

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-43184
(P2008-43184A)

(43) 公開日 平成20年2月21日(2008.2.21)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
HO2M 7/48 (2007.01) HO2M 7/48 E 5H007

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2007-138054 (P2007-138054)	(71) 出願人	000000239 株式会社荏原製作所 東京都大田区羽田旭町11番1号
(22) 出願日	平成19年5月24日(2007.5.24)	(71) 出願人	000140111 株式会社荏原電産 東京都大田区羽田旭町11番1号
(31) 優先権主張番号	特願2006-145536 (P2006-145536)	(74) 代理人	100091498 弁理士 渡邊 勇
(32) 優先日	平成18年5月25日(2006.5.25)	(74) 代理人	100093942 弁理士 小杉 良二
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100118500 弁理士 廣澤 哲也
(31) 優先権主張番号	特願2006-194605 (P2006-194605)	(72) 発明者	片岡 匡史 東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社荏原製作所内
(32) 優先日	平成18年7月14日(2006.7.14)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

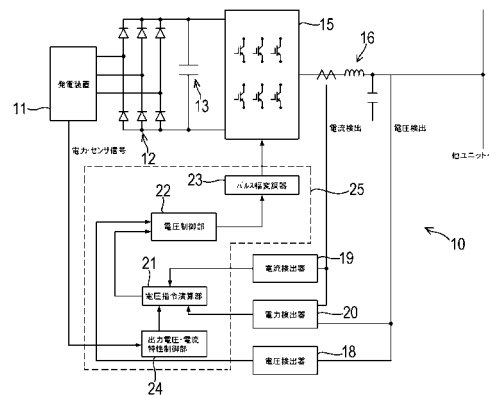
(54) 【発明の名称】 電力供給装置および電力変換装置の同期運転方法

(57) 【要約】

【課題】 発電装置と電力変換装置とからなるユニット化された電力供給装置を複数台並列運転する電力供給システムに好適に用いることができる電力供給装置を提供する。

【解決手段】 本発明は、発電装置と、該発電装置の発電電力を所要の周波数および電圧の交流電力に変換する電力変換装置と、上記電力変換装置のコントローラとを備えた電力供給装置を提供する。上記コントローラは、上記電力変換装置の出力電流に対応する出力電圧を決定する出力電圧 - 出力電流特性の制御部を備え、上記出力電圧 - 出力電流特性に、上記発電装置の発電能力を超える第1の出力電流と、上記電力変換装置の変換能力を超える第2の出力電流との間では、上記発電装置の出力電力を制限する第1の垂下特性を持たせた。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

発電装置と、

該発電装置の発電電力を所要の周波数および電圧の交流電力に変換する電力変換装置と

、前記電力変換装置のコントローラとを備えた電力供給装置であって、

前記コントローラは、前記電力変換装置の出力電流に対応する出力電圧を決定する出力電圧 - 出力電流特性の制御部を備え、

前記出力電圧 - 出力電流特性に、前記発電装置の発電能力を超える第 1 の出力電流と、前記電力変換装置の変換能力を超える第 2 の出力電流との間では、前記発電装置の出力電力を制限する第 1 の垂下特性を持たせたことを特徴とする電力供給装置。

10

【請求項 2】

前記発電装置の発電能力を検出する手段と、検出した発電能力に基づいて前記発電装置の出力電力を制限する前記第 1 の垂下特性を設定する手段とを備えたことを特徴とする請求項 1 記載の電力供給装置。

【請求項 3】

前記発電装置はガスタービン発電機であり、該ガスタービン発電機の排ガス温度または入口空気温度を検出し、検出した温度から前記発電装置の出力電力を制限する前記第 1 の垂下特性を設定する手段を備えたことを特徴とする請求項 1 記載の電力供給装置。

20

【請求項 4】

前記出力電圧 - 出力電流特性に、前記出力電流が前記第 1 の出力電流以下であるときは出力電流の増加に対して出力電圧が低下する、前記第 1 の垂下特性と特性の異なる第 2 の垂下特性を持たせ、前記出力電流が前記第 2 の出力電流以上であるときは出力電流の増加に対して出力電圧が低下する、前記第 1 及び第 2 の垂下特性とは特性の異なる第 3 の垂下特性を持たせたことを特徴とする請求項 1 記載の電力供給装置。

【請求項 5】

前記出力電圧 - 出力電流特性に、前記出力電流が前記第 1 の出力電流以下であるときは出力電流の増加に対して出力電圧を一定に制限する第 2 の垂下特性を持たせ、前記出力電流が前記第 2 の出力電流以上であるときは出力電流の増加に対して出力電圧が低下する、前記第 1 の垂下特性と特性の異なる第 3 の垂下特性を持たせたことを特徴とする請求項 1 記載の電力供給装置。

30

【請求項 6】

複数台の電力変換装置を並列接続して、負荷に三相交流電力を供給するシステムにおける電力変換装置の同期運転方法であって、

前記電力変換装置が並列接続される電源系統の三相電圧を検出し、

前記三相電圧を、前記電力変換装置内部の位相 θ に基づいて d q 座標に変換し、d 軸成分 $V_{d'}$ を検出し、

前記 d 軸成分 $V_{d'}$ がゼロとなるように P I 制御を行い、内部位相の補正量 θ_f を出力し、該補正量 θ_f を、電力変換装置の出力基準周波数 f^* に加算するとともに、所定のゆらぎ周波数を補正量 θ_f に加算し、位相 θ を前記系統の電圧位相 θ_s と一致させ、

40

前記位相 θ に基づいて前記電力変換装置が正弦波交流電圧を形成し、前記電源系統の交流電圧と同期を取ることを特徴とする電力変換装置の同期運転方法。

【請求項 7】

前記所定のゆらぎ周波数は、比例制御器の出力値であることを特徴とする請求項 6 記載の電力変換装置の同期運転方法。

【請求項 8】

前記所定のゆらぎ周波数は、外乱発生器の出力の周波数であることを特徴とする請求項 6 記載の電力変換装置の同期運転方法。

【請求項 9】

複数台の電力変換装置を並列接続して、負荷に三相交流電力を供給する電力供給システ

50

Δに用いる電力変換装置であって、

前記電力変換装置が並列接続される電源系統の三相電圧を検出する電圧検出器と、

前記電圧検出器で検出された三相電圧を、前記電力変換装置内部の位相 θ に基づいて d q 座標に変換し、d 軸成分 V_d' を検出する演算部と、

前記 d 軸成分 V_d' を誤差位相差 θ とし、これをゼロとするように周波数補正量 f を出力する P I 演算部と、

該 P I 演算部の出力を制限するリミッタと、

所定のゆらぎ周波数を発生させるゆらぎ周波数発生器と、

前記リミッタの出力と前記電力変換装置の出力基準周波数 f^* と前記ゆらぎ周波数発生器の出力とを加算する加算器と、

前記加算器の出力を積分して位相 θ を出力する積分器とを備え、

前記系統の電圧位相 θ と一致させた位相 θ に基づいて、前記系統の交流電圧と同期した正弦波交流電圧を出力することを特徴とする電力変換装置。

【請求項 10】

前記ゆらぎ周波数発生器は、比例制御器であることを特徴とする請求項 9 記載の電力変換装置。

【請求項 11】

前記ゆらぎ周波数発生器は、前記所定のゆらぎ周波数を出力する外乱発生器であることを特徴とする請求項 9 記載の電力変換装置。

【請求項 12】

複数台の電力変換装置を並列接続して、負荷に三相交流電力を供給する電力供給システムに用いる電力変換装置であって、

前記電力変換装置が並列接続される電源系統の三相電圧を検出する電圧検出器と、

前記電力変換装置を、前記電源系統に接続するスイッチとを備え、

前記電圧検出器で前記電源系統の三相電圧が検出されない場合は、前記スイッチを閉じて前記電力変換装置から基準周波数の交流電圧を出力させ、

前記電圧検出器で前記電源系統の電圧が検出された場合には、前記電力変換装置の電圧位相を前記電源系統の三相電圧の位相と一致するように位相調整を行い、前記電源系統の三相電圧との位相差が所定値以内となった場合に、前記スイッチを閉じることを特徴とする電力変換装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ガスタービン発電機等の分散型発電装置と、前記発電装置により発電された電力を所要の周波数および電圧の交流電力に変換して負荷へ供給するインバータ装置などの電力変換装置とからなるユニット化された電力供給装置に係り、特に複数台の電力供給装置を並列接続し、商用電源系統から切り離された負荷に並列運転により電力を供給する電力供給システムに用いられる電力供給装置に関する。

