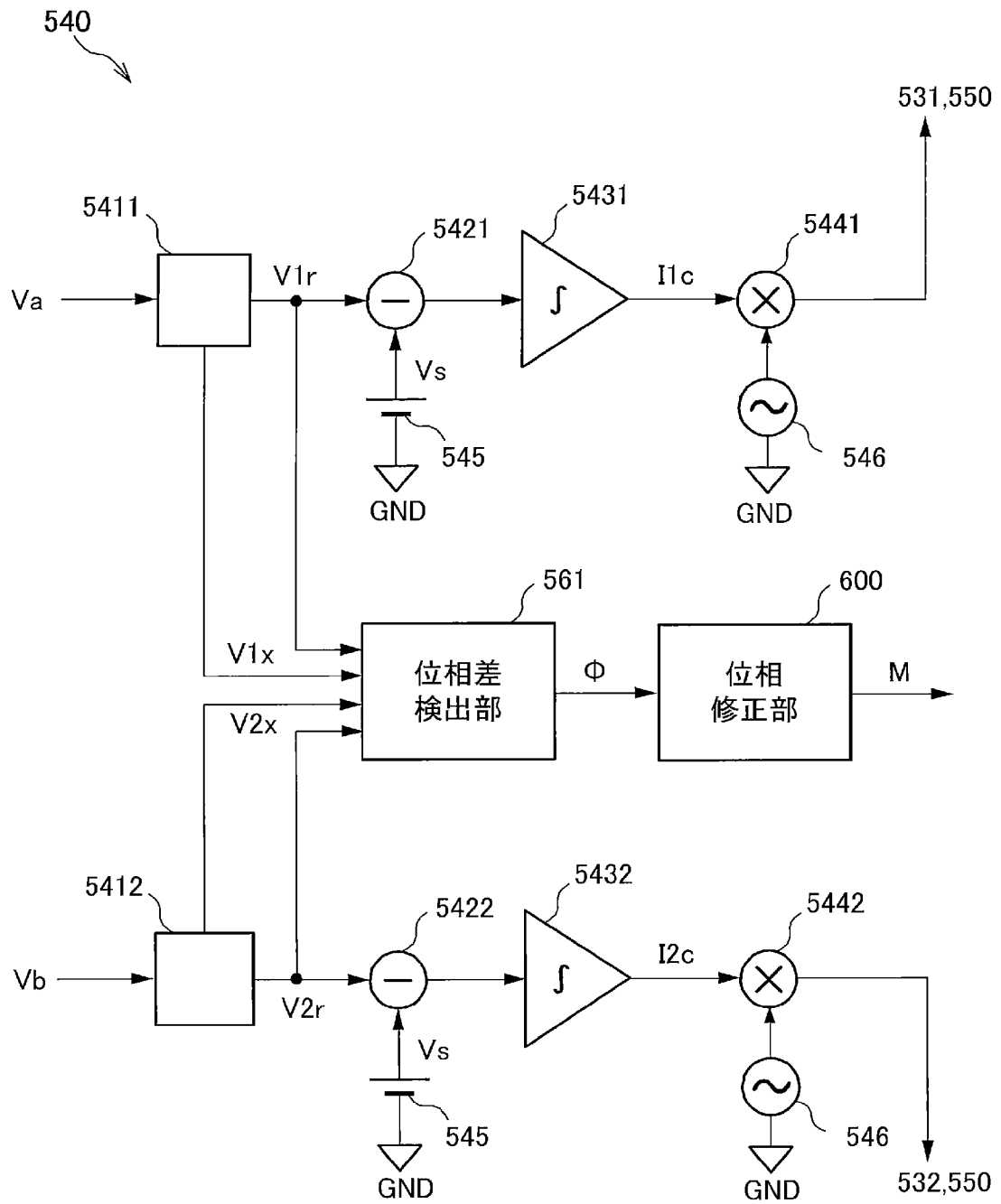
[図19]



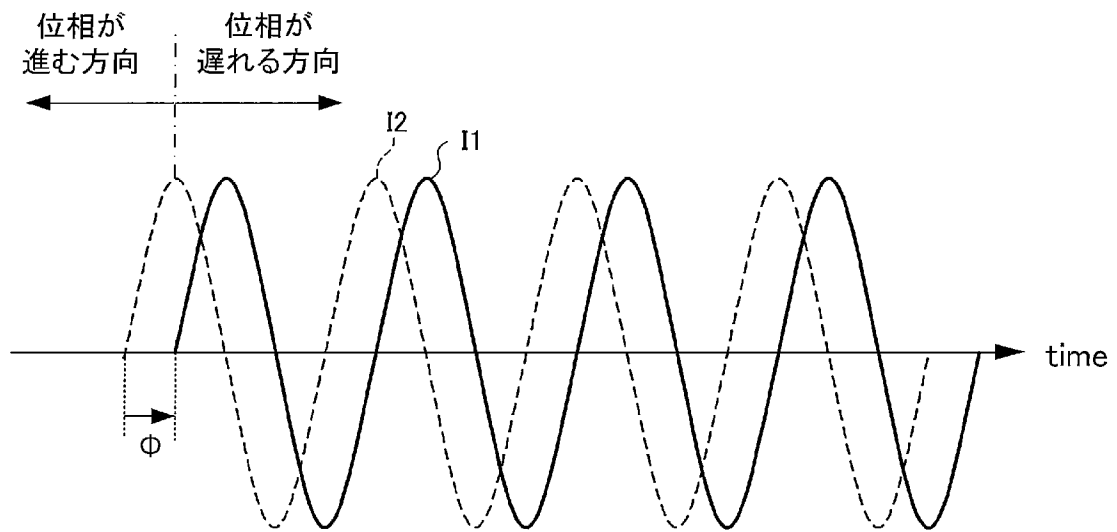
[図20]



