

(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
2014 年 9 月 4 日(04.09.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/132304 A1

- (51) 国際特許分類:
H02J 3/38 (2006.01) **H02M 7/48** (2007.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/006190
- (22) 国際出願日: 2013 年 10 月 18 日(18.10.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-039647 2013 年 2 月 28 日(28.02.2013) JP
- (71) 出願人: 川崎重工業株式会社 (KAWASAKI JUKOGYO KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒6508670 兵庫県神戸市中央区東川崎町 3 丁目 1 番 1 号 Hyogo (JP).
- (72) 発明者: 崎元 謙一 (SAKIMOTO, Kenichi). 杉本 和 繁 (SUGIMOTO, Kazushige). 進藤 裕 司 (SHINDO, Yuji).
- (74) 代理人: 特許業務法人 有古特許事務所 (PAT-ENT CORPORATE BODY ARCO PATENT OF-

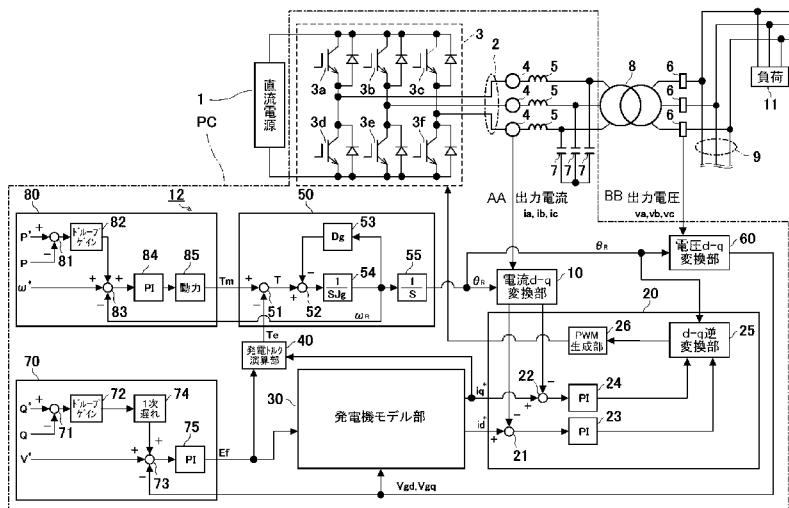
FICE); 〒6500031 兵庫県神戸市中央区東町 1 2 3 番地の 1 貿易ビル 3 階 Hyogo (JP).

- (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, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロパ (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).

[続葉有]

(54) Title: POWER CONVERSION DEVICE FOR CONNECTION TO GRID

(54) 発明の名称: 系統連系する電力変換装置



- 1 DC power supply
10 Current d-q conversion unit
11 Load
25 d-q inverse conversion unit
26 PWM generation unit
30 Power generator model unit
40 Power generation torque calculation unit
60 Voltage d-q conversion unit
72, 82 Droop gain
74 Primary delay
75 Dynamic force
AA Output current ia, ib, ic
BB Output voltage va, vb, vc

(57) Abstract: Provided is a power conversion device that does not use a PLL circuit for detecting the grid frequency and which is capable of continuing operation during fluctuations in grid voltage or frequency. The power conversion device comprises a power conversion unit (3) that converts input DC power to AC power and a control unit (12) that controls the power conversion unit (3) such that the power conversion unit (3) operates as a virtual generator. The control unit (12) includes: an AVR model unit (70) that arithmetically calculates the induced voltage of the virtual generator; a governor and drive source model unit (80) that arithmetically calculates the drive torque that drives the virtual generator; a power generation torque calculation unit (40) that arithmetically calculates the power generation torque for the virtual generator; a rotation angle calculation unit (50) that arithmetically calculates the rotation angle of a virtual generator rotor on the basis of at least the acceleration torque and the inertia of the rotor; a voltage d-q conversion unit

(60) that uses the rotation angle of the rotor and arithmetically calculates the d-axis component and the q-axis component of the output voltage; and a generator model unit (30) that arithmetically calculates a d-axis current command value and a q-axis current command value corresponding to the d-axis component and the q-axis component of the armature current of the virtual generator, by using an algebraic expression defined by a phasor diagram indicating the relationship between the induced voltage, phase voltage, and line current of a synchronous generator.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2014/132304 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

系統周波数検知のための PLL 回路を用いず、且つ系統電圧又は周波数の変動に対して運転を継続することが可能な電力変換装置を提供する。電力変換装置は、入力される直流電力を交流電力に変換する電力変換部(3)と、電力変換部(3)が仮想発電機として動作するよう電力変換部 3 を制御する制御部(12)を備える。制御部(12)は、仮想発電機の誘起電圧を演算する AVR モデル部(70)と、仮想発電機を駆動する駆動トルクを演算するガバナ及び駆動源モデル部(80)と、仮想発電機の発電トルクを演算する発電トルク演算部(40)と、少なくとも仮想発電機ロータの加速トルクと慣性とに基づいてロータの回転角度を演算する回転角度演算部(50)と、ロータの回転角度を用いて出力電圧の d 軸成分及び q 軸成分を演算する電圧 d-q 変換部(60)と、同期発電機の誘起電圧と相電圧と線電流との関係を表すフェーザ図で規定される代数式を用いて、仮想発電機の電機子電流の d 軸成分及び q 軸成分に相当する d 軸電流指令値及び前記 q 軸電流指令値を演算する発電機モデル部(30)とを含む。

明 細 書

発明の名称： 系統連系する電力変換装置

技術分野

[0001] 本発明は、分散電源などに用いられる電力系統と連系する電力変換装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、ガスエンジン発電機や燃料電池等の分散型電源を利用した電力供給システムに関心が高まっている。例えば、特定エリアにおいて、上記の分散型電源と呼ばれる発電装置を用い、この発電装置から複数の負荷へ電力供給を行うシステムが提案されている（例えば特許文献1及び特許文献2参照）。

[0003] ところで、マイクログリッドとも呼ばれるこのようなシステムは、その内部の電力系統に、上記の発電装置に加え、その発電装置の発電電力の変動や負荷変動を補償するために二次電池等を備えた電力貯蔵装置が接続されて構成されることが多い。また、電力系統が交流で発電装置が直流である場合がある。このような場合、電力を交流と直流との間で変換する電力変換装置が必要である。また、このような分散型電源を利用したシステムでは、商用電力系統とは独立して運用される自立運転と、商用電力系統と連系して運用される連系運転とが想定されており、いずれの運転においても安定した電力供給を実現することが重要である。そして、電力変換装置にもこのような安定した電力供給を可能にする機能を備えることが要求される。

[0004] そこで、本件出願人は最近、系統連系する発電機相当の特性（発電機モデル）を有する電力変換装置の制御手法を開発し、連系運転時だけでなく、自立運転時でも安定した電力を供給するとともに、連系運転から自立運転への無瞬断での移行を実現する電力変換装置を提案した。特許文献3に記載された電力変換装置では、発電機モデルとして、Parkの方程式と呼ばれる発電機のダイナミックスを記述する微分方程式が制御系に組み込まれる。一方

、特許文献４に記載された従来の電力変換装置では、発電機モデルをフェーザ図で表現することによりダイナミックスを簡素化し、簡素化した発電機モデルが電力変換装置の制御系に組み込まれる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献１：特開２００９－０８１９４２号公報

特許文献２：特開２０１１－１５５７９５号公報

特許文献３：特開２００９－２２５５９９号公報

特許文献４：特開２０１２－１４３０１８号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、特許文献３に記載の電力変換装置は、発電機モデルが、実際の発電機を模擬するためのParkの方程式と呼ばれる微分方程式系を含むために、制御回路あるいは制御プログラムが複雑化するという課題がある。

[0007] また、特許文献４に記載の電力変換装置は、系統の周波数検知のためのPLL回路を制御系の入力段に備えているが、PLL回路は制御的な時間遅れを有するので、その応答時間を決める作業や時定数の調整が必要となるため、その取扱いには高度な専門的知識が必要となる。また、系統電圧が負荷変動や系統事故によって変動した際には、PLL回路はその影響を過敏に受けやすいため、発電機モデルで実際の発電機の脱調と同様な現象が発生してしまう場合があり、その場合は所期の運転継続が阻害されてしまうという課題がある。

[0008] 本発明は以上のような課題を解決するためになされたものであり、発電機相当の特性を有し、系統周波数検知のためのPLL回路を用いず、且つ系統電圧又は周波数の変動に対して運転を継続することが可能な電力変換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

[0009] 上記の課題を解決するために、本発明のある態様に係る電力変換装置は、入力される直流電力を交流電力に変換し、電力系統に接続される出力線へ出力するよう構成された電力変換部と、前記電力変換部が仮想発電機として動作するよう当該電力変換部を制御するよう構成された制御部と、を備え、前記制御部は、前記電力変換部が前記出力線に出力する無効電力及び出力電圧と、無効電力指令値と電圧指令値とに基づいて、前記出力電圧の前記電圧指令値からの偏差に応じた前記仮想発電機の誘起電圧を演算するように構成されたA V Rモデル部と、前記電力変換部が前記出力線に出力する有効電力と、有効電力指令値と、角速度指令値と、前記仮想発電機のロータの角速度とに基づいて、当該角速度の前記角速度指令値からの偏差に応じた、前記仮想発電機を駆動する仮想駆動源の駆動トルクを演算するガバナ及び駆動源モデル部と、前記A V Rモデル部で演算された誘起電圧とq軸電流指令値又は前記電力変換部の出力電流のq軸成分とに基づいて前記仮想発電機の発電トルクを演算する発電トルク演算部と、前記ガバナ及び駆動源モデル部で演算された駆動トルクから前記発電トルク演算部で演算された発電トルクを減算して前記仮想発電機のロータの加速トルクを演算し、少なくとも当該加速トルクと前記仮想発電機のロータの慣性とに基づいて前記仮想発電機のロータの前記角速度及び回転角度を演算する回転角度演算部と、前記回転角度演算部で演算された前記回転角度を用いて前記電力変換部の出力電圧のd軸成分及びq軸成分を演算する電圧d-q変換部と、同期発電機の誘起電圧と相電圧と線電流との関係を表すフェーザ図で規定される代数式を用いて、前記A V Rモデル部で演算された誘起電圧と前記d-q変換部で演算された前記出力電圧のd軸成分及びq軸成分とに基づいて前記仮想発電機の電機子電流のd軸成分及びq軸成分に相当するd軸電流指令値及び前記q軸電流指令値を演算する発電機モデル部と、前記発電機モデル部で演算されたd軸電流指令値及び前記q軸電流指令値に対応する電流を出力するよう前記電力変換部を制御する電力変換制御部と、を含む。ここで「電力変換器の出力電圧」及び「

電力変換器の出力電流」の概念には、出力線に変圧器が存在する場合には、一次側の電圧及び電流のみならず二次側の電圧及び電流もそれぞれ含まれる。変圧器の二次側の電圧及び電流は、電力変換器から直接出力される電力の電圧値及び電流値が単に一次巻線と二次巻線との巻き数比に応じて変換されたものに過ぎないからである。また、「演算する」ことには、ソフトウェアによって「計算する」とこととハードウェア（例えば電子回路）によってアナログ演算することを含む。

[0010] この構成によれば、仮想発電機の定常状態を、フェーザ図を用いてモデル化された発電機モデル部により発電機相当の特性が実現されるので、電力変換装置の制御系が簡素化される。また、ガバナ及び駆動源モデル部が周波数（仮想発電機のロータの角速度）の偏差に応じた仮想駆動源の駆動トルクを演算し、発電トルク演算部が負荷電流（ q 軸電流指令値又は出力電流の q 軸成分）に応じた仮想発電機の発電トルクを演算し、回転角度演算部が駆動トルクからこの発電トルクを減算して仮想発電機のロータの加速トルクを演算する。そして、発電機モデルがこの回転角度を用いて算出された出力電圧の d 軸成分及び q 軸成分と A V R モデル部で演算された誘起電圧とに基づいて、当該回転角度に応じた負荷電流が出力されるような q 軸電流指令値を演算する。従って、例えば、何等かの外乱で仮想発電機のロータの回転角度が増大すると、それに応じて q 軸電流指令値が増大し、それにより、仮想発電機の発電トルクが増大して加速トルクが減少する。その結果、仮想発電機のロータの回転角度が減少する。従って、仮想発電機は外乱があっても一定のロータの回転角度を維持しようとする。すなわち、制御部では、同期発電機と同様の同期化力が作用する。従って、電力系統の位相が変動した場合でも、同期化力により仮想発電機のロータの回転角度を電力系統の電圧の位相に追従させることができる。従って、PLL 回路が無くても、運転を継続することができる。

