

明 細 書

発明の名称：

電力変換装置、電力変換方法、および電力変換プログラム

技術分野

[0001] 本開示は、電力変換装置、電力変換方法、および電力変換プログラムに関する。

背景技術

[0002] 特許文献1には、再生可能エネルギー等を用いて生成された直流電力を、交流電力に変換するためのインバータ制御装置が開示されている。このインバータ制御装置は、定格出力電力に対する出力電力の比率が異なる複数のインバータを、安定的に動作させる。このようなインバータ制御装置は、例えば分散型電源を電力系統に接続するためにも用いられる。従来の分散型電源では、電力系統を管理する装置からの電力指令値に基づき、出力電力を決定する。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2020-198705号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 分散型電源の出力電力は、一般的に、垂下特性に基づいて定められる。ここで、電力指令値および垂下特性に基づいて出力電力を決定すると、電力系統における負荷変動が生じた場合に、分散型電源の出力電力が上限値（例えば定格容量）を超えてしまう可能性がある。その結果として、分散型電源の動作が停止してしまう可能性がある。

[0005] 本開示は、上記の事情に鑑みて、垂下特性を用いて分散型電源の出力電力を決定する際に、出力電力が上限値を超えることを回避できる、電力変換装置、電力変換方法、および電力変換プログラム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

[0006] 本開示に係る一つの態様は、電力管理装置が生成した電力指令値に基づき、電力系統に電圧源として交流電力を供給する電力変換装置であって、分散型電源の直流電力を交流電力に変換するインバータと、前記インバータの制御パラメータを管理する制御パラメータ管理部と、前記インバータの出力電力を検出し、検出値として出力する検出部と、前記検出値、前記電力指令値、および前記制御パラメータに基づき、前記インバータを制御する電圧指令値を生成するインバータ制御部と、を備え、前記制御パラメータは、前記インバータにおける前記出力電力の、周波数との相関である垂下特性に関するものであり、前記インバータ制御部は、前記検出値および前記電力指令値に基づいて前記垂下特性を変更し、変更した前記垂下特性に基づき前記電圧指令値を生成する。

[0007] 本開示に係る電力変換方法の一つの態様は、インバータの出力電力を検出値として検出する工程と、電力管理装置が生成した電力指令値および前記検出値に基づき、前記インバータにおける前記出力電力の周波数との相関である垂下特性を変更する工程と、変更した前記垂下特性に基づいて電圧指令値を生成する工程と、前記電圧指令値に基づき、分散型電源の直流電力を交流電力に変換する工程と、を有する。

[0008] 本開示に係る電力変換プログラムの一つの態様は、コンピュータに、電力管理装置が生成した電力指令値およびインバータの出力電力の検出値に基づき、前記インバータにおける前記出力電力の周波数との相関である垂下特性を変更する処理と、変更した前記垂下特性に基づいて電圧指令値を生成する処理と、前記電圧指令値に基づき、分散型電源の直流電力を交流電力に変換する処理と、を実行させる。

発明の効果

[0009] 本開示によれば、垂下特性を用いて分散型電源の出力電力を決定する際に、出力電力が上限値を超えることを回避できる。

図面の簡単な説明

- [図10] [図1]実施の形態に係る電力変換装置を含む電力系統管理システムの構成を示す図である。
- [図2]図1の負荷の例を示すブロック図である。
- [図3]図1の電力管理装置の構成例を示すブロック図である。
- [図4]図1の第1制御パラメータ管理部の構成例を示すブロック図である。
- [図5]図1の第1分散型電源および第1インバータの構成例を示すブロック図である。
- [図6]図1の第1検出部の構成例を示すブロック図である。
- [図7]図1の第1インバータ制御部の構成例を示すブロック図である。
- [図8]図7のVSG制御部の構成例を示すブロック図である。
- [図9]図7の電圧制御部の構成例を示すブロック図である。
- [図10]図7のPref制御部の構成例を示すブロック図である。
- [図11]図5のコンバータ制御部の構成例を示すブロック図である。
- [図12]負荷が増加したときにおける垂下特性の変更を説明する図である。
- [図13]負荷が減少したときにおける垂下特性の変更を説明する図である。
- [図14]負荷が増加した後で減少した場合の、電力変換装置の動作の例を説明する図である。
- [図15]負荷が減少した後で増加した場合の、電力変換装置の動作の例を説明する図である。
- [図16]電力変換装置が行う自己補正フローを説明するフローチャートである。
- [図17]図16における制御偏差の計算フローを説明するフローチャートである。
- [図18]ドループ制御における垂下特性の第1の例である。
- [図19]ドループ制御における垂下特性の第2の例である。
- [図20]ドループ制御における垂下特性の第3の例である。
- [図21]ドループ制御における垂下特性の第4の例である。

[図22]電力変換装置が行う他の自己補正フローを説明するフローチャートである。

[図23]図 2 2 におけるPref制御の計算フローを説明するフローチャートである。

[図24]図 2 3 におけるPref制御の終了判定を説明するフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、図面を参照しながら、本開示の実施の形態について説明する。なお、本開示の範囲は、以下の実施の形態に限定されず、本開示の技術的思想の範囲内で任意に変更可能である。

[0012] 図 1 は、本実施の形態における電力変換装置を含む電力系統管理システムの構成を示す図である。電力系統管理システム 1 は、例えば、マイクログリッドにおける自律電力系統を管理する。自律電力系統には、例えば図 1 に示すように、配電用電圧器 6 に接続される配電線 3 が設けられている。配電線 3 には、第 1 分散型電源 1 4、第 2 分散型電源 2 4、負荷 4、および太陽光発電設備 5（図では P V と略す）が接続されている。マイクログリッドは、例えば、スマートシティ、ビル、工場、離島などに適用される。ただし、電力系統管理システム 1 の適用例はこれらに限定されない。

[0013] 電力系統管理システム 1 には、太陽光発電設備 5 以外の自然エネルギーを用いた発電設備（風力発電機、水力発電機など）が接続されてもよい。また、電力系統管理システム 1 には、火力発電所等が接続されてもよい。図 1 に示す負荷 4 は、電力を消費する設備である。図 2 に示すように、負荷 4 には、例えばマンション・住宅 7 0 2、街灯 7 0 3、学校・病院 7 0 4、商業負荷 7 0 6 等が含まれる。これらの負荷 7 0 2～7 0 4 には、変圧器 7 0 1 を介して、交流電流が供給される。商業負荷 7 0 6 には、変圧器 7 0 5 を介して、交流電流が供給される。

[0014] 図 1 に示すように、電力系統管理システム 1 は、電力管理装置 2 と、第 1 電力変換装置 1 0 と、第 2 電力変換装置 2 0 と、第 1 分散型電源 1 4 と、第

2分散型電源24と、を備えている。第1分散型電源14および第2分散型電源24は、例えば、蓄電池である。電力変換装置10、20は、負荷4における電力需要に応じて、分散型電源14、24の直流電力を交流電力に変換し、配電線3に供給する。また、電力変換装置10、20は、負荷4における電力消費が小さいときに、余剰電力を用いて、分散型電源14、24を充電してもよい。

[0015] 電力管理装置2は、例えば、CEMS (Community Energy Management System)、AEMS (Aria Energy Management System)、BEMS (Building and Energy Management System) 等である。電力管理装置2は、自律電力系統における電力の需給を管理する。図3に、電力管理装置2の構成例を示す。電力管理装置2は、例えば、発電電力予測回路201と、消費電力予測回路202と、運転計画作成部203と、管理部204と、を有する。発電電力予測回路201は、太陽光発電設備5の発電電力を予測し、その予測結果である発電電力情報を生成する。発電電力予測回路201は、天気予報に基づいて、発電電力を予測してもよい。

[0016] 消費電力予測回路202は、負荷4における消費電力を予測し、その予測結果である消費電力情報を生成する。消費電力予測回路202が生成する消費電力情報には、日付（年月日）、時刻等の情報も含まれる。運転計画作成部203は、発電電力予測回路201から出力される発電電力情報および消費電力予測回路202から出力される消費電力情報に基づいて、第1電力変換装置10および第2電力変換装置20の運転計画を作成する。運転計画作成部203には、変電所からの充放電電力の計画値も通知される。変電所から通知される計画値は、例えば30分周期で、30分間の充放電電力に関する情報である。

[0017] 管理部204は、配電線3に接続される分散型電源14、24の運転計画の作成を管理する。管理部204は、運転計画作成部203が生成した、電力指令値Pref1*、Pref2*、周波数指令値Fref*、および制御パラメータ等を記憶する。管理部204は、後述の第1インバータ制御部12およ

び第2インバータ制御部22にそれぞれ、第1電力指令値Pref1*および第2電力指令値Pref2*を出力する。管理部204は、後述の第1制御パラメータ管理部11および第2制御パラメータ管理部21にそれぞれ、制御パラメータを出力する。制御パラメータは、詳細は後述するが、仮想同期発電機(VSG)制御に用いられる。図3では、第1制御パラメータ管理部11および第2制御パラメータ管理部21に出力される制御パラメータを、それぞれM1、M2等と表記している。なお、本実施の形態では、第1インバータ制御部12および第2インバータ制御部22にVSG制御を実装した場合について説明するがこれに限るものではなく、電圧源として動作するインバータに垂下特性(出力電力ー出力交流系統電圧周波数特性)を持たせれば同様の効果が得られることは言うまでもない。

[0018] 図1に示すように、第1電力変換装置10は、第1制御パラメータ管理部11と、第1インバータ制御部12と、第1インバータ13と、第1検出部16と、を有している。第2電力変換装置20は、第2制御パラメータ管理部21と、第2インバータ制御部22と、第2インバータ23と、第2検出部26と、を有している。第1インバータ制御部12は、第1Pref制御部12aと、第1電圧・周波数制御部12bと、を有する。第2インバータ制御部22は、第2Pref制御部22aと、第2電圧・周波数制御部22bと、を有する。

