

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6609506号
(P6609506)

(45) 発行日 令和1年11月20日 (2019.11.20)

(24) 登録日 令和1年11月1日 (2019.11.1)

(51) Int. Cl.

F I

HO 2 M	7/48	(2007.01)	HO 2 M	7/48	E
HO 2 M	7/493	(2007.01)	HO 2 M	7/493	
HO 2 J	3/38	(2006.01)	HO 2 J	3/38	1 3 O
HO 2 J	3/46	(2006.01)	HO 2 J	3/46	
			HO 2 J	3/38	1 1 O

請求項の数 12 (全 46 頁)

(21) 出願番号 特願2016-78724 (P2016-78724)
 (22) 出願日 平成28年4月11日 (2016.4.11)
 (65) 公開番号 特開2017-192166 (P2017-192166A)
 (43) 公開日 平成29年10月19日 (2017.10.19)
 審査請求日 平成31年1月8日 (2019.1.8)

(73) 特許権者 502129933
 株式会社日立産機システム
 東京都千代田区神田練堀町3番地
 (74) 代理人 110002066
 特許業務法人筒井国際特許事務所
 (72) 発明者 古田 太
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
 式会社日立製作所内
 (72) 発明者 松永 俊祐
 東京都千代田区神田練堀町3番地 株式会
 社日立産機システム内

審査官 土谷 慎吾

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電力変換装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

直流電源から入力される直流電力を交流電力に変換して交流電力線に出力する電力変換部と、

前記電力変換部から出力される前記交流電力の出力周波数及び出力電圧を制御する交流電力制御部と、

前記交流電力の前記出力電圧を検出する電圧検出部と、

前記交流電力の出力電流を検出する電流検出部と、

を備え、

前記交流電力制御部は、

前記交流電力線に負荷が投入され、前記負荷に対して前記交流電力を定格周波数及び定格電圧で出力させた後、前記電圧検出部が検出した前記出力電圧及び前記電流検出部が検出した前記出力電流に基づき、前記交流電力の前記出力周波数及び前記出力電圧を、前記定格周波数及び前記定格電圧からそれぞれ低下させる垂下制御を実施し、前記出力周波数及び前記出力電圧を前記定格周波数及び前記定格電圧まで漸次修正する修正制御を実施し、

、

前記交流電力制御部は、

前記交流電力線に負荷が投入され、前記負荷に対して前記交流電力を前記定格周波数及び前記定格電圧で出力させた後、前記出力電圧及び前記出力電流に基づいて前記交流電力の抛出有効電力及び抛出無効電力を導出し、有効電力当たりの周波数低下量で規定される

10

20

周波数垂下率及び前記抛出有効電力に基づいて、前記出力周波数を前記定格周波数から低下させる周波数垂下量を導出し、無効電力当たりの電圧低下量で規定される電圧垂下率及び前記抛出無効電力に基づいて、前記出力電圧を前記定格電圧から低下させる電圧垂下量を導出する垂下制御部と、

前記出力周波数を前記定格周波数まで修正する周波数修正値を導出し、前記周波数修正値に基づいて前記出力周波数を前記定格周波数まで漸次修正する過程における前記出力周波数を規定する周波数目標値を設定し、前記出力電圧を前記定格電圧まで修正する電圧修正値を導出し、前記電圧修正値に基づいて前記出力電圧を前記定格電圧まで漸次修正する過程における前記出力電圧を規定する電圧目標値を設定する修正制御部と、

前記垂下制御部が算出した前記周波数垂下量及び前記電圧垂下量に基づいて前記垂下制御を実施し、前記垂下制御の後、前記修正制御部が設定した前記周波数目標値及び前記電圧目標値に基づいて、前記出力周波数及び前記出力電圧を前記定格周波数及び前記定格電圧まで漸次修正する前記修正制御を実施する周波数電圧制御部と、

を備え、

前記垂下制御部は、

前記出力電圧及び前記出力電流に基づいて前記交流電力の前記抛出有効電力及び前記抛出無効電力を導出する電力演算部を備え、前記電力演算部により導出された前記抛出有効電力と前記周波数垂下率とを積算して前記周波数垂下量を導出し、前記電力演算部により導出された前記抛出無効電力と前記電圧垂下率とを積算して前記電圧垂下量を導出し、

前記修正制御部は、

前記電力演算部が導出した前記抛出有効電力及び前記抛出無効電力を監視する出力状況監視部と、予め設定された前記定格周波数、前記定格電圧、前記周波数垂下率及び前記電圧垂下率を格納するデータ格納部と、前記出力状況監視部が監視した前記抛出有効電力と、前記データ格納部に格納された前記周波数垂下率とを積算して前記周波数修正値を導出し、前記周波数修正値を周波数遅れ要素に入力し、前記周波数遅れ要素から出力される周波数漸次修正値に前記定格周波数を加算して得られた値を、前記出力周波数を前記定格周波数まで漸次修正する過程における前記出力周波数を規定する前記周波数目標値として設定し、前記出力状況監視部が監視した前記抛出無効電力と、前記データ格納部に格納された前記電圧垂下率とを積算して前記電圧修正値を導出し、前記電圧修正値を電圧遅れ要素に入力し、前記電圧遅れ要素から出力される電圧漸次修正値に前記定格電圧を加算して得られた値を、前記出力電圧を前記定格電圧まで漸次修正する過程における前記出力電圧を規定する前記電圧目標値として設定する指令値修正部と、を備え、

前記周波数電圧制御部は、

前記交流電力線に負荷が投入され、前記データ格納部に格納された前記定格周波数及び前記定格電圧を周波数指令値及び電圧指令値としてフィードバック制御部に入力し、前記フィードバック制御部が、入力された前記周波数指令値及び前記電圧指令値に基づいて、前記定格周波数及び前記定格電圧で前記交流電力を出力させた後、前記垂下制御部において導出された前記周波数垂下量に前記データ格納部に格納された前記定格周波数を加算して得られた値を前記周波数指令値として前記フィードバック制御部に入力し、前記垂下制御部において導出された前記電圧垂下量に前記データ格納部に格納された前記定格電圧を加算して得られた値を前記電圧指令値として前記フィードバック制御部に入力し、前記フィードバック制御部が、入力された前記周波数指令値及び前記電圧指令値に基づいて前記垂下制御を実施し、前記修正制御部の前記指令値修正部が設定した前記周波数目標値及び前記電圧目標値を前記周波数指令値及び前記電圧指令値として前記フィードバック制御部に入力し、前記フィードバック制御部が、入力された前記周波数指令値及び前記電圧指令値に基づいて、前記出力周波数及び前記出力電圧を前記定格周波数及び前記定格電圧まで漸次修正する前記修正制御を実施する、

電力変換装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の電力変換装置であって、

10

20

30

40

50

複数の前記電力変換装置を並列運転させる場合に、
それぞれの前記電力変換装置において、前記垂下制御及び前記修正制御を実施する、
電力変換装置。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の電力変換装置であって、
複数の前記電力変換装置を並列運転させる場合に、
それぞれの前記電力変換装置において、前記垂下制御及び前記修正制御を実施する、
電力変換装置。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の電力変換装置であって、
複数の前記電力変換装置を並列運転させる場合に、
それぞれの前記電力変換装置において、前記垂下制御及び前記修正制御を実施する、
電力変換装置。

【請求項 5】

請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の電力変換装置であって、
前記直流電源が太陽電池パネルである、
電力変換装置。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の電力変換装置であって、
前記垂下制御部は、

前記出力電圧及び前記出力電流に基づいて前記交流電力の前記抛出有効電力及び前記抛出無効電力を導出する電力演算部を備え、前記電力演算部により導出された前記抛出有効電力と前記周波数垂下率とを積算して前記周波数垂下量を導出し、前記電力演算部により導出された前記抛出無効電力と前記電圧垂下率とを積算して前記電圧垂下量を導出し、

前記修正制御部は、

前記電力演算部が導出した前記抛出有効電力及び前記抛出無効電力を監視する出力状況監視部と、予め設定された前記定格周波数、前記定格電圧、前記周波数垂下率及び前記電圧垂下率を格納するデータ格納部と、前記修正制御における前記出力周波数及び前記出力電圧を規定する指令値修正部と、並列運転に係る他の前記電力変換装置とのデータの送受信を実施するネットワークインタフェース部と、並列運転に係る他の前記電力変換装置と協調して前記修正制御を実施させる協調制御部と、を備え、前記指令値修正部が、前記出力状況監視部が監視した前記抛出有効電力と、前記データ格納部に格納された前記周波数垂下率とを積算して内部周波数修正値を導出し、前記ネットワークインタフェース部が、他の前記電力変換装置が出力した他の前記電力変換装置の前記内部周波数修正値を受信し、前記協調制御部が、前記ネットワークインタフェース部が受信した他の前記電力変換装置の前記内部周波数修正値を外部周波数修正値として外部周波数修正値格納部に格納し、前記外部周波数修正値格納部に格納された全ての前記外部周波数修正値を比較して最大の前記外部周波数修正値を最大外部周波数修正値として前記指令値修正部に出力し、前記指令値修正部が、前記内部周波数修正値及び前記最大外部周波数修正値のいずれか大きい値を前記周波数修正値として導出し、前記周波数修正値を周波数遅れ要素に入力し、前記周波数遅れ要素から出力される周波数漸次修正値に前記定格周波数を加算して得られた値を、前記出力周波数を前記定格周波数まで漸次修正する過程における前記出力周波数を規定する前記周波数目標値として設定し、前記指令値修正部が、前記出力状況監視部が監視した前記抛出無効電力と、前記データ格納部に格納された前記電圧垂下率とを積算して内部電圧修正値を導出し、前記ネットワークインタフェース部が、他の前記電力変換装置が出力した他の前記電力変換装置の前記内部電圧修正値を受信し、前記協調制御部が、前記ネットワークインタフェース部が受信した他の前記電力変換装置の前記内部電圧修正値を外部電圧修正値として外部電圧修正値格納部に格納し、前記外部電圧修正値格納部に格納された全ての前記外部電圧修正値を比較して最大の前記外部電圧修正値を最大外部電圧修正値として前記指令値修正部に出力し、前記指令値修正部が、前記内部電圧修正値及び前記

10

20

30

40

50

最大外部電圧修正値のいずれか大きい値を前記電圧修正値として導出し、前記電圧修正値を電圧遅れ要素に入力し、前記電圧遅れ要素から出力される電圧漸次修正値に前記定格電圧を加算して得られた値を、前記出力電圧を前記定格電圧まで漸次修正する過程における前記出力電圧を規定する前記電圧目標値として設定し、

前記周波数電圧制御部は、

前記交流電力線に負荷が投入され、前記データ格納部に格納された前記定格周波数及び前記定格電圧を周波数指令値及び電圧指令値としてフィードバック制御部に入力し、前記フィードバック制御部が、入力された前記周波数指令値及び前記電圧指令値に基づいて、前記定格周波数及び前記定格電圧で前記交流電力を出力させた後、前記垂下制御部において導出された前記周波数垂下量に前記データ格納部に格納された前記定格周波数を加算して得られた値を前記周波数指令値として前記フィードバック制御部に入力し、前記垂下制御部において導出された前記電圧垂下量に前記データ格納部に格納された前記定格電圧を加算して得られた値を前記電圧指令値として前記フィードバック制御部に入力し、前記フィードバック制御部が、入力された前記周波数指令値及び前記電圧指令値に基づいて前記垂下制御を実施し、前記修正制御部の前記指令値修正部が設定した前記周波数目標値及び前記電圧目標値を前記周波数指令値及び前記電圧指令値として前記フィードバック制御部に入力し、前記フィードバック制御部が、入力された前記周波数指令値及び前記電圧指令値に基づいて、前記出力周波数及び前記出力電圧を前記定格周波数及び前記定格電圧まで漸次修正する前記修正制御を実施する、

電力変換装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の電力変換装置であって、

前記指令値修正部は、前記周波数修正値を前記周波数遅れ要素に入力するか否かを選択する周波数修正スイッチング部と、

前記電圧修正値を前記電圧遅れ要素に入力するか否かを選択する電圧修正スイッチング部と、を備えている

電力変換装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の電力変換装置であって、

前記負荷に交流電力を供給する前記電力変換装置に対して別個の前記電力変換装置を並列運転させる際に、

前記別個の電力変換装置は、前記周波数修正スイッチング部及び前記電圧修正スイッチング部が非アクティブの状態に並列運転が開始され、

並列運転が開始されてから、前記周波数修正スイッチング部及び前記電圧修正スイッチング部がアクティブの状態にされる、

電力変換装置。

【請求項 9】

請求項 6 に記載の電力変換装置であって、

複数の前記電力変換装置を並列運転させる場合に、それぞれの前記電力変換装置において、前記垂下制御及び前記修正制御を実施する、

電力変換装置。

【請求項 10】

請求項 7 に記載の電力変換装置であって、

複数の前記電力変換装置を並列運転させる場合に、それぞれの前記電力変換装置において、前記垂下制御及び前記修正制御を実施する、

電力変換装置。

【請求項 11】

請求項 8 に記載の電力変換装置であって、

複数の前記電力変換装置を並列運転させる場合に、それぞれの前記電力変換装置において、前記垂下制御及び前記修正制御を実施する、

電力変換装置。

【請求項 12】

請求項 6 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の電力変換装置であって、
前記直流電源が蓄電池である、
電力変換装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電力変換装置に関する。

【背景技術】

10

【0002】

昨今の再生可能エネルギーへの関心の高まりや政府による電力買い取り制度の導入に伴い、例えば、太陽電池（P V : P h o t o v o l t a i c）を利用した太陽光発電システムが急速に普及している。同システムは日射があれば容易に電力を得られる反面、日射条件により電力の変動を受けやすく夜間は発電できない。そこで電力を蓄積できる蓄電池と太陽電池を接続して、太陽電池で発する電力の変動分を蓄電池への充放電でまかなう太陽電池 - 蓄電池連携システムが提案されている。

【0003】

太陽電池 - 蓄電池連携システムの構成で重要なのは、電力変換装置の一種であるパワーコンディショニングシステム（P o w e r C o n d i t i o n i n g S y s t e m : 以下ではPCSと表記することもある）装置である。PCSは、太陽電池や蓄電池等の直流電源と交流電力線の間に設けられ、直流電源から供給される直流電力を交流電力に変換し、交流電力線に接続された重要負荷へ交流電力を供給する。

20

【0004】

電力変換装置には、複数の電力変換装置（PCS等）を並列して運転させる場合に、それぞれの電力変換装置に対して吐出電力を公平に分担させることを想定して、負荷へ供給される交流電力の周波数及び電圧を意図的に定格から低下（垂下）させる垂下制御と呼ばれる制御を実施する。

【0005】

特許文献1には、周波数や電圧の垂下量を規定する垂下特性を変更することにより、直流電源（発電機）の電力を有効に利用する制御方法について開示されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】国際公開第2014/098104号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

垂下制御を実施すると、負荷に供給される交流電力の周波数、電圧は定格よりも低くなる。そのため、垂下特性は、負荷の許容範囲内に収まるように設定される。しかし、垂下特性が負荷の許容範囲内であっても、接続する負荷によっては垂下した周波数や電圧の影響を受ける場合がある。例えば、負荷が同期モータを用いて計時するような場合、垂下制御により低下させた周波数の分だけ計時誤差として蓄積されてしまうこととなる。

40

【0008】

また、垂下制御の影響を抑えるために垂下量を小さくするように垂下特性を設定すれば、定格からの垂下制御による周波数及び電圧の偏移は抑えられる。しかし、他の電力変換装置との並列運転を実施した場合に、それぞれの電力変換装置に公平な分担を実施させる制御の精度が低下する。

【0009】

そこで、本発明の目的は、垂下制御の影響を低減させた電力変換装置を提供することに

50

ある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記課題を解決するために、直流電源から入力される直流電力を交流電力に変換して交流電力線に出力する電力変換部と、電力変換部から出力される交流電力の出力周波数及び出力電圧を制御する交流電力制御部と、交流電力の出力電圧を検出する電圧検出部と、交流電力の出力電流を検出する電流検出部と、を備え、交流電力制御部は、交流電力線に負荷が投入され、負荷に対して交流電力を定格周波数及び定格電圧で出力させた後、電圧検出部が検出した出力電圧及び電流検出部が検出した出力電流に基づき、交流電力の出力周波数及び出力電圧を、定格周波数及び定格電圧からそれぞれ低下させる垂下制御を実施した後、出力周波数及び出力電圧を定格周波数及び定格電圧まで漸次修正する修正制御を実施する。

10

【発明の効果】

【0011】

本願において開示される発明のうち、代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば以下の通りである。

【0012】

すなわち、本発明の代表的な実施の形態によれば、垂下制御の影響を低減させた電力変換装置を提供することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の実施の形態1に係る電力変換装置を用いたシステムの一例を示す図である。