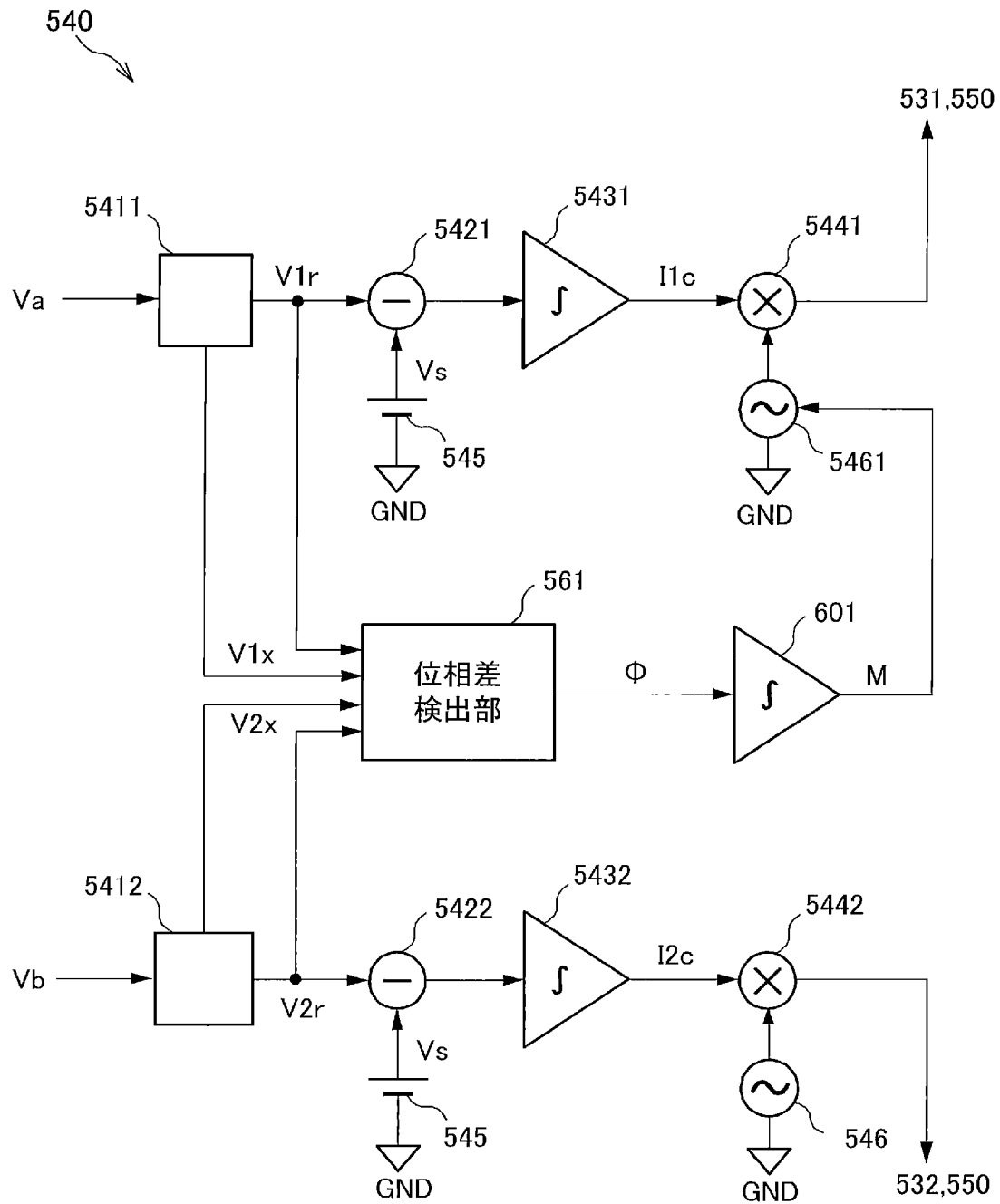
[図21]



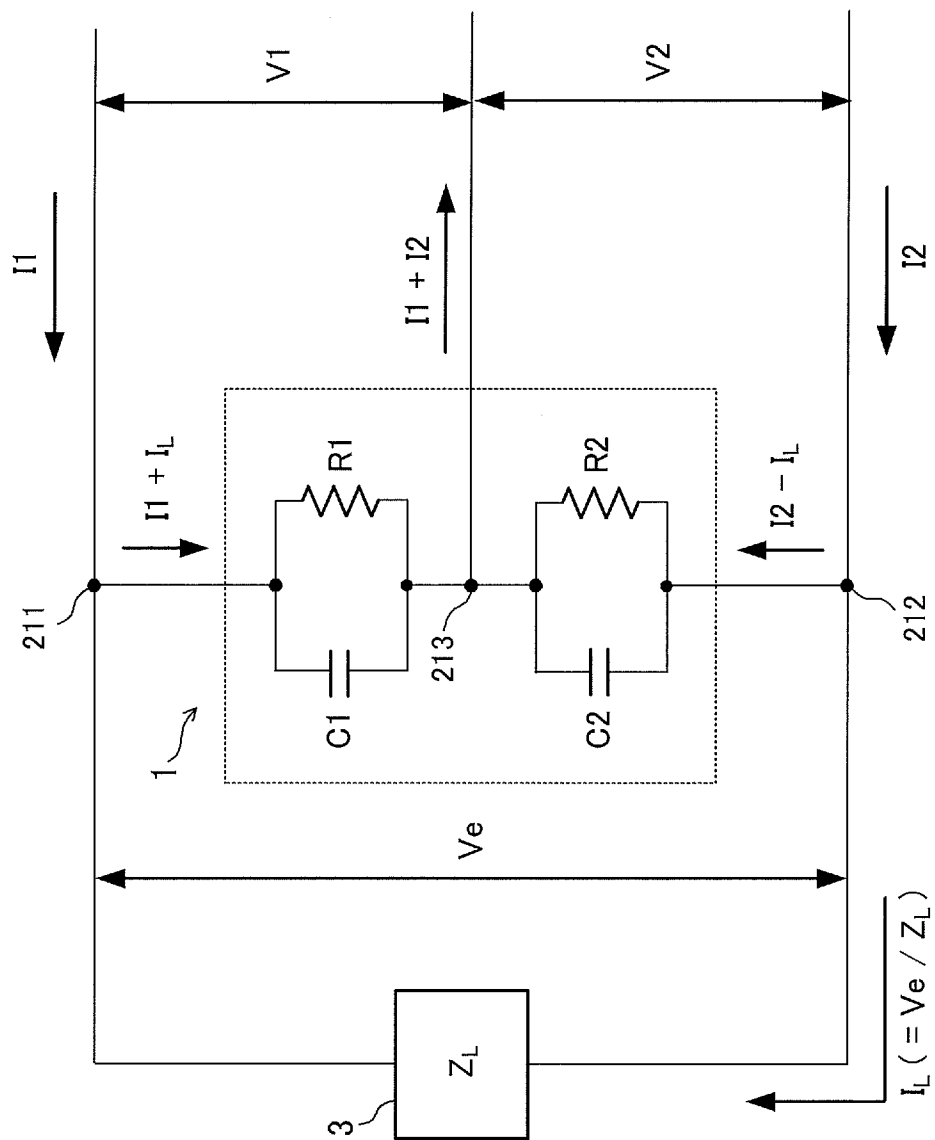
[図23]