[0019] 図4に、第1制御パラメータ管理部11の構成例を示す。第2制御パラメータ管理部21の構成例の図示は省略するが、第1制御パラメータ管理部11の構成と同様であってもよい。第2電力変換装置20の他の部位の構成についても、第1電力変換装置10の構成と同様であってもよい。図4に示すように、第1制御パラメータ管理部11は、例えば記憶回路301と、Pref制御パラメータ管理部302と、受信部303と、制御回路304と、を有する。

[0020] 受信部303は、電力管理装置2の管理部204から出力された各種情報を受信する。各種情報には、周波数指令値Fref*、交流系統の実効電圧

V_{ref*} 、第1分散型電源14の定格容量 P_{base1} 、フラグ情報、 Δf_{min} 、 Δf_{max} 、制御パラメータ、等が含まれる。定格容量 P_{base1} とは、例えば後述の放電側定格容量 P_{max} または充電側定格容量 P_{min} に関する情報である。フラグ情報とは、例えば後述のフラグ値 P_{ref_flag} である。 Δf_{min} および Δf_{max} については後述する（図12、図13参照）。記憶回路301は、受信部303が受信した各種情報を記憶し、制御回路304に出力する。制御回路304は、第1制御パラメータ管理部11の動作を制御する。 P_{ref} 制御パラメータ管理部302は、電力管理装置2から通知された P_{ref*} 、 P_{ref} 制御パラメータ、 P_I 制御パラメータ、電圧制御ゲインなどを管理する。第1制御パラメータ管理部11は、第1インバータ制御部12と通信を行い、上記した各種情報を第1インバータ制御部12に出力する。なお、 P_I 制御パラメータ、電圧制御ゲインなどは電力変換装置10、20内のデフォルト値を用いても良いことは言うまでもない。

[0021] 図5に、第1分散型電源14および第1インバータ13の構成例を示す。図5に示すように、第1分散型電源14は、例えば電源本体部14aと、コンバータ14bと、コンバータ制御部14cと、を有する。電源本体部14aは、例えば蓄電池の本体部分である。コンバータ制御部14cには、電力管理装置2の管理部204から出力された第1コンバータ制御パラメータ、コンバータ14bと電源本体部14aとの間の電流 I_{der} および電圧 V_{der} 、コンバータ14bと第1インバータ13との間の電流 I_{conv} および電圧 V_{conv} 、等が入力される。コンバータ制御部14cは、これらの入力に基づき、コンバータ14bを制御する。

[0022] コンバータ14bは、コンバータ制御部14cによる制御下で、電源本体部14aの直流電流の電圧を変換し、第1インバータ13に出力する。第1インバータ13は、例えば、インバータ回路13a、フィルタ13bを有している。インバータ回路13aは、インバータ制御部12から出力される目標電圧 u^* 、 v^* 、 w^* に基づき、直流電流を交流電流に変換する。フィルタ13bは、インバータ回路13aから出力される交流電流の電圧を調整す

る。第1検出部16は、第1インバータ13の出力電力の検出値 $P_{measure}$ 、電圧 V_{inv} 、電流 I_{inv} 、周波数 F_{inv} を検出し、第1インバータ制御部12にフィードバックする。

[0023] 図6に、第1検出部16の構成例を示す。図6に示すように、第1検出部16は、電圧検出部801と、交流周波数検出部802と、電力検出部803と、電流検出部804と、を有する。電圧検出部801は電圧 V_{inv} を検出する。交流周波数検出部802は、周波数 F_{inv} を検出する。電流検出部804は、電流 I_{inv} を検出する。電力検出部803は、電圧検出部801および電流検出部804の検出結果に基づき、電力を検出し、検出値 $P_{measure}$ として出力する。

[0024] 第1分散型電源14および第1インバータ13を合わせて、「第1インバータ電源15」と称する。第2分散型電源24および第2インバータ23を合わせて、「第2インバータ電源25」と称する。インバータ電源15、25は、仮想同期発電機(VSG: Virtual Synchronous Generator)であってもよい。言い換えると、電力変換装置10、20は、VSG制御を行ってもよい。VSG制御を行うことで、分散型電源14、24を用いて生成した交流電力に慣性を付与し、負荷変動に対する安定性を高めることができる。ただし、電力変換装置10、20は、VSG制御を行わなくてもよい。また、電力系統管理システム1は、3つ以上の分散型電源を含んでもよい。また、本実施の形態では、VSG制御を実装した場合について説明するがこれに限るものではなく、電圧源として動作するインバータに垂下特性(出力電力ー出力交流系統電圧周波数特性)を持たせれば同様の効果が得られることは言うまでもない。

[0025] 第1電力変換装置10および第2電力変換装置20は、互いに同様の制御を行ってもよい。以下では、2つの電力変換装置10、20を代表させて、主として第1電力変換装置10において行われる制御について説明する。ただし、第1電力変換装置10と第2電力変換装置20とで制御内容が異なってもよい。

[0026] 本明細書で用いる語については、以下のように定義する。

第1電力指令値Pref1*：電力管理装置2が定める、第1分散型電源14に対する出力電力の指令値である。

第2電力指令値Pref2*：電力管理装置2が定める、第2分散型電源24に対する出力電力の指令値である。

第1目標出力Pref1：第1Pref制御部12aが定める、第1インバータ電源15が目標とする出力電力である。

第2目標出力Pref2：第2Pref制御部22aが定める、第2インバータ電源25が目標とする出力電力である。

第1変更指令値Pref1'：第1電力変換装置10が、第1電力指令値Pref1*をオフセットした後の値である。

第2変更指令値Pref2'：第2電力変換装置20が、第2電力指令値Pref2*をオフセットした後の値である。

第1出力電力Pout1：第1インバータ電源15の出力電力である。

第2出力電力Pout2：第2インバータ電源25の出力電力である。

第1検出値Pmeasure1：第1検出部16によって検出された、第1出力電力Pout1の値である。

第2検出値Pmeasure2：第2検出部26によって検出された、第2出力電力Pout2の値である。

[0027] なお、以下の説明では、第1電力指令値Pref1*と第2電力指令値Pref2*を区別せずに「電力指令値Pref*」と記載する場合がある。同様に、第1目標出力Pref1と第2目標出力Pref2を区別せずに「目標出力Pref」と、第1変更指令値Pref1'と第2変更指令値Pref2'を区別せずに「変更指令値Pref'」と、第1出力電力Pout1と第2出力電力Pout2を区別せずに「出力電力Pout」と、第1検出値Pmeasure1と第2検出値Pmeasure2を区別せずに「検出値Pmeasure」と記載する場合がある。

[0028] 電力管理装置2は、例えば、負荷4における電力需要の予測などに基づいて、第1電力指令値Pref1*および第2電力指令値Pref2*を生成する。第

1 インバータ制御部 1 2 には、電力管理装置 2 から、第 1 電力指令値 Pref 1 * が入力される。第 2 インバータ制御部 2 2 には、電力管理装置 2 から、第 2 電力指令値 Pref 2 * が入力される。インバータ制御部 1 2、2 2 は、電力指令値 Pref * に基づいて、目標出力 Pref を演算する。

[0029] 次に、V S G 制御の概要について説明する。V S G 制御は、以下のような同期発電機の動作を模倣する。同期発電機は、負荷変動が生じた場合、動揺方程式に従って、同期発電機内の回転体が持つ回転エネルギーを増減させる。これにより、同期発電機が供給する電力量と、負荷における消費電力と、の間でバランスを取る。例えば、負荷が大きくなると同期発電機内の回転体から回転エネルギーが出力され、回転体の回転数（交流系統の周波数）が減少する。また、負荷が小さくなると、余剰エネルギーを同期発電機内の回転体に取り込み、回転体の回転数（交流系統の周波数）が増加する。

[0030] 一般的に、同期発電機にはガバナ機能が実装されている。回転体の回転数（周波数）が上昇したとき、同期発電機へのエネルギー供給量が多いと推測される。そこでガバナ機能では、回転体の回転数が増加すると、同期発電機へのエネルギー供給量を小さくする。また、回転体の回転数（周波数）が低下すると、同期発電機へのエネルギー供給量を大きくする。

[0031] V S G 制御においては、上記のような同期発電機の動作を模倣する。具体的に、図 1 に示す第 1 制御パラメータ管理部 1 1 は、第 1 インバータ電源 1 5 が V S G 制御を行うための制御パラメータを管理する。「制御パラメータ」は、例えば、制動係数 D_g 、慣性定数 M 、ガバナゲイン K_{dg} 、ガバナ時定数 T 、等である。制動係数 D_g は、周波数の変化に対する制動力（ブレーキ）を示す量である。慣性定数 M は、V S G 制御において模倣する回転体の慣性力である。ガバナゲイン K_{dg} は、上記したガバナ機能を模倣するための比例ゲインである。ガバナ時定数 T は、ガバナ機能における伝達遅れである。

[0032] 同期発電機の回転体における動揺方程式は、「 $T_{in} - T_{out} = M \times d\omega / dt + D_g \times \omega$ 」のように表される。V S G 制御においても、同様の動

揺方程式に基づいて、インバータ電源 15、25 の出力電力を決定する。なお、 T_{in} は回転体に入力されるトルクであり、 T_{out} は回転体から出力されるトルクであり、 ω は回転体の角速度である。同期発電機のガバナ機能は、一般的に、「 $-1/K_{gd} \times \{1/(1+S \times T)\}$ 」のように、一次遅れ系モデルで表される。