【図2】本発明の実施の形態1における電力変換装置の構成の一例を示す図である。

【図3】垂下特性を説明する図である。

【図4】修正制御部における指令値修正部の構成の一例を示す図である。

【図5】本発明の実施の形態1における周波数制御及び電圧制御に係るフローチャートを示す図である。

【図6】本発明の実施の形態1における周波数制御に係る垂下特性を示す図である。

【図7】本発明の実施の形態1における電圧制御に係る垂下特性を示す図である。

30

【図8】本発明の実施の形態1における周波数制御に係るタイミングチャートを示す図である。

【図9】本発明の実施の形態1における電圧制御に係るタイミングチャートを示す図である。

【図10】本発明の実施の形態2に係るシステムの一例を示す図である。

【図11】本発明の実施の形態2における周波数制御及び電圧制御に係るフローチャートを示す図である。

【図12】本発明の実施の形態2における周波数制御に係る垂下特性を示す図である。

【図13】本発明の実施の形態2における電圧制御に係る垂下特性を示す図である。

【図14】本発明の実施の形態2における周波数制御に係るタイミングチャートを示す図である。

40

【図15】本発明の実施の形態2における電圧制御に係るタイミングチャートを示す図である。

【図16】本発明の実施の形態3に係る電力変換装置の構成の一例を示す図である。

【図17】本発明の実施の形態3における指令値修正部の構成の一例を示す図である。

【図18】本発明の実施の形態3における協調制御部の構成の一例を示す図である。

【図19】本発明の実施の形態3における周波数制御及び電圧制御に係るフローチャートを示す図である。

【図20】時定数が大きい場合における周波数制御に係る垂下特性を示す図である。

【図21】時定数が大きい場合における電圧制御に係る垂下特性を示す図である。

50

【図 2 2】時定数が大きい場合における周波数制御に係るタイミングチャートを示す図である。

【図 2 3】時定数が大きい場合における電圧制御に係るタイミングチャートを示す図である。

【図 2 4】時定数が小さい場合における周波数制御に係る垂下特性を示す図である。

【図 2 5】時定数が小さい場合における電圧制御に係る垂下特性を示す図である。

【図 2 6】時定数が小さい場合における周波数制御に係るタイミングチャートを示す図である。

【図 2 7】時定数が小さい場合における電圧制御に係るタイミングチャートを示す図である。

10

【図 2 8】本発明の実施の形態 4 に係る電力変換装置の構成の一例を示す図である。

【図 2 9】修正制御部における指令値修正部構成の一例を示す図である。

【図 3 0】本発明の実施の形態 4 における並列運転させる際の周波数制御及び電圧制御に係るフローチャートを示す図である。

【図 3 1】本発明の実施の形態 4 における並列運転させる際の周波数制御に係る垂下特性を示す図である。

【図 3 2】本発明の実施の形態 4 における並列運転させる際の電圧制御に係る垂下特性を示す図である。

【図 3 3】本発明の実施の形態 4 における並列運転させる際の周波数制御に係るタイミングチャートを示す図である。

20

【図 3 4】本発明の実施の形態 4 における並列運転させる際の電圧制御に係るタイミングチャートを示す図である。

【図 3 5】本発明の実施の形態 5 に係るシステムの一例について示す図である。

【図 3 6】本発明の実施の形態 6 に係るシステムの一例について示す図である。

【図 3 7】本発明の実施の形態 7 に係るシステムの一例を示す図である。

【図 3 8】本発明者が検討した電力変換装置における周波数及び電圧の制御に係るタイミングチャートを示す図である。

【図 3 9】本発明者が検討した電力変換装置における出力周波数及び出力電圧の特性を示す図である。

【図 4 0】本発明者が検討した電力変換装置における出力周波数及び出力電圧の垂下特性を示す図である。

30

【図 4 1】本発明者が検討した電力変換装置における周波数及び電圧の制御に係るタイミングチャートを示す図である。

【図 4 2】本発明者が検討した電力変換装置における出力周波数の垂下特性を示す図である。

【図 4 3】本発明者が検討した電力変換装置における出力電圧の垂下特性を示す図である。

【図 4 4】本発明者が検討した電力変換装置における周波数制御に係るタイミングチャートを示す図である。

【図 4 5】本発明者が検討した電力変換装置における電圧制御に係るタイミングチャートを示す図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、図面を用いて実施の形態について説明する。なお、実施の形態を説明するための全ての図において、同一部には原則として同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。

【0015】

(実施の形態 1)

本実施の形態では、電力変換装置を単独で使用する場合について説明する。

【0016】

50

〔装置構成〕

図１は、本実施の形態に係る電力変換装置を用いたシステムの一例を示す図である。電力変換装置２００は、直流側に直流電源１１１が接続され、交流側に交流電力線１２０が接続されている。電力変換装置２００は、直流電源１１１から入力される直流電力を交流電力に変換して交流電力線１２０に出力する。電力変換装置２００として、例えば、電力変換装置の一種であるパワーコンディショニングシステム（ＰＣＳ）や、直流電力を交流電力に変換する機能を備えた各種装置が用いられる。負荷１３０は、電力変換装置２００により変換された交流電力の供給を受けて駆動する。

【００１７】

電力変換装置２００は、電力変換部２１０と、周波数電圧制御部２２０と、垂下制御部２３０と、修正制御部２４０と、を備えている。

10

【００１８】

図２は、本実施の形態における電力変換装置２００の構成の一例を示す図である。電力変換装置２００は、電力変換部２１０と、電圧検出部２１４と、電流検出部２１５と、交流電力制御部２５０とを備えている。

【００１９】

電力変換部２１０は、直流電源１１１から入力された直流電力を交流電力に変換して交流電力線１２０に出力する。交流電力制御部２５０は、電力変換部２１０から出力される交流電力の出力周波数及び出力電圧を制御する。電力変換部２１０は、半導体素子２１１、リアクトル２１２、変圧器２１３を備え、直流電力を交流電力に変換するインバータを構成する。半導体素子２１１は、後述する周波数電圧制御部２２０による制御に基づいたスイッチング動作により、入力された直流電力に対しパルス幅変調を行う。リアクトル２１２は、半導体素子２１１においてパルス幅変調された電力から高調波を除去する。これらの工程を経て、直流電力は３相の交流電力に変換される。変圧器２１３は、パルス幅変調された交流電圧を所定の出力電圧に変圧する。電力変換された交流電力は、交流電力線１２０に出力される。出力される交流電力の出力周波数は、例えば、５０Ｈｚや６０Ｈｚ等である。また、出力される交流電力の出力電圧は、例えば、１００Ｖや２００Ｖ等である。

20

【００２０】

電圧検出部２１４は、交流電力の出力電圧を検出する。詳しくは、電圧検出部２１４は、交流電力線１２０に出力される交流電力の出力電圧を検出する。

30

【００２１】

電流検出部２１５は、交流電力の出力電流を検出する。詳しくは、電流検出部２１５は、交流電力線１２０に出力される交流電力の出力電流を検出する。

【００２２】

交流電力制御部２５０は、交流電力を定格周波数及び定格電圧で出力させた後、電圧検出部２１４が検出した出力電圧及び電流検出部２１５が検出した出力電流に基づき、交流電力の出力周波数及び出力電圧を、定格周波数及び定格電圧からそれぞれ低下させる垂下制御を実施した後、出力周波数及び出力電圧を定格周波数及び定格電圧まで漸次修正する修正制御を実施する。

40

【００２３】

交流電力制御部２５０は、垂下制御部２３０、修正制御部２４０、周波数電圧制御部２２０を備えている。

【００２４】

垂下制御部２３０は、出力電圧及び出力電流に基づいて交流電力の抛出有効電力及び抛出無効電力を導出し、有効電力当たりの周波数低下量で規定される周波数垂下率及び抛出有効電力に基づいて、出力周波数を定格周波数から低下させる周波数垂下量を導出し、無効電力当たりの電圧低下量で規定される電圧垂下率及び抛出無効電力に基づいて、出力電圧を定格電圧から低下させる電圧垂下量を導出する。

【００２５】

50

詳しくは、垂下制御部 230 は、出力電圧及び出力電流に基づいて交流電力の抛出有効電力及び抛出無効電力を導出する電力演算部 231 を備え、電力演算部 231 により導出された抛出有効電力と周波数垂下率とを積算して周波数垂下量を導出し、電力演算部 231 により導出された抛出無効電力と電圧垂下率とを積算して電圧垂下量を導出する。

【0026】

電力演算部 231 は、例えば、電圧検出部 214 が検出した出力電圧と、電流検出部 215 が検出した出力電流の内積の大きさを演算することにより抛出有効電力を導出する。電力演算部 231 は、例えば、電圧検出部 214 が検出した出力電圧と、電流検出部 215 が検出した出力電流の外積の大きさを演算することにより抛出無効電力を導出する。

【0027】

図 3 は、垂下特性を説明する図である。垂下制御は、例えば、交流電力線 120 に複数の電力変換装置 200 が接続され、複数の電力変換装置 200 から交流電力を出力する並列運転を実施する場合を想定して、それぞれの電力変換装置 200 に公平な分担を実施させるために実施される制御である。

【0028】

図 3 (a) は、有効電力に対する周波数の変化を示す図である。周波数垂下率は、有効電力当たりの周波数の低下量であり、図 3 (a) に示す直線の傾きで規定される。周波数垂下率は、例えば、周波数の低下量 (周波数垂下率) が電力変換装置 200 の最大有効電力に対して許容される範囲内に収まるように設定される。

【0029】

図 3 (b) は、無効電力に対する電圧の変化を示す図である。電圧垂下率は、無効電力当たりの電圧の低下量であり、図 3 (b) に示す直線の傾きで規定される。電圧垂下率は、例えば、電圧の低下量 (電圧垂下率) が電力変換装置 200 の最大無効電力に対して許容される範囲内に収まるように設定される。

【0030】

垂下制御部 230 を構成する各部及び各機能は、ハードウェアまたはソフトウェアで構成されていてもよい。垂下制御部 230 を構成する各部及び各機能がソフトウェアで実現される場合、例えば、垂下制御部 230 は図示しない CPU (または専用プロセッサ) を含んでおり、CPU が図示しないメモリ等に格納されたプログラムを実行して各部及び各機能を実現する。

【0031】

修正制御部 240 は、周波数修正値に基づいて、垂下制御により低下した出力周波数を定格周波数まで漸次修正する過程における出力周波数を規定する周波数目標値を設定し、電圧修正値に基づいて、垂下制御により低下した出力電圧を定格電圧まで漸次修正する過程における出力電圧を規定する電圧目標値を設定する。

【0032】

修正制御部 240 について詳しく説明する。

【0033】

修正制御部 240 は、電力演算部 231 が導出した抛出有効電力及び抛出無効電力を監視する出力状況監視部 241 と、予め設定された定格周波数、定格電圧、周波数垂下率及び電圧垂下率を格納するデータ格納部 242 と、指令値修正部 243 とを備えている。

【0034】

データ格納部 242 に格納される定格周波数、定格電圧、周波数垂下率及び電圧垂下率等の各種データは、例えば、操作パネル 290 により入力される。

【0035】

操作パネル 290 は、定格周波数、定格電圧、周波数垂下率及び電圧垂下率等の各種データの入力を受け付け、入力された各種データをデータ格納部 242 に出力する。データ格納部 242 は、操作パネルから出力された各種データを格納する。

【0036】

操作パネル 290 は、図示しない表示部を備え、出力状況監視部 241 が監視した抛出

10

20

30

40

50

有効電力、抛出無効電力等の各種データ等を表示部に表示できるように構成されている。

【 0 0 3 7 】

図 4 は、修正制御部における指令値修正部の構成の一例を示す図である。指令値修正部 2 4 3 は、周波数一次遅れ要素（周波数遅れ要素）2 4 4 、電圧一次遅れ要素（電圧遅れ要素）2 4 4 v を備えている。指令値修正部 2 4 3 は、出力状況監視部 2 4 1 が監視した抛出有効電力と、データ格納部 2 4 2 に格納された周波数垂下率とを積算して周波数修正値を導出し、周波数修正値を周波数一次遅れ要素 2 4 4 に入力し、周波数一次遅れ要素 2 4 4 から出力される周波数漸次修正値に定格周波数を加算して得られた値を、出力周波数を定格周波数まで漸次修正する過程における出力周波数を規定する周波数目標値として設定する。ここでは、修正値を漸次変化させる方法として一次遅れ要素を使用した

10

【 0 0 3 8 】

指令値修正部 2 4 3 は、出力状況監視部 2 4 1 が監視した抛出無効電力と、データ格納部 2 4 2 に格納された電圧垂下率とを積算して電圧修正値を導出し、電圧修正値を電圧一時遅れ要素 2 4 4 v に入力し、電圧一次遅れ要素 2 4 4 v から出力される電圧漸次修正値に定格電圧を加算して得られた値を、出力電圧を定格電圧まで漸次修正する過程における出力電圧を規定する電圧目標値として設定する。

【 0 0 3 9 】

周波数一時遅れ要素 2 4 4 及び電圧一次遅れ要素 2 4 4 v は、修正制御部 2 4 0 による修正制御を漸次、すなわち、だんだんゆっくりと実施させるものである。周波数一時遅れ要素 2 4 4 及び電圧一次遅れ要素 2 4 4 v は、例えば、抵抗及びコンデンサ等で構成されたローパスフィルタや、これと同等の機能を有するデジタルフィルタ等で構成される。周波数一時遅れ要素 2 4 4 及び電圧一次遅れ要素 2 4 4 v を通さずに修正制御を実施すると、例えば、数 1 0 u s ~ 1 0 0 u s の時間で修正制御が実施される。これに対して、周波数一時遅れ要素 2 4 4 及び電圧一次遅れ要素 2 4 4 v を通して修正制御を実施すれば、例えば、数 m s ~ 数 1 0 0 m s の時間で修正制御が実施される。したがって、周波数一時遅れ要素 2 4 4 及び電圧一次遅れ要素 2 4 4 v を通さない場合よりも相当長い時間をかけて、修正制御が実施される。これにより、修正制御の前後における抛出有効電力及び抛出無効電力の変動を抑えつつ修正制御を実施することができる。

20

【 0 0 4 0 】

修正制御部 2 4 0 を構成する各部及び各機能は、ハードウェアまたはソフトウェアで構成されていてもよい。修正制御部 2 4 0 を構成する各部及び各機能がソフトウェアで実現される場合、例えば、修正制御部 2 4 0 は図示しない C P U（または専用プロセッサ）を含んでおり、C P U が図示しないメモリ等に格納されたプログラムを実行して各部及び各機能を実現する。

30

【 0 0 4 1 】

また、修正制御部 2 4 0 は、例えば、電力変換装置 2 0 0 に搭載されるプログラマブルロジックコントローラ（Programable Logic Controller：以下 P L C と表記することがある）を用いて実装してもよい。

【 0 0 4 2 】

周波数電圧制御部 2 2 0 は、垂下制御部 2 3 0 が算出した周波数垂下量及び電圧垂下量に基づいて垂下制御を実施し、垂下制御の後、修正制御部 2 4 0 が設定した周波数目標値及び電圧目標値に基づいて、出力周波数及び出力電圧を定格周波数及び定格電圧まで漸次修正する修正制御を実施する。

40

【 0 0 4 3 】

周波数電圧制御部 2 2 0 は、フィードバック制御部 2 2 1 を備えている。周波数電圧制御部 2 2 0 は、データ格納部 2 4 2 に格納された定格周波数及び定格電圧を周波数指令値及び電圧指令値としてフィードバック制御部 2 2 1 に入力し、フィードバック制御部 2 2 1 が、入力された周波数指令値及び電圧指令値に基づいて、定格周波数及び定格電圧で交流電力を出力させる。

50

【 0 0 4 4 】

その後、周波数電圧制御部 2 2 0 は、垂下制御部 2 3 0 において導出された周波数垂下量にデータ格納部 2 4 2 に格納された定格周波数を加算して得られた値を周波数指令値としてフィードバック制御部 2 2 1 に入力し、垂下制御部 2 3 0 において導出された電圧垂下量にデータ格納部 2 4 2 に格納された定格電圧を加算して得られた値を電圧指令値としてフィードバック制御部 2 2 1 に入力し、フィードバック制御部 2 2 1 が、入力された周波数指令値及び電圧指令値に基づいて垂下制御を実施する。

【 0 0 4 5 】

周波数電圧制御部 2 2 0 は、修正制御部 2 4 0 の指令値修正部 2 4 3 が設定した周波数目標値及び電圧目標値を周波数指令値及び電圧指令値としてフィードバック制御部 2 2 1 に入力し、フィードバック制御部 2 2 1 が、入力された周波数指令値及び電圧指令値に基づいて、出力周波数及び出力電圧を定格周波数及び定格電圧まで漸次修正する修正制御を実施する。

【 0 0 4 6 】

フィードバック制御部 2 2 1 は、電圧検出部 2 1 4 と接続され、電圧検出部 2 1 4 が検出した出力電圧を監視する。フィードバック制御部 2 2 1 は、監視した出力電圧に基づいて、出力電圧が所定の電圧となるようにパルス変調信号を制御する。また、フィードバック制御部 2 2 1 は、電流検出部 2 1 5 と接続され、電流検出部 2 1 5 が検出した出力電圧を監視する。フィードバック制御部 2 2 1 は、監視した出力電流に基づいて、出力電圧が所定の電圧となるようにパルス変調信号を制御する。出力電圧は、リアクトル 2 1 2 に流れる電流により減少するので、フィードバック制御部 2 2 1 は、電流検出部 2 1 5 からの情報に従って減少した分を補償する。したがって、フィードバック制御部 2 2 1 は、出力電圧及び出力電流をフィードバック制御している。これにより、交流電力の抛出有効電力及び抛出無効電力が安定して出力されるようになっている。

【 0 0 4 7 】

周波数電圧制御部 2 2 0 を構成する各部及び各機能は、ハードウェアまたはソフトウェアで構成されていてもよい。周波数電圧制御部 2 2 0 を構成する各部及び各機能がソフトウェアで実現される場合、例えば、周波数電圧制御部 2 2 0 は図示しない C P U (または専用プロセッサ)を含んでおり、C P U が図示しないメモリ等に格納されたプログラムを実行して各部及び各機能を実現する。

【 0 0 4 8 】

〔 周波数及び電圧の制御方法 〕

ここで、電力変換装置 2 0 0 を単独で使用する場合における周波数及び電圧の制御方法について説明する。

【 0 0 4 9 】

図 5 は、本実施の形態における周波数制御及び電圧制御に係るフローチャートを示す図である。図 6 は、本実施の形態における周波数制御に係る垂下特性を示す図である。図 7 は、本実施の形態における電圧制御に係る垂下特性を示す図である。図 8 は、本実施の形態における周波数制御に係るタイミングチャートを示す図である。図 9 は、本実施の形態における電圧制御に係るタイミングチャートを示す図である。

【 0 0 5 0 】

なお、以下では、説明の便宜上、電力変換部 (インバータ) 2 1 0 の制御周期を t 、修正制御部 (P L C) の制御周期 T を $4 t$ とする。また、周波数一次遅れ要素 2 4 4 及び電圧一次遅れ要素 2 4 4 v の時定数を $4 T$ とする。

【 0 0 5 1 】

電力変換装置 2 0 0 は、図 5 に示すように、定格出力工程 S 1 0、周波数垂下制御工程 S 2 0、周波数修正制御工程 S 2 5、電圧垂下制御工程 S 3 0、電圧修正制御工程 S 3 5 の各工程を実施することにより、交流電力の出力周波数及び出力電圧を制御する。ここでは、すべての工程が S T A R T から E N D にいたる一連のシーケンスに組み込まれている例を示す。シーケンスが起動するたびに定格出力工程 S 1 0 は毎回実行され、垂下工程 S

20, S30はある割合で間引かれて実行される。つまりNで間引かれる場合は、N - 1回の呼び出しでは何もしないがN回目にはじめて工程内容を実行するのである。さらに修正工程S25, S35もある割合で間引かれて実行される。また、これらの工程は一連のシーケンスになっている必要もなく、マルチタスクOSなどの管理シーケンスから個別に呼ばれる形態でも良い。その際も、各工程を呼び出す頻度は工程ごとに異なることが重要である。本例の説明では、一連のシーケンスで組み込まれていることを想定し、かつ定格出力工程S10と垂下工程S20, S30は同じタイミングで工程内容を実行され、修正工程S25, S35はある程度間引かれて実行されることを想定している。