[0011] 前記制御部は、前記発電トルク演算部で演算された発電トルクの振動を制動して前記回転角演算部に出力する発電トルク制動部を更に備えてもよい。

- [0012] この構成により、仮想発電機において、同期発電機の制動巻線が仮想的に実現されるので、仮想発電機のロータの動揺が低減され、制動効果を得ることができる。制動部は、例えば、フィルタ、位相進み補償器で構成されてもよい。
- [0013] 前記制御部は、前記電圧 $d-q$ 変換部を介して前記発電機モデル部に与えられる前記出力電圧の d 軸成分及び q 軸成分の値を所定の値に制限する電圧制限部を更に備えてもよい。
- [0014] この構成により、系統電圧（出力電圧）が大きく変動した場合でも、仮想発電機の各変数値が大きく変動して発電機として安定動作する範囲を逸脱するのが防止されるので、脱調を回避し、運転を継続することができる。出力電圧の制限は、 $d-q$ 変換の前でも後でもよい。
- [0015] 前記制御部は、前記発電機モデルが演算した前記 d 軸及び q 軸電流指令値を所定の限度内に制限するように制御する電流制限制御部を更に備えてもよい。
- [0016] この構成により、定常状態における電流に比べて、変動時の電流が大きくなる現象が発生した場合でも、電力変換装置の容量を超えることがないので、運転を停止することなく継続することができる。

発明の効果

- [0017] 本発明によれば、発電機相当の特性を有し、系統周波数検知のための PLL 回路を用いず、且つ系統電圧や周波数の変動に対して運転を継続することが可能な電力変換装置を提供できる。
- [0018] 本発明の上記目的、他の目的、特徴、及び利点は、添付図面参照の下、以下の好適な実施態様の詳細な説明から明らかにされる。

図面の簡単な説明

- [0019] [図1]図1は、本発明の実施の形態1に係る電力変換装置を用いたマイクログリッドの構成例を示すブロック図である。
- [図2]図2は、図1の電力変換装置の制御部が含むモデル化された仮想発電機の等価回路である。

[図3]図3は、図2の仮想発電機の等価回路における誘起電圧と相電圧と線電流との関係を表すフェーザ図である。

[図4]図4は、図1の電力変換装置の制御部の制御時における等価ブロック図である。

[図5]図5は、図4の等価ブロック図における誘起電圧と相電圧と線電流との関係を表すフェーザ図である。

[図6]図6は、本発明の実施の形態2に係る電力変換装置の制御部の制御時における等価ブロック図である。

[図7]図7は、図6の電力変換装置によるシミュレーション結果を示すグラフである。

[図8]図8は、本発明の実施の形態3に係る電力変換装置の制御部の制御時における等価ブロック図である。

[図9]図9は、図8の電力変換装置によるシミュレーション結果を示すグラフである。

[図10]図10は、本発明の実施の形態4に係る電力変換装置の制御部の制御時における等価ブロック図である。

[図11]図11は、図10の電力変換装置によるシミュレーション結果を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0020] 本発明の実施の形態を、図面を参照しつつ説明する。以下では、全ての図面を通じて同一又は相当する要素には同じ符号を付して、重複する説明は省略する。

[0021] (実施の形態1)

[構成]

図1は、本発明の実施の形態1に係る電力変換装置を用いたマイクログリッドの構成例を示すブロック図である。

[0022] 図1に示すように、マイクログリッド（小規模配電網）の配電線（交流電路）9に、負荷11及び直流電源1が接続されている。直流電源1は電力変

換装置 P C 及び出力線 2 を介して配電線 9 に接続されている。直流電源 1 として、直流発電装置、二次電池等が例示される。直流発電装置として、太陽電池、燃料電池、整流器を備えた交流発電機（例えばガスタービン発電機、エンジン発電機）等が例示される。直流電源 1 と電力変換装置 P C とで交流電源装置が構成される。また、マイクログリッドには、マイクログリッドを運用する事業者の設定に基づいて、マイクログリッドを統括管理するマイクログリッド制御装置（図示せず）がマイクログリッドのエリア内に設けられている。マイクログリッドの配電線 9 と接続されている交流電源装置及び負荷 11 には、それぞれ、各々の状況を監視する監視ユニット（電力等の計測装置：図示せず）が設けられており、これらの各監視ユニットとマイクログリッド制御装置とは、例えば信号線（図示せず）を介して通信可能である。マイクログリッド制御装置は、各監視ユニットからの監視状況（計測値）を受信し、それらの監視状況に応じて、交流電源装置に対して出力電力目標値等の指令値を送信する。これらの指令値は、各監視ユニットの監視状況に応じて決まるように、事業者によって設定されている（プログラムされている）。

[0023] また、マイクログリッドは、商用電力系統（大規模電力系統）と連系することなく独立して運用される形態（以下、「独立形態」という）と、商用電力系統と連系して運用される形態（以下、「連系形態」という）とがある。連系形態の場合には、マイクログリッドの配電線 9 が、例えば遮断器（図示せず）を介して商用電力系統と接続される。このとき交流電源装置では、電力変換装置 P C は連系運転を行っている。

[0024] マイクログリッドが連系形態の場合において、商用電力系統に異常等が発生した場合には、遮断器が開かれて、独立形態と同様の状態になる。遮断器の開閉は、例えば商用電力系統の制御システム（図示せず）によって制御される。このとき交流電源装置では、電力変換装置 P C は出力線の周波数や電圧の変化から単独運転状態を検出し、図示しない開閉器を開いて自立運転へ移行する。以下では、独立形態であることに言及しない限り、マイクログリ

ッドは連系形態で運用されており、電力変換装置PCは連系運転を行っているものとする。

[0025] 交流電源装置は、変圧器8を介してマイクログリッドの配電線9と接続されている。本実施の形態の電力変換装置PCは、直流電源1とともに、交流電源装置を構成している。ここで、電力変換装置PCは、入力される直流電力を交流電力に変換し、電力系統に接続される出力線2へ出力する電力変換部3と、電力変換部3から出力される三相の各相（a相、b相、c相）の出力電流 i_a, i_b, i_c を検出する電流センサ（電流測定用PC）4と、出力リアクトル5と、各相（a相、b相、c相）の出力電圧 v_a, v_b, v_c を検出する電圧センサ（電圧測定用PT）6と、フィルタキャパシタ7と、電力変換部3を制御する制御部12とを備えている。なお、マイクログリッドを制御するために、直流電源1の電圧を検出する電圧センサ（図示せず）を設けてもよい。また、配線9及び出力線2の相数は限定されない。電圧センサ（電圧測定用PT）6は、ここでは変圧器8の二次側の電圧を検出しているが、一次側の電圧を検出してもよい。

[0026] 電力変換部3は、例えば、それぞれ逆並列接続されたダイオードを備えた6個のスイッチング素子3a～3fにより構成されている。この電力変換部3は、半導体素子で形成され、各スイッチング素子3a～3fには例えばIGBTが用いられる。制御部12は、それぞれのスイッチング素子3a～3fの制御端子（例えばIGBTのゲート端子）に入力される制御信号（PWM信号）を電力変換部3へ出力し、各スイッチング素子3a～3fをオンオフ動作させることにより、電力変換部3をインバータとして機能させる。

[0027] 制御部12は、電力変換部3が仮想発電機として動作するよう電力変換部3を制御するように構成されている。言い換えれば、制御部12は、仮想発電機が、発電機と、発電機の誘起電圧を制御するAVR（自動電圧調整器）と、発電機を駆動する駆動源及びガバナとを備えて構成されていると仮定し、仮定した発電機、AVR、駆動源及びガバナのそれぞれの入出力関係を規定する発電機モデル部30、AVRモデル部70、駆動源及びガバナモデル

部 80 を有する。すなわち、発電機モデル部 30 は、発電機の入力に対する出力を演算する演算部であり、AVR モデル部 70 は、AVR の入力に対する出力を演算する演算部であり、駆動源及びガバナモデル部 80 は、駆動源及びガバナの入力に対する出力を演算する演算部である。更に、本実施の形態では、制御部 12 は、仮想発電機の発電トルク T_e を算出する発電トルク演算部 40 と、仮想発電機のロータの回転角度 θ_R 等を算出する回転角度算出部 50 と、電力変換部 3 の出力電圧の d 軸成分 V_{gd} 及び q 軸成分 V_{gq} を算出する電圧 d-q 変換部 60 と、電力変換部 3 の出力電流の d 軸成分及び q 軸成分を算出する電流 d-q 変換部 10 と、仮想発電機で算出された電流指令値に対応する電流を出力するよう電力変換部 3 を制御する電力変換制御部 20 とを備える。ここで、「電力変換器 3 の出力電圧」及び「電力変換器 3 の出力電流」の概念には、出力線 2 に存在する変圧器 8 の一次側の電圧及び電流のみならず二次側の電圧及び電流もそれぞれ含まれる。

[0028] この制御部は、例えば、FPGA (field programmable gate array)、PLC (programmable logic controller)、マイクロコントローラ等の演算装置で構成され、発電機モデル部 30 及び電力変換制御部 20 等は、上記演算装置においてそれに内蔵されているプログラムが実行されることにより実現される機能ブロックである。

[0029] 次に、制御部 12 の構成について詳述する。なお、以下では、加算器、減算器及び加減算器を区別せずに、加減算器と記載する。

[0030] 制御部 12 には、発電機モデル部 30、AVR モデル部 70、駆動源及びガバナモデル部 80、発電トルク演算部 40、回転角度算出部 50、電流 d-q 変換部 10 及び電圧 d-q 変換部 60 の他、図示されていないが、電力検知部等を有する。電力検知部は、例えば、電流センサ 4 で検出される出力電流 i_a, i_b, i_c と電圧センサ 6 で検出される出力電圧 v_a, v_b, v_c とを受け取り、それらから有効電力 P 及び無効電力 Q を算出し、算出した有効電力 P を駆動源及びガバナモデル部 80 へ出力し、無効電力 Q を AVR モデル部 70 へ出力する。なお、電力検知部は、例えば、出力線 2 に設けられた電力計により

有効電力を検出してもよい。

[0031] ガバナ及び駆動源モデル部 80 は、電力変換部 3 が出力線 2 に出力する有効電力 P と、有効電力指令値 P^* と、角速度指令値 ω^* と、仮想発電機のロータの角速度 ω_R とに基づいて、有効電力 P の有効電力指令値 P^* からの偏差及び当該角速度 ω_R の角速度指令値 ω^* からの偏差に応じた、仮想発電機を駆動する仮想駆動源の駆動トルク T_m を算出（演算）する。具体的には、駆動源及びガバナモデル部 80 では、外部（ここではマイクログリッド制御装置）から有効電力指令値 P^* と、角速度指令値 ω^* とが入力される。また、電力検知部から有効電力 P が入力され、且つ後述する回転角度算出部 50 から角速度 ω_R が入力される。加減算器 81 は、有効電力指令値 P^* から有効電力 P を減算した値をドループブロック 82 へ出力する。ドループブロック 82 は、加減算器 81 の出力に対しガバナの垂下特性に応じて所定の演算が施された値（例えば実定数のゲイン K_{gd} を掛けたもの）を加減算器 83 へ出力する。加減算器 83 は、角速度指令値 ω^* 及びドループブロック 82 の出力値を加算した値から角速度 ω_R を減算した値を、PI 制御ブロック 84 へ出力する。PI 制御ブロック 84 は、例えば、PI レギュレータによって、加減算器 83 の出力に比例積分補償を施す。PI 制御ブロック 84 は、ガバナ及び駆動源の応答遅れを模擬したものである。なお、PI 制御ブロック 84 は比例補償のみを行ってもよい。駆動トルク出力部 85 は、PI 制御ブロック 84 の出力を仮想駆動源（例えばガスタービン）の駆動トルク T_m に変換して（例えば所定の係数を乗算して）回転角度算出部 50 へ出力する。