[0033] Pref制御部 12a には、制御パラメータ管理部 11 が管理する制御パラメータと、電力管理装置 2 が出力した第 1 電力指令値 Pref1 * と、第 1 検出部 16 が検出した第 1 検出値 Pmeasure1 と、が入力される。Pref制御部 12a は、これらの入力の値に基づき、目標出力 Pref1 を演算し、電圧・周波数制御部 12b に出力する。電圧・周波数制御部 12b は、目標出力 Pref1 を満足するように、3 相の目標電圧 u^* 、 v^* 、 w^* を定める。 u^* は U 相に関する目標電圧であり、 v^* は V 相に関する目標電圧であり、 w^* は W 相に関する目標電圧である。第 1 インバータ 13 は、目標電圧 u^* 、 v^* 、 w^* に基づき、第 1 分散型電源 14 の直流電力を交流電力に変換する。交流電力は、配電設備 X1 を介して、配電線 3 に供給される。

[0034] Pref制御部 22a には、制御パラメータ管理部 21 が管理する制御パラメータと、電力管理装置 2 が出力した第 2 電力指令値 Pref2 * と、第 2 検出部 26 が検出した第 2 検出値 Pmeasure2 と、が入力される。Pref制御部 22a は、これらの入力の値に基づき、目標出力 Pref2 を演算し、電圧・周波数制御部 22b に出力する。電圧・周波数制御部 22b は、目標出力 Pref2 を満足するように、3 相の目標電圧 u^* 、 v^* 、 w^* を定める。第 2 インバータ 23 は、目標電圧 u^* 、 v^* 、 w^* に基づき、第 2 分散型電源 24 の直流電力を交流電力に変換する。交流電力は、配電設備 X2 を介して、配電線 3 に供給される。

[0035] 第 1 検出部 16 は、第 1 インバータ電源 15 が出力した電力を検出し、第 1 検出値 Pmeasure1 として、第 1 インバータ制御部 12 にフィードバックする。第 2 検出部 26 は、第 2 インバータ電源 25 が出力した電力を検出し、第 2 検出値 Pmeasure2 として、第 2 インバータ制御部 22 にフィードバック

する。インバータ制御部 12、22 は、検出値 $P_{measure}$ を用いて、検出値 $P_{measure}$ が目標出力 P_{ref} に近づくように、フィードバック制御を行う。

[0036] 図 7 に、第 1 インバータ制御部 12 の構成例を示す。図 7 に示すように、第 1 インバータ制御部 12 の電圧・周波数制御部 12b は、VSG 制御部 401 と、電圧制御部 402 と、電圧リミッター 403 と、ゲートパルス作成部 404 と、を有する。VSG 制御部 401 は、制御パラメータ、目標出力 P_{ref1} 、等に基づき、VSG 制御を行う。VSG 制御部 401 は、VSG 制御の結果である電圧周波数 f および位相情報 θ を、電圧制御部 402 に出力する。

[0037] f および θ に加えて、電圧制御部 402 には、交流系統の実効電圧 V_{ref}^* 、電圧制御ゲイン、第 1 検出部 16 からの電圧 V_{inv} および周波数 F_{inv} 、が入力される。これらの情報に基づき、電圧制御部 402 は、3 相（U 相、V 相、W 相）の電圧波形を生成する。生成された電圧波形は電圧リミッター 403 に入力される。電圧リミッター 403 は、入力された電圧波形に対して所定の処理を行い、PWM 変調を行うための 3 相のリファレンス波形 U_{ref} , V_{ref} , W_{ref} を生成する。ゲートパルス作成部 404 は、リファレンス波形 U_{ref} , V_{ref} , W_{ref} をそれぞれ三角波と比較し、ゲートパルスを生成する。このゲートパルスに基づき、インバータ電源 15 から出力される 3 相の電圧が定まる。すなわち、本実施の形態では、ゲートパルスが目標電圧 u^* 、 v^* 、 w^* に相当する。

[0038] 図 8 に、VSG 制御部 401 の構成例を示す。VSG 制御部 401 は、ガバナ回路 501 と、第 1 積分器 502 と、第 1 乗算器 503 と、第 2 乗算器 504 と、第 2 積分器 505 と、加算器 506 と、を有する。第 1 積分器 502 および第 1 乗算器 503 は、VSG 制御部 401 が有する演算部 401a の一部である。ガバナ回路 501 には、第 1 検出部 16 が検出した周波数 F_{inv} と周波数指令値 F_{ref}^* との差が入力される。この差 ($F_{inv} - F_{ref}^*$) に基づき、ガバナ回路 501 は、目標出力 P_{ref} に加えるオフセット値を算出する。

[0039] 演算部401aには、出力電力 P_{out} から、目標出力 P_{ref} およびオフセット値を減算した結果が入力される。この入力に対して第1乗算器503の出力を減算した結果が、第1積分器502に入力される。第1積分器502は、入力された値を $1/M$ 倍して積分することで、電圧周波数偏差 Δf を生成する。第1乗算器503は第1積分器502の出力に制動係数 D_g を乗算する。加算器506は、第1積分器502が生成した電圧周波数偏差 Δf に対して、周波数指令値 F_{ref} を加算することで、電圧周波数 f を演算する。第2乗算器504は電圧周波数 f に 2π を乗算し、角周波数 ω を得る。第2積分器505は角周波数 ω を積分し、位相情報 θ を算出する。このようにして得られる電圧周波数 f および位相情報 θ が、図7に示すように、電圧制御部402に入力される。

[0040] 図9に、電圧制御部402の構成例を示す。電圧制御部402は、 abc/dq 変換を行う第1変換部402aと、 dq/abc 変換を行う第2変換部402bと、PI回路402cと、を有する。第1変換部402aは、第1検出部16からの電圧 V_{inv} を、3軸(a軸、b軸、c軸)の値から、2軸(d軸、q軸)の値へと変換する。この変換の際に、第1変換部402aは、VSG制御部401から出力された電圧周波数 f および位相情報 θ を用いる。

[0041] PI回路402cには、第1変換部402aの出力から実効電圧 V_{ref} を減算した結果が入力される。PI回路402cは、この入力に対してPI制御を行う。第2変換部402bは、第1変換部402aからの出力およびPI回路402cからの出力の和に対して、2軸から3軸への変換を行う。この変換の際に、第2変換部402bは、VSG制御部401から出力された電圧周波数 f および位相情報 θ を用いる。第2変換部402bからの出力が、先述のリファレンス波形 U_{ref} , V_{ref} , W_{ref} の元となる。

[0042] 図10に、第1Pref制御部12aの構成例を示す。第1Pref制御部12aは、PI制御部601と、Pref制御管理部602と、受信部603と、プラス側減算部604と、マイナス側減算部605と、を有する。受信部603は、電力管理装置2から出力される電力指令値 P_{ref1} と、第1制御パラ

メータ管理部 11 から出力される自己補正制御フラグおよびEMS更新フラグと、を受信し、Pref制御管理部 602 に出力する。

[0043] 自己補正制御フラグは、垂下特性の変更を実施するか否かを示す。EMS更新フラグは、電力管理装置 2 から通知される電力指令値Pref*が更新されたか否かを示す。自己補正制御フラグおよびEMS更新フラグの両方がセットされている場合、垂下特性の変更を一旦停止し、通知された電力指令値Pref*をそのまま用いて電力変換が行われる。「フラグがセットされる」とは、例えば、自己補正制御フラグまたはEMS更新フラグの値が 1 に設定されることである。

[0044] 更に、受信部 603 は、電力管理装置 2 から出力されるPref制御パラメータおよびPI制御パラメータを受信する。受信部 603 は、PI制御パラメータをPI制御部 601 に出力し、他の情報をPref制御管理部 602 に出力する。PI制御パラメータには、例えば、比例制御ゲインKp、積分制御ゲインKi、が含まれる。Pref制御パラメータには、例えば、Pmax、Pmin、Pmax_high_threshold、Pmax_low_threshold、Pmin_high_threshold、Pmin_low_threshold、が含まれる（詳細は後述）。

[0045] プラス側減算部 604 は、第 1 検出部 16 が出力した検出値Pmeasureから、Pref制御管理部 602 が出力するPmaxを減算し、減算結果（etplus）をPref制御管理部 602 に出力する。同様に、マイナス側減算部 605 は、検出値PmeasureからPminを減算し、減算結果（etminus）をPref制御管理部 602 に出力する。

[0046] Pref制御管理部 602 は、受信部 603 から入力されるPref制御パラメータ、自己補正制御フラグ、EMS更新フラグ、電力指令値Pref*と、プラス側減算部 604 から出力されるetplus、マイナス側減算部 605 より出力されるetminus、に基づき制御偏差etを生成する。Pref制御管理部 602 は生成した制御偏差etをPI制御部 601 に出力する。なお、制御偏差etの生成フローに関しては後述する（図 17 参照）。Pref制御管理部 602 は、垂下特性の変更を一旦停止する際、PI制御部 601 内の積分

制御に使用する積分器をリセットするためのリセットフラグを生成する。P r e f 制御管理部 6 0 2 は、生成したリセットフラグを P I 制御部 6 0 1 に出力する。

[0047] P I 制御部 6 0 1 は、受信部 6 0 3 が出力する P I 制御パラメータ (K_p, K_i) に基づき、制御偏差 e_t がゼロになるように P I 制御を行なう。P I 制御部 6 0 1 の演算結果 (pref_offset) は、加算部 6 0 6 に入力される。また、加算部 6 0 6 には、P r e f 制御管理部 6 0 2 を経由して、電力指令値 Pref1 * が入力される。加算部 6 0 6 は、これらの値を加算し、目標出力 Pref1 を生成する。目標出力 Pref1 は図 7 に示す V S G 制御部 4 0 1 に入力され、V S G 制御を実施する際の情報として使用される。