【0002】

また、本発明は、複数台のインバータ装置（電力変換装置）を並列接続して、商用電源系統から切り離された負荷に並列運転により三相交流電力を供給する際に、各インバータ装置間で出力電圧の同期を取る方法に関する。

【背景技術】

【0003】

電圧制御型インバータ装置を含む電力供給装置を複数台並列接続して、負荷へ発電電力を供給する電力供給システムでは、インバータ装置が同じ電圧を出力しても、実際に出力される電圧は、センサ、フィルタ回路の構成部品などの誤差により、完全に一致した電圧を出力することは難しい。その為、通常は、電圧制御型インバータ装置を含む電力供給装置を複数台並列接続して、商用電源系統から切り離された負荷に発電電力を供給する電力供給システムにおいては、複数台の電力供給装置の負荷分担率を均等に保つために、イン

10

20

30

40

50

バータ装置間で互いの情報（電流、電力など）を共有し、出力電圧をコントロールし、負荷の分担率を均等に保ち、インバータ装置の能力を有効に使用することが提案されている。

【0004】

しかしながら、上記の負荷分担方法では、複数台の電力供給装置間の情報を共有するための専用ハードウェアなどが必要となり、コスト、信頼性の面でも問題がある。また、電力のコントロールの為に共用されている情報は、インバータ装置に関する情報のみであり、発電装置（ガスタービン発電機、燃料電池など）とインバータ装置などの電力変換装置とが組み合わせて使用されるユニット化された電力供給装置の場合には、インバータ装置が過負荷になる前に、発電装置が過負荷になり、発電装置が停止してしまい、インバータ装置の能力に余裕があるにもかかわらず、発電装置が止まってしまう現象が発生するなどの問題がある。

10

【0005】

電圧制御型インバータ装置を複数台並列接続して、負荷へ発電電力を供給する電力供給システムでは、商用電源系統から切り離された負荷へ電力を供給する場合、以下のようなインバータ装置間の同期方法がある。

【0006】

第1に、一台のインバータ装置が親機となり、親機の電圧出力と同期した特別な基準信号をその他のインバータ装置へ出力する。他の（親機以外の）インバータ装置は、その基準信号に同期した出力電圧を形成し、インバータ装置出力電圧の同期を取る。

20

【0007】

第2に、外部コントローラが、複数台のインバータ装置へ位相同期用の基準信号を送信し、その基準信号を元に、各インバータ装置が出力電圧を形成することにより、出力電圧の同期を取る。

【0008】

第3に、複数台の内一台のインバータ装置が、自立（電圧制御）モードで起動して電圧を確立後、その他のインバータ装置が連系（電流制御）モードで起動し、電圧位相に同期した並列運転を行い、出力電圧の同期を取る。

【0009】

上記従来技術においては、第1と第2の方法のように、すべてのインバータ装置が電圧制御モードで動作する方法と、第3の方法のように、基準となるインバータ装置が電圧制御モード、その他のインバータ装置が電流制御モードとして同期運転を行う方法とが提案されている。しかしながら、上記従来技術には、以下の課題がある。上記第1と第2の方法のように、すべてのインバータ装置が電圧制御モードで動作する方法においては、各インバータ装置間の出力を同期させるのに同期信号が必要となっているので、同期信号を出力するインバータ装置または外部のコントローラが故障した場合、運転の継続ができなくなる。また、同期信号を伝達する為の信号線が、出力線以外に必要なので、システムが複雑になる。

30

【0010】

また、基準となるインバータ装置が電圧制御モード、その他のインバータ装置が電流制御モードとして運転を行う第3の方法においては、同期信号を用いないので、同期信号の信号線が不要となり、システムが複雑になるという問題については改善される。しかし、基準となるインバータ装置が電圧制御モード、その他のインバータ装置が電流制御モードとして運転を行う必要があるため、基準となる電圧制御モードで運転を行っているインバータ装置に異常が発生すると、運転の継続が困難になること、また、電流制御モードのインバータ装置が急激な負荷変動に対応できない、などの問題がある。

40

【0011】

【特許文献1】実開平3-14931号公報

【特許文献2】国際公開WO2004/019466号公報

【発明の開示】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

本発明は上述した事情に鑑みて為されたもので、発電装置と電力変換装置とからなるユニット化された電力供給装置を複数台並列運転する電力供給システムに好適に用いることができる電力供給装置を提供することを第1の目的とする。より詳しくは、各電力供給装置間の負荷分担のための専用のハードウェアを設けることなく、また発電装置の能力を超える場合には負荷分担を自動的に当該発電装置の発電能力の範囲内に制限することができる電力供給装置を提供することを第1の目的とする。

【0013】

また、本発明は、同期信号を使用せずに、並列運転する全てのインバータ装置（電力変換装置）を電圧制御モードの運転で同期させることが可能な、インバータ装置の同期運転方法を提供することを第2の目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

上記課題を解決するため、本発明の一態様は、発電装置と、該発電装置の発電電力を所要の周波数および電圧の交流電力に変換する電力変換装置と、前記電力変換装置のコントローラとを備えた電力供給装置であって、前記コントローラは、前記電力変換装置の出力電流に対応する出力電圧を決定する出力電圧・出力電流特性の制御部を備え、前記出力電圧・出力電流特性に、前記発電装置の発電能力を超える第1の出力電流と、前記電力変換装置の変換能力を超える第2の出力電流との間では、前記発電装置の出力電力を制限する第1の垂下特性を持たせたことを特徴とするものである。

【0015】

本発明の他の態様は、複数台のインバータ装置（電力変換装置）を並列接続して、負荷に三相交流電力を供給するシステムにおけるインバータ装置の同期運転方法であって、前記インバータ装置が並列接続される電源系統の三相電圧を検出し、前記三相電圧を、前記インバータ装置内部の位相 θ に基づいて $d-q$ 座標に変換し、 d 軸成分 V_d を検出し、前記 d 軸成分 V_d がゼロとなるように PI 制御を行い、内部位相の補正量 θ^* を出力し、該補正量 θ^* を、インバータ装置の出力基準周波数 f^* に加算するとともに、所定のゆらぎ周波数を補正量 θ^* に加算し、位相 θ を前記系統の電圧位相 θ_v と一致させ、前記位相 θ に基づいて前記インバータ装置が正弦波交流電圧を形成し、前記電源系統の交流電圧と同期を取ることの特徴とするものである。

【発明の効果】

【0016】

上記本発明によれば、電力供給システムを構成する複数台の電力供給装置間で専用のハードウェアによる情報の共有をしなくても、電力変換装置のコントローラは、出力電流に対応する出力電圧を指令する出力電圧・電流特性制御部を備えることで、各電力供給装置間の負荷分担を概ね均等にする、あるいは、積極的に負荷を制限することができる。すなわち、電力変換装置の出力が発電装置の出力能力の限界に達した場合は、発電装置にさらに負荷がかからない様に、電力一定で（発電電力が限界値を超えないように）出力電圧を垂下させる特性を持たせることで、発電装置が過負荷となる前に当該電力供給装置の負荷を制限し、他の電力供給装置へ負荷を分散できる。このため、当該電力供給装置の運転をその発電能力の範囲内に自動的に制限でき、運転を継続でき、電力供給システム全体としての信頼性を確保でき、コストの面でも効果がある。