[0032] 回転角度算出部 50 は、ガバナ及び駆動源モデル部 80 で算出された駆動トルク T_m から発電トルク演算部 40 で算出された発電トルク T_e を減算して仮想発電機のロータの加速トルク T を算出し、少なくとも当該加速トルク T と仮想発電機のロータの慣性とに基づいて仮想発電機のロータの角速度 ω_R 及び回転角度 θ_R を算出する。

[0033] 具体的には、加減算器 51 及び 52 では、駆動トルク T_m から、発電トルク演算部 40 から入力される発電トルク T_e とダンピングブロック 53 から入力

される摩擦トルクとを減算した値を単位慣性定数ブロック 54 へ出力する。単位慣性定数ブロック 54 は、加減算器 52 の出力とロータの慣性を模擬する単位慣性定数 J_g を用いて所定の演算処理を行うことにより仮想発電機のロータの角速度 ω_R を算出し、積分器 55、加減算器 83 及びダンピングブロック 53 へ出力する。ダンピングブロック 53 は、ロータの角速度 ω_R とロータの動摩擦を模擬するダンパ係数 D_g を用いて所定の演算を行って摩擦トルクを算出し、これを加減算器 52 へ出力する。なお、ロータの角速度 ω_R の演算を簡略化する場合は、ダンピングブロック 53 を省略してもよい。積分器 55 は、入力されるロータの角速度 ω_R を積分して仮想発電機のロータの回転角度 θ_R を算出し、電圧 d-q 変換部 60、電流 d-q 変換部 10 及び d-q 逆変換部 25 へ出力する。

[0034] AVR モデル部 70 は、電力変換部 3 が出力線 2 に出力する無効電力 Q 及び出力電圧 V_g と、無効電力指令値 Q^* と電圧指令値 V^* とに基づいて、無効電力 Q の無効電力指令値 Q^* からの偏差と出力電圧 V_g の電圧指令値 V^* からの偏差とに応じた仮想発電機の誘起電圧 E_f を算出するように構成されている。

[0035] 具体的には、AVR モデル部 70 は、外部（ここではマイクログリッド制御装置）から無効電力指令値 Q^* と電圧指令値 V^* とが入力される。また、電力検知部から無効電力 Q が入力され、且つ実効電圧演算部（図示せず）から実効電圧 V_g が入力される。ここで実効電圧演算部は、実行電圧 V_g を、電圧 d-q 変換部 60 において算出される V_{gq} 、 V_{gd} から次式を用いて算出する。

[0036] [数1]

$$V_g = \sqrt{V_{gq}^2 + V_{gd}^2} \cdots (1)$$

また、電力検知部は、無効電力 Q を、 V_{gq} 、 V_{gd} 及び i_q 、 i_d から次式を用いて算出する。

[0037]

[数2]

$$Q = V_{gq}i_d - V_{gd}i_q \cdots (2)$$

尚、式（１）及び（２）における V_{gq} 、 V_{gd} 及び i_q 、 i_d の算出方法は後述する。

[0038] 加減算器 7 1 は、無効電力指令値 Q^* から無効電力 Q を減算した値（無効電力偏差）をドループブロック 7 2 へ出力する。ドループブロック 7 2 は、加減算器 7 1 の出力に対し A V R の垂下特性に応じて所定の演算が施された値（例えば実定数のゲイン K_{ad} を掛けたもの）をブロック 7 4 へ出力する。ブロック 7 4 は、ドループブロック 7 2 の出力に一次遅れを付与して、これを加減算器 7 3 へ出力する。一次遅れを付与する理由は、無効電力偏差に対する応答が敏感になることを防止するためである。一方、電圧指令値 V^* が加減算器 7 3 に入力される。加減算器 7 3 は、ブロック 7 4 の出力と電圧指令値 V^* とを加算し、更にその加算値から実効電圧 V_g を減算した値（無効電力偏差を加味した電圧偏差）を、P I 制御ブロック 7 5 へ出力する。P I 制御ブロック 7 5 は、加減算器 7 3 の出力に、例えば、P I レギュレータにより比例積分補償を行って誘起電圧 E_f を算出し、これを発電機モデル部 3 0 及び発電トルク演算部 4 0 へ出力する。

[0039] 発電機モデル部 3 0 は、A V R モデル部 7 0 で算出された誘起電圧 E_f と電圧 $d-q$ 変換部 6 0 で算出された出力電圧の d 軸成分 V_{gd} 及び q 軸成分 V_{gq} とに基づいて仮想発電機の電機子電流の d 軸成分及び q 軸成分に相当する d 軸電流指令値 i_d^* 及び q 軸電流指令値 i_q^* を算出する。発電機モデル部 3 0 は、フェーザ図で規定される代数式を用いて同期発電機を模擬している。以下、本実施形態の発電機モデル部 3 0 について具体的に説明する。

[0040] 図 2 は、図 1 の電力変換装置の制御部 1 2 が含むモデル化された仮想発電機の等価回路である。図 2 の等価回路に示すように、仮想発電機は、仮想発電機の界磁による誘起電圧 E_f と、仮想発電機の仮想的な電機子の巻線リアク

タンス $\times$ 及び巻線抵抗 r による仮想発電機のインピーダンスと、仮想発電機が出力する電圧 V_g （複素電圧ベクトル）及び電流 I （複素電流ベクトル）と、を用いてモデル化される。

[0041] 図3は、図2の仮想発電機の等価回路における誘起電圧と相電圧（出力電圧）と線電流（出力電流（正確には電流指令値））との関係を表すフェーザ図である。このフェーザ図では、誘起電圧 E_f が q 軸の基準ベクトルである。図3に示すフェーザ図から各複素ベクトル間の関係は、以下のように表される。

[0042] [数3]

$$\begin{aligned}\dot{E}_f &= E_f \\ \dot{V}_g &= V_{gq} + jV_{gd} \\ \dot{I}^* &= I_q^* + jI_d^*\end{aligned} \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$

[0043] [数4]

$$\begin{aligned}\dot{E}_f - \dot{V}_g &= (E_f - V_{gq}) - jV_{gd} \\ \dot{E}_f - \dot{V}_g &= (r + jx)(I_q^* + jI_d^*) \\ (E_f - V_{gq}) - jV_{gd} &= (rI_q^* - xI_d^*) + j(rI_d^* + xI_q^*)\end{aligned} \quad \cdot \cdot \cdot (4)$$

式（4）で実部同士、虚部同士がそれぞれ等しいので、次式が成り立つ。

[0044] [数5]

$$\begin{aligned}\begin{bmatrix} E_f - V_{gq} \\ -V_{gd} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} r & -x \\ x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_q^* \\ I_d^* \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} I_q^* \\ I_d^* \end{bmatrix} &= \frac{1}{r^2 + x^2} \begin{bmatrix} r & x \\ -x & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_f - V_{gq} \\ -V_{gd} \end{bmatrix}\end{aligned} \quad \cdot \cdot \cdot (5)$$

以下では、図4の等価ブロック図も用いて電力変換装置PCの制御部12について説明する。図4は、電力変換装置PCの制御部12の制御時における等価ブロック図である。なお、図4には、図1の各ブロックの具体的な構成例と、仮想発電機のロータの回転角度 θ_R が変動した場合における当該変動

のフィードバック経路の等価回路 130 とが示されている。この等価回路 130 については、後で、電力変換装置 PC の動作と一緒に説明する。

[0045] 代数式 (5) は、図 4 のブロック図のブロック 30 に示すような制御ブロックによって表される。この制御ブロックは、仮想発電機の誘起電圧 E_f と出力電圧ベクトル V_{gq} 、 V_{gd} が与えられると電流型インバータ（電力変換器 3）の電流フィードバック制御の指令値（d 軸電流指令値 i_d^* 及び q 軸電流指令値 i_q^* ）を算出することができることを意味している。そこで、本実施の形態では、発電機モデル部 30 は、図 3 のフェーザ図で規定される代数式 (5) を用いて電流フィードバック制御の指令値を演算する制御モデルとして構成されている。具体的には、代数式 (5) は、同期発電機の誘起電圧 E_f と、出力電圧の d 軸成分 V_{gd} 及び q 軸成分 V_{gq} と、d 軸電流指令値 i_d^* 及び q 軸電流指令値 i_q^* と、仮想発電機の仮想的な電機子の巻線リアクタンス x 及び巻線抵抗 r との関係を規定している。発電機モデル部 30 は、入力される、誘起電圧 E_f と、出力電圧の d 軸成分 V_{gd} 及び q 軸成分 V_{gq} とに対し、代数式 (5) を満たす d 軸電流指令値 i_d^* 及び q 軸電流指令値 i_q^* を算出する。

[0046] 発電トルク演算部 40 は、AVR モデル部 70 で算出された誘起電圧 E_f と q 軸電流指令値 i_q^* とに基づいて仮想発電機の発電トルク T_e を算出する。具体的には、図 4 の等価ブロック図に示すように、発電トルク演算部 40 は、発電トルク T_e を次式により演算する。尚、 ω は系統電圧の回転角度 θ の時間微分値である。本実施の形態では ω は予め設定された値とする。

$$[0047] \quad T_e = (E_f / \omega) \times i_q^* \quad \dots (6)$$

このようにして算出された仮想発電機の発電トルク T_e は、上述のように、回転角度演算部 50 に出力され、回転角度演算部 50 において仮想発電機のロータの加速トルク T の算出に用いられる。なお、式 (6) において発電トルク T_e を算出するために用いる電流値は、電力変換器 3 の出力電流の q 軸成分 i_q であってもよい。

[0048] 電圧 d-q 変換部 60 には、電圧センサ 6 で検出された電力変換部 3 の出力電圧 v_a, v_b, v_c が入力される。電圧 d-q 変換部 60 は、回転角度演算部 5

0で算出された仮想発電機のロータの回転角度 θ_R を用いて当該出力電圧のd軸成分 V_{gd} 及びq軸成分 V_{gq} を算出する。また、電流d-q変換部10には、電流センサ4で検出された電力変換部3の出力電流 i_a, i_b, i_c が入力される。電流d-q変換部10は、回転角度演算部50で算出された仮想発電機のロータの回転角度 θ_R を用いて当該出力電流のd軸成分 i_d 及びq軸成分 i_q を算出する。具体的には、電圧d-q変換部60及び電流d-q変換部10は、それぞれ、 V_{gd} 、 V_{gq} 及び i_q 、 i_d を、次式を用いて算出する。

[0049] [数6]

$$\begin{bmatrix} v_{g0} \\ v_{gd} \\ v_{gq} \end{bmatrix} = A_{0dq} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} i_0 \\ i_d \\ i_q \end{bmatrix} = A_{0dq} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

$$A_{0dq} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ \cos \theta_R & \cos(\theta_R - 2\pi/3) & \cos(\theta_R - 4\pi/3) \\ \sin \theta_R & \sin(\theta_R - 2\pi/3) & \sin(\theta_R - 4\pi/3) \end{bmatrix} \quad \dots (7)$$

尚、 v_a, v_b, v_c 、及び i_a, i_b, i_c は電力変換部3の出力電圧、及び出力電流である。 v_{g0} 及び i_0 は本実施の形態における演算には使用しない。

[0050] このように、式(7)の演算が実行され、出力電圧のd軸成分 V_{gd} 、q軸成分 V_{gq} 及び出力電流のd軸成分 i_d 及びq軸成分 i_q が算出される。

[0051] そして、上述のように、発電機モデル部30は、この回転角度 θ_R を用いて算出された出力電圧のd軸成分 V_{gd} 及びq軸成分 V_{gq} とAVRモデル部70で算出された誘起電圧 E_f とに基づいて、当該回転角度 θ_R に応じた負荷電流が出力されるようなd軸電流指令値 i_d^* 及びq軸電流指令値 i_q^* を算出する。

[0052] 図1に示すように、電力変換制御部20は、発電機モデル部30で演算されたd軸電流指令値 i_d^* 及びq軸電流指令値 i_q^* に対応する電流を出力するよう電力変換部3を制御する。具体的には、電力変換制御部20は、加減算器21、22と、PI制御ブロック23、24と、d-q逆変換部25と、