[0048] 図 1 1 に、コンバータ制御部 1 4 c (図 5 参照) の構成例を示す。図 1 1 に示すように、コンバータ制御部 1 4 c は、放電制御回路 9 0 1 と、決断部 9 0 2 と、充電制御回路 9 0 3 と、D C / D C コンバータ制御回路 9 0 4 と、を有する。放電制御回路 9 0 1 は、第 1 分散型電源 1 4 の放電制御を行う際に使用する、コンバータ 1 4 b の制御指令値を生成する。充電制御回路 9 0 3 は、第 1 分散型電源 1 4 の充電制御を行う際に使用する、コンバータ 1 4 b の制御指令値を生成する。D C / D C コンバータ制御回路 9 0 4 は、放電制御回路 9 0 1 および充電制御回路 9 0 3 に対して、制御に使用するパラメータおよび目標値等を出力する。D C / D C コンバータ制御回路 9 0 4 は、第 1 分散型電源 1 4 の充電電力量 (S O C) , 充電電力 (充電電流) および放電電力 (放電電流) 等を管理する。D C / D C コンバータ制御回路 9 0 4 は、決断部 9 0 2 を制御するための制御信号を出力する。

[0049] 決断部 9 0 2 は、D C / D C コンバータ制御回路 9 0 4 からの制御信号に従って、放電制御回路 9 0 1 および充電制御回路 9 0 3 のうちいずれか一方の出力を、コンバータ 1 4 b の制御指令値として、選択的に出力する。具体的には、決断部 9 0 2 は、第 1 分散型電源 1 4 の充電が指示された場合には、充電制御回路 9 0 3 が生成した制御指令値を出力する。決断部 9 0 2 は、第 1 分散型電源 1 4 の放電が指示された場合には、放電制御回路 9 0 1 が生

成した制御指令値を出力する。

[0050] 次に、図12、図13を用いて、電力変換装置10、20の垂下特性（本実施の形態のVSG制御に基づく垂下特性）について説明する。垂下特性は、インバータ電源15、25における出力電力 P_{out} の、周波数との相関である。図12、図13は垂下特性の具体例であり、周波数指令値 F_{ref}^* に対する偏差 Δf と出力電力 P_{out} との関係を示している。図12、図13において、横軸が周波数に関する偏差 Δf であり、縦軸が出力電力 P_{out} である。なお、垂下特性はVSG制御に基づくものに限るものではなく、例えば、電力変換装置10、20の内部に、テーブルデータとして記憶されていてもよい。より具体的には、第1制御パラメータ管理部11の記憶回路301、あるいは第2制御パラメータ管理部21の記憶回路が、テーブルデータとして垂下特性を記憶してもよい。その他の記憶可能なデバイスが、テーブルデータとして垂下特性を記憶してもよい。

[0051] インバータ電源15、25がともにVSG制御を行う場合、両者で周波数が同期する。つまり、インバータ電源15、25の制御における偏差 Δf の値が両者で一致する。出力電力 P_{out} が正の領域（原点Oより上側）は、分散型電源14、24が放電する場合を表す。出力電力 P_{out} が負の領域（原点Oより下側）は、分散型電源14、24に充電する場合を表す。インバータ電源15、25は、出力電力 P_{out} が予め定められた下限値と上限値との間の範囲となるように、使用することが求められる。第1インバータ電源15と第2インバータ電源25とで、上限値および下限値の設定が異なってもよい。

[0052] 図12の「定格容量 P_{max} 」は、「上限値」の一例であり、インバータ電源15、25が出力可能な最大許容電力である。言い換えると、 P_{max} はインバータ電源15、25の放電側の定格容量である。図13の「定格容量 P_{min} 」は、「下限値」の一例であり、インバータ電源15、25に充電可能な最大許容電力である。言い換えると、 P_{min} はインバータ電源15、25の充電側の定格容量である。放電側定格容量 P_{max} および充電側定格容量 P_{min} は、例えば充放電に伴う発熱量等に基づいて定められる。

- [0053] ただし「上限値」は、定格容量 P_{max} に限らず、インバータ電源15、25の出力電力 P_{out} の最大値として、電力管理装置2が設定した値であってもよい。同様に「下限値」は、定格容量 P_{min} に限らず、インバータ電源15、25の出力電力 P_{out} の最小値として、電力管理装置2が設定した値であってもよい。以下では、第1インバータ電源15と第2インバータ電源25とで、定格容量 P_{max} および定格容量 P_{min} が同じである場合を説明する。ただし、第1インバータ電源15と第2インバータ電源25とで、定格容量 P_{max} が異なってもよいし、定格容量 P_{min} が異なってもよい。
- [0054] 偏差 Δf は、周波数指令値 F_{ref} に対する、実際の電力系統の交流電力における周波数の差分である。 Δf が小さいほど、周波数指令値 F_{ref} に対して実際の周波数が低下していること、つまり電力系統における負荷が増加していることを表す。したがって、 Δf が小さいほど、分散型電源14、24から、より多くの電力を供給することが求められる。逆に、 Δf が大きいほど、電力系統における負荷が減少していること（余剰電力が大きいこと）を表す。したがって、 Δf が大きいほど、より大きな電力を用いて分散型電源14、24を充電可能である。先述の Δf_{min} は、第1出力電力 P_{out1} および第2出力電力 P_{out2} の両方が、上限値（図12の例では定格容量 P_{max} ）に一致するときの偏差 Δf の値である。先述の Δf_{max} は、第1出力電力 P_{out1} および第2出力電力 P_{out2} の両方が、下限値（図13の例では定格容量 P_{min} ）に一致するときの偏差 Δf の値である。
- [0055] 本実施の形態では、本来の垂下特性によりインバータ電源15を制御した際、インバータ電源15の出力が P_{max} （あるいは P_{min} ）を超えた場合、電力管理装置2が出力した電力指令値 P_{ref} に対してオフセットを加えるよう制御する。図12において、直線 $L1$ は、第1インバータ電源15の本来の垂下特性を示す。「本来の垂下特性」とは、電力管理装置2が出力した第1電力指令値 P_{ref1} をそのまま用いた場合の垂下特性である。これに対して、直線 $L1'$ は、第1電力指令値 P_{ref1} に対して第1 P_{ref} 制御部12aがオフセットを加えた後の垂下特性である。直線 $L2$ は、第2インバータ電源2

5の本来の垂下特性である。なお、本実施の形態では、第1インバータ電源15は、第2インバータ電源25が出力する交流系統電圧の周波数の偏差が Δf_{min} と一致するまでPref制御を実施する。言い換えると、第1インバータ電源15は、Pref1”がPref2*と一致するまでPref制御を実施する。

[0056] 直線L1の切片は、第1電力指令値Pref1*である。直線L2の切片は、第2電力指令値Pref2*である。直線L1、L2の傾きは、VSG制御における制動係数DgおよびガバナゲインKdg等によって定まる。図12、図13の例では、VSG制御を行う際の制御パラメータ（本実施の形態では制動係数DgおよびガバナゲインKdg）が、第1インバータ電源15と第2インバータ電源25とで同じである場合を示す。このため、直線L1、L2の傾きは同じである。ただし、第1インバータ電源15と第2インバータ電源25とで制御パラメータが異なってもよい。つまり、直線L1と直線L2とで傾きが異なってもよい。図12の例では、第1電力指令値Pref1*が第2電力指令値Pref2*より大きい場合を示す。

[0057] まず、インバータ電源15、25が放電する場合について説明する。図12において、電力系統の負荷が増加し、まず Δf が0から $\alpha 2$ まで減少する場合を考える。 $0 < \alpha 1 < \Delta f < 0$ では、直線L1、L2ともに、縦軸の値（出力電力Pout）は、定格容量Pmaxより小さい。したがって、第1インバータ電源15および第2インバータ電源25ともに、適正に放電動作することができる。 $\Delta f = \alpha 1$ では、直線L2の縦軸の値は定格容量Pmaxより小さいが、直線L1の縦軸の値は定格容量Pmaxに一致する。ここで、仮に第1インバータ電源15の垂下特性が直線L1のまま維持された場合、 $\Delta f < \alpha 1$ の範囲では、直線L1の縦軸の値が、定格容量Pmaxを超えてしまう。この場合、第1インバータ電源15はこれ以上周波数を低くすることができない。一方、第2インバータ電源25は出力電力を増加させ、周波数を低下させる。これにより、第1インバータ電源15と第2インバータ電源25は互いに周波数同期が取れなくなり、互いの出力する交流電圧の位相差が拡大する。結果として、インバータ電源15、25の間の横流電力が増加し、両インバータ

電源の許容電力を超えるため、保護回路等が働くことで両インバータ電源 15、25 の動作が停止する可能性がある。

[0058] そこで本実施の形態では、出力電力 P_{out} が上限値（図 12 の場合は定格容量 P_{max} ）を超えないように、電力変換装置 10 が、インバータ電源 15 の垂下特性を自律的に変更する。垂下特性の変更は、検出値 $P_{measure}$ および電力指令値 P_{ref*} に基づき、インバータ制御部 12（例えば P_{ref} 制御部 12a）が行う。「垂下特性の変更」には、切片を変更する場合と、傾きを変更する場合と、が含まれる。図 12 の直線 $L1'$ は、直線 $L1$ の切片を変更した場合を示している。具体的に、直線 $L1'$ の切片は、第 1 変更指令値 $P_{ref1'}$ である。