【0052】

[定格出力工程S10]

まず、定格出力工程S10について説明する。負荷130を投入する前は、電力変換装置200を自立運転させる。この場合、電力変換装置200の抛出有効電力及び抛出無効電力はいずれも「0」である。このとき、出力周波数及び出力電圧は、図6(a)、図7(a)に示すように、いずれも定格である。

【0053】

具体的には、指令値修正部243は、データ格納部242に格納されている定格周波数及び定格電圧を読み出す。このとき、修正制御の実施前であることから、周波数及び電圧の修正値はいずれも「0」である。したがって、指令値修正部243は、周波数目標値及び電圧目標値を、定格周波数及び定格電圧に設定する。修正制御部240は、周波数目標値及び電圧目標値としての定格周波数及び定格電圧を周波数電圧制御部220へ出力する。

【0054】

またこのとき、垂下制御の実施前であることから、周波数及び電圧の垂下量はいずれも「0」である。したがって、周波数電圧制御部220は、周波数指令値及び電圧指令値を定格周波数及び定格電圧に設定する。周波数電圧制御部220は、周波数指令値及び電圧指令値として設定した定格周波数及び定格電圧をフィードバック制御部221に入力する。フィードバック制御部221は、入力された周波数指令値及び電圧指令値に基づいて定格周波数及び定格電圧で交流電力を出力させる。

【0055】

時刻T1において負荷130が投下されると、電力変換部(インバータ)210は、その制御周期 t の間に、負荷に電流を流すとともに交流電圧を維持する。そうすると、電力変換装置200は、図8に示すように、抛出有効電力としてPを出力する。また、電力変換装置200は、図9に示すように、抛出無効電力としてQvを出力する。

【0056】

[周波数垂下制御工程S20]

交流電力が出力されると、垂下制御部230は、周波数及び電圧に対して垂下制御を実施する。垂下制御を実施した後、周波数及び電圧に対して修正制御を実施する。垂下制御及び修正制御においては、周波数及び電圧に対する制御が並行して実施されるが、ここでは、説明の便宜上、周波数に対する垂下制御及び修正制御について説明した後、電圧に対する垂下制御及び修正制御について説明する。

【0057】

ここで、周波数垂下制御工程S20について説明する。負荷130を投入し、交流電力を出力すると、図6(b)、図8に示すように、電力変換装置200は、出力周波数を定格周波数から低下させる垂下制御を実施する。

【0058】

具体的には、垂下制御部230は、出力電圧及び出力電流に基づいて交流電力の抛出有効電力(P)を導出し、有効電力当たりの周波数低下量で規定される周波数垂下率及び抛出有効電力(P)に基づいて、出力周波数を定格周波数から低下させる周波数垂下量(-)を導出する。

【0059】

10

20

30

40

50

例えば、電力演算部 231 は、電圧検出部 214 が検出した出力電圧及び電流検出部 215 が検出した出力電流に基づいて交流電力の吐出有効電力 (P) を導出する。垂下制御部 230 は、データ格納部 242 に格納された周波数垂下率を読み出し、電力演算部 231 により導出された吐出有効電力 (P) とデータ格納部 242 から読み出された周波数垂下率とを積算して周波数垂下量 (-) を導出する。垂下制御部 230 は、このように導出された周波数垂下量 (-) を周波数電圧制御部 220 へ出力する。

【0060】

修正制御部 240 は、周波数目標値としての定格周波数を周波数電圧制御部 220 へ出力する。

【0061】

周波数電圧制御部 220 は、垂下制御部 230 から入力された周波数垂下量 (-) に修正制御部 240 から入力された定格周波数を加算して得られた値を周波数指令値としてフィードバック制御部 221 に入力する。フィードバック制御部 221 は、入力された周波数指令値に基づいて周波数を定格から周波数垂下量 (-) だけ低下させる垂下制御を実施する。周波数電圧制御部 220 は、図 8 に示すように、垂下制御をインバータの制御周期 t の期間で実施する。

【0062】

[周波数修正制御工程 S25]

次に、周波数修正制御工程 S25 について説明する。垂下制御を実施した後、電力変換装置 200 は、図 8 の時刻 T2 から周波数を定格周波数まで漸次修正する修正制御を実施する。具体的には、修正制御部 240 は、周波数垂下量 (-) を、出力周波数を定格周波数まで修正する周波数修正値 (+) とし、周波数修正値 (+) に基づいて出力周波数を定格周波数まで漸次修正する過程における出力周波数を規定する漸次修正値 (+) に基づいて周波数目標値を設定する。

【0063】

例えば、指令値修正部 243 は、出力状況監視部 241 が監視した吐出有効電力と、データ格納部 242 から読み出した周波数垂下率とを積算して周波数修正値 (+) を導出し、周波数修正値 (+) を周波数一次遅れ要素 244 に入力する。周波数一次遅れ要素 244 は、入力された周波数修正値に基づき、周波数漸次修正値 (+) を出力する。指令値修正部 243 は、周波数一次遅れ要素 244 から出力される周波数漸次修正値 (+) に、データ格納部 242 から読み出した定格周波数を加算して得られた値を、出力周波数を定格周波数まで漸次修正する過程における出力周波数を規定する周波数目標値として設定する。指令値修正部 243 は、ここで設定した周波数目標値を周波数電圧制御部 220 へ出力する。

【0064】

周波数電圧制御部 220 は、指令値修正部 243 から入力された周波数目標値を周波数指令値として出力周波数の修正制御を実施する。このとき、出力周波数は、図 6 (c)、図 8 に示すように、修正制御の開始から最初のインバータの制御周期 t で だけ増加する。

【0065】

その次の PLC の制御周期 T では、周波数一次遅れ要素 244 は、漸次修正値として (+ 2) を出力する。周波数電圧制御部 220 は、これに基づき、さらに 分の周波数の修正制御を実施する。このような修正制御を繰り返すことにより、図 6 (d)、図 8 に示すように、フィードバック制御部 221 は、出力周波数に対して + 分の修正制御を実施する。最後の修正制御における PLC の制御周期 T が経過すると (T3)、周波数電圧制御部 220 は、修正制御を終了する。これにより、周波数電圧制御部 220 は、出力周波数を定格周波数まで漸次修正する。すなわち、周波数一次遅れ要素 244 を通すことで、フィードバック制御部 221 は、だんだんゆっくりと出力周波数を定格周波数まで修正制御している。

【0066】

10

20

30

40

50

図 8 では、修正制御の一例として、4 段階で修正する場合について説明したが、このような場合に限定されるものではなく、例えばより多くの段階を経て修正制御を実施するようにしてもよい。

【 0 0 6 7 】

[電圧垂下制御工程 S 3 0]

次に、電圧垂下制御工程 S 3 0 について説明する。上述したように、電圧垂下制御工程 S 3 0 は、周波数垂下制御工程 S 2 0 と並行して実施される。負荷 1 3 0 を投入し、交流電力を出力すると、図 7 (b)、図 9 に示すように、電力変換装置 2 0 0 は、出力電圧を定格電圧から低下させる垂下制御を実施する。

【 0 0 6 8 】

具体的には、垂下制御部 2 3 0 は、出力電圧及び出力電流に基づいて交流電力の抛出無効電力 (Q_v) を導出し、無効電力当たりの電圧低下量で規定される電圧垂下率及び抛出無効電力 (Q_v) に基づいて、出力電圧を定格電圧から低下させる電圧垂下量 ($-v$) を導出する。

【 0 0 6 9 】

例えば、電力演算部 2 3 1 は、電圧検出部 2 1 4 が検出した出力電圧及び電流検出部 2 1 5 が検出した出力電流に基づいて交流電力の抛出無効電力 (Q_v) を導出する。垂下制御部 2 3 0 は、データ格納部 2 4 2 に格納された電圧垂下率を読み出し、電力演算部 2 3 1 により導出された抛出無効電力 (Q_v) とデータ格納部 2 4 2 から読み出された電圧垂下率とを積算して電圧垂下量 ($-v$) を導出する。垂下制御部 2 3 0 は、このように導出された電圧垂下量 ($-v$) を周波数電圧制御部 2 2 0 へ出力する。

【 0 0 7 0 】

修正制御部 2 4 0 は、電圧目標値としての定格電圧を周波数電圧制御部 2 2 0 へ出力する。

【 0 0 7 1 】

周波数電圧制御部 2 2 0 は、垂下制御部 2 3 0 から入力された電圧垂下量 ($-v$) に修正制御部 2 4 0 から入力された定格電圧を加算して得られた値を電圧指令値としてフィードバック制御部 2 2 1 に入力する。フィードバック制御部 2 2 1 は、入力された電圧指令値に基づいて電圧を定格から電圧垂下量 ($-v$) だけ低下させる垂下制御を実施する。

【 0 0 7 2 】

周波数電圧制御部 2 2 0 は、図 9 に示すように、インバータの制御周期 t の期間で出力電圧を電圧垂下量 ($-v$) だけ低下させる。

【 0 0 7 3 】

[電圧修正制御工程 S 3 5]

次に、電圧修正制御工程 S 3 5 について説明する。上述したように、電圧修正制御工程 S 3 5 は、周波数垂下制御工程 S 3 0 と並行して実施される。垂下制御を実施した後、電力変換装置 2 0 0 は、図 9 の時刻 T 2 から電圧を定格電圧まで漸次修正する修正制御を実施する。具体的には、修正制御部 2 4 0 は、電圧垂下量 ($-v$) を、出力電圧を定格電圧まで修正する電圧修正値 ($+v$) とし、電圧修正値 ($+v$) に基づいて出力電圧を定格電圧まで漸次修正する過程における出力電圧を規定する漸次修正値 ($+v$) に基づいて電圧目標値を設定する。

【 0 0 7 4 】

例えば、指令値修正部 2 4 3 は、出力状況監視部 2 4 1 が監視した抛出無効電力と、データ格納部 2 4 2 から読み出した電圧垂下率とを積算して電圧修正値 ($+v$) を導出し、電圧修正値 ($+v$) を電圧一次遅れ要素 2 4 4 に入力する。電圧一次遅れ要素 2 4 4 v は、入力された電圧修正値に基づき、電圧漸次修正値 ($+v$) を出力する。指令値修正部 2 4 3 は、電圧一次遅れ要素 2 4 4 v から出力される電圧漸次修正値 ($+v$) に、データ格納部 2 4 2 から読み出した定格電圧を加算して得られた値を、出力電圧を定格電圧まで漸次修正する過程における出力電圧を規定する電圧目標値として設定する。指令値修正部 2 4 3 は、ここで設定した電圧目標値を周波数電圧制御部 2 2 0 へ出力する。

【 0 0 7 5 】

周波数電圧制御部 220 は、指令値修正部 243 から入力された電圧目標値を電圧指令値として出力電圧の修正制御を実施する。このとき、出力電圧は、図 7 (c)、図 9 に示すように、修正制御の開始から最初のインバータの制御周期 t で ΔV だけ増加する。

【 0 0 7 6 】

その次の PLC の制御周期 T では、電圧一次遅れ要素 244 v は、漸次修正値として $(+2 \text{ v})$ を出力する。周波数電圧制御部 220 は、これに基づき、さらに v 分の電圧の修正制御を実施する。このような修正制御を繰り返すことにより、図 7 (d)、図 9 に示すように、フィードバック制御部 221 は、出力電圧に対して $+ \text{ 分の修正制御を実施する。最後の修正制御における PLC の制御周期 } T$ が経過すると $(T3)$ 、周波数電圧制御部 220 は、修正制御を終了する。これにより、周波数電圧制御部 220 は、出力電圧を定格電圧まで漸次修正する。すなわち、電圧一次遅れ要素 244 v を通すことで、フィードバック制御部 221 は、だんだんゆっくりと出力電圧を定格電圧まで修正制御している。

【 0 0 7 7 】

図 9 では、修正制御の一例として、4 段階で修正する場合について説明したが、このような場合に限定されるものではなく、例えばより多くの段階を経て修正制御を実施するようにしてもよい。

【 0 0 7 8 】

これらの工程 S 1 0 ~ S 3 5 を経て、電力変換装置 2 0 0 は、出力する交流電力の出力周波数及び出力電圧の制御を実施する。

【 0 0 7 9 】

本実施の形態では、上述したように、垂下制御と修正制御とを、別々の機構（垂下制御部 230、修正制御部 240）で実施する。

【 0 0 8 0 】

インバータの制御周期 t は、P L C の制御周期 T よりも十分に短い場合がほとんどであるが、例えば、これらの周期がほぼ同等であってもよい。

【 0 0 8 1 】

本実施の形態によれば、周波数電圧制御部 220 は、定格周波数及び定格電圧で交流電力を出力させた後、垂下制御部 230 において導出された周波数垂下量にデータ格納部 242 に格納された定格周波数を加算して得られた値を周波数指令値としてフィードバック制御部 221 に入力する。また、周波数電圧制御部 220 は、垂下制御部 230 において導出された電圧垂下量にデータ格納部 242 に格納された定格電圧を加算して得られた値を電圧指令値としてフィードバック制御部 221 に入力する。フィードバック制御部 221 は、入力された周波数指令値及び電圧指令値に基づいて垂下制御を実施する。そして、周波数電圧制御部 220 は、修正制御部 240 の指令値修正部 243 が設定した周波数目標値及び電圧目標値を周波数指令値及び電圧指令値としてフィードバック制御部 221 に入力し、フィードバック制御部 221 が、入力された周波数指令値及び電圧指令値に基づいて、出力周波数及び出力電圧を定格周波数及び定格電圧まで漸次修正する修正制御を実施する。

【 0 0 8 2 】

これにより、垂下制御により低下した出力周波数及び出力電圧を、定格まで修正することができるので、垂下制御の影響を低減させることができる。

【 0 0 8 3 】

また、本実施の形態によれば、周波数の修正制御を実施する際に、周波数一次遅れ要素 244 は、修正制御を開始後 (T2)、PLC の制御周期 T ごとに周波数漸次修正値を + ずつ増加させる。これにより、指令値修正部 243 は、周波数目標値を漸次増加させるように設定するため、フィードバック制御部 221 は、周波数目標値を周波数指令値として出力周波数を定格周波数まで漸次修正することができる。また、これにより、修正制御の前後において、抛出有効電力をほぼ同等に維持することができる。

【 0 0 8 4 】

また、本実施の形態によれば、電圧の修正制御を実施する際に、電圧一次遅れ要素 2 4 4 v は、修正制御を開始後 (T 2)、P L C の制御周期 T ごとに電圧漸次修正値を + v ずつ増加させる。これにより、指令値修正部 2 4 3 は、電圧目標値を漸次増加させるように設定するため、フィードバック制御部 2 2 1 は、電圧目標値を電圧指令値として出力周波数を定格周波数まで漸次修正することができる。また、これにより、修正制御の前後において、抛出無効電力をほぼ同等に維持することができる。

【 0 0 8 5 】

また、本実施の形態によれば、フィードバック制御部 2 2 1 は、電圧検出部 2 1 4 が検出する出力電力及び電流検出部 2 1 5 が検出する出力電流を監視できるようになっている。これにより、フィードバック制御部 2 2 1 は、出力電圧及び出力電流をフィードバック制御することができる。またこれにより、交流電力の抛出有効電力及び抛出無効電力を安定して出力することができる。また、これにより負荷 1 3 0 に対して安定して交流電力を供給することができる。

10

【 0 0 8 6 】

ここで、本発明者が検討した電力変換装置と、本実施の形態に係る電力変換装置 2 0 0 の差異について検討する。図 3 8 は、本発明者が検討した電力変換装置における周波数及び電圧の制御に係るタイミングチャートを示す図である。図 3 9 は、本発明者が検討した電力変換装置における出力周波数及び出力電圧の特性を示す図である。図 3 8 では、垂下制御を実施した後に修正制御を実施しない場合を示している。修正制御を実施しないので、図 3 8 に示すように、出力周波数は定格周波数から周波数垂下量 (- 1) だけ低下させた状態のままで交流電力が供給される。また、出力電圧は定格電圧から電圧垂下量 (- v 1) だけ低下させた状態のままで交流電力が供給される。

20

【 0 0 8 7 】

したがって、例えば、交流電力線に系統が接続されている場合には、出力周波数及び出力電力は、図 3 9 (a) に示すように定格を中心に変動するが、系統が接続されない場合、出力周波数及び出力電圧は、図 3 9 (b) に示すように定格から周波数垂下量 (例えば - 1) 及び電圧垂下量 (例えば - v 1) だけ低下した状態が継続する。

【 0 0 8 8 】

(実施の形態 2)

30

次に、実施の形態 2 について説明する。実施の形態 2 では、複数の電力変換装置 2 0 0 (P C S 1、P C S 2) により負荷 1 3 0 に対して交流電力を出力する場合について説明する。

【 0 0 8 9 】

図 1 0 は、本実施の形態に係るシステムの一例を示す図である。電力変換装置 2 0 0 (P C S 1) は、直流側に直流電源 1 2 1 が接続され、交流側に交流電力線 1 2 0 が接続されている。電力変換装置 2 0 0 (P C S 1) は、直流電源 1 2 1 から入力される直流電力を交流電力に変換して交流電力線 1 2 0 に出力する。電力変換装置 2 0 0 (P C S 2) は、直流側に直流電源 1 2 2 が接続され、交流側に交流電力線 1 2 0 が接続されている。電力変換装置 2 0 0 (P C S 2) は、直流電源 1 2 2 から入力される直流電力を交流電力に変換して交流電力線 1 2 0 に出力する。

40

【 0 0 9 0 】

[周波数及び電圧の制御方法]

ここで、本実施の形態における周波数及び電圧の制御方法について説明する。図 1 1 は、本実施の形態における周波数制御及び電圧制御に係るフローチャートを示す図である。図 1 2 は、本実施の形態における周波数制御に係る垂下特性を示す図である。図 1 3 は、本実施の形態における電圧制御に係る垂下特性を示す図である。図 1 4 は、本実施の形態における周波数制御に係るタイミングチャートを示す図である。図 1 5 は、本実施の形態における電圧制御に係るタイミングチャートを示す図である。

【 0 0 9 1 】

50

それぞれの電力変換装置 200 (PCS1、PCS2) は、図 11 に示すように、定格出力工程 S110、周波数垂下制御工程 S120、周波数修正制御工程 S125、電圧垂下制御工程 S130、電圧修正制御工程 S135 の各工程を実施することにより、交流電力の出力周波数及び出力電圧を制御する。なお、上述の各工程 S110～S135 は、それぞれの電力変換装置 200 において並行して実施される。このため、各工程の説明をする際には、それぞれの電力変換装置 200 (PCS1、PCS2) における動作を合わせて説明する。