PWM生成部26とを含む。加減算器21は、発電機モデル部30から入力されるd軸電流指令値 i_d^* から、電流d-q電力変換部10から入力される出力電流のd軸成分 i_d を減算して、このd軸誤差電流をPI制御ブロック23に出力する。PI制御ブロック23は、このd軸誤差電流にPIレギュレータにより比例積分補償を施して、これをd-q逆変換部25に出力する。一方、加減算器22は、発電機モデル部30から入力されるq軸電流指令値 i_q^* から、電流d-q電力変換部10から入力される出力電流のq軸成分 i_q を減算して、このq軸誤差電流をPI制御ブロック24に出力する。PI制御ブロック24は、このq軸誤差電流にPIレギュレータにより比例積分補償を施して、これをd-q逆変換部25に出力する。d-q逆変換部25は、回転角度算出部50の積分器55から出力されるロータの回転角度 θ_R を用いて、比例積分補償されたd軸誤差電流及びq軸誤差電流をd-q逆変換して電流指令を生成し、これをPWM生成部26に出力する。PWM生成部26は、この電流指令をPWM制御信号に変換して、これを電力変換部3に出力する。これにより、電力変換部3の出力電流が、発電機モデル部30で演算されたd軸電流指令値 i_d^* 及びq軸電流指令値 i_q^* に対応する電流になるようにフィードバック制御される。

[0053] [動作]

次に、以上のような構成の電力変換装置PCの動作を説明する。

[0054] <一般的な動作>

電力変換装置PCでは、制御部12において、電力変換器3が出力する有効電力Pの有効電力指令値 P^* からの偏差及び仮想発電機のロータの角速度 ω_R の角速度指令値 ω^* からの偏差に応じた仮想発電機の回転角度 θ_R が演算される。また、電力変換器3が出力する無効電力Qの無効電力指令値 Q^* からの偏差及び電力変換器2の出力電圧Vの電圧指令値 V^* からの偏差に応じた仮想発電機の誘起電圧 E_f が演算される。そして、これらの回転角度 θ_R 及び誘起電圧 E_f に応じた電流指令値 i_d^* 、 i_q^* が演算され、電力変換器3の出力電流がこれらの電流指令値 i_d^* 、 i_q^* に対応する電流になるようにフィードバック

制御される。その結果、電力変換器 3 の出力電流が、有効電力 P、無効電力 Q、出力電圧、及び出力電圧の角速度が各々の指令値になる電流となるようにフィードバック制御される。

[0055] かくして、電力変換装置 P C において発電機相当の特性が実現される。また、発電機モデル部 3 0 が仮想発電機の定常状態を、フェーザ図を用いてモデル化され、それによって電力変換装置 P C において発電機相当の特性が実現されるので、従来の P a r k の方程式と呼ばれる微分方程式を含む複雑な発電機モデルと比べて、電力変換装置の制御系が簡素化される。

[0056] <同期化力>

次に、制御部 1 2（仮想発電機）の同期化力について、図 4 の等価ブロック及び図 5 のフェーザ図を用いて説明する。

[0057] 図 5 は、ロータの回転角度 θ_R が変動した場合における仮想発電機の誘起電圧と相電圧と線電流（出力電流及び電流指令値）との関係を表すフェーザ図である。

[0058] 図 5 を参照すると、 δ は仮想発電機の内部相差角、 θ は系統電圧（出力電圧）の回転角度である。例えば、系統連系中に何等かの外乱で仮想発電機のロータの回転角度 θ_R が増大し、それに伴い内部相差角 δ が増加した場合を想定する。このとき図 5 のフェーザ図より、 V_{gd} 、 V_{gq} は、次式で表される。

$$V_{gq} = V_g \times \cos \delta \cdots (8)$$

$$V_{gd} = -V_g \times \sin \delta \cdots (9)$$

ここで、式 (8) 及び式 (9) の V_{gd} 、 V_{gq} と、電圧 d-q 変換部 6 0 で算出される V_{gd} 、 V_{gq} とは表現が異なるが等価なものである。電圧 d-q 変換部 6 0 で算出される V_{gd} 、 V_{gq} は式 (7) を用いて各相電圧 v_a, v_b, v_c から算出され、電力変換器 3 の実際の制御に用いられる。これに対し、式 (8) 及び式 (9) の V_{gd} 、 V_{gq} は、同期化力を説明するために、図 5 のフェーザ図から導出され、内部相差角 δ を用いて表現されたものである。内部相差角 δ は電力変換器 3 の実際の制御には用いられない。式 (8) 及び (9) から δ の微小変化分に対する V_{gd} 及び V_{gq} の微小変化成分は次式で表される。

[0059] [数7]

$$\begin{aligned}
\Delta V_{gq} &= \frac{\partial}{\partial \delta} (V_g \cos \delta) \Delta \delta \\
&= -V_g \sin \delta \cdot \Delta \delta \\
&= V_{gd} \cdot \Delta \delta \\
\Delta V_{gd} &= \frac{\partial}{\partial \delta} (-V_g \sin \delta) \Delta \delta \quad \cdots (10) \\
&= -V_g \cos \delta \cdot \Delta \delta \\
&= -V_{gq} \cdot \Delta \delta
\end{aligned}$$

次に、図4を参照して説明する。図4において、ブロック130は、この仮想発電機のロータの回転角度 θ_R が変動した場合における当該変動のフィードバック経路の等価回路を示す。

[0060] AVRモデル部70におけるブロック76は、界磁コイルの伝達関数である。この伝達関数は応答が遅いため、図4の等価ブロック図において制御部12（仮想発電機）の同期化力の動作について考える場合は、影響が小さいので無視してもよい。

[0061] また、ブロック（5，8）は、図1の出力リアクトル5及び変圧器8の回路の伝達関数を表している。ここで R_F 及び L_F は、出力リアクトル5及び変圧器8の抵抗及びリアクタンスである。電力変換制御部20は応答速度が速く、同期化力の動作について考える場合は、影響が小さいので無視してもよい。従って、上述のように、発電トルク演算部40の式（6）において、発電トルク T_e の演算にq軸電流指令値 i_q^* が用いられる。

[0062] 発電機の通常の動作条件では、図5のフェーザ図より、 V_{gq} は正、 V_{gd} は負である。図4の点線で示した矢印は正の値の流れ、一点鎖線で示した矢印は負の値の流れをそれぞれ示している。このとき図4の点線矢印を通して、正の発電機トルク T_e が戻ってきて、回転角算出部50において算出されるロータの角速度（回転数） ω_R を下げようとする。これによって θ_R の増加率は減少し、この結果 δ が減少しようとする。すなわち、q軸電流指令値 i_d^* が

増大し、それにより、仮想発電機の発電トルクが増大して加速トルクが減少する。その結果、仮想発電機のロータの回転角度が減少する。

[0063] 次に、 θ_R が減少して、 δ がそれにともない減少した場合を想定する。この場合には、上記の場合とは反対にロータの角速度（回転数） ω_R を増加させようとするので、この結果、同じ理由で、 δ は増加するように働く。結局、 δ は外乱が発生してもある一定の値を取り続けようとする。従って、仮想発電機は外乱が発生しても一定のロータの回転角度を維持しようとする。すなわち、制御部12では、実際の同期発電機と同様の同期化力が作用する。

[0064] かくして、電力系統の位相が変動した場合でも、同期化力により仮想発電機のロータの回転角度を電力系統の電圧の位相に追従させることができるので、PLL回路が無くても、運転を継続することができる。

（実施の形態2）

次に、本発明の実施の形態2について、図6及び図7を用いて説明する。尚、実施の形態1と共通する構成の説明は省略し、相違する構成についてのみ説明する。

[0065] 図6は、本発明の実施の形態2に係る電力変換装置の制御部12の制御時における等価ブロック図である。本実施の形態は、実施の形態1と比較すると、制御部12が、発電トルク演算部40で算出された発電トルク T_e の振動を制動して回転角演算部50に出力する発電トルク制動部90を更に備える点が相違する。

[0066] 実施の形態1では、信号伝達経路に積分器が二つあり、典型的な二次遅れ系となっており、いわゆる単振動モデルである。一方、現実の同期発電機ではロータとステータとの間に制動巻線を備えることにより制動効果を得ている。そこで、本実施の形態では、図5に示すような、発電トルク制動部90により、発電トルクの計算結果に対して疑似微分要素を付加する。本実施の形態では、制動部は、次式で表されるような、位相進み補償器で構成されている。

[0067]

[数8]

$$1 + K \frac{T_1 s}{1 + T_1 s} \cdots (11)$$

図7は、本実施の形態の電力変換装置によるシミュレーション結果を示すグラフである。グラフでは発電機トルク（点線）、有効電力（実線）、無効電力（二点鎖線）及び角速度（一点鎖線）の時間変化を示している。図7の上段（a）のグラフは、比較例として発電トルク制動部90を備えない実施の形態1の場合の結果を示し、図7の下段（b）のグラフは、本実施の形態の場合の結果をそれぞれ示している。図7（a）に示すように、比較例の発電トルクは振動が大きく、角速度もまた一定ではない。また、無効電力は有効電力を上回っている。これに対し、図7（b）に示すように、本実施の形態の発電トルクは振動が収束され、角速度はほぼ一定となっている。また、有効電力は無効電力を上回っている。シミュレーション結果から、発電トルク制動部90により、仮想発電機において同期発電機の制動巻線が仮想的に実現され、仮想発電機のロータの動揺が低減され、制動効果を得ることができ。

（実施の形態3）

次に、本発明の実施の形態3について、図8及び図9を用いて説明する。尚、実施の形態1と共通する構成の説明は省略し、相違する構成についてのみ説明する。

[0068] 図8は、本発明の実施の形態3に係る電力変換装置の制御部12の制御時における等価ブロック図である。本実施の形態は、実施の形態1と比較すると、制御部12が、電圧d-q変換部60を介して発電機モデル部30に与えられる出力電圧のd軸成分 V_{gd} 及びq軸成分 V_{gq} の値を所定の値に制限する電圧制限部100及び110を更に備える点が相違する。

[0069] 実施の形態1では、系統電圧が大きく変動すると、仮想発電機の各変数が大きく動き、発電機として安定して動作する範囲を逸脱してしまう。このた

め、現実の発電機と同様に脱調が起こり、運転が継続できなくなる。そこで、本実施の形態では、電圧制限部 100 及び 110 において次のような処理を行う。具体的には、まず、次の条件式 (12) が成り立つか否かを判断する。

[0070] [数9]

$$\sqrt{V_{gd}^2 + V_{gq}^2} < 0.9 \quad \dots (12)$$

次に、条件式 (12) が成り立つ場合には、次式 (13) 及び (14) により、 V_{gd} 及び V_{gq} の値を置き換える。

[0071] [数10]

$$V_{gq}' = \frac{0.9}{\sqrt{V_{gd}^2 + V_{gq}^2}} V_{gq} \quad \dots (13)$$

[0072] [数11]

$$V_{gd}' = \frac{0.9}{\sqrt{V_{gd}^2 + V_{gq}^2}} V_{gd} \quad \dots (14)$$

尚、条件式 (12) が成り立たない場合には、電圧 V_{gd} 及び V_{gq} の置き換えは行わない ($V_{gd}' = V_{gd}$ 、 $V_{gq}' = V_{gq}$)。これにより、実際の電圧変動の値によらず、仮想発電機の内部では電圧変動があたかも 0.9 倍であるように処理が行われる。例えば残電圧が 20% のときでも、仮想発電機内部の変数は、残電圧が 90% であるかのように振舞う。本実施の形態では電圧変動は 0.9 倍と設定したが、1 以下の数で適宜調整される。

[0073] 本発明者らは、本実施の形態の電力変換装置によるシミュレーションを行った。図 9 の上段 (a) のグラフは、位相差の時間変化を示し、図 9 の下段 (b) のグラフは、u 相電流の時間変化をそれぞれ示している。シミュレーションでは開始から 2.4 秒付近で系統電圧の変動を発生させている。図 9 (a) に示すように、位相差は開始から 3.2 秒付近で、仮想発電機の同期化作用により 0 付近まで収束している。また、図 9 (b) に示すように u 相

電流は開始から 3 秒付近で一時的に過電流が発生しているが、3. 2 秒以降は電圧制限部 100 による電圧制限制御の効果により -150 (A) から 150 (A) の定格範囲に収まっている。

[0074] このように、系統電圧（出力電圧）が大きく変動した場合でも、仮想発電機の各変数値が大きく変動し、発電機として安定動作する範囲を逸脱するのが防止されるので、脱調を回避し、運転を継続することができる。尚、本実施の形態では、電圧 d-q 変換部 60 の出力に対して電圧制限部 100 及び 110 を備える構成とし、出力電圧の制限は d-q 変換後に行うようにしたが、d-q 変換前に出力電圧の制限を行うような構成にしてもよい。