[0059] 次に、電力系統の負荷がさらに増加し、 Δf が $\alpha 2$ から ΔF_{min} まで減少する場合を考える。 $P_{load}=2*P_{max}$ と仮定する。ここで、仮に第 1 インバータ電源 15 の垂下特性が直線 $L1'$ のまま維持された場合、 $\Delta f < \alpha 2$ の範囲では、直線 $L1'$ の縦軸の値が、定格容量 P_{max} を超えてしまう。この場合、第 1 インバータ電源 15 はこれ以上周波数を低くすることができない。 $\Delta f < \alpha 2$ の範囲でも出力電力 P_{out} が上限値（図 12 の場合は定格容量 P_{max} ）を超えないように、電力変換装置 10 が、インバータ電源 15 の垂下特性を自律的に変更する。この場合、直線 $L1'$ はさらに直線 $L1''$ に変更される。なお、図 12 の例では、直線 $L1''$ と直線 $L2$ とが重なるため、直線 $L1''$ の表記を省略している。具体的に、直線 $L1''$ の切片は、第 1 変更指令値 $P_{ref1''}$ である。図 12 の例では、 $P_{ref1''}=P_{ref2*}$ である。つまり、図 12 の例では、第 1 インバータ制御部 12 が、垂下特性の切片を、本来の第 1 電力指令値 P_{ref1*} から第 1 変更指令値 $P_{ref1'}$ 、 $P_{ref1''}$ （ $=P_{ref2*}$ ）へと変更した場合を示している。

[0060] 第 1 インバータ制御部 12 が、直線 $L1'$ のように垂下特性を変更した結果、 $\alpha 2 < \Delta f < \alpha 1$ の範囲内においても、第 1 インバータ電源 15 の出力電力 P_{out} は定格容量 P_{max} 以下となる。つまり、第 1 インバータ電源 15 の許容最大電力の範囲内であるため、正常な動作を継続することができる。この

ように、垂下特性を変更することで、インバータ電源 15 が正常に動作する範囲を広げることができる。なお、本実施の形態では、Pref 指令値を変更する場合、第 1 インバータ電源 15 の出力電力が許容最大電力（定格容量 P_{max} ）となるよう、Pref 指令値を生成するよう制御する。

[0061] 次に、インバータ電源 15、25 に充電する場合について説明する。図 13 において、電力系統の負荷が減少し、まず Δf が 0 から $\beta 2$ まで増加する場合を考える。 $0 < \Delta f < \beta 1$ では、直線 $L 1$ 、 $L 2$ ともに、縦軸の値（出力電力 P_{out} ）は、定格容量 P_{min} より大きい。したがって、第 1 インバータ電源 15 および第 2 インバータ電源 25 ともに、適正に充電動作することができる。 $\Delta f = \beta 1$ では、直線 $L 1$ の縦軸の値は定格容量 P_{min} より大きい、直線 $L 2$ の縦軸の値は定格容量 P_{min} に一致する。この場合、第 2 インバータ電源 25 はこれ以上周波数を高くすることができない。これにより、第 2 インバータ電源 25 と第 1 インバータ電源 15 は互いに周波数同期が取れなくなり、互いの出力する交流電圧の位相差が拡大する。結果として、インバータ電源 15、25 の間の横流電力が増加し、両インバータ電源の許容電力を超えるため、保護回路等が働くことで両インバータ電源 15、25 の動作が停止する可能性がある。

[0062] そこで本実施の形態では、出力電力 P_{out} が下限値（図 13 の場合は定格容量 P_{min} ）を下回らないように、第 2 インバータ電源 25 の垂下特性を変更する。図 13 の直線 $L 2'$ は、直線 $L 2$ の切片を変更した場合を示している。具体的に、直線 $L 2'$ の切片は、第 2 変更指令値 $P_{ref2'}$ である。

[0063] 次に、電力系統の負荷がさらに減少し、 Δf が $\beta 2$ から ΔF_{max} まで増加する場合を考える。 $P_{load} = 2 * P_{min}$ と仮定する。ここで、仮に第 2 インバータ電源 25 の垂下特性が直線 $L 2'$ のまま維持された場合、 $\Delta f > \beta 2$ の範囲では、直線 $L 2'$ の縦軸の値が、定格容量 P_{min} を下回ってしまう。この場合、第 2 インバータ電源 25 はこれ以上周波数を高くすることができない。 $\Delta f > \beta 2$ の範囲でも出力電力 P_{out} が下限値（図 13 の場合は定格容量 P_{min} ）を下回らないように、電力変換装置 10 が、インバータ電源 25 の垂下特性を

自律的に変更する。この場合、直線 $L2'$ はさらに直線 $L2''$ に変更される。なお、図13の例では、直線 $L2''$ と直線 $L1$ とが重なるため、直線 $L2''$ の表記を省略している。具体的に、直線 $L2''$ の切片は、第2変更指令値 $Pref2''$ である。図12の例では、 $Pref2'' = Pref1 *$ である。つまり、図13の例では、第2インバータ制御部22が、垂下特性の切片を、本来の第2電力指令値 $Pref2 *$ から第2変更指令値 $Pref2'$ 、 $Pref2'' (=Pref1 *)$ へと変更した場合を示している。

[0064] 第2インバータ制御部22が垂下特性を変更した結果、 $\beta 1 < \Delta f < \beta 2$ の範囲内においても、第2インバータ電源25の出力電力 P_{out} は定格容量 P_{min} 以上となる。つまり、第2インバータ電源25の許容最大電力の範囲内であるため、正常な動作を継続することができる。このように、垂下特性を変更することで、インバータ電源25が正常に動作する範囲を広げることができる。なお、本実施の形態では、 $Pref$ 指令値を変更する場合、第2インバータ電源25の充電電力が許容最大電力（定格容量 P_{min} ）となるよう、 $Pref$ 指令値を生成するよう制御する。

[0065] なお、第1インバータ制御部12は、制動係数 D_g またはガバナゲイン K_{dg} を変更することで、第1インバータ電源15の垂下特性の傾きを変更してもよい。第1インバータ制御部12は、第1インバータ電源15の垂下特性の切片および傾きの両方を変更してもよい。同様に、第2インバータ制御部22は、制動係数 D_g またはガバナゲイン K_{dg} を変更することで、第2インバータ電源25の垂下特性の傾きを変更してもよい。第2インバータ制御部22は、第2インバータ電源25の垂下特性の切片および傾きの両方を変更してもよい。

[0066] 次に、電力変換装置10、20の動作の例について、図14、図15を用いて説明する。図14は、負荷が増加して、検出値 $P_{measure}$ が先述の「上限値」を超えた場合の動作である。図15は、負荷が減少して、検出値 $P_{measure}$ が、先述の「下限値」を下回った場合の動作である。図14、図15の動作は、電力変換装置10、20のどちらが行ってもよい。

- [0067] 図14、図15の横軸は時間である。図14、図15における上部のグラフの縦軸は、検出値 P_{measure} である。図14、図15における下部のグラフの縦軸は目標出力 P_{ref} である。図14の P_{max} は先述の放電側定格容量（「上限値」の一例）である。図14の $P_{\text{max_high_threshold}}$ は、上限側高位閾値であり、負荷が増加した場合に P_{ref} （補正）制御をONとするか否かを判定するために用いられる。「補正制御」とは、垂下特性（電力指令値： P_{ref} ）の変更を行うことである。図14の $P_{\text{max_low_threshold}}$ は、上限側下位閾値であり、 P_{ref} 制御モード（詳細は後述する）で動作している際に、負荷が減少した場合に P_{ref} （補正）をOFFとするか否かを判定するために用いられる。 $P_{\text{max_high_threshold}}$ は上限値よりも高い値に設定され、 $P_{\text{max_low_threshold}}$ は上限値よりも低い値に設定される。
- [0068] 図15の P_{min} は先述の充電側定格容量（「下限値」の一例）である。図15の $P_{\text{min_high_threshold}}$ は、下限側高位閾値であり、負荷が減少した場合に P_{ref} （補正）制御をONとするか否かを判定するために用いられる。図15の $P_{\text{min_low_threshold}}$ は、下限側下位閾値であり、負荷が増加した場合に P_{ref} （補正）制御をOFFとするか否かを判定するために用いられる。 $P_{\text{min_high_threshold}}$ は下限値よりも高い値に設定され、 $P_{\text{min_low_threshold}}$ は下限値よりも低い値に設定される。 $P_{\text{max_high_threshold}}$ 、 $P_{\text{max_low_threshold}}$ 、 $P_{\text{min_high_threshold}}$ 、および $P_{\text{min_low_threshold}}$ は、電力管理装置2が設定し、電力変換装置10、20に通知した値であってもよい。あるいは、 $P_{\text{max_high_threshold}}$ 、 $P_{\text{max_low_threshold}}$ 、 $P_{\text{min_high_threshold}}$ 、および $P_{\text{min_low_threshold}}$ は、電力変換装置10、20が自律的に設定した値であってもよい。
- [0069] 図14の $t < T_{11}$ では、検出値 P_{measure} が安定しており、 P_{ref} （補正）制御がOFFとなっている。つまり、目標出力 P_{ref} として電力指令値 $P_{\text{ref}*}$ がそのまま使用されている。図14の $t = T_{11}$ で、負荷の増加に伴い、検出値 P_{measure} が増加している。 $t = T_{12}$ で、検出値 P_{measure} が、定格容量 P_{max} を超えて、 $P_{\text{max_high_threshold}}$ に到達している。このとき、 P_{ref} （補正）

）制御がONとなり、目標出力Prefが変更指令値Pref' に切り替わる。具体的には、 $Pref' = Pref * + Pref_offset$ である。Pref_offsetは、電力指令値Pref*に対して加えられるオフセット量であり、図14の例では負の値である。Pref（補正）制御がONとなり目標出力Prefが低下する結果、検出値Pmeasureも定格容量Pmaxまで低下する。