【0017】

また、本発明によれば、インバータ装置内部の位相 θ を電源系統の電圧位相 θ_v と一致させ、インバータ装置の出力電圧と電源系統の交流電圧と同期を取ることができる。従って、各インバータ装置間で出力電圧の位相を合わせるための同期信号を使用せずに、すべてのインバータ装置が電圧制御モードで出力を行うことができる。従って、各電力供給装置間で出力電圧の同期を取る為の特別な信号線を設けることなく、インバータ装置の出力端を接続するだけで、負荷変動にも十分に対応できる並列運転を行うことができる。

【発明を実施するための最良の形態】**【0018】**

以下、本発明の実施形態について、添付図面を参照して説明する。なお、各図中、同一の作用または機能を有する部材または要素には、同一の符号を付して重複した説明を省略する。

【0019】

図1は、本発明の一実施形態の電力供給装置を示す。発電装置11は、例えばガスタービン発電機などの分散型の発電装置である。発電装置11の交流発電出力は、全波整流回路などのコンバータ12により整流され、コンデンサ(直流電源)13に貯留された直流電力がインバータ15により所要の周波数および電圧の交流電力に変換され、フィルタ回路16により高調波成分が除去され、出力側に接続された負荷に供給される。なお、発電装置11としては、太陽電池、燃料電池などの分散型の発電装置を用いることができる。

10

【0020】

インバータ15は、直流電源13の直流電力から、指令値の周波数および電圧を有する交流電力を生成する電圧制御形のインバータ装置を構成しており、電力スイッチング素子をパルス幅変調信号に従ってオン/オフ制御することにより直流電力を交流電力に変換する。このため、インバータ装置(電力変換装置)は、インバータ15などの他に、出力電圧を検出する電圧検出器18、出力電流を検出する電流検出器19、出力電力を検出する電力検出器20、周波数および電圧の指令値と上記検出器18, 19, 20で検出されたフィードバック値に基づいて電圧指令値を演算する電圧指令演算部21、電圧制御部22

20

【0021】

電力供給装置10は、発電装置11と、該発電装置11の発電電力を所要の周波数および電圧の交流電力に変換するインバータ装置などの電力変換装置とが、ユニット化されたものである。例えば、100kWの発電能力を有する発電装置と、この発電電力を商用電源システムの周波数および電圧の交流電力に変換する電圧制御形インバータ装置などの電力変換装置とが、ユニット化され、一つの筐体(パッケージ)内に収容されたものである。従って、ユーザは、1台の電力供給装置10を備えることで、商用電源システムに接続可能な負荷に対して商用電源システムと同じ周波数および電圧の交流電力を最大100kWまで出力可能である。

30

【0022】

ところが、電力供給装置のユーザの需要電力は多様であり、このため、図2に示すように、電力供給装置10を複数台並列接続し、並列運転することが行われている。例えば、同一規格の電力供給装置10をN台並列運転することで、1台当たりの出力のN倍の電力を負荷30に供給することができる。

【0023】

ユニット化された電力供給装置10を複数台並列接続し、並列運転するに際して、各電力供給装置10の負荷分担を自動的に行うため、インバータ装置のコントローラ25は、インバータ装置の出力電流に対応する出力電圧を決定する出力電圧-出力電流制御特性を有する制御部24を備えている。この制御部24により決定された出力電圧は、指令値として電圧指令演算部21に送られる。複数台の電力供給装置10の出力端は並列接続されているので、同一の出力電流に対して同一の出力電圧を指令する制御部24を各電力供給装置10に備えることで、各電力供給装置間の負荷分担を概ね均等に行うことができる。また、同一の出力電圧に対して出力電流に差を設けることで、積極的に負荷分担に差を持たせることができる。これにより、電力供給システムを構成する複数台の電力供給装置間で、専用のハードウェアによる情報の共有をしなくても、自動的に各電力供給装置間の負荷分担を概ね均等にする、あるいは、積極的に負荷分担に差を持たせることができる。

40

【0024】

ところで、電圧制御形インバータ装置において、一般に、出力電圧・電流特性制御部で

50

出力電圧指令値を決定する際に、インバータ装置の出力電流、あるいは出力電力がその定格容量の範囲内であるか否かの状態のみを考慮して出力電圧を決定している。

【0025】

この種の出力電圧・電流特性制御部を備えたインバータ装置を発電装置と組み合わせて電力供給装置とした場合、

発電装置の発電能力 > インバータ装置の出力能力

である時は、インバータ装置の出力能力範囲内で運転するのであれば、問題が発生しない。しかしながら、運転環境により発電装置の発電能力がインバータ装置の出力能力よりも低くなった際に、すなわち、

発電装置の発電能力 < インバータ装置の出力能力

である時は、インバータ装置の出力能力（通常、定格容量）となる前に発電装置が過負荷となり、安全装置が作動し、電力供給装置全体が停止してしまうという問題がある。

【0026】

この問題を解決するために、本発明の電力供給装置においては、インバータ装置（電力変換装置）のコントローラ25の出力電圧・電流特性制御部24に、図3に示す出力電圧 - 出力電流の制御特性を持たせている。すなわち、発電装置11の発電能力を超える出力電流A（第1の出力電流）とインバータ装置の変換能力を超える出力電流B（第2の出力電流）との間（区間2）では、出力電圧 - 出力電流特性に第1の垂下特性を持たせ、出力電流A以下（区間1）では、出力電圧 - 出力電流特性に第2の垂下特性を持たせ、出力電流B以上（区間3）では、出力電圧 - 出力電流特性に第3の垂下特性を持たせている。

【0027】

垂下特性（出力電圧 - 出力電流特性）は、制御部24のメモリに予めインバータ装置の出力電流とこれに対応したインバータ装置の出力電圧のテーブルまたは関数を備え、インバータ装置の出力電流を検出し、制御部24のCPUでテーブルまたは関数を参照し、出力電圧指令値を決定することで実現できる。

【0028】

従って、図3の区間1において、発電装置11の発電能力を超える出力電流Aまでは、出力電流が大きくなると出力電圧をV0からV1まで、徐々に（緩やかに）垂下（低下）させる第2の垂下特性を持たせている。なお、図4は図3の変形例を示すものであるが、区間1において、発電装置11の発電能力を超える出力電流Aまでは、出力電流にかかわらず出力電圧を一定（V0）にする特性を持たせている。

【0029】

インバータ装置の出力電流が出力電流A以上に達した場合は、区間2において、発電装置11に限界以上の負荷がかからないように、発電電力一定で出力電圧を垂下させる第1の垂下特性を持たせている。すなわち、発電装置11の出力電力を一定に制限する。そして、出力電流がさらに大きくなり、インバータ装置の変換能力を超える出力電流B以上に達した場合は、区間3において、電力変換装置に限界以上の負荷がかからないように、出力電流の増加に対して急激に出力電圧を垂下（低下）させる第3の垂下特性を持たせている。

【0030】

図3と図4の区間2において、発電電力一定の垂下特性では、インバータ装置の出力電流と出力電圧の積が所定値以下であり、この電力供給装置を運転する場合には出力電流が増加すると出力電圧が減少し、発電装置11の発電出力は制限される。複数台の電力供給装置を並列接続する場合には、出力電圧は共通の電圧となり、出力電流はそれぞれの出力電圧 - 出力電流特性により決定されるので、この第1の垂下特性の区間では、電力供給装置は発電装置11の限界出力で運転され、その限界出力以上の負荷は他の電力供給装置から供給されることになる。これにより、並列運転する複数台の電力供給装置間に負荷を分散させる為の情報を共有する専用のハードウェアを設けることなく、発電装置11が過負荷となる前に他の電力供給装置へ負荷を分散できるので、電力供給装置の運転を安定して継続でき、コストと信頼性の面で大きなメリットがある。