（実施の形態 4）

次に、本発明の実施の形態 4 について、図 10 及び図 11 を用いて説明する。尚、実施の形態 1 と共通する構成の説明は省略し、相違する構成についてのみ説明する。

[0075] 図 10 は、本発明の実施の形態 4 に係る電力変換装置の制御部の制御時における等価ブロック図である。本実施の形態は、実施の形態 1 と比較すると、制御部 12 が、発電機モデル部 30 が算出した d 軸及び q 軸電流指令値を所定の限度内に制限するように制御する電流制限制御部 120 を更に備える点が相違する。

[0076] 上記実施の形態では、定常状態における電流に比べ、電圧変動時では電流が大きくなるという現象がある。この過電流が電力変換装置の容量を超えてしまって、運転が継続できない場合がある。そこで、本実施の形態では、図 10 のように、電流制限制御部 120 において電流指令値に対して、電流リミッタを設ける。

[0077] 本実施の形態では電流のリミット設定値は、 i_d は $-0.5 \text{ pu} \sim 0.5 \text{ pu}$ の範囲とし、 i_q は $-1.1 \text{ pu} \sim 1.1 \text{ pu}$ の範囲とする。

[0078] 本発明者らは、本実施の形態の電力変換装置によるシミュレーションを行った。図 11 の上段 (a) は、位相差の時間変化を示し、図 11 の下段 (b) は、u 相電流の時間変化のグラフを示している。シミュレーションでは開

始から 2.3 秒付近で系統電圧の変動を発生させている。図 11 (a) に示すように、位相差は開始から 3.2 秒付近で仮想発電機の同期化作用により 0 に収束している。また、実施の形態 3 (図 10 のグラフ上段) では電流の制限を行っていないため、一時的に過電流が発生していた。しかし、本実施の形態では、図 11 (b) に示すように、u 相電流は -150 (A) から 150 (A) の定格範囲に収まっている。

[0079] 上記構成により、定常状態における電流に比べて、変動時に過電流が発生した場合でも、電力変換装置の容量を超えることがないので、運転を停止することなく継続することができる。

[0080] 上記説明から、当業者にとっては、本発明の多くの改良や他の実施形態が明らかである。従って、上記説明は、例示としてのみ解釈されるべきであり、本発明を実行する最良の態様を当業者に教示する目的で提供されたものである。本発明の精神を逸脱することなく、その構造及び／又は機能の詳細を実質的に変更できる。

産業上の利用可能性

[0081] 本発明は、電力系統と連系して運転する連系運転機能を有する電力変換装置に用いることができる。

符号の説明

[0082] P C 電力変換装置

- 1 二次電池
- 2 電圧センサ
- 3 電力変換部
- 4 電流センサ
- 5 出力リアクトル
- 6 電圧センサ
- 7 フィルタコンデンサ
- 8 変圧器
- 9 マイクログリッドの配電線

- 1 0 電流 $d - q$ 変換部
- 1 1 負荷
- 1 2 制御部
- 1 3 仮想発電機
- 1 4 マイクログリッド制御装置
- 1 5 遮断器
- 1 6 商用電力系統の配電線
- 2 0 電力変換制御部
- 3 0 発電機モデル部
- 4 0 発電トルク演算部
- 5 0 回転角度演算部
- 6 0 電圧 $d - q$ 変換部
- 7 0 AVRモデル部
- 8 0 ガバナ及び駆動源モデル部
- 9 0 発電トルク制動部
- 1 0 0、1 1 0 電圧制限部
- 1 2 0 電流制限部
- 1 3 0 回転角度変動のフィードバック経路の等価回路

請求の範囲

[請求項1]

入力される直流電力を交流電力に変換し、電力系統に接続される出力線へ出力するよう構成された電力変換部と、

前記電力変換部が仮想発電機として動作するよう当該電力変換部を制御するよう構成された制御部と、を備え、

前記制御部は、

前記電力変換部が前記出力線に出力する無効電力及び出力電圧と、無効電力指令値と電圧指令値とに基づいて、前記出力電圧の前記電圧指令値からの偏差に応じた前記仮想発電機の誘起電圧を演算するよう構成されたA V Rモデル部と、

前記電力変換部が前記出力線に出力する有効電力と、有効電力指令値と、角速度指令値と、前記仮想発電機のロータの角速度とに基づいて、当該角速度の前記角速度指令値からの偏差に応じた、前記仮想発電機を駆動する仮想駆動源の駆動トルクを演算するガバナ及び駆動源モデル部と、

前記A V Rモデル部で演算された誘起電圧とq軸電流指令値又は前記電力変換部の出力電流のq軸成分とに基づいて前記仮想発電機の発電トルクを演算する発電トルク演算部と、

前記ガバナ及び駆動源モデル部で演算された駆動トルクから前記発電トルク演算部で演算された発電トルクを減算して前記仮想発電機のロータの加速トルクを演算し、少なくとも当該加速トルクと前記仮想発電機のロータの慣性とに基づいて前記仮想発電機のロータの前記角速度及び回転角度を演算する回転角度演算部と、

前記回転角度演算部で演算された前記回転角度を用いて前記電力変換部の出力電圧のd軸成分及びq軸成分を演算する電圧d-q変換部と、

同期発電機の誘起電圧と相電圧と線電流との関係を表すフェーザ図で規定される代数式を用いて、前記A V Rモデル部で演算された誘起

電圧と前記 $d-q$ 変換部で演算された前記出力電圧の d 軸成分及び q 軸成分とに基づいて前記仮想発電機の電機子電流の d 軸成分及び q 軸成分に相当する d 軸電流指令値及び前記 q 軸電流指令値を演算する発電機モデル部と、

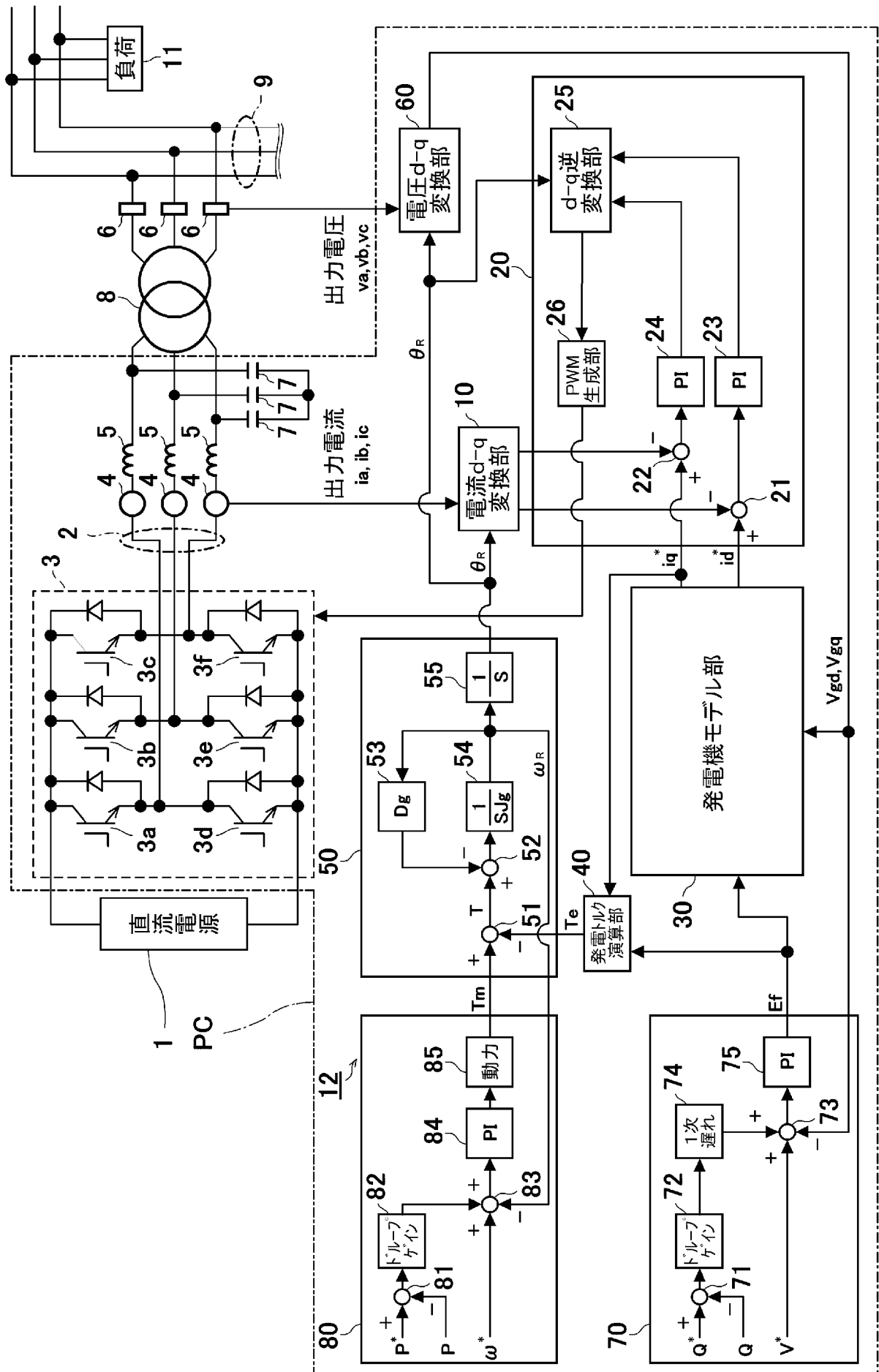
前記発電機モデル部で演算された d 軸電流指令値及び前記 q 軸電流指令値に対応する電流を出力するよう前記電力変換部を制御する電力変換制御部と、を含む、電力変換装置。

[請求項2] 前記制御部は、前記発電トルク演算部で演算された発電トルクの振動を制動して前記回転角演算部に出力する発電トルク制動部を更に備える、請求項 1 に記載の電力変換装置。

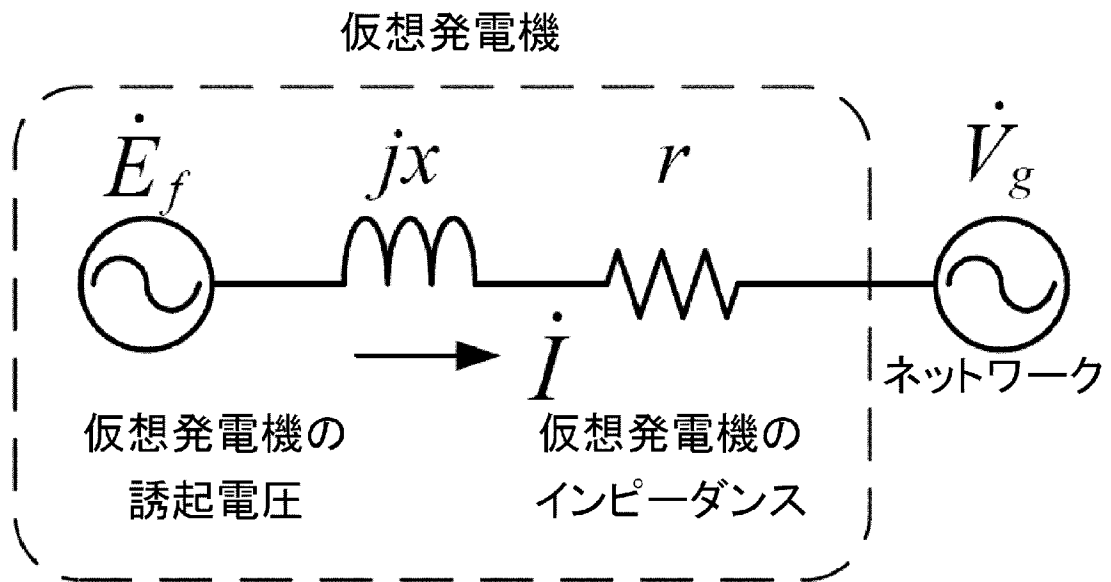
[請求項3] 前記制御部は、前記電圧 $d-q$ 変換部を介して前記発電機モデル部に与えられる前記出力電圧の d 軸成分及び q 軸成分の値を所定の値に制限する電圧制限部を更に備える、請求項 1 又は 2 に記載の電力変換装置。