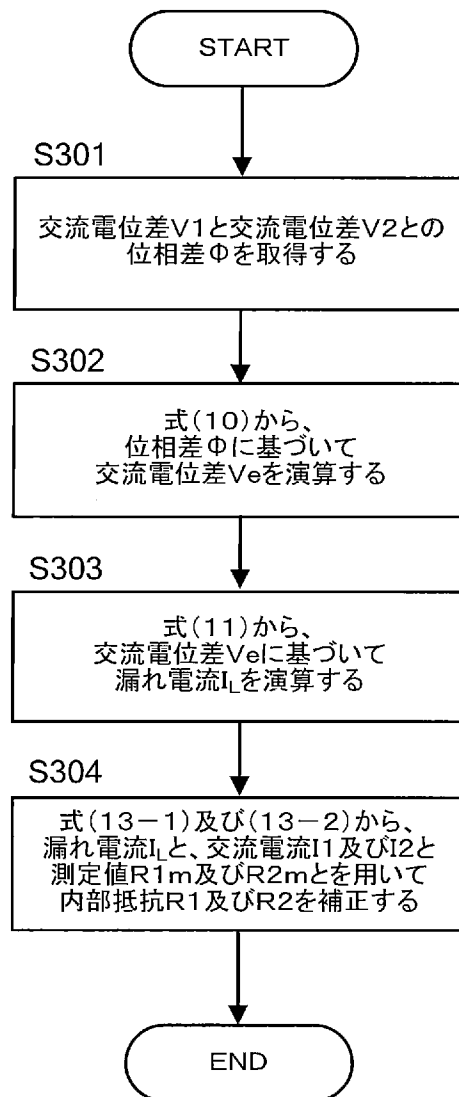
[図24]



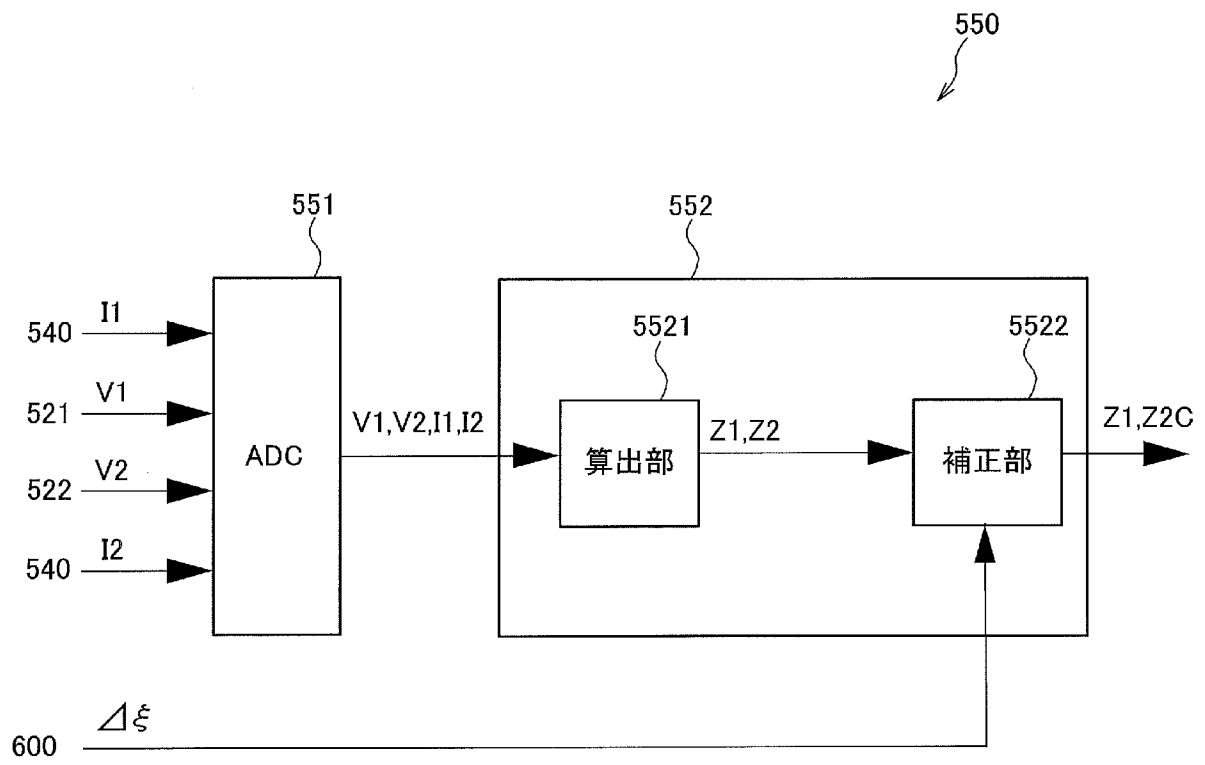
[図25]