【0092】

なお、以下では、説明の便宜上、電力変換部 (インバータ) 210 の制御周期を t 、修正制御部 (PLC) の制御周期 T を $4t$ とする。また、周波数一次遅れ要素 244 及び電圧一次遅れ要素 244v の時定数を $4T$ とする。また、以下では、インバータの制御タイミング及び PLC の制御タイミングが電力変換装置 200 (PCS1、PCS2) 間で異なっているものとして説明する。

【0093】

[定格出力工程 S110]

まず、定格出力工程 S110 について説明する。負荷 130 を投入する前は、電力変換装置 200 (PCS1、PCS2) の抛出有効電力及び抛出無効電力は、いずれも「0」である。このとき、出力周波数及び出力電圧は、定格でつり合った状態である。

【0094】

時刻 T1 において負荷 130 が投下されると、それぞれの電力変換装置 200 (PCS1、PCS2) は、ほぼ同時に負荷 130 へ供給する交流電力を出力する。それぞれの電力変換装置 200 (PCS1、PCS2) が出力する交流電力は、それぞれの出力インピーダンスに応じて割り当てられる。

【0095】

それぞれの電力変換装置 200 (PCS1、PCS2) の電力変換部 (インバータ) 210 は、その制御周期 t の間に、負荷に電流を流すとともに交流電圧を維持する。そうすると、電力変換装置 200 (PCS1) は、図 14 に示すように、抛出有効電力として P_1 を出力する。また、電力変換装置 200 (PCS1) は、図 15 に示すように、抛出無効電力として Q_v1 を出力する。

【0096】

電力変換装置 200 (PCS2) は、図 14 に示すように、抛出有効電力として P_2 を出力する。また、電力変換装置 200 (PCS2) は、図 15 に示すように、抛出無効電力として Q_v2 を出力する。

【0097】

したがって、負荷 130 に供給される有効電力は $P_1 + P_2$ であり、負荷 130 に供給される無効電力は $Q_v1 + Q_v2$ である。

【0098】

[周波数垂下制御工程 S120]

交流電力が出力されると、それぞれの電力変換装置 200 (PCS1、PCS2) の垂下制御部 230 は、周波数及び電圧に対して垂下制御を実施する。垂下制御を実施した後、周波数及び電圧に対して修正制御を実施する。垂下制御及び修正制御においては、周波数及び電圧に対する制御が並行して実施されるが、ここでは、説明の便宜上、周波数に対する垂下制御及び修正制御について説明した後、電圧に対する垂下制御及び修正制御について説明する。

【0099】

ここで、周波数垂下制御工程 S120 について説明する。負荷 130 を投入し、交流電力が出力されると、図 12 (a)、図 14 に示すように、電力変換装置 200 (PCS1、PCS2) は、出力周波数を定格周波数から低下させる垂下制御を実施する。ただし、図 14 に示すように、電力変換装置 200 (PCS1) の方が電力変換装置 200 (PCS2) よりもインバータの制御タイミングが早いので、電力変換装置 200 (PCS1)

が先に垂下制御を開始する。

【 0 1 0 0 】

具体的には、電力変換装置 2 0 0 (P C S 1) の垂下制御部 2 3 0 は、抛出有効電力 (P 1) に基づいて周波数垂下量 (- 1) を導出する。周波数電圧制御部 2 2 0 のフィードバック制御部 2 2 1 は、周波数垂下量 (- 1) に定格周波数を加算して得られた値を周波数指令値として出力周波数を定格から周波数垂下量 (- 1) だけ低下させる垂下制御を実施する。これにより、周波数電圧制御部 2 2 0 は、図 1 4 に示すように、インバータの制御周期 t の期間で出力周波数を周波数垂下量 (- 1) だけ低下させる。フィードバック制御部 2 2 1 は、図 1 4 に示すように、垂下制御をインバータの制御周期 t の期間で実施する。

10

【 0 1 0 1 】

電力変換装置 2 0 0 (P C S 2) は、図 1 4 に示すように、電力変換装置 2 0 0 (P C S 1) による垂下制御の開始後、垂下制御の終了前に、垂下制御を開始する。

【 0 1 0 2 】

具体的には、電力変換装置 2 0 0 (P C S 2) の垂下制御部 2 3 0 は、抛出有効電力 (P 2) に基づいて周波数垂下量 (- 2) を導出する。周波数電圧制御部 2 2 0 のフィードバック制御部 2 2 1 は、周波数垂下量 (- 2) に定格周波数を加算して得られた値を周波数指令値として出力周波数を定格から周波数垂下量 (- 2) だけ低下させる垂下制御を実施する。これにより、周波数電圧制御部 2 2 0 は、インバータの制御周期 t の期間で出力周波数を周波数垂下量 (- 2) だけ低下させる。

20

【 0 1 0 3 】

電力変換装置 2 0 0 (P C S 1、P C S 2) における周波数垂下量は、それぞれの電力変換装置 2 0 0 (P C S 1、P C S 2) においてほぼ同等である。ただし、上述したように、垂下制御を実施するタイミングが電力変換装置 2 0 0 (P C S 1、P C S 2) 間で異なるので、抛出有効電力に応じた周波数垂下量の反映にずれが生じる。このずれにより、電力変換装置 2 0 0 (P C S 1、P C S 2) 間を横流の形で電流が流れる。しかし、次のインバータの制御周期 t の期間では、このようなずれは収束し、電力変換装置 2 0 0 (P C S 1、P C S 2) は、図 1 2 (a)、図 1 4 に示すように、それぞれの抛出有効電力に応じた同じ周波数垂下量 (- 1 = - 2) でつり合う。

【 0 1 0 4 】

[周波数修正制御工程 S 1 2 5]

次に、周波数修正制御工程 S 1 2 5 について説明する。垂下制御を実施した後、電力変換装置 2 0 0 (P C S 1) は、図 1 4 の時刻 T 2 から周波数を定格周波数まで漸次修正する修正制御を実施する。ただし、図 1 4 に示すように、電力変換装置 2 0 0 (P C S 1) の方が電力変換装置 2 0 0 (P C S 2) よりもインバータの制御タイミングが早いので、電力変換装置 2 0 0 (P C S 1) が先に出力周波数の修正制御を開始する。

30

【 0 1 0 5 】

例えば、電力変換装置 2 0 0 (P C S 1) の指令値修正部 2 4 3 は、出力状況監視部 2 4 1 が監視した抛出有効電力と、データ格納部 2 4 2 から読み出した周波数垂下率とを積算して周波数修正値 (+ 1) を導出し、周波数修正値 (+ 1) を周波数一次遅れ要素 2 4 4 に入力する。周波数一次遅れ要素 2 4 4 は、入力された周波数修正値に基づき、周波数漸次修正値 (+ 1) を出力する。指令値修正部 2 4 3 は、周波数一次遅れ要素 2 4 4 から出力される周波数漸次修正値 (+ 1) に、データ格納部 2 4 2 から読み出した定格周波数を加算して得られた値を、出力周波数を定格周波数まで漸次修正する過程における出力周波数を規定する周波数目標値として設定する。指令値修正部 2 4 3 は、ここで設定した周波数目標値を周波数電圧制御部 2 2 0 へ出力する。周波数電圧制御部 2 2 0 は、指令値修正部 2 4 3 から入力された周波数目標値を周波数指令値として出力周波数の修正制御を実施する。

40

【 0 1 0 6 】

このとき、電力変換装置 2 0 0 (P C S 1) の出力周波数は、修正制御により出力周波

50

数が増加する。このため、図 12 (b) に示すように、電力変換装置 200 (PCS2) が抛出する有効電力は減少し、電力変換装置 200 (PCS1) が抛出する有効電力は増加する。

【0107】

そして、電力変換装置 200 (PCS1) における修正制御の開始後、時刻 T3 になると、電力変換装置 200 (PCS2) も、出力周波数の修正制御を開始する。

【0108】

例えば、電力変換装置 200 (PCS2) の指令値修正部 243 は、出力状況監視部 241 が監視した抛出有効電力と、データ格納部 242 から読み出した周波数垂下率とを積算して周波数修正値 (+ 2) を導出し、周波数修正値 (+ 2) を周波数一次遅れ要素 244 に入力する。周波数一次遅れ要素 244 は、入力された周波数修正値に基づき、周波数漸次修正値 (+ 2) を出力する。指令値修正部 243 は、周波数一次遅れ要素 244 から出力される周波数漸次修正値 (+ 2) に、データ格納部 242 から読み出した定格周波数を加算して得られた値を、出力周波数を定格周波数まで漸次修正する過程における出力周波数を規定する周波数目標値として設定する。指令値修正部 243 は、ここで設定した周波数目標値を周波数電圧制御部 220 へ出力する。周波数電圧制御部 220 は、図 12 (c) に示すように、指令値修正部 243 から入力された周波数目標値を周波数指令値として出力周波数の修正制御を実施する。

【0109】

このとき、電力変換装置 200 (PCS2) の出力周波数は、修正制御により出力周波数が増加する。このため、図 12 (c) に示すように、電力変換装置 200 (PCS1) が抛出する有効電力は減少し、電力変換装置 200 (PCS2) が抛出する有効電力は増加する。

【0110】

そして、電力変換装置 200 (PCS2) が修正制御を実施する間に、電力変換装置 200 (PCS1) は、図 14 に示すように、漸次修正値 (+ 2 1) 分の次の修正制御を開始する。そして、電力変換装置 200 (PCS2) は、電力変換装置 200 (PCS2) が漸次修正値 (+ 2 1) 分の修正制御を実施する間に、漸次修正値 (+ 2 2 1) 分の修正制御を開始する。このような動作を繰り返すことで、それぞれの電力変換装置 200 (PCS1、PCS2) は、図 12 (d)、図 14 に示すように出力周波数を定格周波数まで修正する。

【0111】

[電圧垂下制御工程 S130]

次に、電圧垂下制御工程 S130 について説明する。負荷 130 を投入し、交流電力が出力されると、図 13 (a)、図 15 に示すように、電力変換装置 200 (PCS1、PCS2) は、出力電圧を定格電圧から低下させる垂下制御を実施する。ただし、図 15 に示すように、電力変換装置 200 (PCS1) の方が電力変換装置 200 (PCS2) よりもインバータの制御タイミングが早いので、電力変換装置 200 (PCS1) が先に垂下制御を開始する。

【0112】

具体的には、電力変換装置 200 (PCS1) の垂下制御部 230 は、抛出無効電力 (Q_v1) に基づいて電圧垂下量 ($-v1$) を導出する。周波数電圧制御部 220 のフィードバック制御部 221 は、電圧垂下量 ($-v1$) に定格電圧を加算して得られた値を電圧指令値として出力電圧を定格から電圧垂下量 ($-v1$) だけ低下させる垂下制御を実施する。これにより、周波数電圧制御部 220 は、図 15 に示すように、インバータの制御周期 t の期間で出力電圧を電圧垂下量 ($-v1$) だけ低下させる。フィードバック制御部 221 は、図 15 に示すように、垂下制御をインバータの制御周期 t の期間で実施する。

【0113】

電力変換装置 200 (PCS2) は、図 15 に示すように、電力変換装置 200 (PCS

10

20

30

40

50

S 1) による垂下制御の開始後、垂下制御の終了前に、垂下制御を開始する。

【 0 1 1 4 】

具体的には、電力変換装置 2 0 0 (P C S 2) の垂下制御部 2 3 0 は、抛出無効電力 ($Q_v 2$) に基づいて電圧垂下量 ($-v 2$) を導出する。周波数電圧制御部 2 2 0 のフィードバック制御部 2 2 1 は、電圧垂下量 ($-v 2$) に定格電圧を加算して得られた値を電圧指令値として出力電圧を定格から電圧垂下量 ($-v 2$) だけ低下させる垂下制御を実施する。これにより、周波数電圧制御部 2 2 0 は、インバータの制御周期 t の期間で出力電圧を電圧垂下量 ($-v 2$) だけ低下させる。

【 0 1 1 5 】

電力変換装置 2 0 0 (P C S 1、P C S 2) における電圧垂下量は、それぞれの電力変換装置 2 0 0 (P C S 1、P C S 2) においてほぼ同等である。ただし、上述したように、垂下制御を実施するタイミングが電力変換装置 2 0 0 (P C S 1、P C S 2) 間で異なるので、抛出無効電力に応じた電圧垂下量の反映にずれが生じる。このずれにより、電力変換装置 2 0 0 (P C S 1、P C S 2) 間を横流の形で電流が流れる。しかし、次のインバータの制御周期 t の期間では、このようなずれは収束し、電力変換装置 2 0 0 (P C S 1、P C S 2) は、図 1 3 (a)、図 1 5 に示すように、それぞれの抛出無効電力に応じた同じ電圧垂下量 ($-v 1 = -v 2$) でつり合う。

【 0 1 1 6 】

[電圧修正制御工程 S 1 3 5]

次に、電圧修正制御工程 S 1 3 5 について説明する。垂下制御を実施した後、電力変換装置 2 0 0 (P C S 1) は、図 1 5 の時刻 T 2 から電圧を定格電圧まで漸次修正する修正制御を実施する。ただし、図 1 5 に示すように、電力変換装置 2 0 0 (P C S 1) の方が電力変換装置 2 0 0 (P C S 2) よりもインバータの制御タイミングが早いので、電力変換装置 2 0 0 (P C S 1) が先に出力電圧の修正制御を開始する。

【 0 1 1 7 】

例えば、電力変換装置 2 0 0 (P C S 1) の指令値修正部 2 4 3 は、出力状況監視部 2 4 1 が監視した抛出有効電力と、データ格納部 2 4 2 から読み出した電圧垂下率とを積算して電圧修正値 ($+v 1$) を導出し、電圧修正値 ($+v 1$) を電圧一次遅れ要素 2 4 4 v に入力する。電圧一次遅れ要素 2 4 4 v は、入力された電圧修正値に基づき、電圧漸次修正値 ($+v 1$) を出力する。指令値修正部 2 4 3 は、電圧一次遅れ要素 2 4 4 v から出力される電圧漸次修正値 ($+v 1$) に、データ格納部 2 4 2 から読み出した定格電圧を加算して得られた値を、出力電圧を定格電圧まで漸次修正する過程における出力電圧を規定する電圧目標値として設定する。指令値修正部 2 4 3 は、ここで設定した電圧目標値を周波数電圧制御部 2 2 0 へ出力する。周波数電圧制御部 2 2 0 は、指令値修正部 2 4 3 から入力された電圧目標値を電圧指令値として出力電圧の修正制御を実施する。

【 0 1 1 8 】

このとき、電力変換装置 2 0 0 (P C S 1) の出力電圧は、修正制御により出力電圧が増加する。このため、図 1 3 (b) に示すように、電力変換装置 2 0 0 (P C S 2) が抛出する無効電力は減少し、電力変換装置 2 0 0 (P C S 1) が抛出する無効電力は増加する。

【 0 1 1 9 】

そして、電力変換装置 2 0 0 (P C S 1) における修正制御の開始後、時刻 T 3 になると、電力変換装置 2 0 0 (P C S 2) も、出力電圧の修正制御を開始する。

【 0 1 2 0 】

例えば、電力変換装置 2 0 0 (P C S 2) の指令値修正部 2 4 3 は、出力状況監視部 2 4 1 が監視した抛出有効電力と、データ格納部 2 4 2 から読み出した電圧垂下率とを積算して電圧修正値 ($+v 2$) を導出し、電圧修正値 ($+v 2$) を電圧一次遅れ要素 2 4 4 v に入力する。電圧一次遅れ要素 2 4 4 v は、入力された電圧修正値に基づき、電圧漸次修正値 ($+v 2$) を出力する。指令値修正部 2 4 3 は、電圧一次遅れ要素 2 4 4 v から出力される電圧漸次修正値 ($+v 2$) に、データ格納部 2 4 2 から読み出した定格電圧を

10

20

30

40

50

加算して得られた値を、出力電圧を定格電圧まで漸次修正する過程における出力電圧を規定する電圧目標値として設定する。指令値修正部 243 は、ここで設定した電圧目標値を周波数電圧制御部 220 へ出力する。周波数電圧制御部 220 は、図 13 (c) に示すように、指令値修正部 243 から入力された電圧目標値を電圧指令値として出力電圧の修正制御を実施する。

【0121】

このとき、電力変換装置 200 (PCS2) の出力電圧は、修正制御により出力電圧が増加する。このため、図 13 (c) に示すように、電力変換装置 200 (PCS1) が抛出する無効電力は減少し、電力変換装置 200 (PCS2) が抛出する無効電力は増加する。

10

【0122】

そして、電力変換装置 200 (PCS2) が修正制御を実施する間に、電力変換装置 200 (PCS1) は、図 15 に示すように、漸次修正値 (+2 v1) 分の次の修正制御を開始する。そして、電力変換装置 200 (PCS2) は、電力変換装置 200 (PCS2) が漸次修正値 (+2 v1) 分の修正制御を実施する間に、漸次修正値 (+2 v2) 分の修正制御を開始する。このような動作を繰り返すことで、それぞれの電力変換装置 200 (PCS1、PCS2) は、図 13 (d)、図 15 に示すように出力電圧を定格電圧まで修正する。

【0123】

これらの工程 S110 ~ S135 を経て、電力変換装置 200 (PCS1、PCS2) は、出力する交流電力の出力周波数及び出力電圧の制御を実施する。ここでは、2つの電力変換装置 200 (PCS1、PCS2) を並列運転させる場合について説明したが、これに限定されることはなく、例えば、3つ以上の電力変換装置 200 を並列に接続してもよい。

20

【0124】

本実施の形態によれば、複数の電力変換装置 200 (PCS1、PCS2) のそれぞれにおいて、修正制御を漸次を実施する。これにより、修正制御により出力周波数及び出力電圧を定格まで修正しても、それぞれの電力変換装置 200 (PCS1、PCS2) が抛出する有効電力及び無効電力を修正の前後においてほぼ同等に維持することができる。

【0125】

また、本実施の形態によれば、垂下制御した後、修正制御を実施する。これにより、複数の電力変換装置 200 を並列して運転させる場合に、それぞれの電力変換装置 200 に抛出有効電力及び抛出無効電力を公平に分担させることができる。したがって、負荷を公平に分担する制御性を活かしつつ、周波数及び電圧を定格に維持することができる。