[0070] $t = T13$ で、負荷の減少に伴い、検出値Pmeasureが減少している。 $t = T14$ で、検出値Pmeasureが、Pmax_low_thresholdまで減少している。このとき、Pref（補正）制御がOFFとなり、目標出力Prefが電力指令値Pref*に戻っている。つまり、オフセット量Pref_offsetがゼロに設定され、本来の垂下特性に基づき、目標出力Prefが決定される。このように、検出値PmeasureとPmax_high_threshold、Pmax_low_thresholdとの比較に基づいてPref（補正）制御のON／OFFが切り替えられる。ただし、Pmax_high_threshold、Pmax_low_thresholdを用いず、検出値Pmeasureと上限値（例えば定格容量Pmax）との比較に基づいて、Pref（補正）制御のON／OFFが切り替えられてもよい。

[0071] 図15の $t < T21$ では、検出値Pmeasureが安定しており、Pref（補正）制御がOFFとなっている。つまり、目標出力Prefとして電力指令値Pref*がそのまま使用されている。図15の $t = T21$ で、負荷の減少に伴い、検出値Pmeasureが低下している。 $t = T22$ で、検出値Pmeasureが、定格容量Pminを下回り、Pmin_low_thresholdに到達している。このとき、Pref（補正）制御がONとなり、目標出力Prefが変更指令値Pref' に切り替わる。具体的には、 $Pref' = Pref * + Pref_offset$ である。図15の例におけるオフセット量Pref_offsetは、正の値である。Pref（補正）制御がONとなり目標出力Prefが上昇する結果、検出値Pmeasureも定格容量Pminまで上昇する。

[0072] $t = T23$ で、負荷の増加に伴い、検出値Pmeasureが増加している。 $t = T24$ で、検出値Pmeasureが、Pmin_high_thresholdまで増加している。このとき、Pref（補正）制御がOFFとなり、目標出力Prefが電力指令値Pref*に戻っている。つまり、オフセット量Pref_offsetがゼロに設定され、本来の

垂下特性に基づき、目標出力Prefが決定される。このように、検出値PmeasureとPmin_high_threshold、Pmin_low_thresholdとの比較に基づいてPref（補正）制御のON/OFFが切り替えられる。ただし、Pmax_low_threshold、Pmax_low_thresholdを用いず、検出値Pmeasureと下限値（例えば定格容量Pmin）との比較に基づいて、Pref（補正）制御のON/OFFが切り替えられてもよい。なお、本実施の形態では、上述の通り、Pref（補正）制御のON/OFFについてヒステリシスを持たせることで、Pref（補正）制御のON/OFFがハンチングしないように構成した。ただし、これに限るものではなく、特にヒステリシスを持たせない、あるいはON/OFFに不感帯を設けるなどしても良いことは言うまでもない。

[0073] 次に、図16のフローチャートを用いて、電力変換装置10、20において行われる制御フローの一例を説明する。以下のフローに含まれる判定処理および実行処理は、例えばインバータ制御部12、22が実行する。まず、ステップS1において、自己補正フローを実施するか否かが判定される。具体的には、図10に示すPref制御管理部602が、受信部603から入力された自己補正制御フラグを確認する。自己補正制御フラグがセットされている場合、Pref制御管理部602は自己補正フローを実施すると判定し（S1：YES）、ステップS2に進む。自己補正制御フラグがセットされていない場合、Pref制御管理部602は自己補正フローを実施しないと判定し（S1：NO）、処理を終了する。ステップS2において、制御偏差etの計算が行われる。制御偏差etについては、後述する。

[0074] ステップS3において、Pref制御管理部602は、電力指令値Pref*が、前回値に対して更新されたか否かを判定する。この判定は、例えばEMS変更フラグがセットされているか否かに基づいて実行される。電力指令値Pref*が更新されている場合（S3：YES）、ステップS4に進む。電力指令値Pref*が更新されていない場合（S3：NO）、ステップS7に進む。ステップS4において、Pref制御管理部602はリセットフラグをPI制御部601（図10参照）に出力する。これにより、オフセット量Pref_offs

etがゼロに設定される。ステップS5において、目標出力Prefが電力指令値Pref*に設定される。ステップS6において、フラグ値Pref_flagがゼロに設定される。フラグ値Pref_flagとは、垂下特性の変更の有無に関する設定値である。Pref_flag=0の場合、垂下特性が変更されず、本来の垂下特性が用いられる。この状態を、「通常制御モード」という。Pref_flag=1の場合、垂下特性が変更される。具体的には、切片および傾きの少なくとも一方が変更される（本実施の形態では垂下特性の切片を変更）。この状態を、「Pref制御モード」という。

[0075] ステップS7において、Pref制御管理部602は、Pref制御モードに移行するか否かを判定する。具体的には、Pref制御管理部602は、検出値PmeasureとPmax_high_thresholdの比較、および検出値PmeasureとPmin_low_thresholdの比較、を行う。Pmeasure>Pmax_high_thresholdの場合、あるいは、Pmeasure<Pmin_low_thresholdの場合（S7：YES）には、ステップS8に進む。ステップS8において、Pref_flagが1に設定され、ステップS9に進む。S7：NOの場合には、Pref_flagの値は維持されたまま、ステップS9に進む。ステップS9において、Pref_flagの値が0であると判定されると（ステップS9：NO）、処理を終了する。ステップS9において、Pref_flagの値が1であると判定されると（ステップS9：YES）、ステップS10に進む。

[0076] ステップS10において、Pref制御管理部602は、Pref制御モードを継続するか否かを判定する。具体的には、Pref制御管理部602は、検出値PmeasureとPmin_high_thresholdの比較、および検出値PmeasureとPmax_low_thresholdの比較を行う。Pmin_high_threshold≤Pmeasure≤Pmax_low_thresholdを満たす場合（S10：YES）、ステップS13に進む。S10：NOの場合、ステップS11に進む。ステップS11において、Pref制御管理部602は、制御偏差etをPI制御部601（図10参照）に出力する。PI制御部601は、PI制御を行い、制御偏差etがゼロとなるように、オフセット量Pref_offsetを計算する。

- [0077] ステップS 1 2において、加算部6 0 6（図1 0参照）は電力指令値Pref*に対してオフセット量Pref_offsetを加算し、その結果を目標出力PrefとしてV S G制御部4 0 1（図7参照）に出力する。ステップS 1 2が完了すると、処理を終了する。ステップS 1 3では、オフセット量Pref_offsetがゼロに設定される。ステップS 1 4では、目標出力Prefが電力指令値Pref*に設定される。ステップS 1 5では、Pref_flagの値が0に設定され、P r e f制御モードから通常制御モードへと移行し、処理が終了する。
- [0078] 次に、図1 7を用いて、制御偏差e tの計算フロー（図1 6のステップS 2）について説明する。ステップS 2 1において、プラス側偏差etplusとして、検出値Pmeasureと上限値（例えば定格容量Pmax）との偏差が演算される。この演算は、図1 0に示すプラス側減算部6 0 4が実行する。実行結果はP r e f制御管理部6 0 2に入力される。ステップS 2 2において、P r e f制御管理部6 0 2は、プラス側偏差etplusが0より大きいかなかを判定する。etplus>0の場合（ステップS 2 2：Y E S）、ステップS 2 4に進む。etplus≤0の場合、ステップS 2 3においてetplusの値がゼロに設定され、ステップS 2 4に進む。ステップS 2 4において、マイナス側偏差etminusとして、検出値Pmeasureと下限値（例えば定格容量Pmin）との偏差が演算される。この演算は、図1 0に示すマイナス側減算部6 0 5が実行する。実行結果は、P r e f制御管理部6 0 2に入力される。
- [0079] ステップS 2 5において、P r e f制御管理部6 0 2は、マイナス側偏差etminusが0より小さいかなかを判定する。etminus<0の場合（S 2 5：Y E S）、ステップS 2 7に進む。etminus≥0の場合（S 2 5：N O）、ステップS 2 6においてetminusの値がゼロに設定され、ステップS 2 7に進む。ステップS 2 7において、プラス側偏差etplusおよびマイナス側偏差etminusの和が、制御偏差e tの値として設定される。以降は、図1 6に示すステップS 3へと処理が続く。図1 6、図1 7に示すような制御フローを実行することで、図1 4、図1 5に示す動作を実現することができる。
- [0080] 上記制御フローでは、ステップS 7、S 1 0においてP r e f制御モード

と通常制御モードとの間で移行するか否かを判定する際、Pmax_high_threshold、Pmin_low_threshold、Pmax_low_threshold、Pmin_high_thresholdが用いられる。これにより、いわゆるハンチングの発生を回避することができる。ハンチングとは、Pref_offsetの値がゼロ近傍である場合に、モード間の移行が繰り返し実行される現象である。なお、ハンチングを回避できれば、Pmax_high_threshold、Pmin_low_threshold、Pmax_low_threshold、Pmin_high_thresholdの条件設定は変更可能である。

[0081] なお、上述した電力管理装置2および電力変換装置10、20の機能は、例えばCPU (Central Processing Unit) 等のプロセッサが、プログラムメモリに格納されたプログラムを実行することにより実現される。これらの機能のうち一部または全部は、LSI (Large Scale Integration)、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、またはFPGA (Field-Programmable Gate Array) 等のハードウェアにより実現されてもよいし、ソフトウェアとハードウェアが協働することで実現されてもよい。

[0082] 上述した電力管理装置2および電力変換装置10、20の機能を実現するためのプログラムは、例えばコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録される。そして、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータに読み込ませ、実行することにより、上述した電力管理装置2および電力変換装置10、20における処理を行ってもよい。ここで、「記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータに読み込ませ、実行する」とは、コンピュータにプログラムをインストールすることを含む。ここでいう「コンピュータ」とは、OS及び周辺機器等のハードウェアを含むものとする。