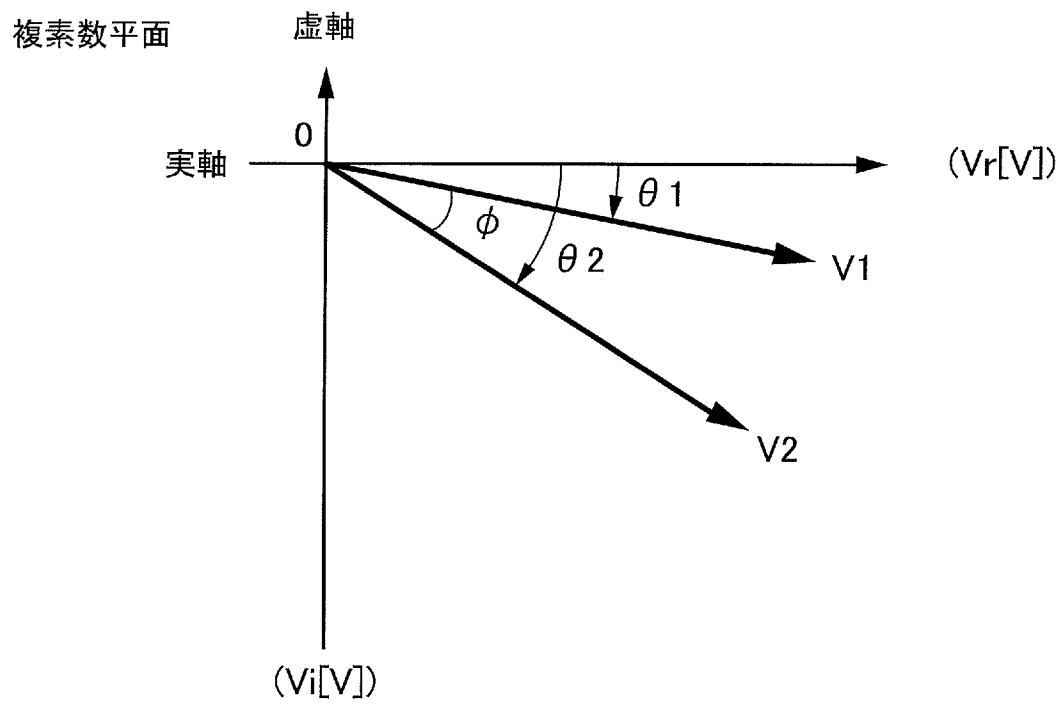
[図26]



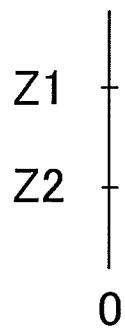
[図27]



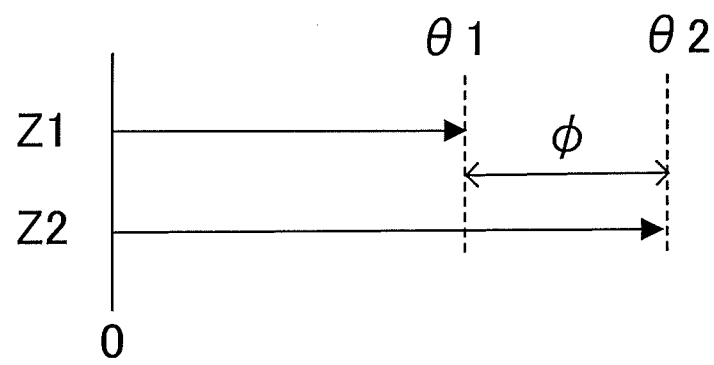
[図28]



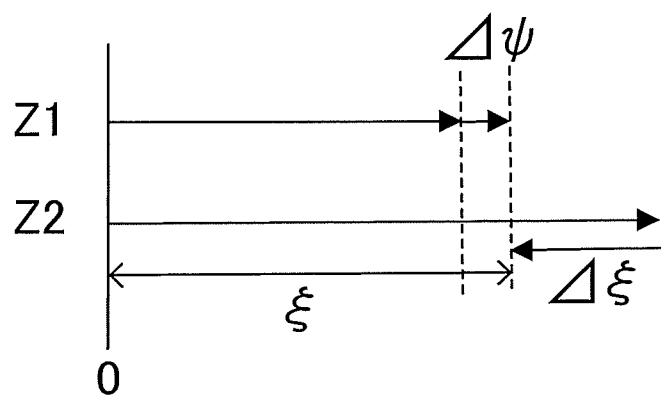
[図29A]



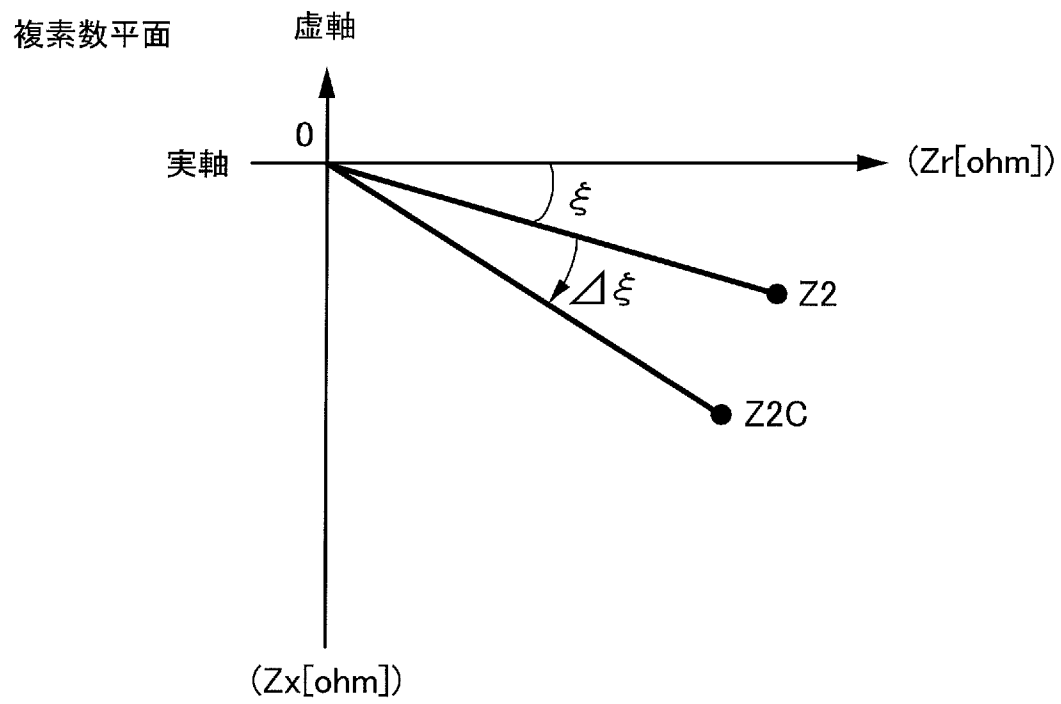
[図29B]