10

20

30

40

50

【0031】

例えば、発電装置11がガスタービン発電機の場合、一般的に、ガスタービン発電機の発電能力限界値は、排ガス温度(EGT)または入口空気温度の影響を強く受け、それらの温度により発電能力限界値が決まってくる。ガスタービン発電機のコントローラでは、排ガス温度または入口空気温度からガスタービン発電機の安全に運転が可能な範囲で出力可能な電力値を決定し、その値をインバータ装置を制御するコントローラ25へ伝達する。コントローラ25の出力電圧・電流特性制御部24は、上述の区間2の垂下特性として、この伝達された発電能力限界電力値に基づいて制御を行う。従って、この電力供給装置は、発電装置11の発電能力を検出する手段と、検出した発電能力に基づいて区間2の垂下特性を設定する手段とを備える。

10

【0032】

上述したように、垂下特性の制御は、電流検出部19で検出した出力電流により、テーブルまたは関数としての出力電圧-出力電流特性を参照して電圧指令値を出力し、その電圧指令値からインバータ装置を制御するものである。従って、検出した発電能力に基づいて区間2の垂下特性を設定する手段は、発電装置11の発電能力限界の出力電流Aとインバータ装置の出力可能電流(定格電流)Bとから区間2の範囲を設定することができ、発電装置11の発電能力限界の出力電力から出力電圧-出力電流特性の傾きを設定することができる。

【0033】

図3と図4の区間3において、電力変換装置(インバータ装置)の変換能力を超える出力電流以上で出力電流の増加に対して出力電圧が急激に低下する垂下特性を持たせたので、電力供給装置は電力変換装置の限界出力で運転され、その限界出力以上の負荷には他の電力供給装置から電力が供給されることになる。

20

【0034】

次に、図5を参照して、本発明の第1実施例について説明する。この実施例においては、図3に示す区間1に垂下特性を有する2台の電力供給装置を並列運転する場合である。発電装置の発電能力に余裕があるときは、並列運転時の電力供給装置の負荷分担率を概ね均等に保ち、発電装置の発電能力の限界に達した際は、出力電力を制限して過負荷にならないように、他の電力供給装置の分担率が増すように制御させる。

【0035】

電力供給装置1は、無負荷時(出力電流が0)に所定の電圧(例えば、定格電圧)V0を出力する。電力供給装置2も同様に、無負荷時に所定の電圧V0を出力するが、センサ、フィルタ回路の構成部品などの誤差により、電力供給装置2から実際に出力される電圧は、V0'となり、V0とはわずかに(例えば、定格電圧の0.5%程度)ではあるが相違した電圧となる。

30

【0036】

電力供給装置1は、発電装置11の発電能力の限界となる出力電流Aまでの区間1では、緩やかな垂下特性を有し、出力電流Aからインバータ装置の出力能力の限界となる出力電流Bまでの区間2では、発電装置11の発電電力一定の垂下特性を有し、出力電流B以上の区間3では、急激な垂下特性を有する。電力供給装置2は、発電装置11の発電能力の限界となる出力電流Cまでの区間1では、緩やかな垂下特性を有し、出力電流Cからインバータ装置の出力の限界となる出力電流Bまでの区間2では、発電装置11の発電電力一定の垂下特性を有し、出力電流B以上の区間3では、急激な垂下特性を有する。区間2の垂下特性により、上述のように、出力電力が所定値以下となるように制御されるので、電力供給装置の出力電力を発電装置11の発電能力の範囲内に抑えることが可能である。

40

【0037】

並列運転時の2台の電力供給装置は、区間1において、出力電圧がV3であるときは、電力供給装置1は出力電流Eを分担し、電力供給装置2は出力電流Dを分担する。ここで、電力供給装置1と電力供給装置2の出力電圧差(緩やかな区間1における垂下特性の出力電圧差)が、センサ、フィルタ回路の構成部品などによる誤差程度の電圧差の場合、出

50

力電流 E および出力電流 D は概ね互いに近い電流値になるので、分担を概ね均等にすることができる。電力供給装置 1 の出力電流が発電装置 1 1 の発電能力の限界（出力電流 A）に達した際は、出力電圧 - 出力電流特性は区間 2 の垂下特性に入り、出力電力を発電能力の限界能力に制限して過負荷にならないようにし、電力供給装置 2 の分担率が増すように制御される。電力供給装置 2 の出力電流が発電装置 1 1 の発電能力の限界（出力電流 C）に達した際は、出力電圧 - 出力電流特性は区間 2 の垂下特性に入り、出力電力を発電能力の限界能力に制限して過負荷にならないように制御される。さらにインバータ装置の出力能力（定格電流）B を超える負荷電流が要求されるときは、出力電圧 - 出力電流特性は区間 3 の垂下特性に入り、出力電圧は急速に垂下してインバータ装置が過負荷にならないように制御され、さらに並列運転している他の電力供給装置があれば、その装置から負荷へ電力が供給される。

10

【0038】

なお、上記実施例では、発電装置 1 1 の発電能力に余裕があるときは、複数台の電力供給装置の負荷分担率を概ね均等に保ち、発電装置 1 1 の発電能力の限界に達した際は、出力電力を制限して過負荷にならないようにすると共に、他の電力供給装置の分担率が増すように動作する例について説明したが、複数台の電力供給装置間で負荷の分担率を積極的に変化させたい場合（例えば、二台運転で、一方の電力供給装置から優先的に負荷へ電力を供給させる場合）は、予め出力電圧 - 出力電流特性に所定の差を付けることで、出力電圧の高い方から優先的に電力を負荷へ供給できる。また、発電装置 1 1 の発電能力の限界に達した際には、電力一定になるように（限界電力値を超えないように）出力電圧を垂下させるので、電力供給装置が停止せずに、他の電力供給装置から負荷へ電力を供給させるように促すことができる。

20

【0039】

次に、図 6 を参照して、本発明の第 2 実施例について説明する。電力供給装置 1 は、発電装置 1 1 の発電能力の限界となる出力電流 A までの区間 1 では、出力電圧一定の垂下特性を有し、インバータ装置の出力の限界となる出力電流 B までの区間 2 では、発電電力を制限する垂下特性を有し、インバータ装置の出力の限界となる出力電流 B 以上の区間 3 では、出力電圧が急激に低下する垂下特性を有する。電力供給装置 2 は、発電装置 1 1 の発電能力の限界となる出力電流 C までの区間 1 では、出力電圧一定の特性を有し、インバータ装置の出力の限界となる出力電流 B までの区間 2 では、発電電力一定の垂下特性を有し、インバータ装置の出力の限界となる出力電流 B 以上の区間 3 では、出力電圧が急激に低下する垂下特性を有する。区間 2 の垂下特性により、上述のように、出力電力が所定値以下となるように制御される。

30

【0040】

出力電流が発電装置 1 1 の発電能力の限界により決定される出力電流 A までの区間 1 において、電力供給装置 1 および電力供給装置 2 の出力電圧（指令値）を同じ V0 一定（実際に出力される電圧は、センサ、フィルタ回路の構成部品などの誤差により、相違した電圧）にさせ、並列運転する複数台の電力供給装置の負荷分担率が概ね均等になるように制御する。上記区間 1 は、出力電圧（指令値）は一定出力だが、インバータ 1 5 自体の出力と電力供給装置全体としての出力端との間に接続されているコイル L とコンデンサ C からなるフィルタ 1 6 による電圧降下が発生することにより、出力電流の増大と共に、出力端の電圧が低下し、負荷の分担率を概ね均等にすることができる。