[0083] また、「コンピュータ」は、インターネット又はWAN、LAN、専用回線等の通信回線を含むネットワークを介して接続された複数のコンピュータ装置を含んでもよい。また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、CD-ROM等の可搬媒体、コンピュータに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。このように、プログラムを記憶した記録媒体は、CD-ROM等の非一過

性の記録媒体であってもよい。

[0084] また、記録媒体には、当該プログラムを配信するために配信サーバからアクセス可能な内部又は外部に設けられた記録媒体も含まれる。尚、プログラムを複数に分割し、それぞれ異なるタイミングでダウンロードした後に、電力管理装置2または電力変換装置10、20で合体されてもよい。また、分割されたプログラムのそれぞれを配信する配信サーバが異なってもよい。さらに「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、ネットワークを介してプログラムが送信された場合のサーバ又はクライアントとなるコンピュータ内部の揮発性メモリ（RAM）のように、一定時間プログラムを保持しているものを含む。また、上記プログラムは、上述した機能の一部を実現するためのものであってもよい。さらに、上記プログラムは、いわゆる差分ファイル（差分プログラム）であってもよい。差分プログラムとは、上述した機能を、コンピュータに既に記録されているプログラムとの組み合わせで実現するものである。

[0085] 以上説明したように、本開示に係る電力変換装置10は、電力管理装置2が生成した電力指令値Pref*に基づき、電力系統に電圧源として交流電力を供給する。電力変換装置10は、分散型電源14の直流電力を交流電力に変換するインバータ13と、インバータ13の制御パラメータを管理する制御パラメータ管理部11と、インバータ13の出力電力Poutを検出して検出値Pmeasureとして出力する検出部16と、インバータ制御部12と、を備える。インバータ制御部12は、検出値Pmeasureと、電力指令値Pref*と、制御パラメータ管理部11から出力される制御パラメータ（制動係数Dg、慣性定数M、ガバナゲインKdg、ガバナ時定数T等）と、に基づき、インバータ13を制御する電圧指令値(u*, v*, w*)を生成する。制御パラメータは、インバータ13における出力電力Poutの、周波数との相関である、垂下特性に関するものである。インバータ制御部12は、検出値Pmeasureおよび電力指令値Pref*に基づいて垂下特性を変更し、変更した垂下特性に基づき電圧指令値(u*, v*, w*)を生成する。

- [0086] この構成によれば、電力系統における負荷変動が生じた場合に、分散型電源 1 4 の出力電力 P_{out} が、上限値を超えること、あるいは下限値を下回することを抑制できる。したがって、分散型電源 1 4 の動作が停止してしまうことを抑制できる。
- [0087] また、インバータ制御部 1 2 は、電力指令値 P_{ref} にオフセット量 P_{ref_offset} を加えることで、垂下特性をオフセットさせてもよい。つまり、垂下特性の傾きは維持し、切片のみを変更してもよい。
- [0088] また、インバータ制御部 1 2 は、検出値 $P_{measure}$ が上限値から下限値までの範囲内にある場合は、電力指令値 P_{ref} にオフセット量 P_{ref_offset} を加えずに使用した垂下特性に基づいて電圧指令値(u^*, v^*, w^*)を生成し、検出値 $P_{measure}$ が上限値を超えた場合、出力電力 P_{out} が上限値に一致するように電力指令値 P_{ref} にオフセット量 P_{ref_offset} を加えて使用した垂下特性に基づき電圧指令値(u^*, v^*, w^*)を生成し、検出値 $P_{measure}$ が下限値を下回った場合、出力電力 P_{out} が下限値に一致するように、電力指令値 P_{ref} にオフセット量 P_{ref_offset} を加えて使用した垂下特性に基づき電圧指令値(u^*, v^*, w^*)を生成してもよい。
- [0089] また、インバータ制御部 1 2 は、電力指令値 P_{ref} が更新された場合、オフセット量 P_{ref_offset} をゼロとし、更新後の電力指令値 P_{ref} を使用した垂下特性に基づいて電圧指令値(u^*, v^*, w^*)を生成してもよい。
- [0090] また、インバータ制御部 1 2 は、電力指令値 P_{ref} にオフセット量 P_{ref_offset} を加えている場合であって、検出値 $P_{measure}$ が上限側下位閾値 $P_{max_low_threshold}$ を下回った場合、あるいは、検出値 $P_{measure}$ が下限側上位閾値 $P_{min_high_threshold}$ を上回った場合に、オフセット量 P_{ref_offset} をゼロとしてもよい。
- [0091] また、上限側下位閾値 $P_{max_low_threshold}$ および下限側上位閾値 $P_{min_high_threshold}$ は、電力管理装置 2 から通知されてもよい。
- [0092] また、インバータ制御部 1 2 は、電力指令値 P_{ref} にオフセット量 P_{ref_offset} を加えている場合であって、検出値 $P_{measure}$ が上限値を下回った場合、

あるいは、検出値 P_{measure} が下限値を上回った場合に、オフセット量 $P_{\text{ref_offset}}$ をゼロとしてもよい。

[0093] また、インバータ制御部12は、PI制御に基づいてオフセット量 $P_{\text{ref_offset}}$ を計算してもよい。

[0094] また、インバータ制御部12は、仮想同期発電機制御を行ってもよい。

[0095] また、本実施の形態に係る電力変換方法は、インバータ13の出力電力 P_{out} を検出値 P_{measure} として検出する工程と、電力管理装置2が生成した電力指令値 P_{ref} および検出値 P_{measure} に基づき、インバータ13における出力電力 P_{out} の周波数との相関である垂下特性を変更する工程と、変更した垂下特性に基づいて電圧指令値(u^*, v^*, w^*)を生成する工程と、電圧指令値(u^*, v^*, w^*)に基づいて分散型電源14の直流電力を交流電力に変換する工程と、を有する。

[0096] また、本実施の形態に係る電力変換プログラムは、コンピュータに、電力管理装置2が生成した電力指令値 P_{ref} およびインバータ13の出力電力 P_{out} の検出値 P_{measure} に基づき、インバータ13における出力電力 P_{out} の周波数との相関である垂下特性を変更する処理と、変更した垂下特性に基づいて電圧指令値(u^*, v^*, w^*)を生成する処理と、電圧指令値(u^*, v^*, w^*)に基づいて分散型電源14の直流電力を交流電力に変換する処理と、を実行させる。

[0097] なお、本開示の技術的範囲は前記実施の形態に限定されず、本開示の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることが可能である。

[0098] 例えば、前記実施の形態では、電力変換装置10、20がVSG制御を行う場合を例として説明した。しかしながら、電力変換装置10、20の一方または両方がVSG制御を行わなくてもよい。VSG制御を行わない場合においても、前記実施の形態において説明したように垂下特性を変更することで、出力電力が上限値を超えることを回避できる。

[0099] 第1電力変換装置10または第2電力変換装置20がVSG制御を行わない場合の制御の具体例について、図18～図21を用いて説明する。図18～図21は、いわゆるドループ制御の例を示している。本明細書において、

「ドループ制御」とは、電力指令値 P_{ref}^* と検出値 $P_{measure}$ との差分に基づき、出力電力 P_{out} における交流電圧の周波数 F を変化させる制御である。より具体的には、前記差分に応じて、周波数 F を単調減少させる。図18～図21において、横軸は出力電力 P_{out} における交流電圧の周波数であり、縦軸は $P_{measure}$ である。縦軸の値が電力指令値 P_{ref}^* から離れているほど、電力指令値 P_{ref}^* と検出値 $P_{measure}$ との差分が大きいことを示す。図18～図21のいずれの例も、前記差分に応じて、周波数 F が単調減少している。

[0100] 図18は、代表的なドループ制御における垂下特性の例である。図18では、電力指令値 P_{ref}^* と検出値 $P_{measure}$ との差分に比例するように、周波数 F を変化させている。図19では、基本となる垂下特性（実線）に対してドループゲインを乗算し、垂下特性の傾きを変化させている。図20では、縦軸の値が電力指令値 P_{ref}^* の近傍である領域に、不感帯を設けている。不感帯では、その他の領域と比べて、電力指令値 P_{ref}^* と検出値 $P_{measure}$ との差分が変動したときの、周波数 F の変化が小さい。

[0101] 不感帯を設けることで、以下の効果が得られる。負荷の消費電力と電力変換装置10、20の出力電力 P_{out} がバランスした場合、電圧計および電流計のセンサ誤差に起因して、不必要な充放電が行われる場合がある。不必要な充放電は、電力ロスおよび蓄電池（分散型電源14、24）へのダメージにつながる。不感帯を設けることで、このような不必要な充放電を抑制し、電力ロスおよび蓄電池へのダメージを回避することができる。このような効果は、図20のように、垂下特性を曲線とした場合も得ることができる。

[0102] 次に、図22～図24のフローチャートを用いて、電力変換装置10、20において行われる P_{ref} 制御フローの一例を説明する。以下のフローに含まれる判定処理および実行処理は、例えばインバータ制御部12、22が実行する。まず、ステップS1において、自己補正フローを実施するか否かが判定される。具体的には、図10に示す P_{ref} 制御管理部602が、受信部603から入力された自己補正制御フラグを確認する。自己補正制御フラグがセットされている場合、 P_{ref} 制御管理部602は自己補正フローを実