[請求項4] 前記制御部は、前記発電機モデルが演算した前記 d 軸及び q 軸電流指令値を所定の限度内に制限するように制御する電流制限制御部を更に備える、請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の電力変換装置。

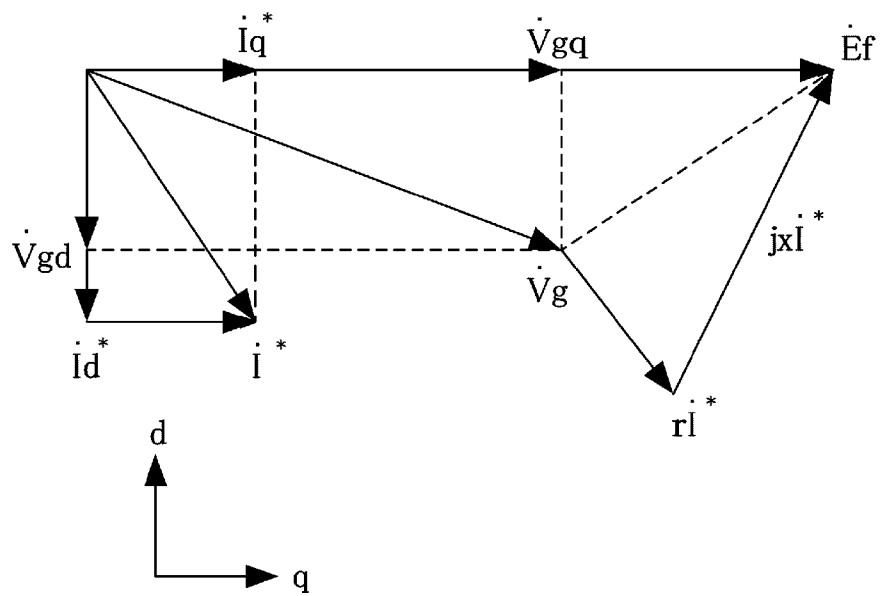
[図1]



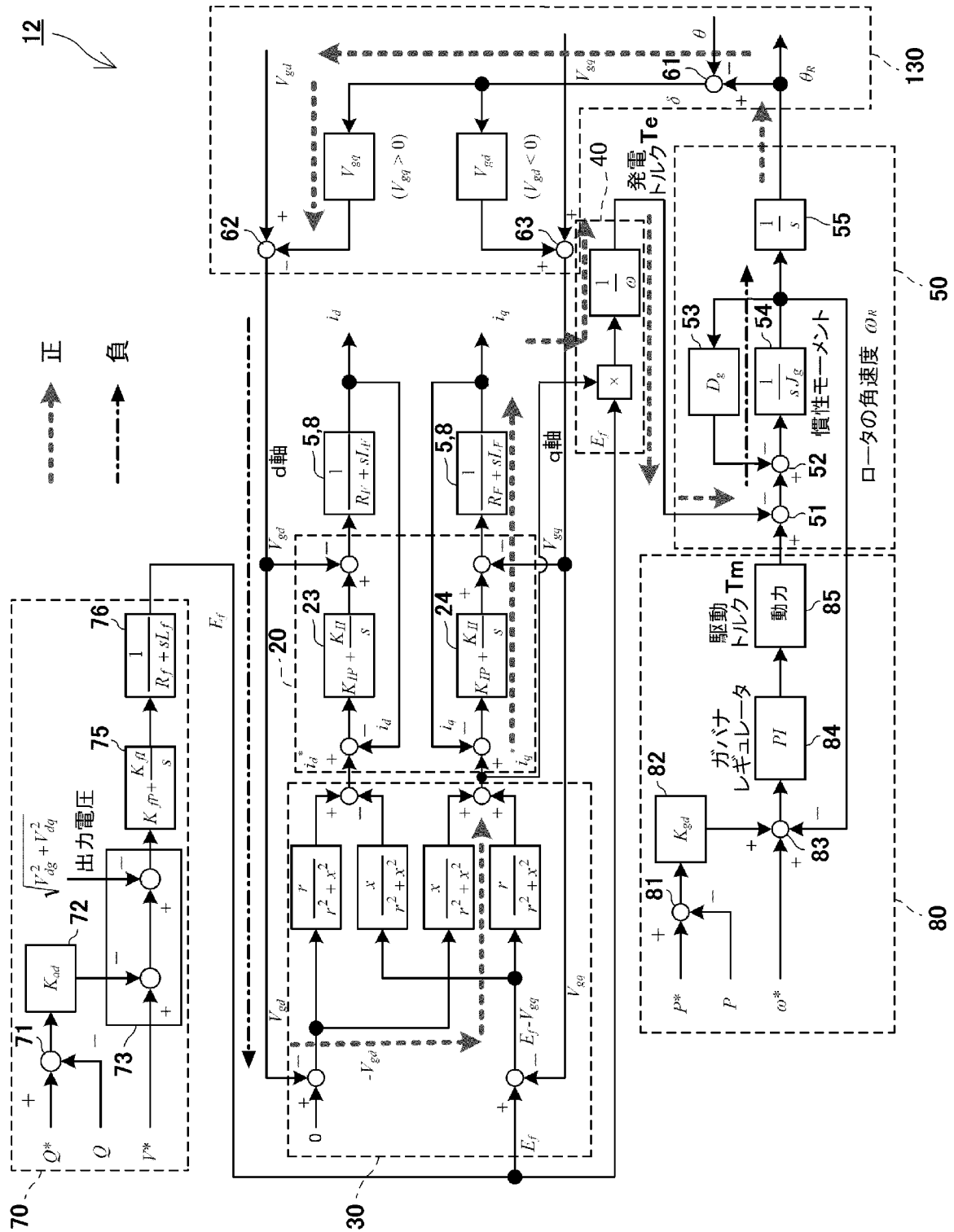
[図2]



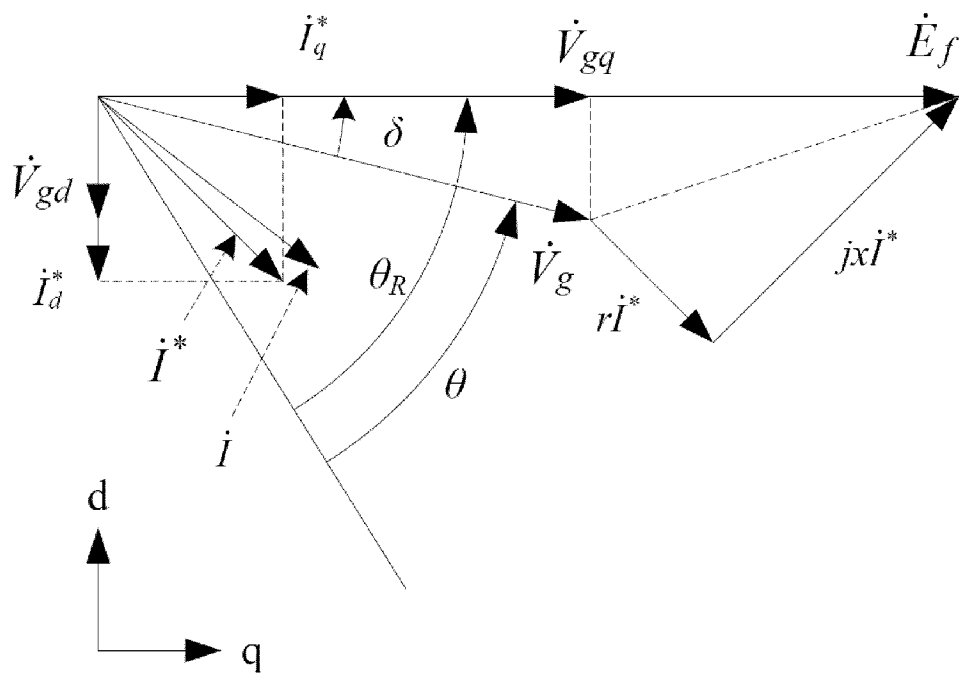
[図3]



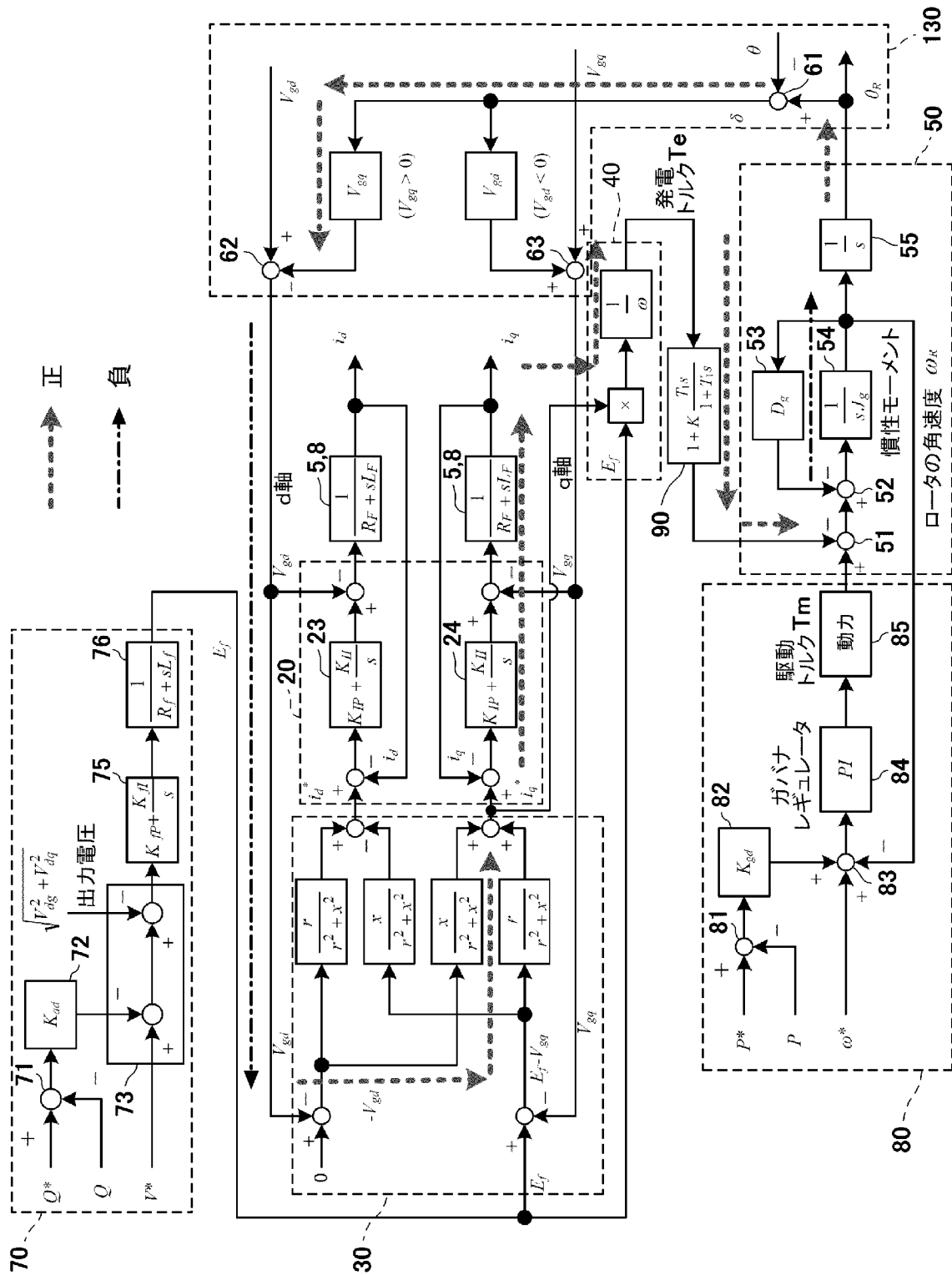
[図4]