40

【0041】

また、出力電流が発電装置 1 1 の発電能力の限界により決定される出力電流 A までの区間 1 において、電力供給装置 1 および電力供給装置 2 の出力電圧（指令値）に差を持たせ、V0 および V1 を出力電圧（指令値）にすると、出力電圧（指令値）の高い電力供給装置から優先的に電力を負荷へ供給することができる。

【0042】

さらに負荷電流が増えて、出力電力が発電装置 1 1 の発電能力の限界（出力電流 A）を超えたら、インバータ装置の出力能力の限界（出力電流 B）に達するまでの区間は、発電

50

装置 11 が過負荷にならない様に、一定電力（発電電力一定）制御を行い、出力電圧を低下させ、他の電力供給装置からの出力を促す。さらに負荷電流が増えて、出力電流がインバータ装置の出力能力（出力電流 B）を超えたら、急激に出力電圧を低下させ（区間 3）、インバータ装置が過負荷にならないようにすると共に、他の電力供給装置からの出力を促すことは、上記第 1 実施例と同様である。

【0043】

なお、上記実施形態では、発電装置 11 のコントローラが発電装置 11 の発電能力限界の出力電力値を決定しているが、排ガス温度または入口空気温度の情報を電力変換装置（インバータ装置）のコントローラ 25 が受け取り、その値に基づいて限界発電電力値を演算し、制御に用いてもよいことは勿論である。さらに、ガスタービン発電機の例について説明したが、ガスエンジン、燃料電池、水車、太陽電池などの分散型発電装置においても、発電装置で運転環境に応じて、発電能力限界値を決定し、電力変換装置のコントローラへ伝達し、区間 2 の垂下特性を設定することにより、同じように利用できることも勿論である。

10

【0044】

次に、本発明の他の実施形態について説明する。図 7 は、本発明の他の実施形態の電力供給装置を示す。発電装置 41 は、例えばガスタービン発電機などの分散型の発電装置である。発電装置 41 の交流発電出力は、全波整流回路などのコンバータ 42 により整流され、コンデンサ（直流電源）43 に貯留された直流電力がインバータ 45 により所要の周波数および電圧の交流電力に変換され、フィルタ回路 46 により高調波成分が除去され、出力側に接続された負荷に供給される。なお、発電装置 41 としては、太陽電池、燃料電池などの分散型の発電装置を用いることができる。

20

【0045】

インバータ 45 は、直流電源 43 の直流電力から、指令値の周波数および電圧を有する交流電力を生成する電圧制御形のインバータ装置を構成しており、電力スイッチング素子をパルス幅変調信号に従ってオン/オフ制御することにより直流電力を交流電力に変換する。インバータ装置（電力変換装置）全体としては、インバータ 45 の出力電圧を検出する電圧検出器 48a、負荷が接続された電源系統 59 の電圧を検出する電圧検出器 48b、インバータ 45 の出力電流を検出する電流検出器 49、出力電力を検出する電力検出器 50、インバータ 45 の出力電流などから電圧指令値を演算する電圧指令演算部 51、インバータ 45 の出力電圧を制御する電圧制御部 52、インバータ 45 の出力位相を制御する位相制御部 53、インバータ 45 の電力スイッチング素子をオンオフ制御してパルス幅変調信号を形成するパルス幅変調器 54 などの各種センサおよび制御装置を備えている。

30

【0046】

電力供給装置 40 は、発電装置 41 と、該発電装置 41 の発電電力を所要の周波数および電圧の交流電力に変換するインバータ装置（電力変換装置）とが、ユニット化されたものである。例えば、100kW の発電能力を有する発電装置と、この発電電力を商用電源系統の周波数および電圧の交流電力に変換する電圧制御形インバータ装置とが、ユニット化され、一つの筐体（パッケージ）内に収容されたものである。従って、ユーザは、1 台の電力供給装置 40 を備えることで、商用電源系統に接続可能な負荷に対して商用電源系統と同じ周波数および電圧の交流電力を最大 100kW まで出力可能である。

40

【0047】

ところが、電力供給装置 40 に要求される需要電力は多様であり、このため、図 8 に示すように、電力供給装置 40 を複数台並列接続し、並列運転することが行われている。例えば、同一規格の電力供給装置 40 を N 台並列運転することで、1 台当たりの出力の N 倍の電力を負荷 60 に供給することができる。

【0048】

ユニット化された電力供給装置 40 を複数台並列接続し、並列運転するに際して、各電力供給装置 40 のインバータ装置の出力の同期を取る必要がある。このため、この電力供給装置 40 は、電源系統の電圧を検出する電圧検出器 48b と位相制御部 53 を備えてお

50

り、この位相制御部 5 3 により、インバータ装置の出力電圧波形（正弦波波形）の位相と、電源系統 5 9 の電圧波形の位相とを一致させる、すなわち、同期を取るようになっている。これにより、各インバータ装置間で出力電圧の位相を合わせるための同期信号を使用せずに、すべてのインバータ装置が電圧制御モードで出力を行うことができるので、出力電圧の同期を取る為の特別な信号線で各インバータ装置を接続することなく、インバータ装置の出力端を電源系統 5 9 に接続するだけで、負荷変動にも対応できる並列運転を行うことができる。

【 0 0 4 9 】

位相制御部 5 3 は、図 9 に示すように、電圧検出器 4 8 b で検出された三相電圧を、インバータ装置の内部の位相 θ' に基づいて d q 座標成分に変換する d q 変換部 6 1 と、d q 変換部 6 1 で変換された d 軸成分 Vd' がゼロとなるように、インバータ装置の内部の位相 θ' をフィードバック制御により調整する位相調整部 6 2 とを備えている。位相調整部 6 2 は、d 軸成分 Vd' を誤差位相差 θ_e とし、これをゼロとするように位相 θ' を調整する P I 演算部 6 3 を含む。

10

【 0 0 5 0 】

電源系統 5 9 の三相電圧をインバータ装置の内部の角周波数で回転している d q 座標成分に変換することで、図 1 0 に示すように、インバータ装置の内部位相 θ' (d' - q' 軸) と電源系統 5 9 の三相電圧の位相 θ (d - q 軸) が完全に一致しているなら、電源系統 5 9 の三相電圧 V_{sys} は q 軸成分のみであるので、d q 変換により得られる d 軸成分 Vd' はゼロとなる。また、位相差がある場合には、位相差に応じた大きさの d 軸成分 Vd' が演算結果として得られる。

20

【 0 0 5 1 】

すなわち、電源系統 5 9 の三相交流電圧 V_u, V_v, V_w と、d q 変換による d 軸成分 Vd と q 軸成分 Vq との位相 θ における関係は、下式ようになる。

【 数 1 】

$$\begin{bmatrix} Vd \\ Vq \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\left(\theta - \frac{2}{3}\pi\right) & \cos\left(\theta + \frac{2}{3}\pi\right) \\ -\sin\theta & -\sin\left(\theta - \frac{2}{3}\pi\right) & -\sin\left(\theta - \frac{2}{3}\pi\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Vu \\ Vv \\ Vw \end{bmatrix}$$

30

この d q 変換演算で得られた d 軸成分 Vd' (位相差情報) がゼロになるように P I 制御を行い、内部位相の補正量 f を得る。この補正量 f を、インバータ装置の出力基準周波数 (例えば、5 0 または 6 0 H z) に加算することにより、内部位相 θ' の修正を行う。この修正を行い、d 軸成分 Vd' がゼロとなることは、インバータ装置の内部位相 θ' が電源系統 5 9 の電圧の位相 θ と一致していることを意味する。この P I 制御により、インバータ装置の内部位相 θ' と電源系統 5 9 の電圧位相 θ を一致させるように位相制御を行うことが可能となる。