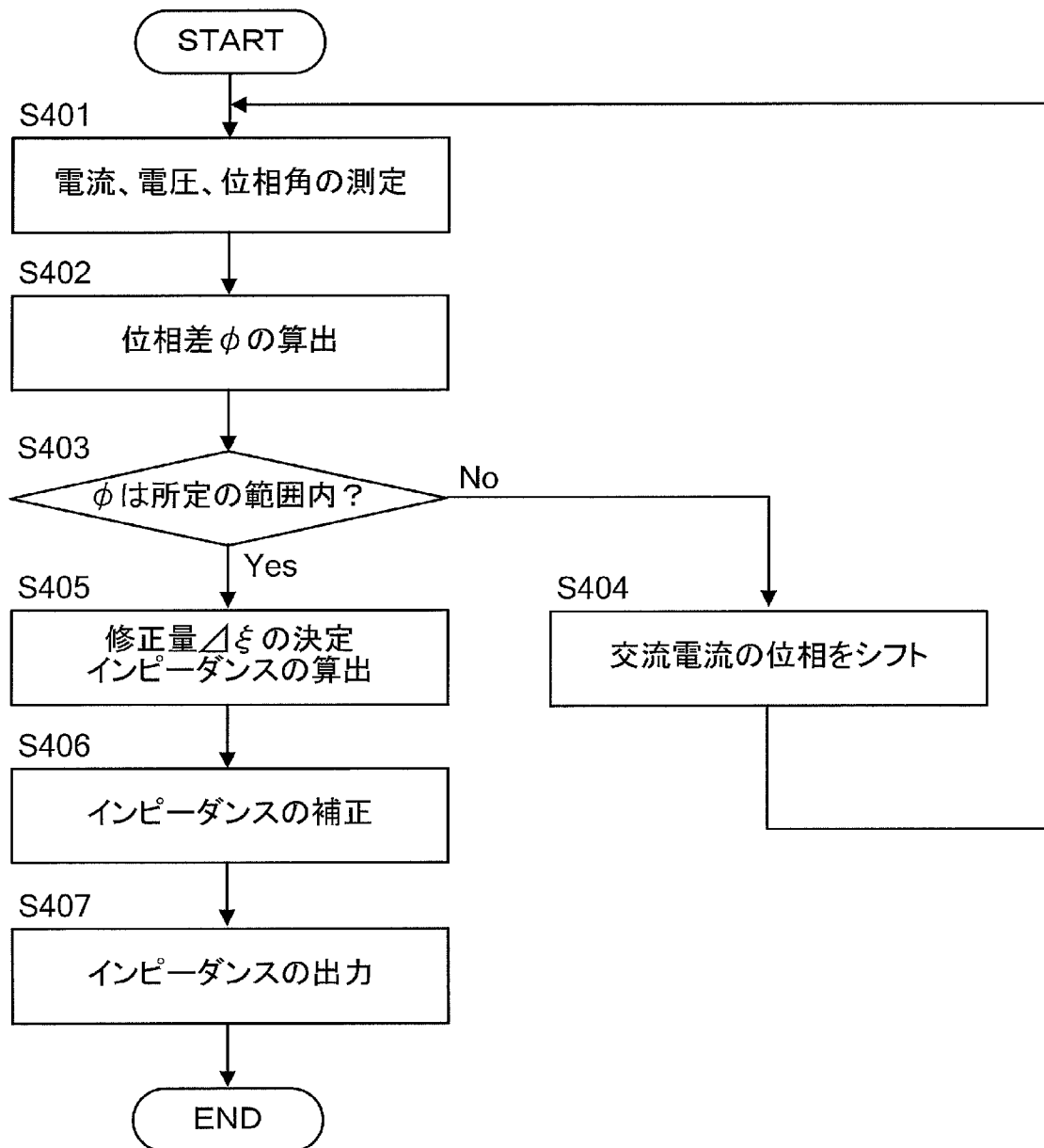
[図29C]