30

【0126】

また、垂下制御した後、修正制御を実施するので、定格からの偏移を抑えるために垂下量を小さくする必要がない。これにより、負荷の分担に必要な制御精度を低下させることなく他の電力変換装置 200 (PCS1、PCS2) との抛出電力の情報を共有することができる。

【0127】

ここで、本発明者が検討した電力変換装置と、本実施の形態に係る電力変換装置 200 の差異について検討する。図 40 は、本発明者が検討した電力変換装置における出力周波数及び出力電圧の垂下特性を示す図である。図 41 は、本発明者が検討した電力変換装置における周波数及び電圧の制御に係るタイミングチャートを示す図である。ここでは、垂下制御を実施した後に修正制御を実施しない場合を示している。

40

【0128】

垂下制御を実施すると、両方の電力変換装置 (PCS1、PCS2) は、図 40 (a) に示すように、出力周波数を定格周波数から周波数垂下量 (-1) だけ垂下させた状態で釣り合う。また、両方の電力変換装置 (PCS1、PCS2) は、図 40 (b) に示すように、出力電圧を定格電圧から電圧垂下量 (-v1) だけ低下させた状態で釣り合う。

50

【 0 1 2 9 】

そして、両方の電力変換装置（ P C S 1、 P C S 2 ）は、図 4 1 に示すように、出力周波数を定格周波数から周波数垂下量（ - 1 ）だけ垂下させた状態で交流電力を供給する。また、両方の電力変換装置（ P C S 1、 P C S 2 ）は、図 4 1 に示すように、出力電圧を定格電圧から電圧垂下量（ - v 1 ）だけ低下させた状態で交流電力を出力する。

【 0 1 3 0 】

このように、本発明者が検討した電力変換装置では、出力周波数及び出力電圧は垂下制御させたままで定格まで修正することができない。このため、垂下量を抑えつつ垂下制御を実施しようとすれば、負荷の分担に必要な制御精度を低下させてしまう。また、他の電力変換装置 2 0 0 （ P C S 1、 P C S 2 ）との拠出電力の情報を共有することが困難となる場合も発生しうる。

10

【 0 1 3 1 】

（実施の形態 3 ）

本実施の形態では、複数の電力変換装置を並列運転する際、それぞれの電力変換装置に、並列運転に係る全ての電力変換装置の周波数修正値及び電圧修正値を共有することで協調しながら修正制御を実施する場合について説明する。

【 0 1 3 2 】

図 1 6 は、本実施の形態に係る電力変換装置の構成の一例を示す図である。図 1 7 は、修正制御部における指令値修正部の構成の一例を示す図である。図 1 8 は、修正制御部における協調制御部の構成の一例を示す図である。

20

【 0 1 3 3 】

電力変換装置 3 0 0 は、電力変換部 2 1 0 と、電圧検出部 2 1 4 と、電流検出部 2 1 5 と、交流電力制御部 3 5 0 とを備えている。

【 0 1 3 4 】

交流電力制御部 3 5 0 は、垂下制御部 2 3 0、修正制御部 3 4 0、周波数電圧制御部 2 2 0 を備えている。

【 0 1 3 5 】

修正制御部 3 4 0 は、図 1 6 に示すように、出力状況監視部 2 4 1、データ格納部 2 4 2、指令値修正部 3 4 3、協調制御部 3 4 5、ネットワークインタフェース部 3 4 6 を備えている。

30

【 0 1 3 6 】

ネットワークインタフェース部 3 4 6 は、並列運転に係る他の電力変換装置 3 0 0 とのデータの送受信を実施する。詳しくは、ネットワークインタフェース部 3 4 6 は、複数の電力変換装置 3 0 0 との通信で使用するネットワークプロトコルを満たす要素、目的ごとの通信の調停など、一般的なネットワーク通信に必要な要素を実装している。

【 0 1 3 7 】

ネットワークインタフェース部 3 4 6 は、並列運転に参加している他の電力変換装置 3 0 0 の、後述する外部周波数修正値及び外部電圧修正値を受信する。具体的には、後述する修正値エントリ制御部 3 6 1 が、ネットワークインタフェース部 3 4 6 を介して、並列運転に参加している他の全ての電力変換装置 3 0 0 に問い合わせる。他の全ての電力変換装置 3 0 0 は、それぞれの電力変換装置 3 0 0 が持っている内部周波数修正値及び内部電圧修正値を外部周波数修正値、外部電圧修正値として送信する。ネットワークインタフェース部 3 4 6 は、送信された他の全ての電力変換装置 3 0 0 の外部周波数修正値及び外部電圧修正値を受信する。ネットワークインタフェース部 3 4 6 は、受信した他の電力変換装置 3 0 0 の外部周波数修正値及び外部電圧修正値を協調制御部 3 4 5 に送信する。また、ネットワークインタフェース部 3 4 6 は、自身の内部周波数修正値及び内部電圧修正値を、外部周波数修正値、外部電圧修正値として他の電力変換装置 3 0 0 に送信する。

40

【 0 1 3 8 】

協調制御部 3 4 5 は、並列運転に係る他の電力変換装置 3 0 0 と協調して修正制御を実施させる。協調制御部 3 4 5 は、図 1 8 に示すように、修正値エントリ制御部 3 6 1、外

50

部周波数修正値格納部 3 6 2 、外部周波数修正値比較部 3 6 3 、外部電圧修正値格納部 3 6 2 v、外部電圧修正値比較部 3 6 3 vを備えている。

【 0 1 3 9 】

修正値エントリ制御部 3 6 1 は、ネットワークインタフェイス部 3 4 6 から送信された他の電力変換装置 3 0 0 の外部周波数修正値及び外部電圧修正値の入力を受け付ける。修正値エントリ制御部 3 6 1 は、入力された外部周波数修正値及び外部電圧修正値のうち、外部周波数修正値を外部周波数修正値格納部 3 6 2 に出力し、外部電圧修正値を外部電圧修正値格納部 3 6 2 vに出力する。外部周波数修正値格納部 3 6 2 は、入力された外部周波数修正値を格納する。外部電圧修正値格納部 3 6 2 vは、入力された外部電圧修正値を格納する。

10

【 0 1 4 0 】

修正値エントリ制御部 3 6 1、外部周波数修正値格納部 3 6 2 、外部電圧修正値格納部 3 6 2 vは、これらの動作を並列運転に参加する、他の全ての電力変換装置 3 0 0 について実施する。

【 0 1 4 1 】

外部周波数修正値比較部 3 6 3 は、外部周波数修正値格納部 3 6 2 に格納された全ての外部周波数修正値を比較し、最大の外部周波数修正値を最大外部周波数修正値として指令値修正部 3 4 3 に出力する。詳しくは、外部周波数修正値比較部 3 6 3 は、外部周波数修正値格納部 3 6 2 に格納された全ての外部周波数修正値を読み出し、それぞれの外部周波数修正値を比較し、最大の外部周波数修正値を最大外部周波数修正値として指令

20

【 0 1 4 2 】

外部電圧修正値比較部 3 6 3 vは、外部電圧修正値格納部 3 6 2 vに格納された全ての外部電圧修正値を比較し、最大の外部電圧修正値を最大外部電圧修正値として指令値修正部 3 4 3 に出力する。詳しくは、外部電圧修正値比較部 3 6 3 vは、外部電圧修正値格納部 3 6 2 vに格納された全ての外部電圧修正値を読み出し、それぞれの外部電圧修正値を比較し、最大の外部電圧修正値を最大外部電圧修正値として指令値修正部 3 4 3 に出力する。

【 0 1 4 3 】

指令値修正部 3 4 3 は、修正制御における前記出力周波数及び前記出力電圧を規定する。指令値修正部 3 4 3 は、図 1 7 に示すように、周波数修正値比較部 3 4 7 、電圧修正値比較部 3 4 7 v、周波数一次遅れ要素 2 4 4 、電圧一次遅れ要素 2 4 4 vを備えている。

30

【 0 1 4 4 】

指令値修正部 3 4 3 は、出力状況監視部 2 4 1 が監視した拠出有効電力と、データ格納部 2 4 2 に格納された周波数垂下率とを積算して内部周波数修正値を導出する。導出された内部周波数修正値は、周波数修正値比較部 3 4 7 に入力される。

【 0 1 4 5 】

周波数修正値比較部 3 4 7 は、外部周波数修正値比較部 3 6 3 から出力された最大外部周波数修正値の入力を受け付ける。周波数修正値比較部 3 4 7 は、内部周波数修正値と最大外部周波数修正値とを比較し、内部周波数修正値及び最大外部周波数修正値のいずれか大きい値を周波数修正値として導出する。周波数修正値は、周波数修正値を周波数一次遅れ要素 2 4 4 に入力される。指令値修正部 3 4 3 は、周波数一次遅れ要素 2 4 4 から出力される周波数漸次修正値に定格周波数を加算して得られた値を、出力周波数を定格周波数まで漸次修正する過程における出力周波数を規定する周波数目標値として設定する。

40

【 0 1 4 6 】

このように、本実施の形態では、並列運転に参加する全ての電力変換装置 3 0 0 における周波数修正値のうち最大の周波数修正値を周波数修正値として利用する。すなわち、全ての電力変換装置 3 0 0 では、修正制御において同一の周波数修正値が用いられるので、

50

協調して修正制御が実施される。

【 0 1 4 7 】

指令値修正部 3 4 3 は、出力状況監視部 2 4 1 が監視した拋出無効電力と、データ格納部 2 4 2 に格納された電圧垂下率とを積算して内部電圧修正値を導出する。導出された内部電圧修正値は、電圧修正値比較部 3 4 7 v に入力される。

【 0 1 4 8 】

電圧修正値比較部 3 4 7 v は、外部電圧修正値比較部 3 6 3 v から出力された最大外部電圧修正値の入力を受け付ける。電圧修正値比較部 3 4 7 v は、内部電圧修正値と最大外部電圧修正値とを比較し、内部電圧修正値及び最大外部電圧修正値のいずれか大きい値を電圧修正値として導出する。電圧修正値は、電圧修正値を電圧一次遅れ要素 2 4 4 v に入力される。指令値修正部 3 4 3 は、電圧一次遅れ要素 2 4 4 v から出力される電圧漸次修正値に定格電圧を加算して得られた値を、出力電圧を定格電圧まで漸次修正する過程における出力電圧を規定する電圧目標値として設定する。

10

【 0 1 4 9 】

このように、本実施の形態では、並列運転に参加する全ての電力変換装置 3 0 0 における電圧修正値のうち最大の電圧修正値を電圧修正値として利用する。すなわち、全ての電力変換装置 3 0 0 では、修正制御において同一の電圧修正値が用いられるので、協調して修正制御が実施される。

【 0 1 5 0 】

修正制御部 3 4 0 を構成する各部及び各機能は、ハードウェアまたはソフトウェアで構成されていてもよい。修正制御部 3 4 0 を構成する各部及び各機能がソフトウェアで実現される場合、例えば、修正制御部 3 4 0 は図示しない C P U (または専用プロセッサ)を含んでおり、C P U が図示しないメモリ等に格納されたプログラムを実行して各部及び各機能を実現する。

20

【 0 1 5 1 】

修正制御部 3 4 0 は、例えば、電力変換装置 3 0 0 に搭載されるプログラマブルロジックコントローラ (P L C) を用いて実装してもよい。

【 0 1 5 2 】

[時定数が大きい場合の周波数及び電圧の制御方法]

ここで、本実施の形態に係る電力変換装置 3 0 0 を用いた周波数及び電圧の制御方法について説明する。ここでは、2 台の電力変換装置 3 0 0 (P C S 1、P C S 2) が並列運転に参加している場合について説明する。

30

【 0 1 5 3 】

なお、以下では、説明の便宜上、電力変換部 (インバータ) 2 1 0 の制御周期を t 、修正制御部 (P L C) の制御周期 T を $4 t$ とする。また、周波数一次遅れ要素 2 4 4 及び電圧一次遅れ要素 2 4 4 v の時定数を $4 T$ とする。また、2 台の電力変換装置 3 0 0 (P C S 1、P C S 2) において、インバータの制御周期 t は同じであるが、インバータの制御タイミング及び P L C の制御タイミングは異なっているものとする。

【 0 1 5 4 】

まず、周波数一次遅れ要素 2 4 4 及び電圧一次遅れ要素 2 4 4 v の時定数が大きい場合について説明する。図 1 9 は、本実施の形態における周波数制御及び電圧制御に係るフローチャートを示す図である。図 2 0 は、時定数が大きい場合における周波数制御に係る垂下特性を示す図である。図 2 1 は、時定数が大きい場合における電圧制御に係る垂下特性を示す図である。図 2 2 は、時定数が大きい場合における周波数制御に係るタイミングチャートを示す図である。図 2 3 は、時定数が大きい場合における電圧制御に係るタイミングチャートを示す図である。

40

【 0 1 5 5 】

電力変換装置 3 0 0 は、図 1 9 に示すように、定格出力工程 S 2 1 0、周波数垂下制御工程 S 2 2 0、周波数修正制御工程 S 2 2 5、電圧垂下制御工程 S 2 3 0、電圧修正制御工程 S 2 3 5 の各工程を実施することにより、交流電力の出力周波数及び出力電圧を制御

50

する。なお、定格出力工程 S 2 1 0、周波数垂下制御工程 S 2 2 0、電圧垂下制御工程 S 2 3 0 については、上述の実施の形態 2 における定格出力工程 S 1 1 0、周波数垂下制御工程 S 1 2 0、電圧垂下制御工程 S 1 3 0 とそれぞれ同一の制御を実施するので、ここでは説明を省略する。

【 0 1 5 6 】

[周波数修正制御工程 S 2 2 5]

周波数修正制御工程 S 2 2 5 について説明する。電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) の周波数修正値比較部 3 4 7 は、協調制御部 3 4 5 の外部周波数修正値比較部 3 6 3 から出力された外部周波数修正値と、指令値修正部 3 4 3 で導出された内部周波数修正値とを比較し、いずれか大きい値を周波数修正値として導出する。周波数修正値比較部 3 4 7 は、導出した周波数修正値を周波数一次遅れ要素 2 4 4 に入力する。周波数一次遅れ要素 2 4 4 は、入力された周波数修正値に基づいて周波数漸次修正値を出力する。フィードバック制御部 2 2 1 は、周波数漸次修正値に基づいて周波数の修正制御を実施する。このように、並列運転に参加する全ての電力変換装置 3 0 0 (P C S 1、P C S 2) の内部周波数修正値のうち最大の値を周波数修正値として修正制御を実施する。

10

【 0 1 5 7 】

また、電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) も、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) と同一の周波数修正値を導出し、これに基づいた周波数修正制御を協調して実施する。

【 0 1 5 8 】

ここで、時定数が大きい場合には、周波数一次遅れ要素 2 4 4 が出力する周波数漸次修正値は、すぐに周波数目標値（周波数指令値）に反映されるわけではない。したがって、修正値による電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) と電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) の間での抛出有効電力の大きな不均衡はおきない。この場合の周波数修正制御は、図 1 2、図 1 4、図 2 0、図 2 2 に示すように、上述の実施の形態 2 における周波数修正制御工程 S 1 2 5 における周波数修正制御とほとんど差異はない。

20

【 0 1 5 9 】

[電圧修正制御工程 S 2 3 5]

電圧修正制御工程 S 2 3 5 について説明する。電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) の電圧修正値比較部 3 4 7 v は、協調制御部 3 4 5 の外部電圧修正値比較部 3 6 3 v から出力された外部電圧修正値と、指令値修正部 3 4 3 で導出された内部電圧修正値とを比較し、いずれか大きい値を電圧修正値として導出する。電圧修正値比較部 3 4 7 v は、導出した電圧修正値を電圧一次遅れ要素 2 4 4 v に入力する。電圧一次遅れ要素 2 4 4 v は、入力された電圧修正値に基づいて電圧漸次修正値を出力する。フィードバック制御部 2 2 1 は、電圧漸次修正値に基づいて電圧の修正制御を実施する。このように、並列運転に参加する全ての電力変換装置 3 0 0 (P C S 1、P C S 2) の内部電圧修正値のうち最大の値を電圧修正値として修正制御を実施する。

30

【 0 1 6 0 】

また、電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) も、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) と同一の電圧修正値を導出し、これに基づいた電圧修正制御を協調して実施する。

【 0 1 6 1 】

ここで、時定数が大きい場合には、電圧一次遅れ要素 2 4 4 v が出力する電圧漸次修正値は、すぐに電圧目標値（電圧指令値）に反映されるわけではない。したがって、修正値による電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) と電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) の間での抛出無効電力の大きな不均衡はおきない。この場合の電圧修正制御は、図 1 3、図 1 5、図 2 1、図 2 3 に示すように、上述の実施の形態 2 における電圧修正制御工程 S 1 3 5 における電圧修正制御とほとんど差異はない。

40

【 0 1 6 2 】

[時定数が小さい場合の周波数及び電圧の制御方法]

次に、周波数一次遅れ要素 2 4 4 及び電圧一次遅れ要素 2 4 4 v の時定数が小さい場合について説明する。図 2 4 は、時定数が小さい場合における周波数制御に係る垂下特性

50

を示す図である。図 2 5 は、時定数が小さい場合における電圧制御に係る垂下特性を示す図である。図 2 6 は、時定数が小さい場合における周波数制御に係るタイミングチャートを示す図である。図 2 7 は、時定数が小さい場合における電圧制御に係るタイミングチャートを示す図である。

【 0 1 6 3 】

なお、以下では、時定数が小さい場合の例として、周波数一次遅れ要素 2 4 4 及び電圧一次遅れ要素 2 4 4 v の時定数を $2 T$ とする。

【 0 1 6 4 】

[周波数修正制御工程 S 2 2 5]

周波数修正制御を実施する前には、図 2 4 (a) に示すように、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1、P C S 2) 間で周波数垂下量 (抛出有効電力) がつり合った状態となっている。

【 0 1 6 5 】

時定数が小さい場合には、周波数一次遅れ要素 2 4 4 が出力する周波数漸次修正値は、すぐに周波数目標値 (周波数指令値) に反映される。このため、時刻 T_2 で電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) が周波数修正制御を実施すると、図 2 4 (b)、図 2 6 に示すように、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) の抛出有効電力が一時的にかつ激しく増加し、電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) の抛出有効電力が一時的にかつ激しく減少し、抛出有効電力の不均衡状態が生じる。