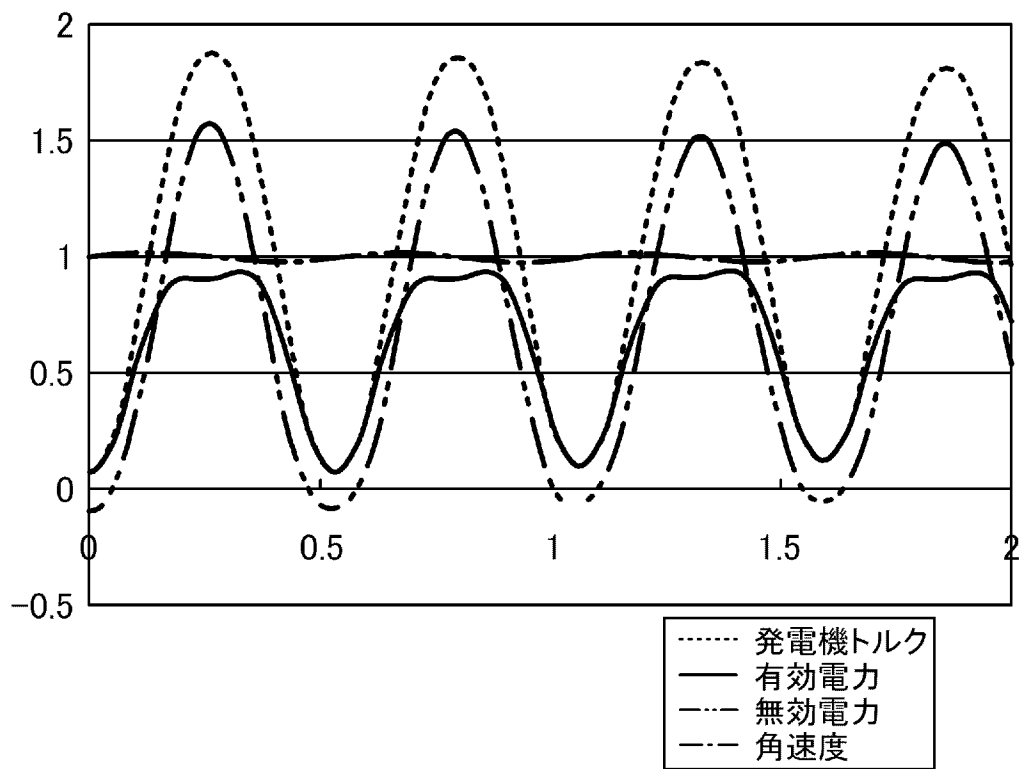
[図5]



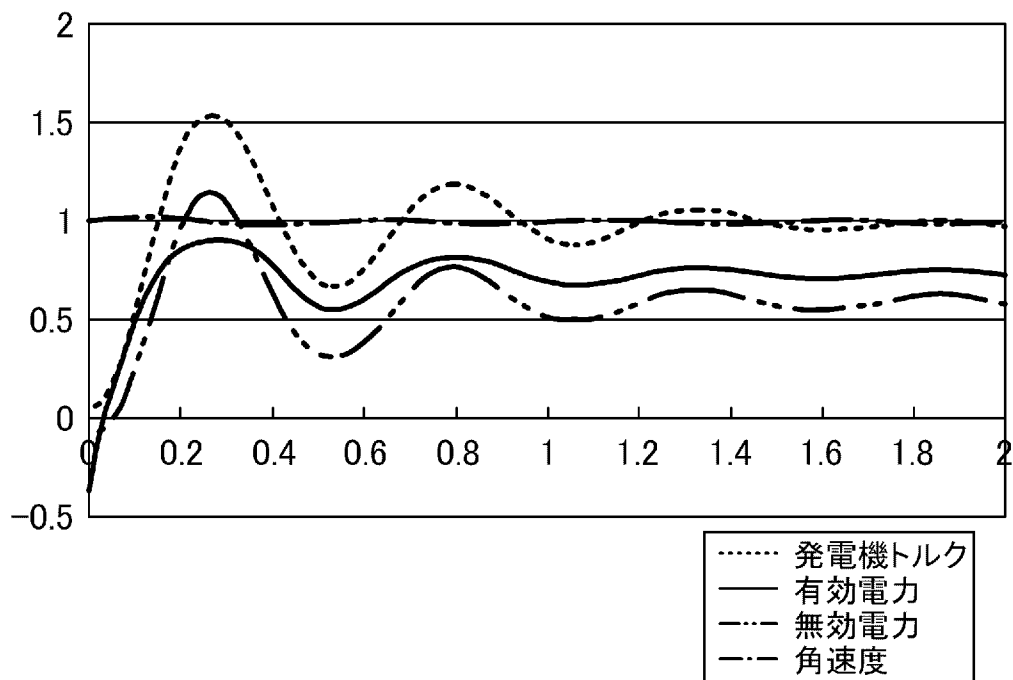
[図6]



[図7]

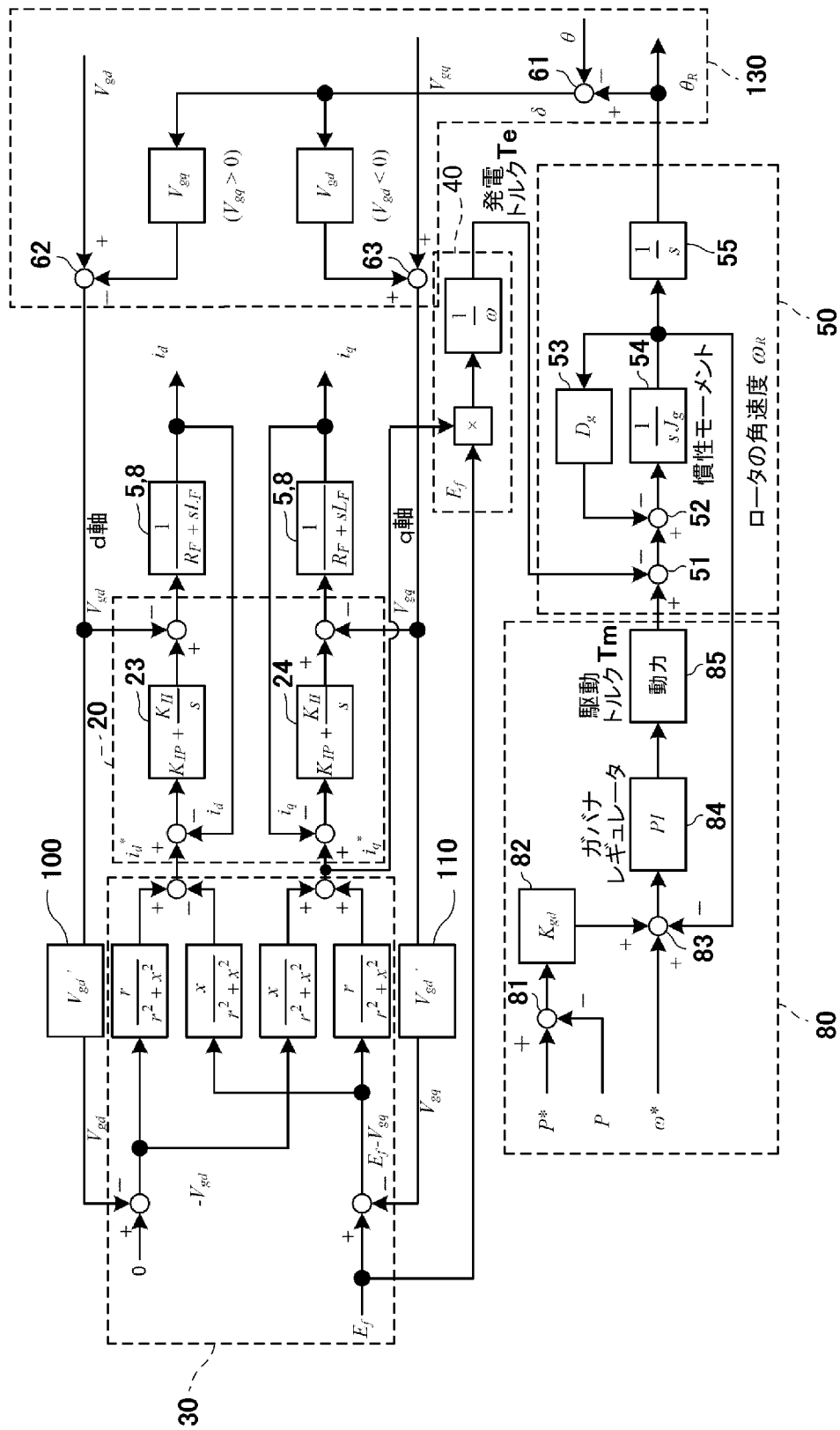


(a)

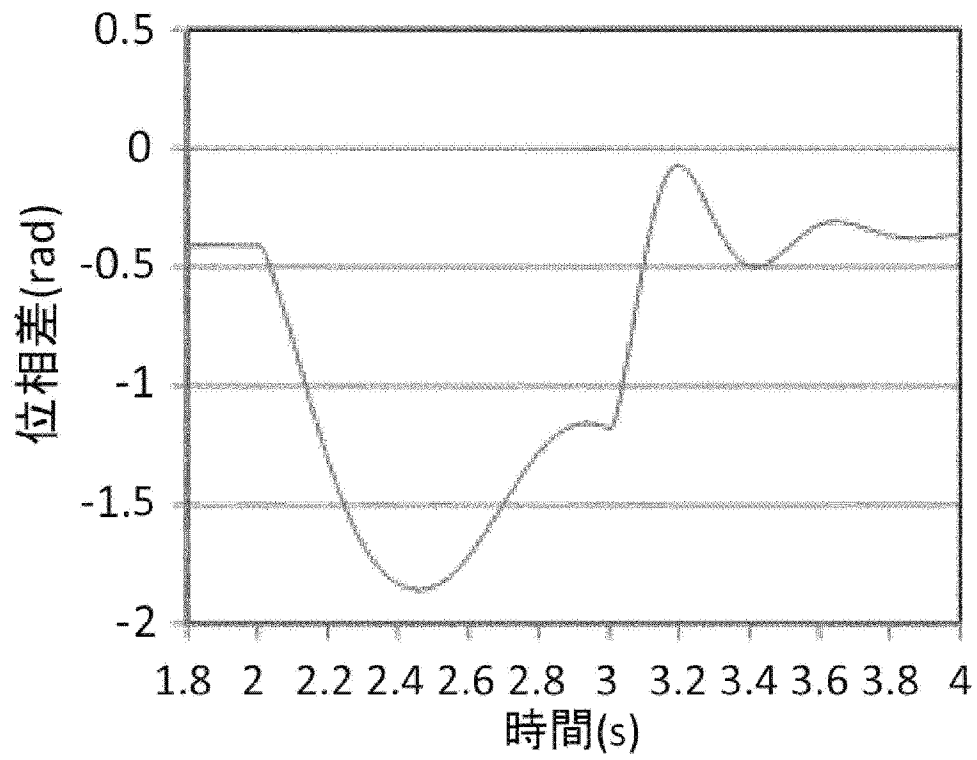


(b)

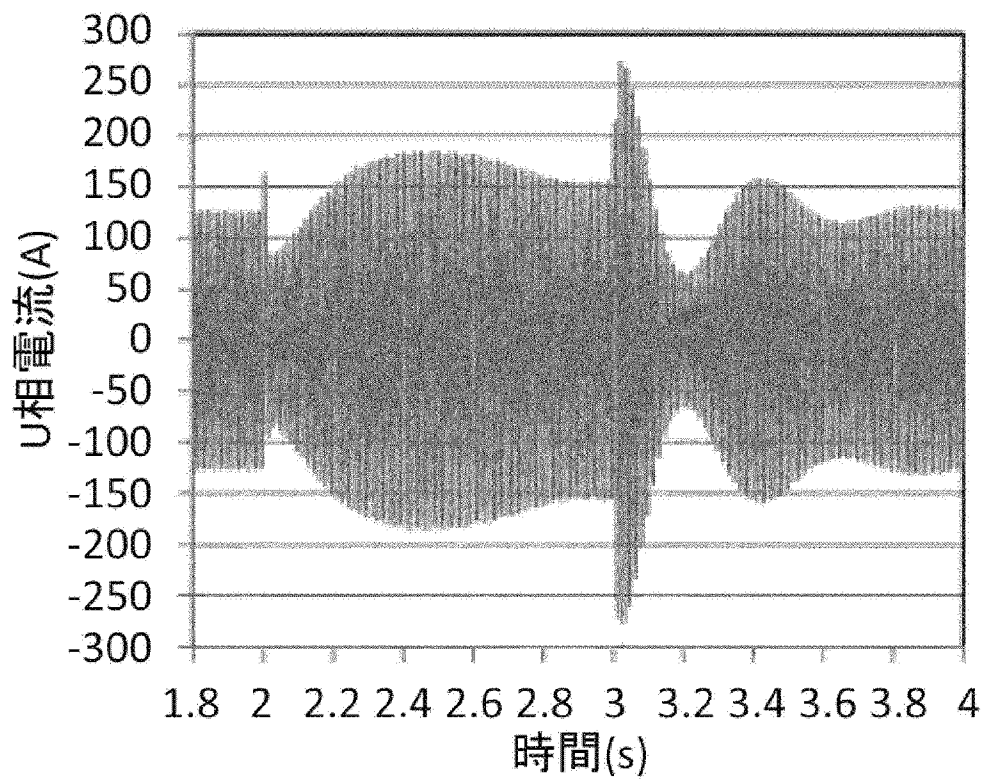
[図8]