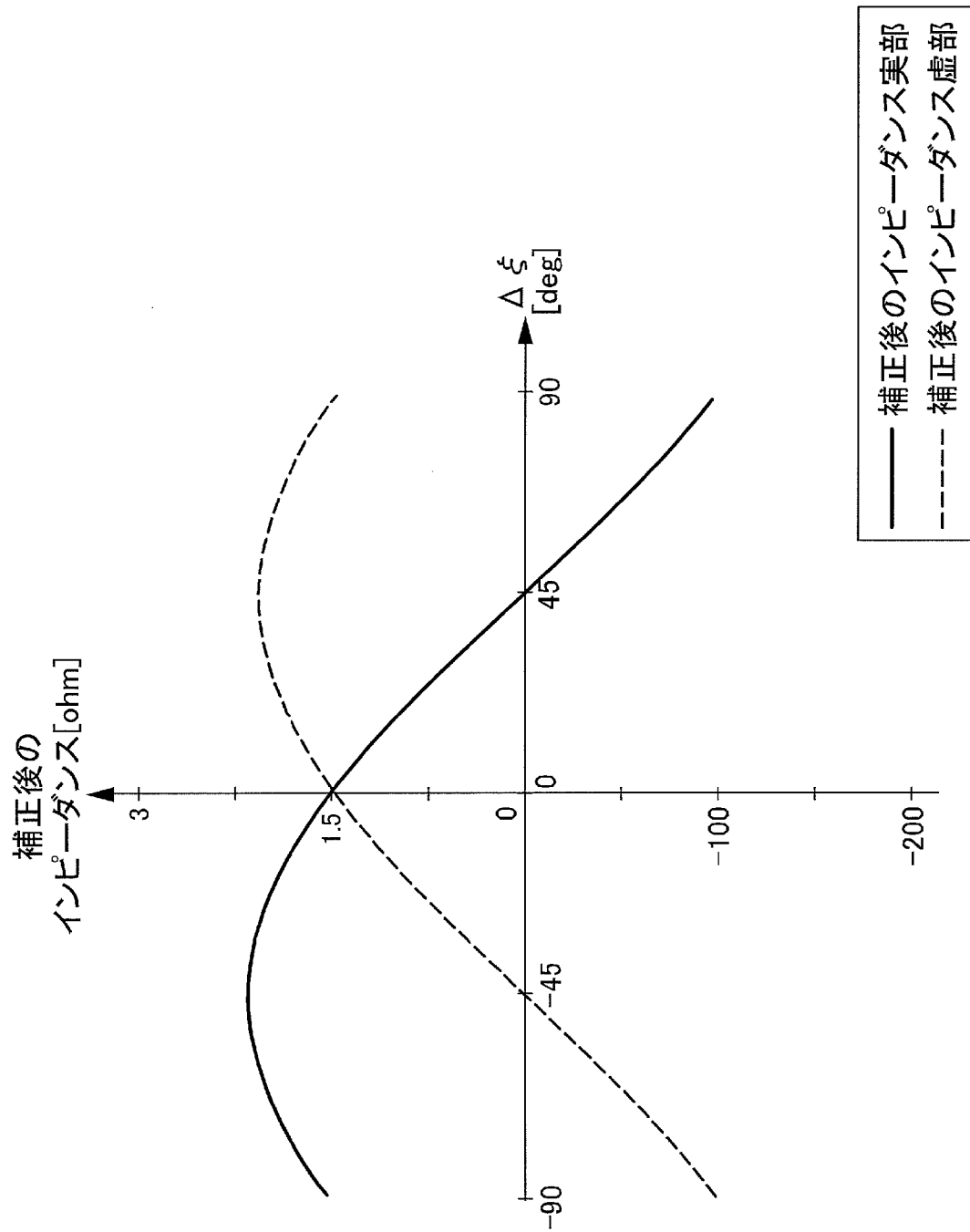
[図30]



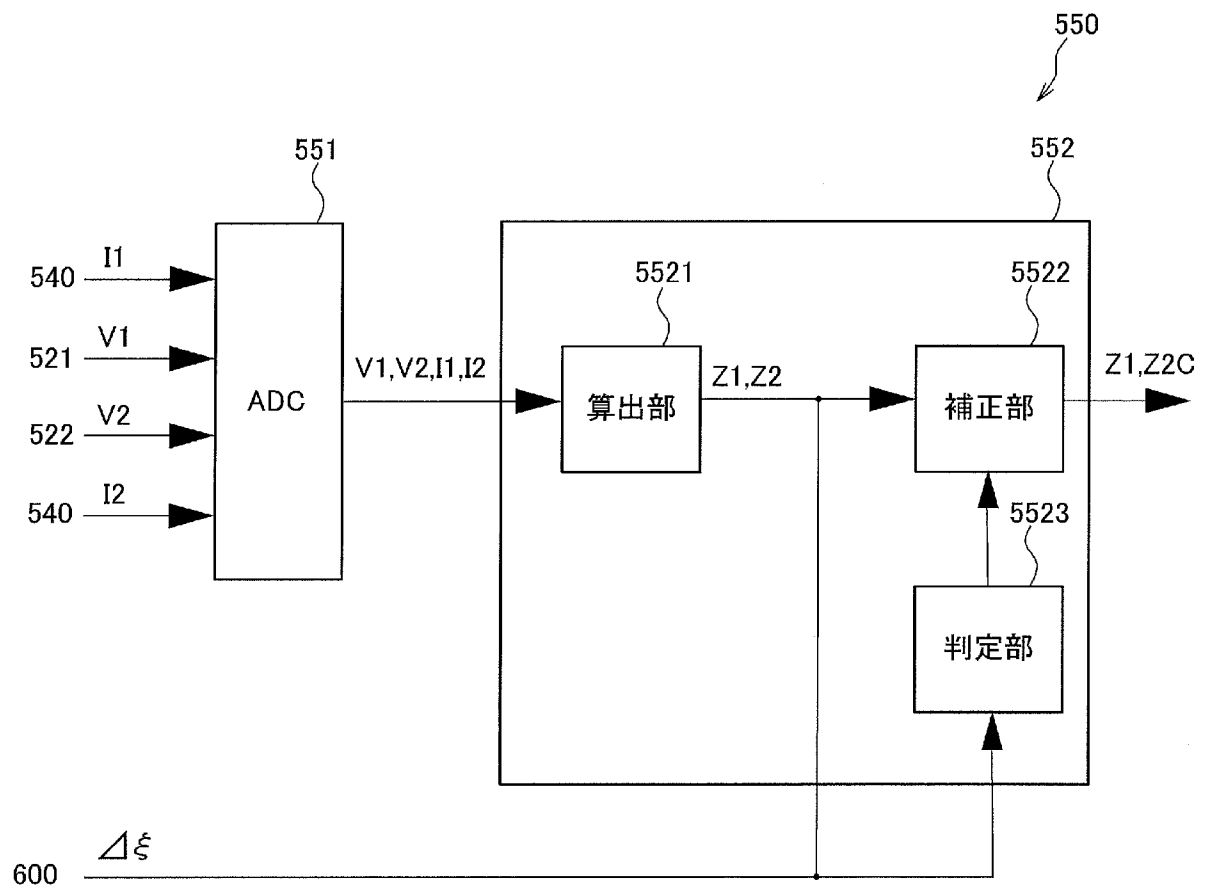
[図31]