【 0 1 6 6 】

時刻 T_3 で電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) が周波数修正制御を実施する。電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) は自身の激しく減少した抛出有効電力から算出した周波数修正値ではなく、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) の周波数修正値と電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) 自身の周波数修正値を大小比較した結果である、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) の周波数修正値を利用する。そうすると、図 2 4 (c)、図 2 6 に示すように、このような抛出有効電力の不均衡は解消される。これらの周波数修正制御を繰り返し実施することにより、図 2 4 (d)、図 2 6 に示すように、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1、P C S 2) は、出力周波数を定格まで修正する。このとき、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1、P C S 2) において、周波数修正制御の前後の抛出有効電力はほぼ同等に維持される。

【 0 1 6 7 】

[電圧修正制御工程 S 2 3 5]

電圧修正制御を実施する前には、図 2 5 (a) に示すように、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1、P C S 2) 間で電圧垂下量 (抛出無効電力) がつり合った状態となっている。

【 0 1 6 8 】

時定数が小さい場合には、電圧一次遅れ要素 2 4 4 v が出力する電圧漸次修正値は、すぐに電圧目標値 (電圧指令値) に反映される。このため、時刻 T_2 で電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) が電圧修正制御を実施すると、図 2 5 (b)、図 2 7 に示すように、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) の抛出無効電力が一時的にかつ激しく増加し、電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) の抛出無効電力が一時的にかつ激しく減少し、抛出無効電力の不均衡状態が生じる。

【 0 1 6 9 】

時刻 T_3 で電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) が電圧修正制御を実施する。電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) は自身の激しく減少した抛出無効電力から算出した電圧修正値ではなく、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) の電圧修正値と電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) 自身の電圧修正値を大小比較した結果である、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) の電圧修正値を利用する。そうすると、図 2 5 (c)、図 2 7 に示すように、このような抛出無効電力の不均衡は解消される。これらの電圧修正制御を繰り返し実施することにより、図 2 5 (d)、図 2 7 に示すように、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1、P C S 2) は、出力電圧を定格まで修正する。このとき、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1、P C S 2) において、周波数修正制御の前後の抛出無効電力はほぼ同等に維持される。

【 0 1 7 0 】

本実施の形態によれば、並列運転に参加する全ての電力変換装置 3 0 0 (P C S 1、P C S 2) の内部周波数修正値のうち最大の値を周波数修正値として導出する。これにより、全ての電力変換装置 3 0 0 (P C S 1、P C S 2) は、この最大値を共通の周波数修正値として導出し、協調して周波数修正制御を実施することができる。

【 0 1 7 1 】

また、周波数一次遅れ要素 2 4 4 の時定数が小さく、周波数一次遅れ要素 2 4 4 が出力する周波数漸次修正値が、すぐに周波数目標値 (周波数指令値) に反映されてしまうが、本実施の形態によれば、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) の周波数修正制御により生じた抛出有効電力の不均衡が、電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) の周波数修正制御により解消される。これにより、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1、P C S 2) において、周波数修正制御の前後の抛出有効電力はほぼ同等に維持される。

10

【 0 1 7 2 】

また、本実施の形態によれば、並列運転に参加する全ての電力変換装置 3 0 0 (P C S 1、P C S 2) の内部電圧修正値のうち最大の値を電圧修正値として導出する。これにより、全ての電力変換装置 3 0 0 (P C S 1、P C S 2) は、この最大値を共通の電圧修正値として導出し、協調して電圧修正制御を実施することができる。

【 0 1 7 3 】

また、電圧一次遅れ要素 2 4 4 v の時定数が小さく、電圧一次遅れ要素 2 4 4 v が出力する電圧漸次修正値が、すぐに電圧目標値 (電圧指令値) に反映されてしまうが、本実施の形態によれば、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) の電圧修正制御により生じた抛出無効電力の不均衡が、電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) の電圧修正制御により解消される。これにより、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1、P C S 2) において、電圧修正制御の前後の抛出無効電力はほぼ同等に維持される。

20

【 0 1 7 4 】

ここで、本発明者が検討した電力変換装置と、本実施の形態に係る電力変換装置 3 0 0 との差異について検討する。図 4 2 は、本発明者が検討した電力変換装置における出力周波数の垂下特性を示す図である。図 4 3 は、本発明者が検討した電力変換装置における出力電圧の垂下特性を示す図である。図 4 4 は、本発明者が検討した電力変換装置における周波数制御に係るタイミングチャートを示す図である。図 4 5 は、本発明者が検討した電力変換装置における電圧制御に係るタイミングチャートを示す図である。

30

【 0 1 7 5 】

本発明者が検討した電力変換装置 (例えば、実施の形態 2 に係る電力変換装置 2 0 0 等) では、例えば、並列運転に参加する電力変換装置は、共通の周波数修正値に基づいて周波数修正制御を実施するのではなく、それぞれの電力変換装置において導出された個別の周波数修正値を用いて周波数修正制御を実施する。

【 0 1 7 6 】

このため、周波数一次遅れ要素の時定数が小さい場合等、図 4 2 (b)、図 4 4 に示すように、電力変換装置 (P C S 1) による周波数修正制御により抛出有効電力が不均衡になった場合に、図 4 2 (c)、図 4 4 に示すように、その後の電力変換装置 (P C S 2) による周波数修正制御によっても抛出有効電力の不均衡を解消することができない場合がある。そうすると、図 4 2 (d)、図 4 4 に示すように、周波数修正制御を完了しても抛出有効電力が不均衡になる。

40

【 0 1 7 7 】

同様に、並列運転に参加する電力変換装置は、共通の電圧修正値に基づいて電圧修正制御を実施するのではなく、それぞれの電力変換装置において導出された個別の電圧修正値を用いて電圧修正制御を実施する。

【 0 1 7 8 】

このため、電圧一次遅れ要素の時定数が小さい場合等、図 4 3 (b)、図 4 5 に示すように、電力変換装置 (P C S 1) による電圧修正制御により抛出無効電力が不均衡になっ

50

た場合に、図 4 3 (c)、図 4 5 に示すように、その後の電力変換装置 (P C S 2) による電圧修正制御によっても抛出無効電力の不均衡を解消することができない場合がある。そうすると、図 4 3 (d)、図 4 5 に示すように、電圧修正制御を完了しても抛出無効電力が不均衡になる。

【 0 1 7 9 】

(実施の形態 4)

本実施の形態では、周波数修正値及び電圧修正値を並列運転に参加する電力変換装置で共有し、協調して修正制御を実施する動作を応用することで、すでに稼働している電力変換装置に対して新規の電力変換装置を並列運転に参加させる場合について説明する。

【 0 1 8 0 】

10

図 2 8 は、本実施の形態に係る電力変換装置の構成の一例を示す図である。図 2 9 は、修正制御部における指令値修正部構成の一例を示す図である。

【 0 1 8 1 】

電力変換装置 4 0 0 は、図 2 8 に示すように、電力変換部 2 1 0 と、電圧検出部 2 1 4 と、電流検出部 2 1 5 と、交流電力制御部 4 5 0 とを備えている。

【 0 1 8 2 】

交流電力制御部 4 5 0 は、垂下制御部 2 3 0、修正制御部 4 4 0、周波数電圧制御部 2 2 0 を備えている。

【 0 1 8 3 】

修正制御部 4 4 0 は、図 2 8 に示すように、出力状況監視部 2 4 1、データ格納部 2 4 2、指令値修正部 4 4 3、協調制御部 3 4 5、ネットワークインタフェース部 3 4 6 を備えている。

20

【 0 1 8 4 】

指令値修正部 4 4 3 は、図 2 8、図 2 9 に示すように、周波数修正値比較部 3 4 7、電圧修正値比較部 3 4 7 v、周波数修正スイッチング部 4 4 4、電圧修正スイッチング部 4 4 4 v、周波数一次遅れ要素 2 4 4、電圧一次遅れ要素 2 4 4 v を備えている。

【 0 1 8 5 】

周波数修正スイッチング部 4 4 4 は、周波数修正値比較部 3 4 7 から出力された周波数修正値を周波数一次遅れ要素 2 4 4 に入力するか否かを選択する。周波数修正スイッチング部 4 4 4 がアクティブになると、周波数修正値が周波数一次遅れ要素 2 4 4 に入力され、周波数修正制御が実施される。周波数修正スイッチング部 4 4 4 が非アクティブになると、周波数修正値は周波数一次遅れ要素 2 4 4 に入力されず、周波数修正制御は実施されない。すなわち、周波数修正スイッチング部 4 4 4 をアクティブ状態に切り替えることは、電力変換装置 3 0 0 に並列運転を実施させることを指示する並列指令である。

30

【 0 1 8 6 】

電圧修正スイッチング部 4 4 4 v は、電圧修正値比較部 3 4 7 v から出力された電圧修正値を電圧一次遅れ要素 2 4 4 v に入力するか否かを選択する。電圧修正スイッチング部 4 4 4 v がアクティブになると、電圧修正値が電圧一次遅れ要素 2 4 4 v に入力され、電圧修正制御が実施される。電圧修正スイッチング部 4 4 4 v が非アクティブになると、電圧修正値は電圧一次遅れ要素 2 4 4 v に入力されず、電圧修正制御は実施されない。すなわち、電圧修正スイッチング部 4 4 4 v をアクティブ状態に切り替えることは、電力変換装置 3 0 0 に並列運転を実施させることを指示する並列指令である。

40

【 0 1 8 7 】

修正制御部 4 4 0 を構成する各部及び各機能は、ハードウェアまたはソフトウェアで構成されていてもよい。修正制御部 4 4 0 を構成する各部及び各機能がソフトウェアで実現される場合、例えば、修正制御部 4 4 0 は図示しない C P U (または専用プロセッサ) を含んでおり、C P U が図示しないメモリ等に格納されたプログラムを実行して各部及び各機能を実現する。

【 0 1 8 8 】

50

修正制御部 4 4 0 は、例えば、電力変換装置 3 0 0 に搭載されるプログラマブルロジックコントローラ (P L C) を用いて実装してもよい。

【 0 1 8 9 】

[並列運転させる際の周波数及び電圧の制御方法]

次に、本実施の形態に係る電力変換装置 4 0 0 を並列運転に参加させる方法について説明する。

【 0 1 9 0 】

ここでは、負荷 1 3 0 に対して交流電力を供給する電力変換装置 4 0 0 (P C S 1) に対して別個の電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) を並列運転させる場合について説明する。また、2 台の電力変換装置 3 0 0 (P C S 1 、 P C S 2) において、インバータの制御周期 t は同じであるが、インバータの制御タイミング及び P L C の制御タイミングは異なっているものとする。

10

【 0 1 9 1 】

図 3 0 は、並列運転させる際の周波数制御及び電圧制御に係るフローチャートを示す図である。図 3 1 は、並列運転させる際の周波数制御に係る垂下特性を示す図である。図 3 2 は、並列運転させる際の電圧制御に係る垂下特性を示す図である。図 3 3 は、並列運転させる際の周波数制御に係るタイミングチャートを示す図である。図 3 4 は、並列運転させる際の電圧制御に係るタイミングチャートを示す図である。

【 0 1 9 2 】

並列運転に参加させるには、図 3 0 に示すように、定格出力工程 S 3 1 0、周波数垂下制御工程 S 3 2 0、周波数修正制御工程 S 3 2 5、電圧垂下制御工程 S 3 3 0、電圧修正制御工程 S 3 3 5 の各工程を実施することにより、交流電力の出力周波数及び出力電圧を制御する。

20

【 0 1 9 3 】

[定格出力工程 S 3 1 0、周波数垂下制御工程 S 3 2 0]

初期状態では、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) が定格周波数及び定格電圧で交流電力を出力し、負荷 1 3 0 に供給する。そして、時刻 T 1 において、電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) を交流電力線 1 2 0 に接続する。このとき、電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) からの抛出有効電力及び抛出無効電力は、図 3 1 (a)、図 3 2 (a)、図 3 3、図 3 4 に示すように、ともに「 0 」である。このとき、電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) の周波数修正スイッチング部 4 4 4 及び電圧修正スイッチング部 4 4 4 v は非アクティブである。

30

【 0 1 9 4 】

次に、時刻 T 2 において、並列指令により、周波数修正スイッチング部 4 4 4 をアクティブ状態に切り替える。電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) は、図 3 1 (b)、図 3 3 に示すように、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) の周波数修正値に基づいて出力周波数及び抛出有効電力を増加させる。

【 0 1 9 5 】

このように、負荷 1 3 0 に交流電力を供給する電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) に対して別個の電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) を並列運転させる際に、別個の電力変換装置 3 0 0 (P C S 2) は、周波数修正スイッチング部 4 4 4 及び電圧修正スイッチング部 4 4 4 v が非アクティブの状態ですべて並列運転が開始され、並列運転が開始されてから、周波数修正スイッチング部 4 4 4 及び電圧修正スイッチング部 4 4 4 v がアクティブの状態にされる。

40

【 0 1 9 6 】

そして、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) のインバータ制御タイミング T 3 では、図 3 1 (c) 及び図 3 3 に示すように、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) が抛出する有効電力は低下する。これに伴って、電力変換装置 3 0 0 (P C S 1) の出力周波数は一時的に増加する。

【 0 1 9 7 】

50

電力変換装置 300 (PCS1) と電力変換装置 300 (PCS2) との間には、図 3 3 に示すように、インバータ制御周期にずれがあるため、抛出有効電力に応じた周波数垂下量にもずれが生じる。この場合には、電力変換装置 300 (PCS1) と電力変換装置 300 (PCS2) との間を横流の形で電流が流れる。このような電流は、インバータ制御周期 t の期間で収束し、電力変換装置 300 (PCS1、PCS2) の出力周波数が同一となるところでつり合う。

【0198】

[周波数修正制御工程 S325、電圧垂下制御工程 S330]

つぎに、次の電力変換装置 300 (PCS2) のインバータ制御タイミング ($T2 + t$) では、電力変換装置 300 (PCS2) は、並列運転に参加する全ての電力変換装置 300 (PCS1、PCS2) の内部周波数修正値のうち最大の値を周波数修正値とする。電力変換装置 300 (PCS2) は、この周波数修正値に基づいて周波数修正制御を実施する。このとき、図 31 (b)、図 33 に示すように、電力変換装置 300 (PCS2) よりも電力変換装置 300 (PCS1) のほうが抛出有効電力が大きいため、周波数垂下率がほぼ同等であれば、電力変換装置 300 (PCS1) の内部周波数修正値のほうが大きい。この場合、電力変換装置 300 (PCS2) は、電力変換装置 300 (PCS1) の内部周波数修正値を周波数修正値として、周波数修正制御を実施する。

【0199】

これに対して、電力変換装置 300 (PCS1) では、低下した抛出有効電力に合わせて出力周波数が修正され、図 31 (c)、図 33 に示すように、いったん出力周波数は低下する。しかし、電力変換装置 300 (PCS2) からの抛出有効電力が増加するため、電力変換装置 300 (PCS1) の抛出有効電力がさらに低下し、これにともない出力周波数が上昇する。

【0200】

これらの動作を繰り返し実施すると、電力変換装置 300 (PCS1) と電力変換装置 300 (PCS2) の周波数修正値がつり合うようになる。そうすると、電力変換装置 300 (PCS1) と電力変換装置 300 (PCS2) の周波数修正値は変動しなくなり、図 31 (d)、図 33 に示すように、定格周波数において公平に負荷を分担しながら交流電力を付加 130 に供給するようになる。

【0201】

次に、電圧制御について説明する。時刻 $T2$ において、並列指令により、電圧修正スイッチング部 444v をアクティブ状態に切り替える。電力変換装置 300 (PCS2) は、図 32 (b)、図 34 に示すように、電力変換装置 300 (PCS1) の電圧修正値に基づいて出力電圧及び抛出無効電力を増加させる。

【0202】

このように、負荷 130 に交流電力を供給する電力変換装置 300 (PCS1) に対して別個の電力変換装置 300 (PCS2) を並列運転させる際に、別個の電力変換装置 300 (PCS2) は、周波数修正スイッチング部 444 及び電圧修正スイッチング部 444v が非アクティブの状態では並列運転が開始され、並列運転が開始されてから、周波数修正スイッチング部 444 及び電圧修正スイッチング部 444v がアクティブの状態にされる。

【0203】

そして、電力変換装置 300 (PCS1) のインバータ制御タイミング $T3$ では、図 32 (c) 及び図 34 に示すように、電力変換装置 300 (PCS1) が抛出する無効電力は低下する。これに伴って、電力変換装置 300 (PCS1) の出力電圧は一時的に増加する。

【0204】

電力変換装置 300 (PCS1) と電力変換装置 300 (PCS2) との間には、図 34 に示すように、インバータ制御周期にずれがあるため、抛出無効電力に応じた電圧垂下量にもずれが生じる。この場合には、電力変換装置 300 (PCS1) と電力変換装置 3

10

20

30

40

50

00 (PCS2) との間を横流の形で電流が流れる。このような電流は、インバータ制御周期 t の期間で収束し、電力変換装置 300 (PCS1、PCS2) の出力電圧が同一となるところでつり合う。

【0205】

[電圧修正制御工程 S335]

つぎに、次の電力変換装置 300 (PCS2) のインバータ制御タイミング ($T2 + t$) では、電力変換装置 300 (PCS2) は、並列運転に参加する全ての電力変換装置 300 (PCS1、PCS2) の内部電圧修正値のうち最大の値を電圧修正値とする。電力変換装置 300 (PCS2) は、この電圧修正値に基づいて電圧修正制御を実施する。このとき、図 32 (b)、図 34 に示すように、電力変換装置 300 (PCS2) よりも電力変換装置 300 (PCS1) のほうが抛出無効電力が大きいため、電圧垂下率がほぼ同等であれば、電力変換装置 300 (PCS1) の内部電圧修正値のほうが大きい。この場合、電力変換装置 300 (PCS2) は、電力変換装置 300 (PCS1) の内部電圧修正値を電圧修正値として、電圧修正制御を実施する。

10

【0206】

これに対して、電力変換装置 300 (PCS1) では、低下した抛出無効電力に合わせて出力電圧が修正され、図 32 (c)、図 34 に示すように、いったん出力電圧は低下する。しかし、電力変換装置 300 (PCS2) からの抛出無効電力が増加するため、電力変換装置 300 (PCS1) の抛出無効電力がさらに低下し、これにともない出力電圧が上昇する。

20

【0207】

これらの動作を繰り返し実施すると、電力変換装置 300 (PCS1) と電力変換装置 300 (PCS2) の電圧修正値がつり合うようになる。そうすると、電力変換装置 300 (PCS1) と電力変換装置 300 (PCS2) の電圧修正値は変動しなくなり、図 32 (d)、図 34 に示すように、定格電圧において公平に負荷を分担しながら交流電力を付加 130 に供給するようになる。