【 0 0 5 2 】

図 9 に示すように、位相調整部 6 2 は、d 軸成分 Vd' を誤差位相差 θ_e とし、これをゼロとするように周波数補正量 f を出力する P I 演算部 6 3 と、P I 演算部 6 3 の出力を制限するリミッタ 6 4 と、リミッタ 6 4 の出力をインバータ装置の出力基準周波数 (例えば、5 0 または 6 0 H z) f^* と加算する加算器 6 5 と、出力基準周波数 f^* と周波数補正量 f の加算量を積分して位相 θ' を出力する積分器 6 6 とを備える。位相 θ' は d q 変換部 6 1 にフィードバックされ、該位相 θ' に基づいて系統三相電圧を d q 座標成分に変換する演算が数 1 の式により行われる。このフィードバックループの繰り返し演算により、インバータ装置の内部位相 θ' は系統電圧 (電源系統 5 9 の電圧) の位相 θ と一致し、インバータ装置の出力電圧は系統電圧に同期したものとなる。

40

【 0 0 5 3 】

積分器 6 6 から出力された位相 θ' は、 \sin 変換器 6 7 により正弦波に変換さ

50

れ、電圧制御部 5 2 から出力される電圧信号と合成器 6 8 により合成され、正弦波形の出力電圧指令値として、パルス幅変調器 5 4 に供給され、インバータ装置により出力電圧波形が形成される。

【 0 0 5 4 】

しかし、図 9 に示す位相制御部 5 3 では、一台目の電力供給装置が起動し電力を出力している状態で、出力周波数がリミッタ 6 4 の上限値、あるいは下限値になっている（制御上発散している）場合、二台目の電力供給装置の内部位相 θ の補正が、リミッタ 6 4 の影響により行えず、電圧位相の同期を取ることができない。

【 0 0 5 5 】

上述の問題を改善するために、図 1 1 A に示すように位相調整部 6 2 を変更した。この位相調整部 6 2 では、誤差 d 軸成分 V_d がゼロにならない限り P 演算器（比例制御器）6 3 b がゼロ以外の値を出力するので、位相補正結果に揺らぎが残り、リミッタ 6 4 が補正に及ぼす影響（補正を行えなくなる現象）を改善することができる。但し、P（比例）演算器 6 3 b のゲインを大きく取りすぎると、常時残る揺らぎの影響により、出力周波数が安定しないおそれがあるので、P（比例）演算器 6 3 b のゲインは、出力に影響を及ぼさない程度の小さい値にする必要がある。

10

【 0 0 5 6 】

また、図 1 1 B のように、インバータ装置の出力に影響を与えない程度の所定の外乱を外乱発生器 6 3 c により発生させ、これをリミッタ 6 4 の出力に加算することにより、位相補正結果に強制的に揺らぎを与え、リミッタ 6 4 が補正に及ぼす影響（補正ができなくなる現象）を改善することも可能である。また、外乱を与える周期をランダムにすることにより、複数のインバータ装置間で揺らぎの周期が一致することにより生じる制御上の発散現象を防ぐことができる。

20

【 0 0 5 7 】

次に、図 1 2 および図 1 3 は、本発明のインバータ装置の動作例を示す。上述の説明は、系統電圧の位相にインバータ装置の内部位相を同期させる方法であるが、複数台の電力供給装置の並列運転において、最初に電力出力を始める電力供給装置は系統電圧を検出することができないので、上述の方法にて起動することができない。この場合は、まず、インバータ装置の内部位相回路に基準周波数（50 または 60 Hz）を設定し、補正量 f の演算を行わずに（ f にゼロをセットして）基準周波数の電圧を出力する。並列運転する他の電力供給装置は、系統電圧を検出後、上述の位相同期制御（ f による補正）を行い、内部位相回路の補正処理を行いながら、電力出力を継続させる。

30

【 0 0 5 8 】

最初のインバータ装置が起動後、二台目以降のインバータ装置が運転を開始する際には、上述した位相同期方法により、インバータ装置の内部位相と電源系統 5 9 の検出電圧位相の同期処理を行い、同期が確立した後、並列運転を開始する。例えば、インバータ装置の内部位相と電源系統 5 9 の検出電圧位相の差が $\pm 5^\circ$ 以下となるまで並列運転を行わず、それ以下になると同期が確立したとして、スイッチ（K 1）を閉として並列運転を開始する。

【 0 0 5 9 】

上記の様に起動後、複数台のインバータ装置が並列運転中に、1 台のインバータ装置が電力出力を停止する際は、インバータ装置間での制御を行っていないので、停止したい 1 台のインバータ装置の電力出力を停止するだけでよい。停止したインバータ装置以外のインバータ装置は、同期を維持したまま、運転を継続することができる。

40

【 0 0 6 0 】

上述の様に構成することで、並列運転する複数台のインバータ装置間で情報を共有することなく、インバータ装置の出力電圧位相の同期をとることが可能となる。例えば、マイクロコンピュータを使用して、上述の同期制御を行う場合は、図 1 4 に示すような方法で行うことができる。最初に起動するインバータ装置が、単独で基準周波数の出力電圧を出力する場合には、インバータ装置の内部位相を管理するタイマ 1 に基準周波数 1 周期の時

50

間をセットし、タイマ 2 に基準周波数 1 周期の $1/360$ の時間をセットする。インバータ装置は、このタイマ 2 のタイムアップ毎にインバータ装置の出力 SIN テーブル（一周期分の出力データを格納、この例では、データ数は 360 個）参照用のポインタをインクリメントすることによって、図 14 の (d) に示す正弦波の出力を行う。

【0061】

2 台目以降のインバータ装置の内部位相を、すでに起動されているインバータ装置により確立されている系統電圧の位相に同期させる際は、まず、タイマ 2 の初期値として、基準周波数の $1/360$ の時間 T_2 をセットする。次に、所定時間毎に電圧検出器により検出された三相系統電圧（図 14 の (a)）の値を、タイマ 2 で管理している内部位相（ポインタ値）にて dq 変換を行い、 d 軸成分 V_d' を求める。図 14 の例では、 dq 変換演算の間隔は、1 msec である。 dq 変換演算にて算出された d 軸成分 V_d' がゼロになるように PI 演算を行い、修正量 f が出力される。この修正量 f を、図 14 (c) に示すタイマ 2 にセットしている値に加算（あるいは減算）して、タイマ 2 にセットされている基準周波数の $1/360$ の時間を修正する（ T_2' をセットする）。この修正を繰り返すことにより、電源系統の電圧位相とインバータ装置の内部位相の同期を行うことができる。

10

【0062】

上述したように本発明によれば、複数台のインバータ装置を並列に接続する際に、インバータ装置の出力電圧位相の同期を取る為の特別な信号線（同期線）でインバータ装置同士を接続することが不要となる。すなわち、インバータ装置の出力端子同士を並列接続するだけで、インバータ装置の出力電圧位相を同期させることができる。このため、配線量を減らすことができ、同期線の断線や親機の故障によるシステムのダウンといった問題を防止できる。また、系統電圧を利用して電圧制御モードで運転するインバータ装置の同期を取れるので、異機種・異形式のインバータ装置間でも容易に並列同期運転を行える上、系統電圧の周波数が、リミッタのリミット値と一致する場合においても、同期を取ることができる。

20

【0063】

さらに、 dq 変換部 61 や位相調整部 62 はマイクロプロセッサで容易に構成できるので、ハード的には既存のマイクロプロセッサや電圧検出器等を利用でき、新規なハードウェアを必要とせず、低コストなシステムとすることができる。

【0064】

なお、上記実施形態では、分散形発電装置とインバータ装置などの電力変換装置とをユニット化した電力供給装置を複数台並列運転する例について説明してきたが、例えば共通の直流電源を用い、複数台のインバータ装置を並列運転する際にも、上記方法を同様に利用可能である。