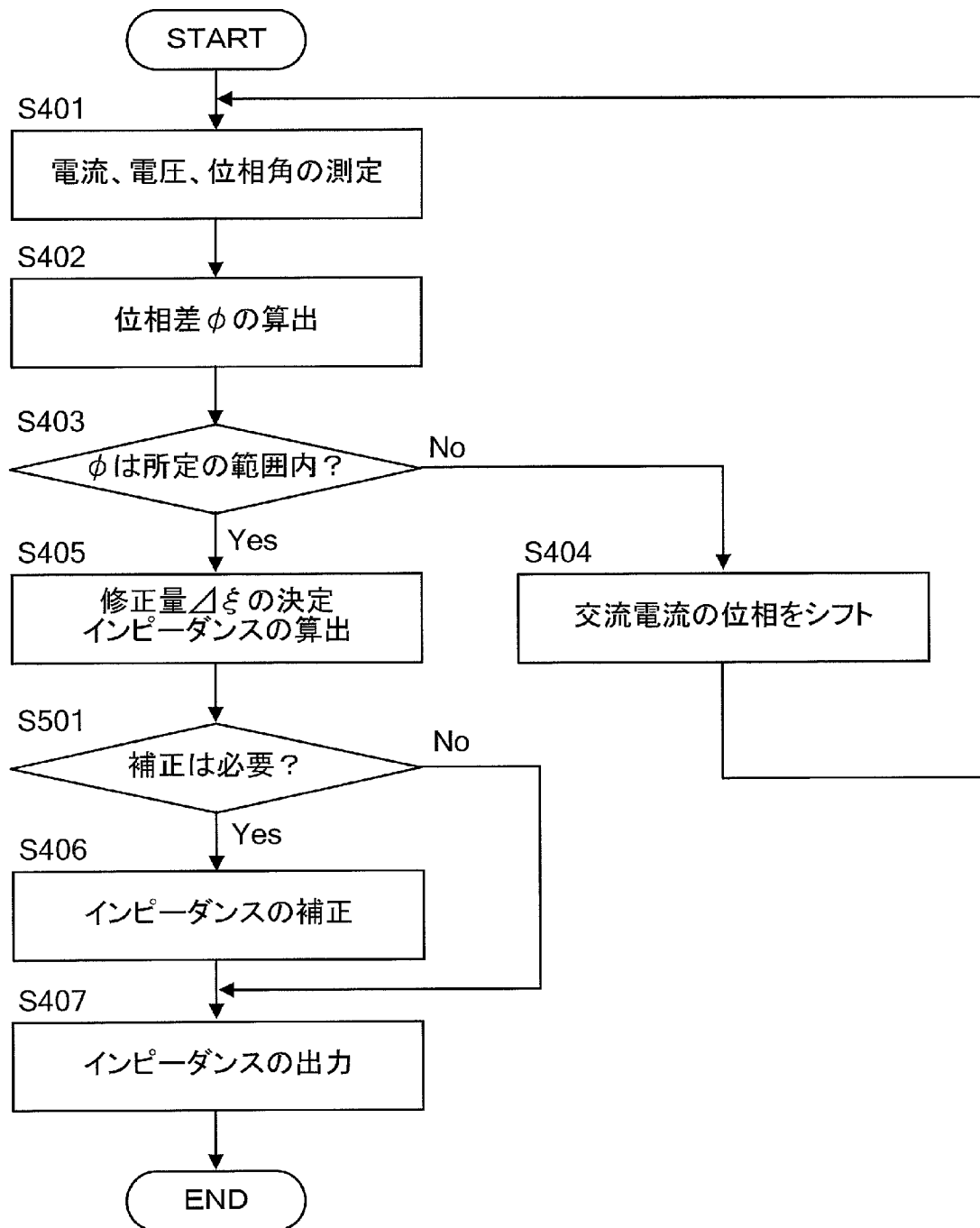
[図32]



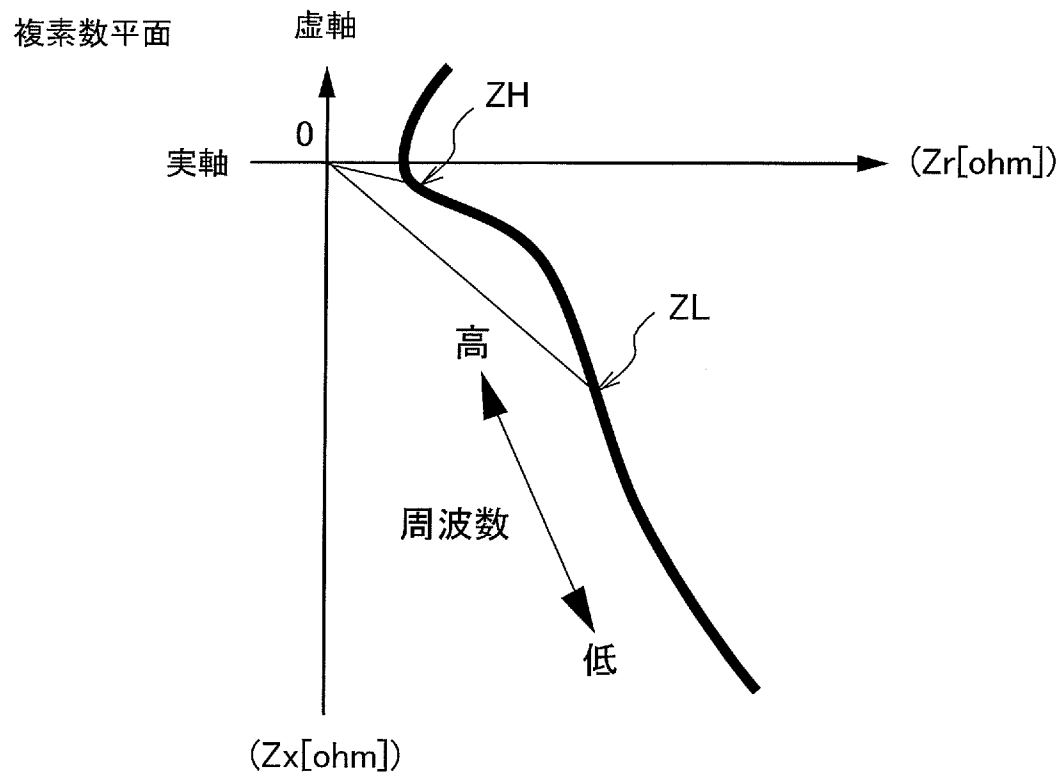
[図33]