【0208】

本実施の形態によれば、電力変換装置 300 (PCS2) に対し、周波数修正スイッチング部 444 及び電圧修正スイッチング部 444v が非アクティブの状態では並列運転が開始され、並列運転が開始されてから、周波数修正スイッチング部 444 及び電圧修正スイッチング部 444v がアクティブの状態にされる。これにより、電力変換装置 300 (PCS1) 及び電力変換装置 300 (PCS2) に対し垂下制御及び修正制御を実施しながら、公平に負荷を分担させることができる。このようにして、電力変換装置 300 (PCS2) を並列運転に参加させることができる。

30

【0209】

ここでは、1 台の電力変換装置 300 (PCS1) を運転させた状態で 1 台の電力変換装置 300 (PCS1) を並列運転に参加させる例について説明したが、このような場合に限定されるものではない。例えば、複数台の電力変換装置 300 を運転させた状態で、1 台又は複数台の電力変換装置 300 を並列運転に参加させるようにしてもよい。

【0210】

[並列運転からの解列]

本実施の形態に係る制御方法を応用すれば、複数台の電力変換装置 300 により並列運転を実施している場合に、任意の 1 台の電力変換装置 300 を並列運転から解列させることができる。具体的には、解列する電力変換装置 300 に対する並列指令を無効にし、解列する電力変換装置 300 における修正制御が実施されないようにすることで、抛出有効電力及び抛出無効電力を徐々に低下させ「0」にする。

40

【0211】

このような動作を組み合わせることにより、直流電源の発電量又は充電量を考慮した柔軟なシステム変更を容易に実施することができる。

【0212】

50

(実施の形態5)

本実施の形態では、直流電源として太陽電池パネル(QVパネル)を使用した場合について説明する。図35は、本実施の形態に係るシステムの一例について示す図である。本実施の形態では、上述の実施形態1～3に係る電力変換装置200、300を用いることにより、周波数及び電圧の垂下制御及び修正制御を実施する。

【0213】

電力変換装置200、300(PCS1)は、直流側に太陽電池パネル131が接続され、交流側に交流電力線120が接続されている。電力変換装置200、300(PCS2)は、直流側に太陽電池パネル132が接続され、交流側に交流電力線120が接続されている。

10

【0214】

これまでは、系統のない状態で並列動作する電力変換装置に、太陽電池パネルを接続すると、その太陽電池パネルに当たる日射強度に応じて、電力変換装置から吐出される有効電力及び無効電力が変動していた。ほとんどの場合、最大電力点制御を実施しているためである。このため、垂下制御による周波数及び電圧の垂下量も日射同様に変動する。

【0215】

しかし、上述の電力変換装置200、300を用い、垂下制御により垂下した周波数及び電圧を修正制御すれば、日射の変動による周波数の変動を抑制することができる。

【0216】

(実施の形態6)

本実施の形態では、直流電源として蓄電池を使用した場合について説明する。図36は、本実施の形態に係るシステムの一例について示す図である。図36に示すように、本実施の形態では、上述の実施形態4に係る電力変換装置400を用いることにより、周波数及び電圧の垂下制御及び修正制御を実施する。

20

【0217】

電力変換装置400(PCS3)は、直流側に蓄電池141が接続され、交流側に交流電力線120が接続されている。電力変換装置400(PCS4)は、直流側に蓄電池142が接続され、交流側に交流電力線120が接続されている。

【0218】

これまでは、系統のない状態で並列動作させている場合に、任意の時刻に別の電力変換装置を並列運転に参加(投入)させたり、途中で解列させることは困難であった。しかし、上述の電力変換装置400と蓄電池141、142を組み合わせることにより、蓄電池141、142の充電状態に応じて任意の時刻で電力変換装置400(PCS3、PCS4)を投入し、あるいは解列を行うことができる。これにより、蓄電池充電状態に応じた最適な運用が可能となる。

30

【0219】

(実施の形態7)

本実施の形態では、直流電源として太陽電池パネル及び蓄電池を組み合わせ使用する場合について説明する。図37は、本実施の形態に係るシステムの一例を示す図である。

【0220】

電力変換装置200、300(PCS1)は、直流側に太陽電池パネル131が接続され、交流側に交流電力線120が接続されている。電力変換装置200、300(PCS2)は、直流側に太陽電池パネル132が接続され、交流側に交流電力線120が接続されている。電力変換装置400(PCS3)は、直流側に蓄電池141が接続され、交流側に交流電力線120が接続されている。電力変換装置400(PCS4)は、直流側に蓄電池142が接続され、交流側に交流電力線120が接続されている。

40

【0221】

この構成によれば、太陽電池パネルに対して垂下制御及び修正制御を実施すれば、日射の変動による周波数の変動を抑制することができる。また、蓄電池に対して垂下制御及び修正制御を実施すれば、蓄電池の充電状態に応じて任意の時刻で電力変換装置を投入し、

50

あるいは解列を行うことができる。これにより、蓄電池の最適な運用が可能となる。

【0222】

さらに、太陽電池パネルで生成した電力を蓄電池へ充電することができ、離島や沿岸の発電所から遠方にある内陸部等、系統が脆弱な地域において負荷への安定した電力供給を確保することが可能となる。また、事故や災害等により系統が失われた場合に、負荷への安定した電力供給を確保することが可能となる。

【0223】

以上、本発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。

10

【0224】

なお、本発明は上記した実施の形態に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施の形態は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。

【0225】

また、ある実施の形態の構成の一部を他の実施の形態の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施の形態の構成に他の実施の形態の構成を加えることも可能である。また、各実施の形態の構成の一部について、他の構成の追加、削除、置換をすることが可能である。

【0226】

20

また、上記の各構成、機能、処理部、処理手段等は、それらの一部又は全部を、例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現してもよい。また、上記の各構成、機能等は、プロセッサがそれぞれの機能を実現するプログラムを解釈し、実行することによりソフトウェアで実現してもよい。各機能を実現するプログラム、テーブル、ファイル等の情報は、メモリや、ハードディスク、SSD(Solid State Drive)等の記憶装置、または、ICカード、SDカード、DVD等の記録媒体に置くことができる。

【0227】

また、制御線や情報線は説明上必要と考えられるものを示しており、製品上必ずしも全ての制御線や情報線を示しているとは限らない。実際には殆ど全ての構成が相互に接続されていると考えてもよい。

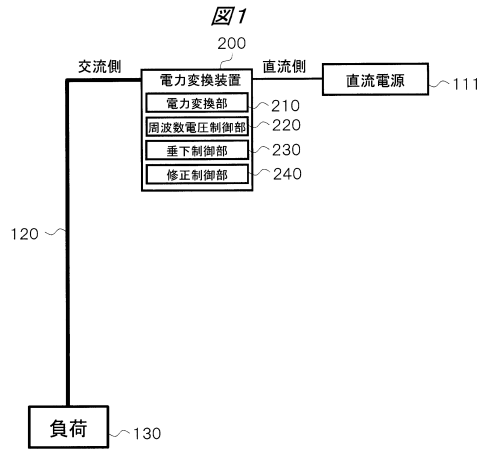
30

【符号の説明】

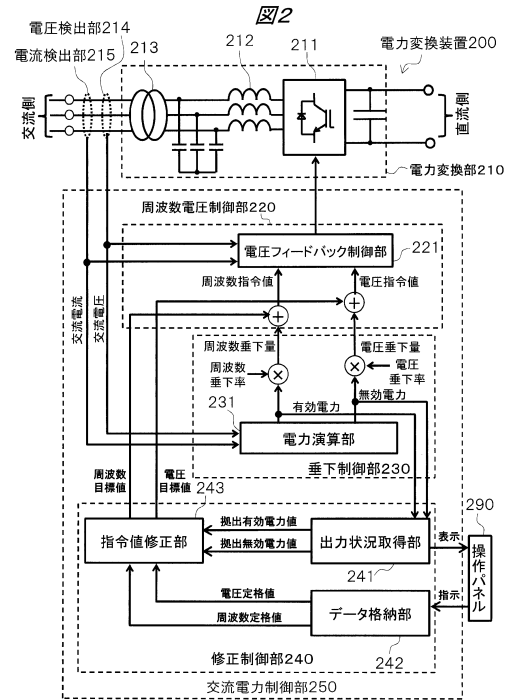
【0228】

110...直流電力、120...交流電力線、200...電力変換装置、210...電力変換部、220...周波数電圧制御部、230...垂下制御部、240...修正制御部、243...指令値修正部、300...電力変換装置、340...修正制御部、343...指令値修正部、400...電力変換装置、440...修正制御部、443...指令値修正部