30

【0065】

ここで、これまで本発明の一実施形態について説明したが、本発明は上述の実施形態に限定されず、その技術的思想の範囲内において種々異なる形態にて実施されてよいことは勿論である。

【図面の簡単な説明】

【0066】

【図 1】本発明の一実施形態の電力供給装置を示すブロック図である。

【図 2】上記電力供給装置を複数台並列接続し、並列運転する電力供給システムを示すブロック図である。

40

【図 3】本発明の一実施形態の出力電圧 - 出力電流特性を示すグラフである。

【図 4】出力電圧 - 出力電流特性の他の例を示すグラフである。

【図 5】本発明の第 1 実施例の出力電圧 - 出力電流特性を示すグラフである。

【図 6】本発明の第 2 実施例の出力電圧 - 出力電流特性を示すグラフである。

【図 7】本発明の他の実施形態の電力供給装置を示すブロック図である。

【図 8】上記電力供給装置を複数台並列接続し、並列運転する電力供給システムを示すブロック図である。

50

【図 9】本発明の位相制御部の構成例を示すブロック図である。

【図 10】d q 座標変換を示す図である。

【図 11】(a) は図 9 の変形例の位相制御部の構成例を示すブロック図であり、(b) は(a) のさらなる変形例を示すブロック図である。

【図 12】本発明のインバータ装置の動作例を示すフローチャートであり、前半部分を示す。

【図 13】本発明のインバータ装置の動作例を示すフローチャートであり、後半部分を示す。

【図 14】本発明のインバータ装置の動作例を示す各部の波形図である。

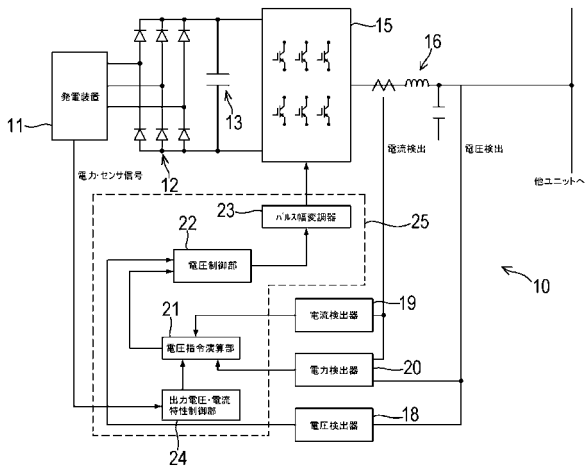
【符号の説明】

10

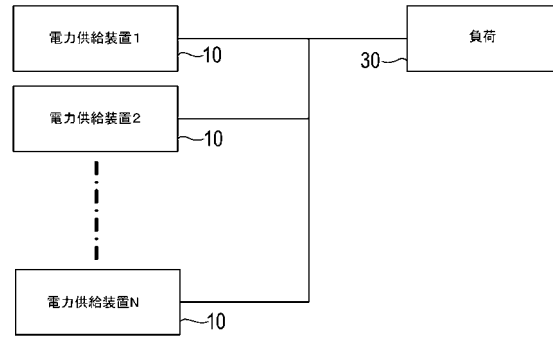
【0067】

10	電力供給装置	
11	発電装置	
12	コンバータ	
13	直流電源	
15, 45	インバータ	
16	フィルタ回路	
18 a, 18 b	電圧検出器	
19	電流検出器	
20	電力検出器	20
21	電圧指令演算部	
22	電圧制御部	
23, 54	パルス幅変調器	
24	出力電圧 - 出力電流特性制御部	
30, 60	負荷	
53	位相制御部	
59	電源系統	
61	d q 変換部	
62	位相調整部	
63	P I 演算部	
63 b	P 演算器	30
64	リミッタ	
65	加算器	
66	積分器	
67	変換器	
68	合成器	