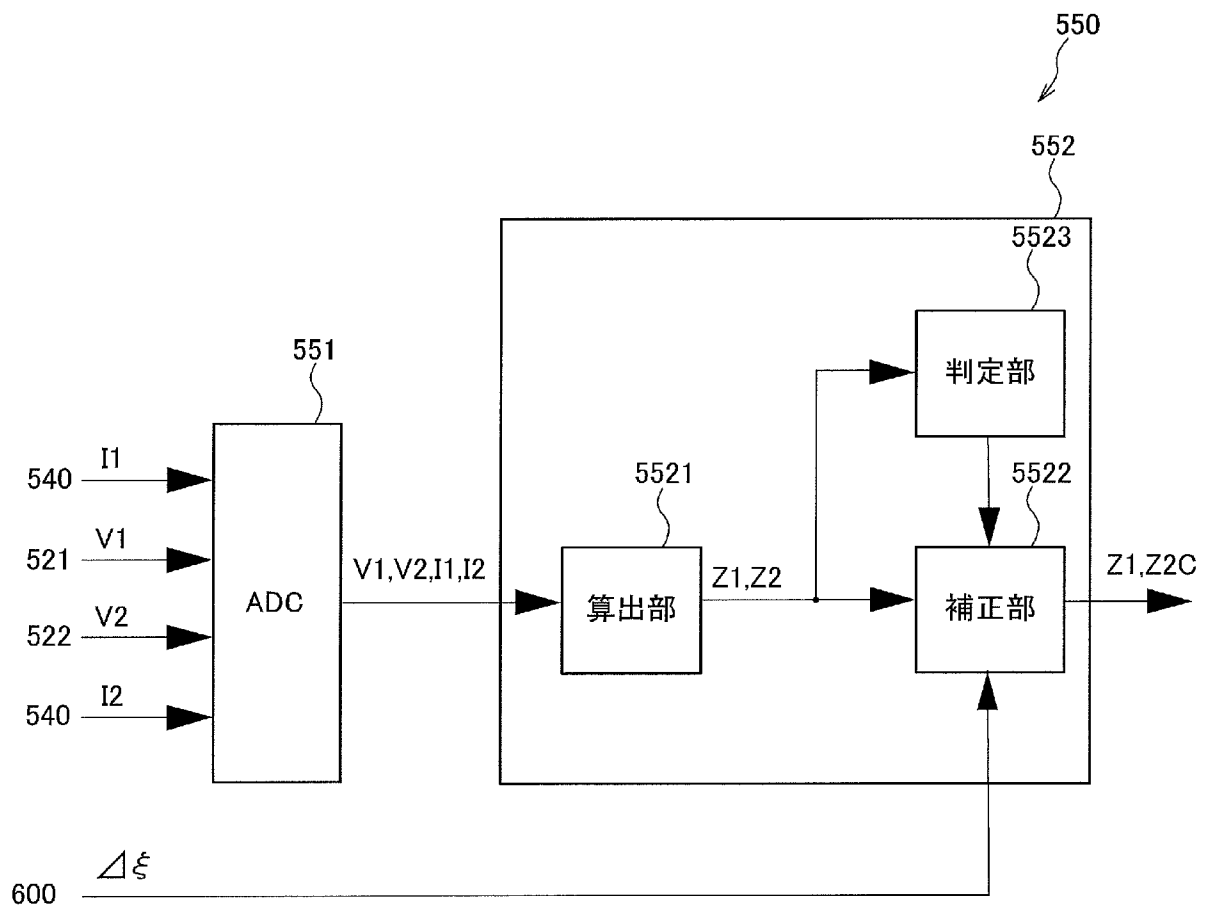
[図34]



[図35]



[図36]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/050273

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R31/36(2006.01) i, G01R27/02(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)

G01R31/36, G01R27/02

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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	WO 2012/077450 A1 (Nissan Motor Co., Ltd.), 14 June 2012 (14.06.2012), paragraphs [0026] to [0046]; fig. 2 to 5 & CN 103261898 A	1-15
A	JP 2011-216429 A (Toyota Motor Corp.), 27 October 2011 (27.10.2011), paragraphs [0023] to [0029] & US 2013/0057292 A1 & WO 2011/121410 A2 & DE 112011101180 T & CN 103098278 A	1-15
P, A	WO 2014/141752 A1 (Nissan Motor Co., Ltd.), 18 September 2014 (18.09.2014), paragraphs [0047] to [0100]; fig. 2 (Family: none)	1-15

☐ 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
12 February 2015 (12.02.15)

Date of mailing of the international search report
24 February 2015 (24.02.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01R31/36(2006.01)i, G01R27/02(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（I P C））

Int.Cl. G01R31/36, G01R27/02

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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	WO 2012/077450 A1（日産自動車株式会社）2012.06.14, 段落 0026-0046, 図 2-5 & CN 103261898 A	1-15
A	JP 2011-216429 A（トヨタ自動車株式会社）2011.10.27, 段落 0023-0029 & US 2013/0057292 A1 & WO 2011/121410 A2 & DE 112011101180 T & CN 103098278 A	1-15

☒ 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

1 2 . 0 2 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

2 4 . 0 2 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

荒井 誠

2 S

3 2 0 3

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 8

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
PA	WO 2014/141752 A1 (日産自動車株式会社) 2014. 09. 18, 段落 0047-0100, 図 2 (ファミリーなし)	1-15