施すると判定し（S1：YES）、ステップS101に進む。自己補正制御フラグがセットされていない場合、Pref制御管理部602は自己補正フローを実施しないと判定し（S1：NO）、処理を終了する。ステップS101において、Pref制御管理部602はPrefの値として、電力管理装置2から受信し第1制御パラメータ管理部11（あるいは第2制御パラメータ管理部21）内のPref制御パラメータ管理部302で管理されているPref*を代入する。ステップS101を終了すると、Pref制御管理部602は、ステップS102で電力管理装置2から電力指令値（Pref*）を受信しているか否かを確認する。より具体的には、Pref制御管理部602はEMSフラグがセットされているか否かを確認する。

[0103] ステップS102がYesの場合は、ステップS103で、Pref_flagをクリアし、et、およびPref_offsetの値を“ゼロ”とする。また、リセットフラグを“1”とする。これにより、通常制御モードへ移行しフローを終了する。一方、ステップS102がNoの場合は、ステップS104でPref_flagがゼロであるか、つまりPref制御モードを実行中であるかを確認する。ステップS104でYesの場合は、ステップS105でPref制御モードに移行するかを判断する。具体的には、 $P_{measure} > P_{max_high_threshold}$ 、あるいは $P_{measure} < P_{min_low_threshold}$ の場合Pref制御モードに移行すると判断する。ステップS105がNoの場合、フローを終了する。一方、ステップS105がYes、あるいはステップS104がNoの場合（Pref制御モードを実行中の場合）、ステップS106でPref制御を実施する。

[0104] 次に、図23を用いてPref制御（図22のステップS106に対応）のフローを説明する。Pref制御が開始されると、Pref制御管理部602はステップS110でPref_flagをセットし、ステップS111で実測電力（Pmeasure）が電力指令値（Pref*）より大きい判断する。ステップS111でYesの場合、ステップS112でPout_targetの値としてPmaxをセットする。一方、ステップS111でN

oの場合、ステップS113で P_{out_target} の値として P_{min} をセットする。

- [0105] ステップS112、あるいはステップS113で P_{out_target} のセットが完了するとPref制御管理部602はステップS114で $e_t (= P_{measure} - P_{out_target})$ を算出する。ステップS114を完了するとPref制御管理部602は算出された e_t に対してPID制御を行い P_{ref_offset} を算出する。なお、図23に示すフローではPID制御を用いたがこれに限るものではなく、図16と同様にPI制御を利用する、あるいは比例制御を使用しても良いことは言うまでもない。また、図16に示すフロー（ステップS11）においてもPI制御の代わりにPID制御、あるいは比例制御を用いても良いことは言うまでもない。
- [0106] 図23に示すように、ステップS115を終了するとPref制御管理部602はステップS116でPref制御終了判定を実施する。図24にPref制御終了判定フローを示す。Pref制御終了判定フローが開始されるとPref制御管理部602はステップS120で $P_{min_high_threshold} \geq P_{measure} \geq P_{max_low_threshold}$ であるかを確認する。ステップS120がNoの場合は、Pref制御を継続し、ステップS123で $P_{ref} (= P_{ref} * + P_{ref_offset})$ を算出し全体フローを終了する。
- [0107] 一方、ステップS120でYesの場合は、Pref制御管理部602はPref制御を終了すると判断し、ステップS121で e_t 、および P_{ref_offset} を“ゼロ”とする。また、リセットフラグを“1”とし、ステップS122で P_{ref_flag} をクリアする。これにより、通常制御モードへ移行し、ステップS123で $P_{ref} (= P_{ref} * + P_{ref_offset})$ を算出し全体フローを終了する。
- [0108] 図22～図24に示すフローによれば、各インバータの垂下特性(P_{ref})を最適に制御することができるので、電力系統における負荷変動が生じた場合に、分散型電源14の出力電力 P_{out} が、上限値を超えること、あるいは下限値を下回することを抑制できる。したがって、分散型電源14の動作が

停止してしまうことを抑制できる効果がある。

[0109] なお、 P_{ref} 制御に関するフローは図16、17、および図22～図24に示すものに限るものではなく、上述した図12、あるいは図13に示すように P_{ref} を制御すれば同様の効果を奏することは言うまでもない。また、垂下特性を有する分散電源の数は2台に限るものではなく、3台以上の場合でも、 Δf_{max} を複数台の分散電源の中から一番大きな値を抽出、あるいは Δf_{min} を複数台の分散電源の中から一番小さな値を抽出し各垂下特性を有する分散電源を上述のように P_{ref} 制御を行うことで同様の効果を奏することは言うまでもない。

[0110] また、本実施の形態では、垂下特性を有する分散電源の容量が同一の場合について説明したがこれに限るものではなく、分散電源の容量が異なる場合でも、例えば、放電電力が最大になった場合、 Δf_{min} までの周波数では P_{ref} 制御を実施することで同様の効果が得られることは言うまでもない。同様に、充電電力が最大になった場合、 Δf_{max} までの周波数では P_{ref} 制御を実施することで同様の効果が得られることは言うまでもない。

[0111] 上記の通り、インバータ制御部12、22は、電力指令値 P_{ref*} と検出値 $P_{measure}$ との差分に応じて出力電力 P_{out} の周波数 F が単調減少する垂下特性（図18～図21）に基づき、電圧指令値(u^*, v^*, w^*)を生成してもよい。

[0112] その他、上記した実施の形態あるいは変形例を、適宜組み合わせてもよい。

符号の説明

[0113] 2…電力管理装置 3…配電線 10、20…電力変換装置 11、21…制御パラメータ管理部 12、22…インバータ制御部 13、23…インバータ 16、26…検出部 14、24…分散型電源 $P_{max_low_threshold}$ …上限側下位閾値 $P_{min_high_threshold}$ …下限側上位閾値 P_{out} …出力電力 P_{ref*} …電力指令値 P_{ref_offset} …オフセット量 u^*, v^*, w^* …電圧指令値

請求の範囲

- [請求項1] 電力管理装置が生成した電力指令値に基づき、電力系統に電圧源として交流電力を供給する電力変換装置であって、
分散型電源の直流電力を交流電力に変換するインバータと、
前記インバータの制御パラメータを管理する制御パラメータ管理部と、
前記インバータの出力電力を検出し、検出値として出力する検出部と、
前記検出値、前記電力指令値、および前記制御パラメータに基づき、前記インバータを制御する電圧指令値を生成するインバータ制御部と、を備え、
前記制御パラメータは、前記インバータにおける前記出力電力の、周波数との相関である垂下特性に関するものであり、
前記インバータ制御部は、前記検出値および前記電力指令値に基づいて前記垂下特性を変更し、変更した前記垂下特性に基づき前記電圧指令値を生成する、電力変換装置。
- [請求項2] 前記インバータ制御部は、前記電力指令値にオフセット量を加えることで、前記垂下特性をオフセットさせる、請求項1に記載の電力変換装置。
- [請求項3] 前記インバータ制御部は、
前記検出値が上限値から下限値までの範囲内にある場合は、前記電力指令値に前記オフセット量を加えずに使用した前記垂下特性に基づいて前記電圧指令値を生成し、
前記検出値が前記上限値を超えた場合、前記出力電力が前記上限値に一致するように、前記電力指令値に前記オフセット量を加えて使用した前記垂下特性に基づき前記電圧指令値を生成し、
前記検出値が前記下限値を下回った場合、前記出力電力が前記下限値に一致するように、前記電力指令値に前記オフセット量を加えて使

用した前記垂下特性に基づき前記電圧指令値を生成する、請求項 2 に記載の電力変換装置。

[請求項4] 前記インバータ制御部は、前記電力指令値が更新された場合、前記オフセット量をゼロとし、更新後の前記電力指令値を使用した前記垂下特性に基づいて前記電圧指令値を生成する、請求項 2 に記載の電力変換装置。

[請求項5] 前記インバータ制御部は、前記電力指令値に前記オフセット量を加えている場合であって、前記検出値が上限側下位閾値を下回った場合、あるいは、前記検出値が下限側上位閾値を上回った場合に、前記オフセット量をゼロとする、請求項 2 に記載の電力変換装置。

[請求項6] 前記上限側下位閾値および前記下限側上位閾値は、前記電力管理装置から通知される、請求項 5 に記載の電力変換装置。

[請求項7] 前記インバータ制御部は、前記電力指令値に前記オフセット量を加えている場合であって、前記検出値が上限値を下回った場合、あるいは、前記検出値が下限値を上回った場合に、前記オフセット量をゼロとする、請求項 2 に記載の電力変換装置。

[請求項8] 前記インバータ制御部は、PI 制御に基づいて前記オフセット量を計算する、請求項 2 に記載の電力変換装置。

[請求項9] 前記インバータ制御部は、前記電力指令値と前記検出値との差分に応じて前記出力電力の周波数が単調減少する垂下特性に基づき、前記電圧指令値を生成する、請求項 1 に記載の電力変換装置。

[請求項10] 前記インバータ制御部は、仮想同期発電機制御を行う、請求項 9 に記載の電力変換装置。

[請求項11] インバータの出力電力を検出値として検出する工程と、
電力管理装置が生成した電力指令値および前記検出値に基づき、前記インバータにおける前記出力電力の周波数との相関である垂下特性を変更する工程と、
変更した前記垂下特性に基づいて電圧指令値を生成する工程と、

前記電圧指令値に基づき、分散型電源の直流電力を交流電力に変換する工程と、を有する、電力変換方法。

[請求項12]

コンピュータに、

電力管理装置が生成した電力指令値およびインバータの出力電力の検出値に基づき、前記インバータにおける前記出力電力の周波数との相関である垂下特性を変更する処理と、

変更した前記垂下特性に基づいて電圧指令値を生成する処理と、

前記電圧指令値に基づき、分散型電源の直流電力を交流電力に変換する処理と、を実行させる、電力変換プログラム。