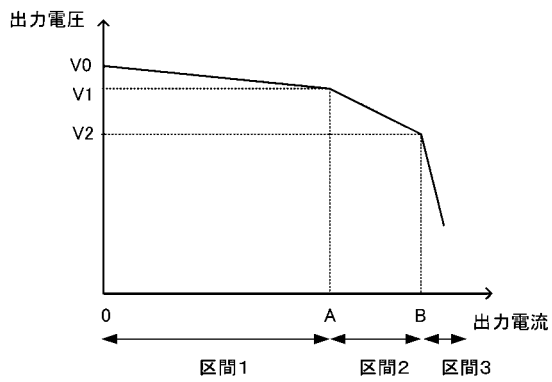
【 図 1 】



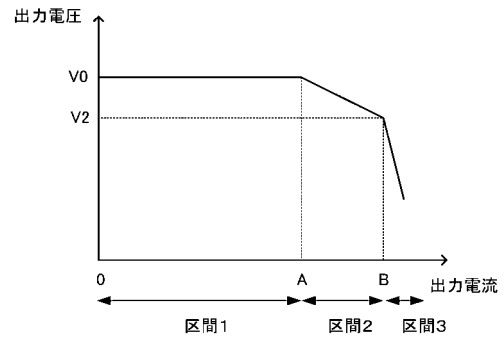
【 図 2 】



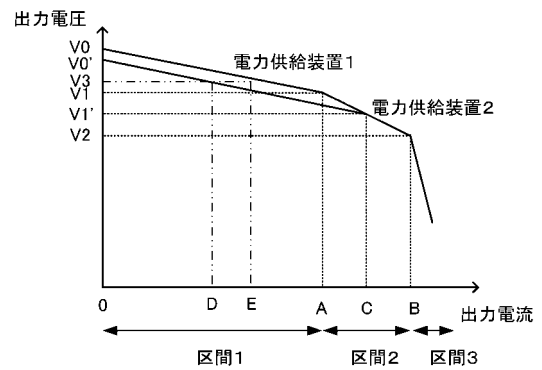
【 図 3 】



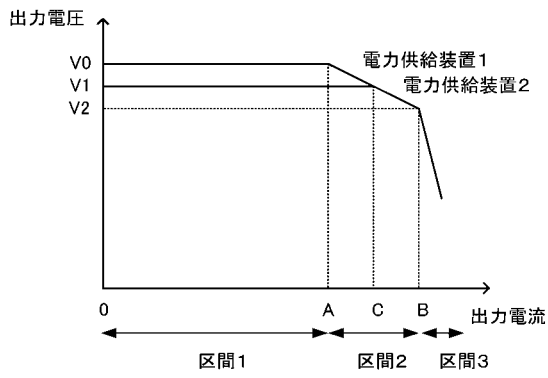
【 図 4 】



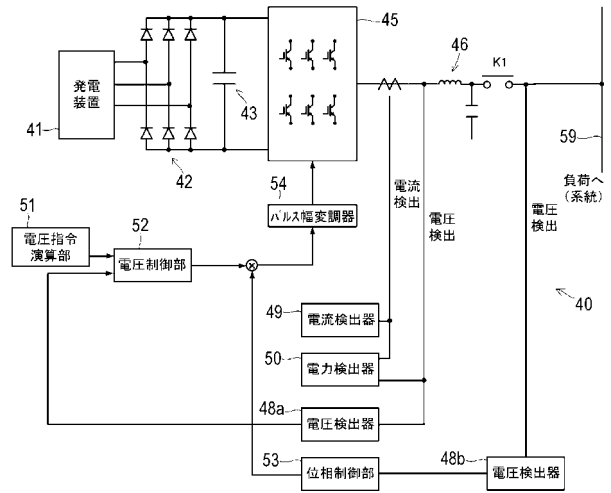
【 図 5 】



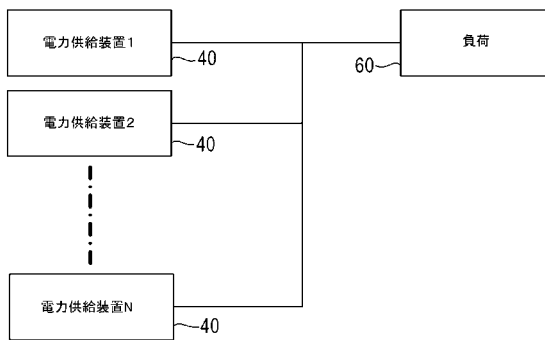
【図6】



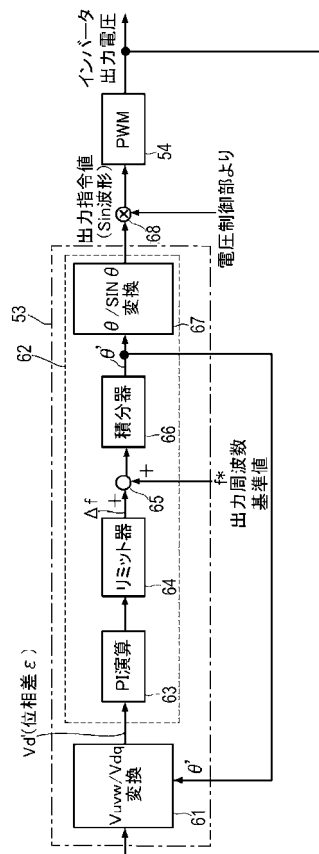
【図7】



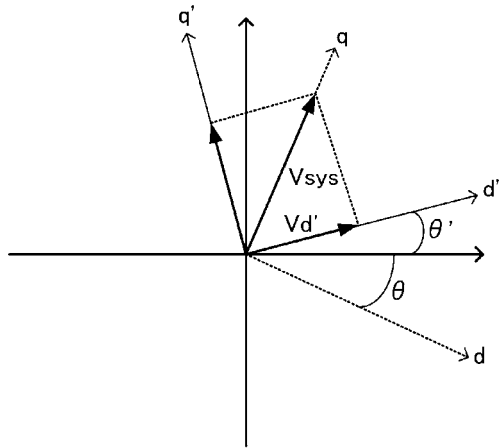
【図8】



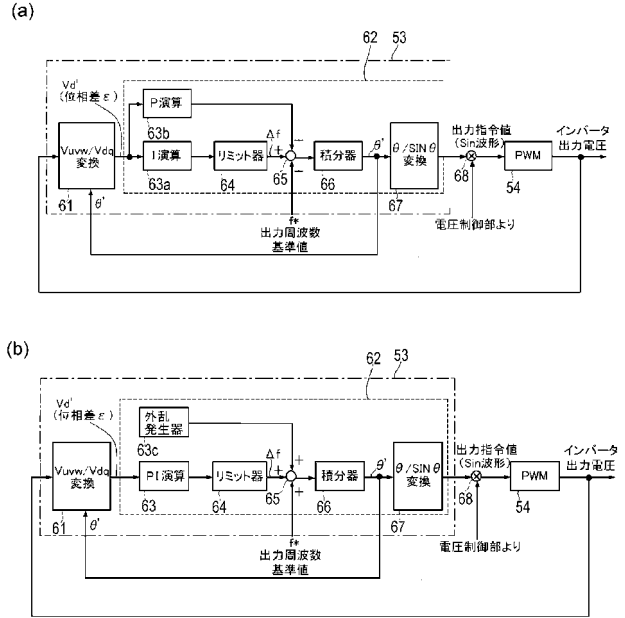
【図9】



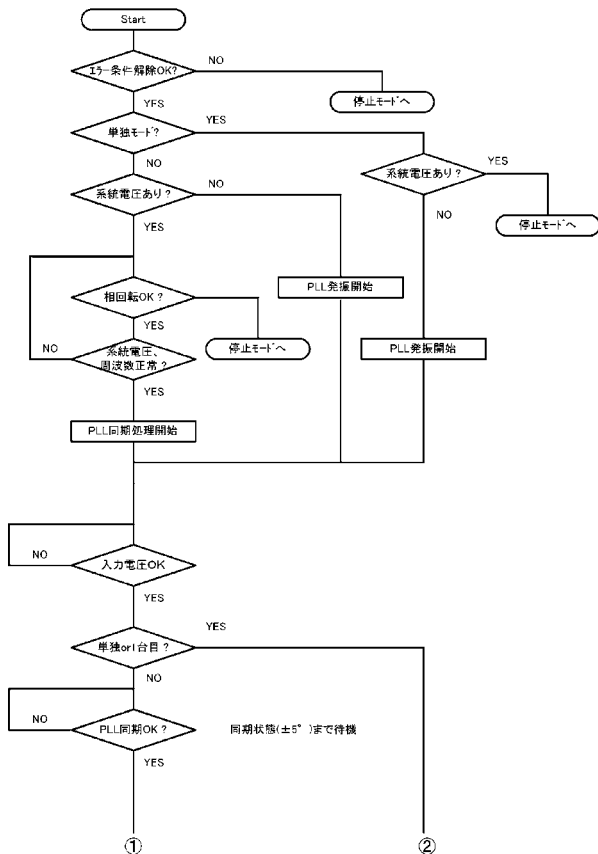
【図10】



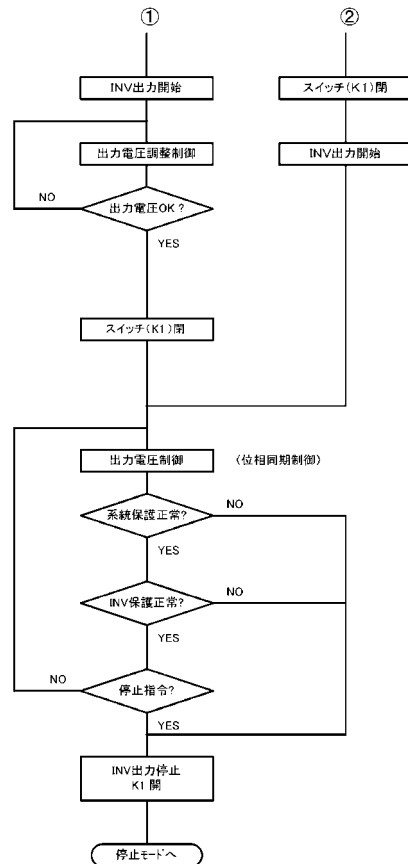
【図11】



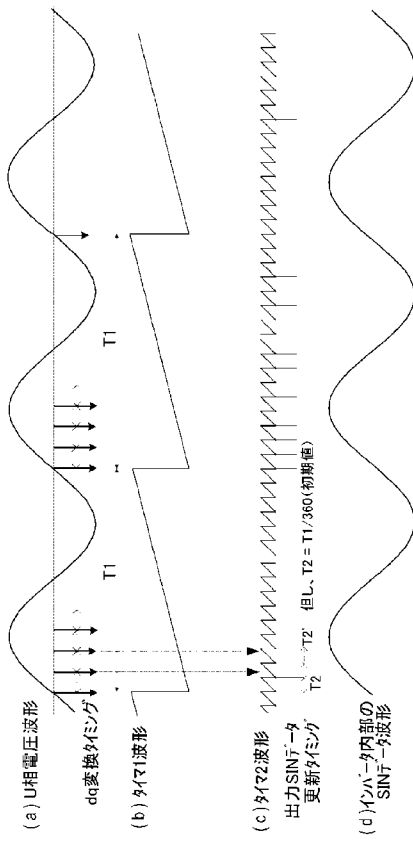
【図12】



【図13】



【 図 1 4 】



フロントページの続き

- (72)発明者 坂田 滋
東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所内
- (72)発明者 小澤 孝英
東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原電産内
- (72)発明者 塚越 功
東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原電産内
- (72)発明者 戴 政
東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原電産内
- Fターム(参考) 5H007 AA07 CA01 CB02 CC23 EA02 FA13 FA18