[図9]

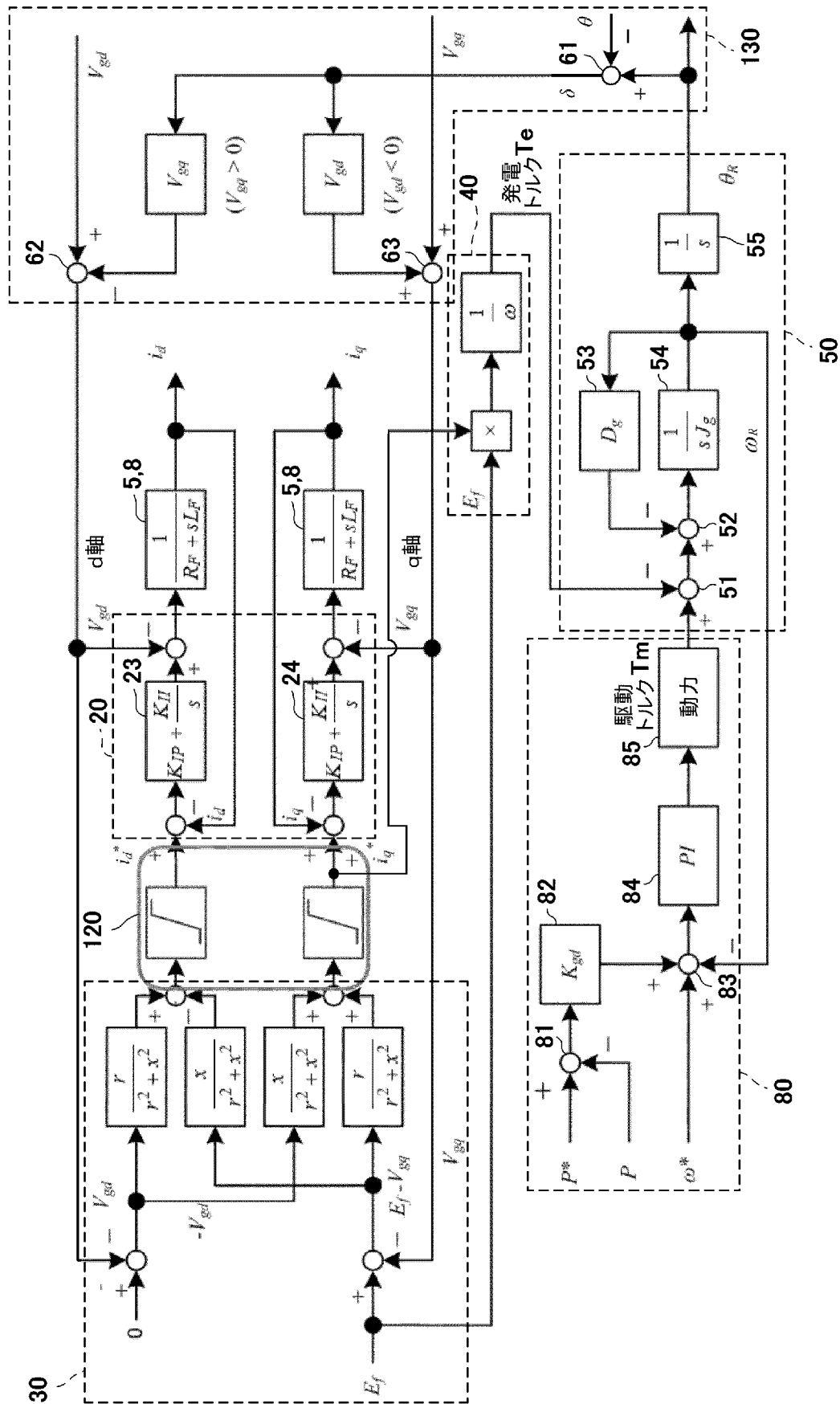


(a)

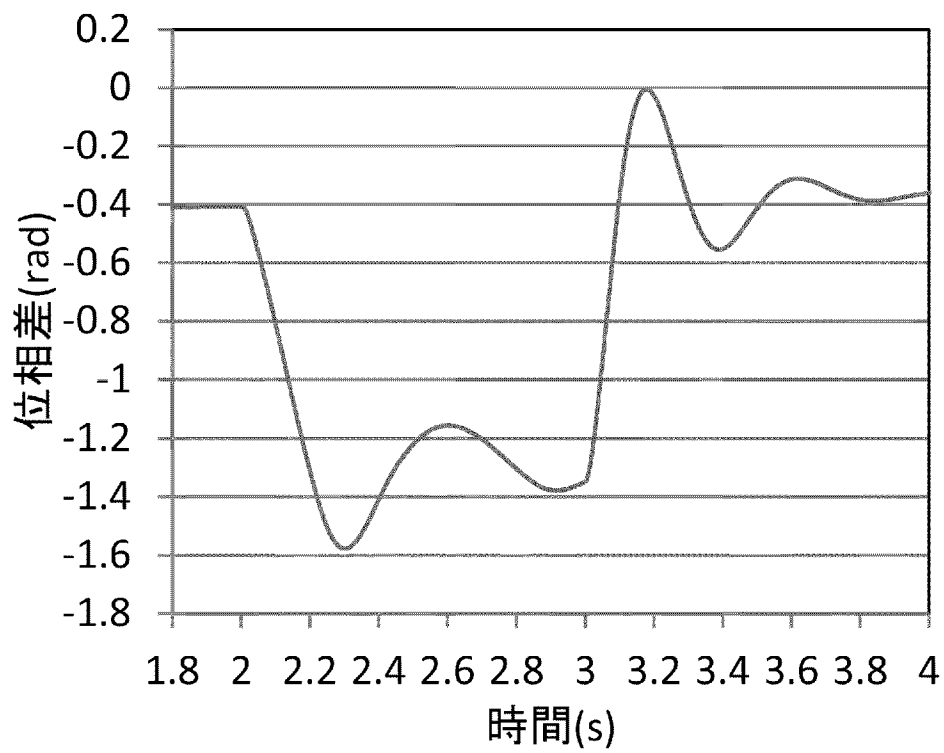


(b)

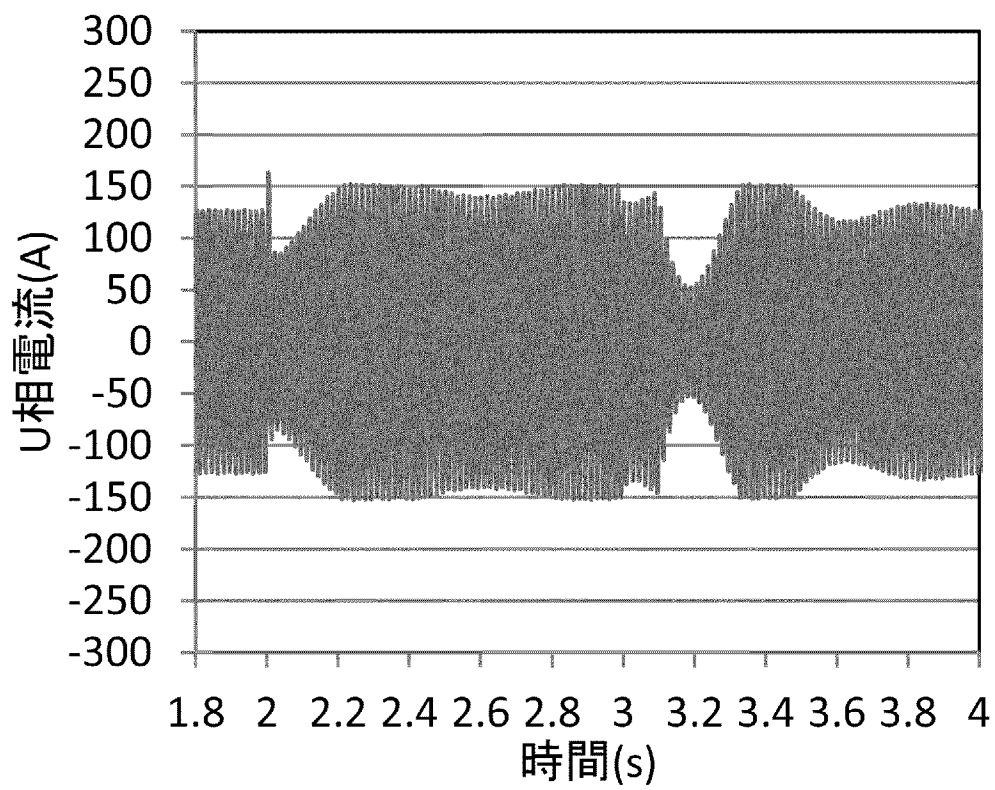
[図10]



[図11]



(a)



(b)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/006190

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J3/38(2006.01)i, H02M7/48(2007.01)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)

H02J3/00-3/50, H02J7/00-7/12, H02J7/34-7/36, H02M1/00-1/44, H02M7/42-7/98, H02P9/00-9/48, G05F1/12-1/70

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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

J-STAGE

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-225599 A (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.), 01 October 2009 (01.10.2009), paragraphs [0015] to [0047]; fig. 1, 2 (Family: none)	1-4
A	WO 2013/008413 A1 (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.), 17 January 2013 (17.01.2013), paragraphs [0053] to [0091]; fig. 1 to 6B (Family: none)	1-4

☒ 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
09 January, 2014 (09.01.14)

Date of mailing of the international search report
21 January, 2014 (21.01.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/006190

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2011/0270463 A1 (George WEISS), 03 November 2011 (03.11.2011), entire text; fig. 1 to 8 & GB 820699 D & GB 820699 D0 & EP 2377238 A & WO 2010/055322 A2 & CN 102257720 A	1-4
A	Yuko HIRASE, "A Grid Connected Inverter with Virtual Synchronous Generator Model of Algebraic Type", The Transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan B (A publication of Power and Energy Society), 01 April 2012 (01.04.2012), vol.132, no.4, pages 371 to 380	1-4
P,A	JP 2013-162623 A (Toshiba Corp.), 19 August 2013 (19.08.2013), paragraphs [0010] to [0055], [0071] to [0079]; fig. 1 to 5, 10 (Family: none)	1-4

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H02J3/38(2006.01)i, H02M7/48(2007.01)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. H02J3/00-3/50, H02J7/00-7/12, H02J7/34-7/36, H02M1/00-1/44, H02M7/42-7/98, H02P9/00-9/48, G05F1/12-1/70

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 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 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）

J-STAGE

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2009-225599 A（川崎重工業株式会社）2009.10.01, 段落【0015】－【0047】，第1，2図（ファミリーなし）	1－4
A	WO 2013/008413 A1（川崎重工業株式会社）2013.01.17, 段落[0053]－[0091]，第1－6 B図（ファミリーなし）	1－4
A	US 2011/0270463 A1（George WEISS）2011.11.03, 全文，第1－8図 & GB 820699 D & GB 820699 D0 & EP 2377238 A & WO 2010/055322 A2 & CN 102257720 A	1－4

☒ 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

0 9 . 0 1 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

2 1 . 0 1 . 2 0 1 4

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100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

早川 卓哉

5 T

9 2 9 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 6 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
A	平瀬祐子, 「代数型仮想発電機モデルによる系統連系インバータ」, 電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌), 2012.04.01, 第132巻第4号, 第371-380頁	1-4
P, A	JP 2013-162623 A (株式会社東芝) 2013.08.19, 段落【0010】-【0055】, 【0071】-【0079】, 第1-5, 10図 (ファミリーなし)	1-4