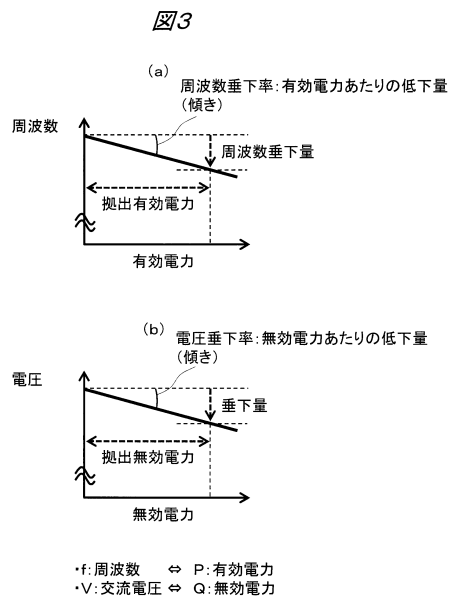
【図 1】



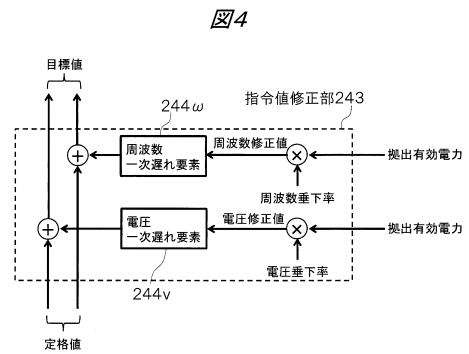
【図 2】



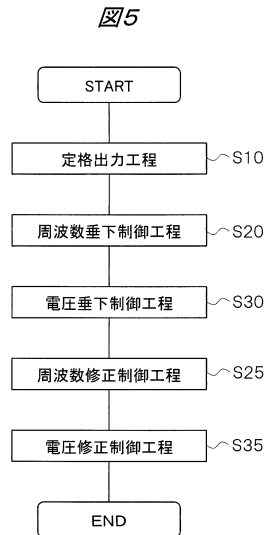
【図 3】



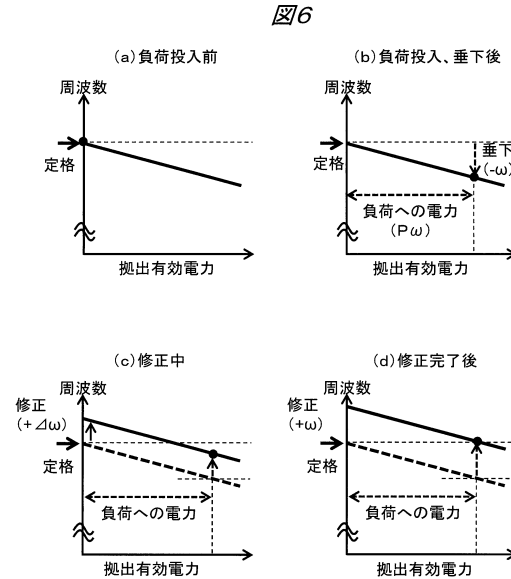
【図 4】



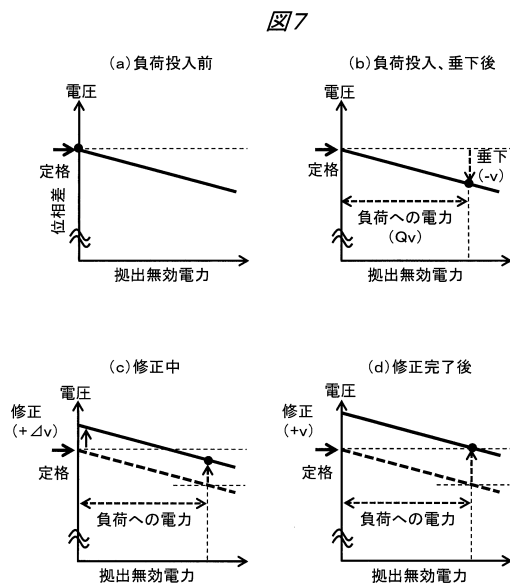
【図 5】



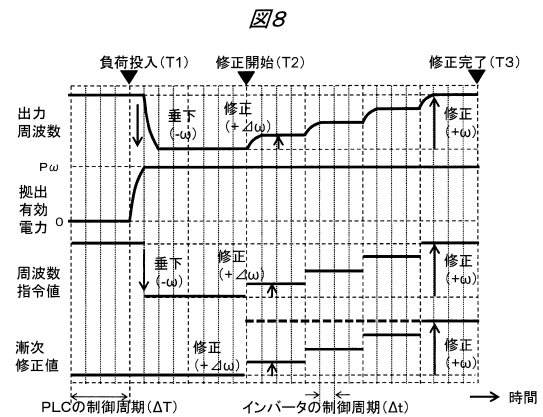
【図 6】



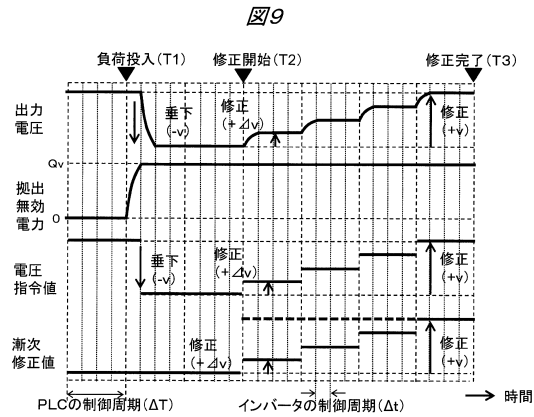
【図 7】



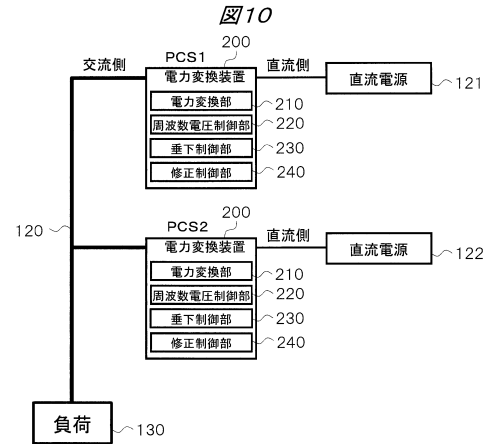
【図 8】



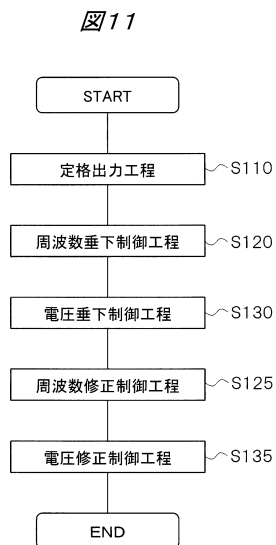
【図 9】



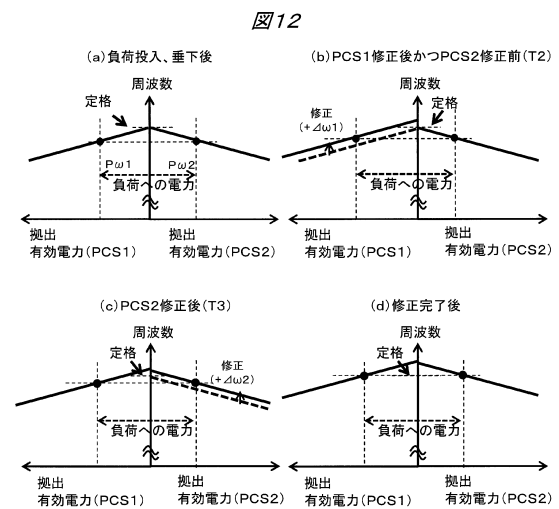
【図 10】



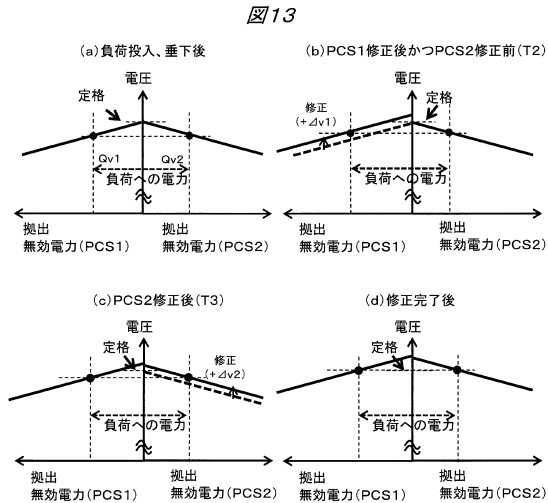
【図 11】



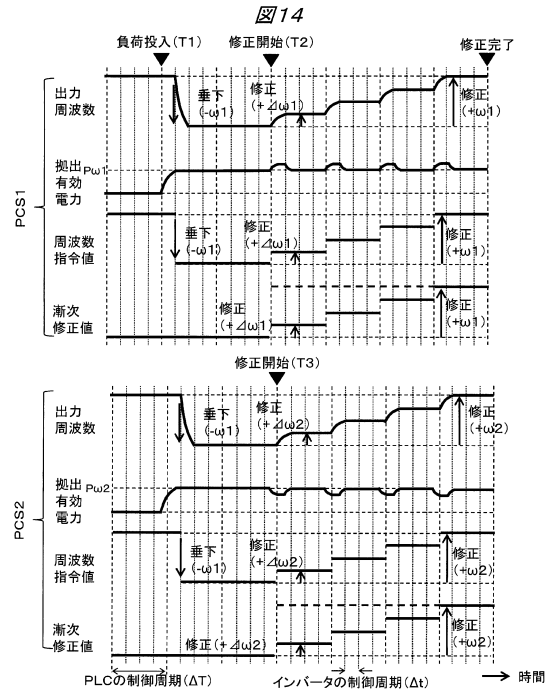
【図 12】



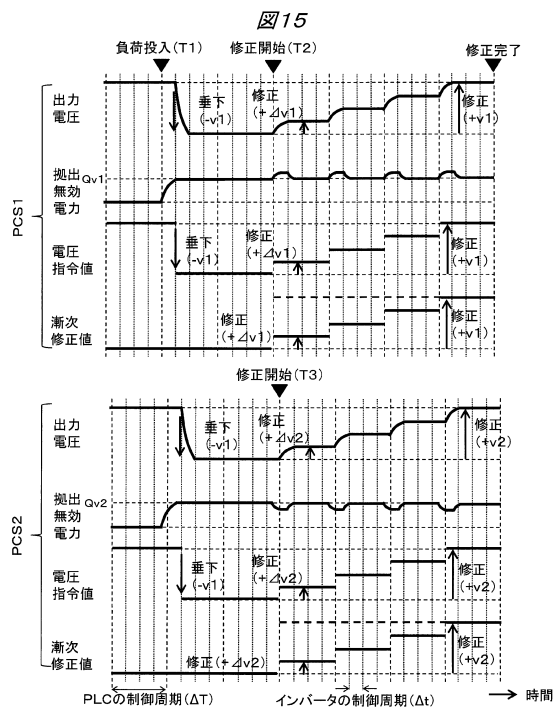
【 図 1 3 】



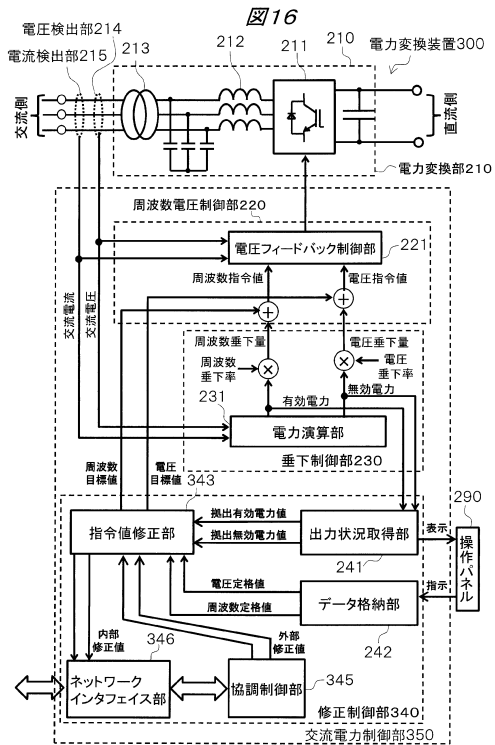
【 図 1 4 】



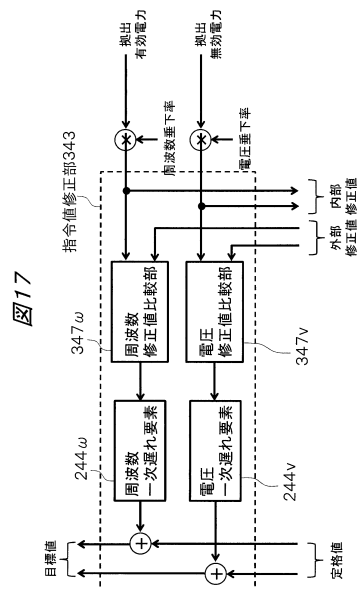
【 図 1 5 】



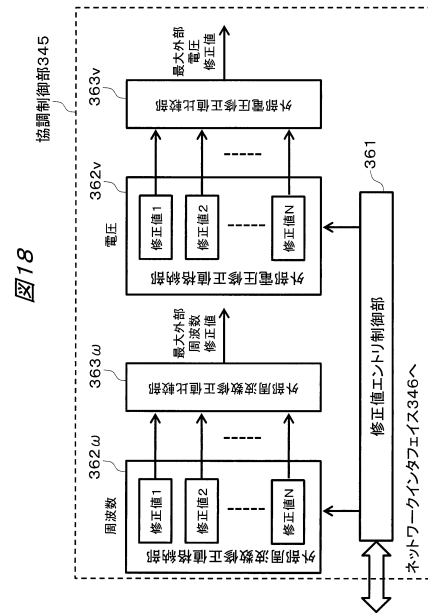
【 図 1 6 】



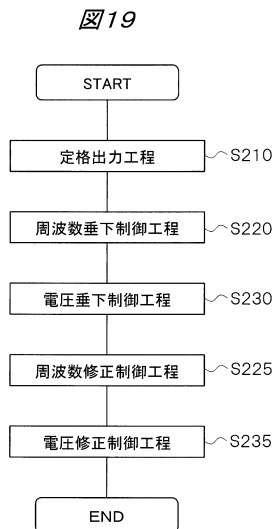
【図 17】



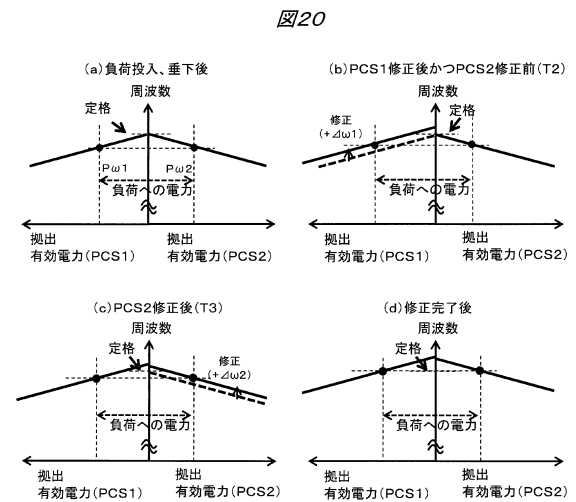
【図 18】



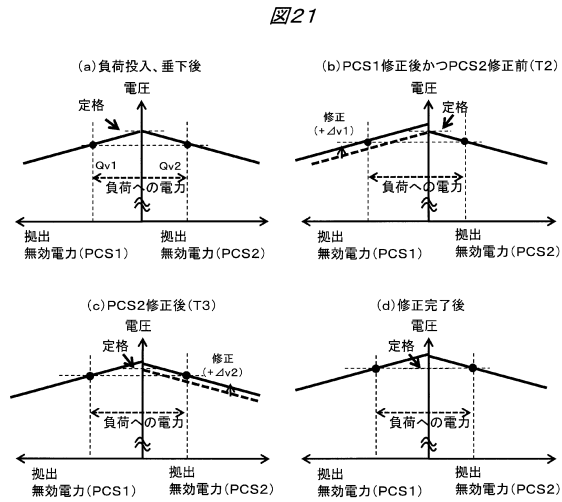
【図 19】



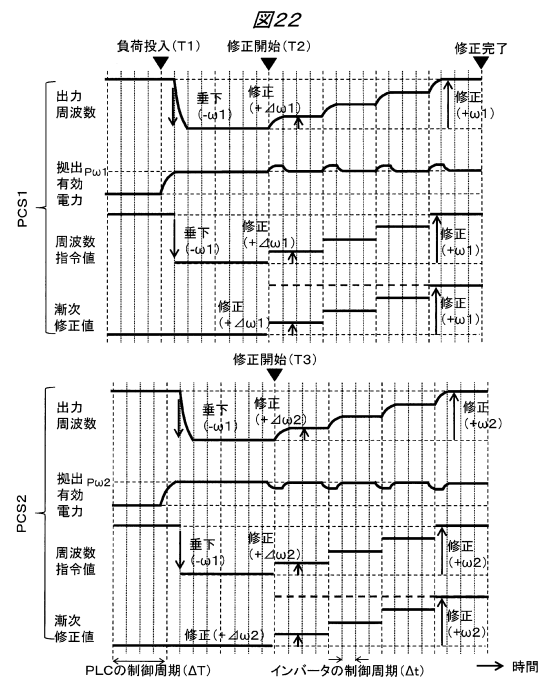
【図 20】



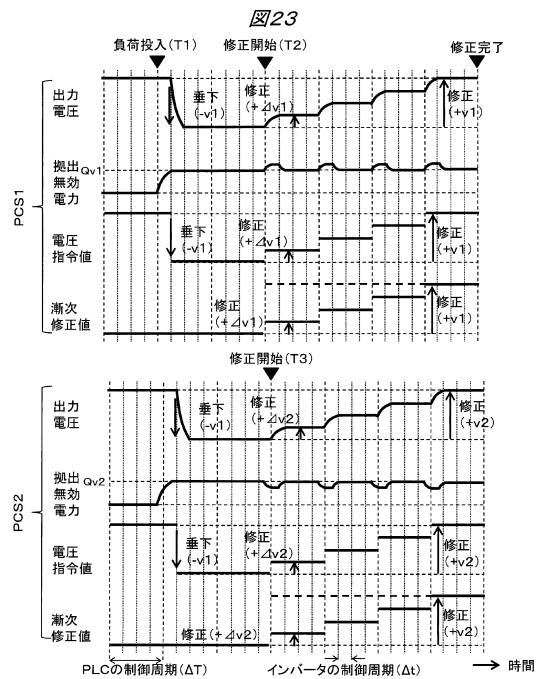
【図 2 1】



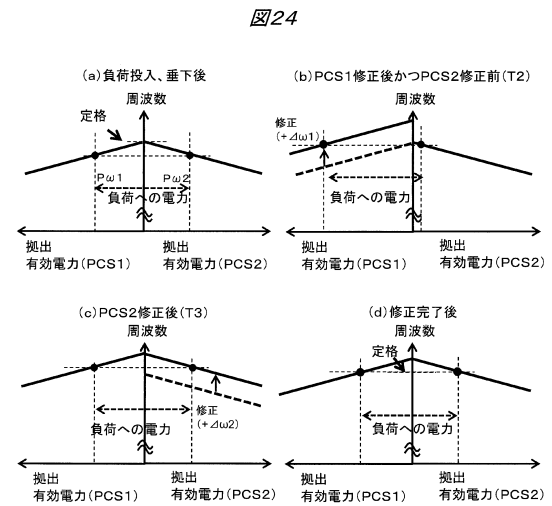
【図 2 2】



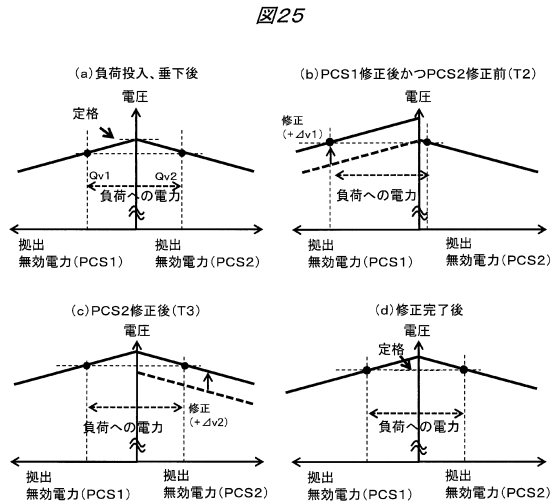
【図 2 3】



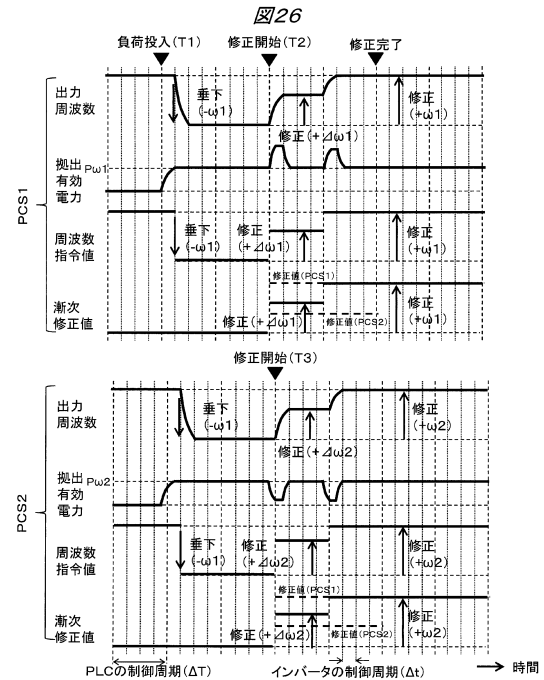
【図 2 4】



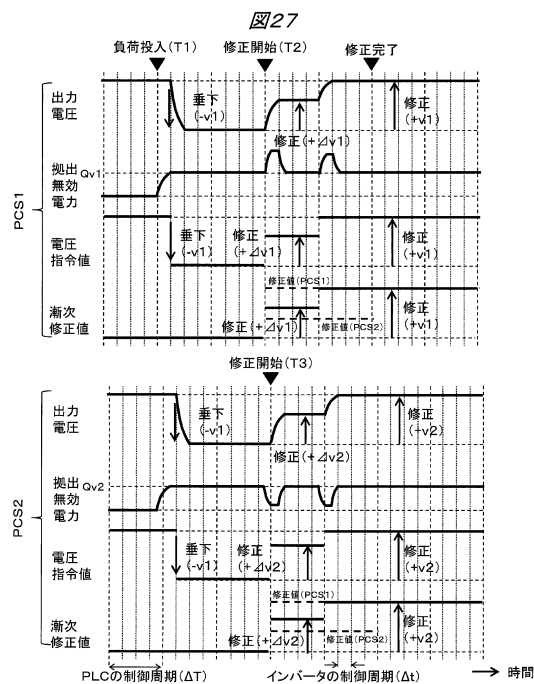
【図 25】



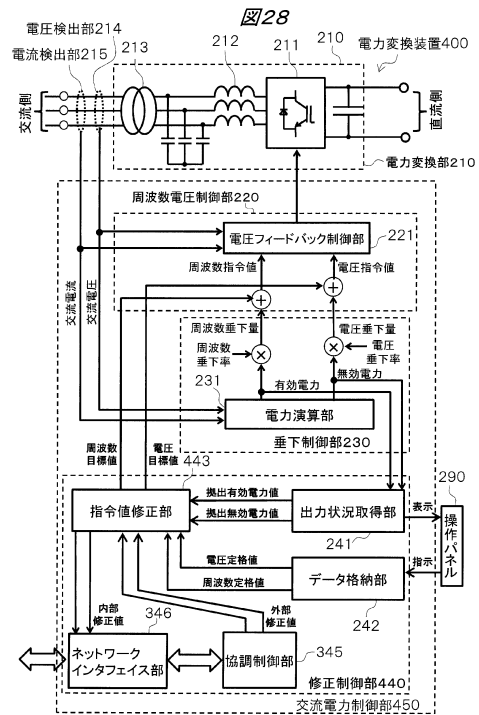
【図 26】



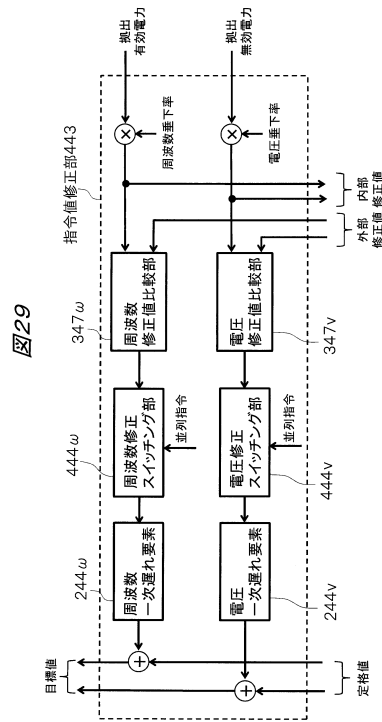
【図 27】



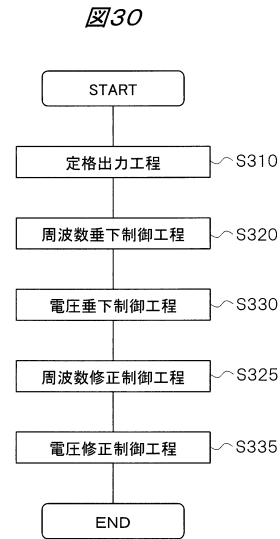
【図 28】



【図 29】

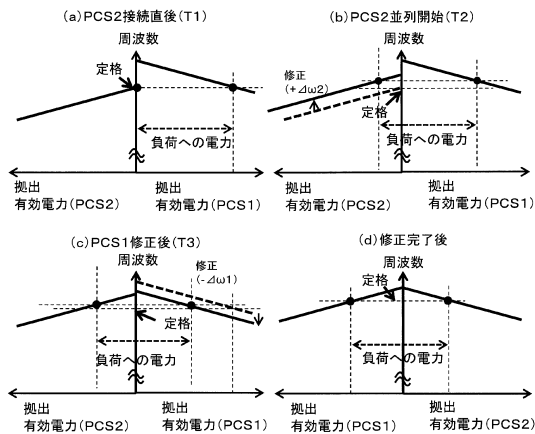


【図 30】



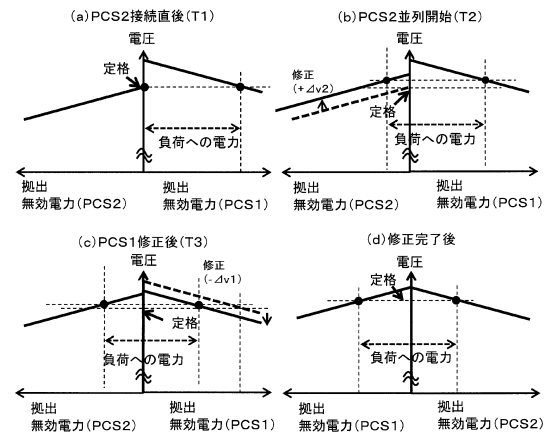
【図 31】

図31

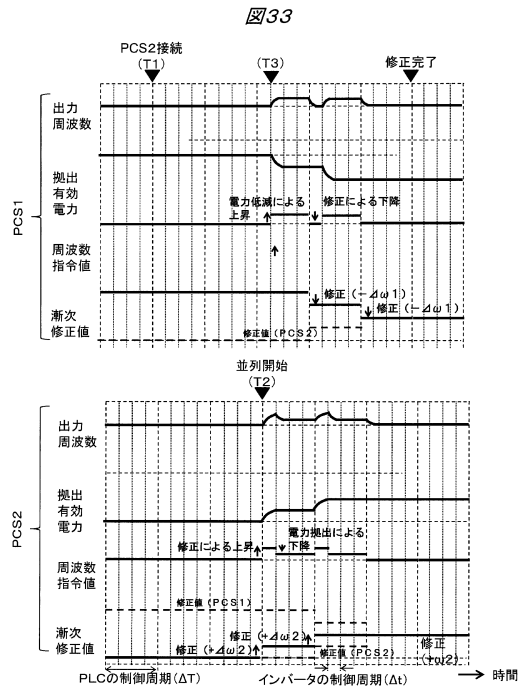


【図 32】

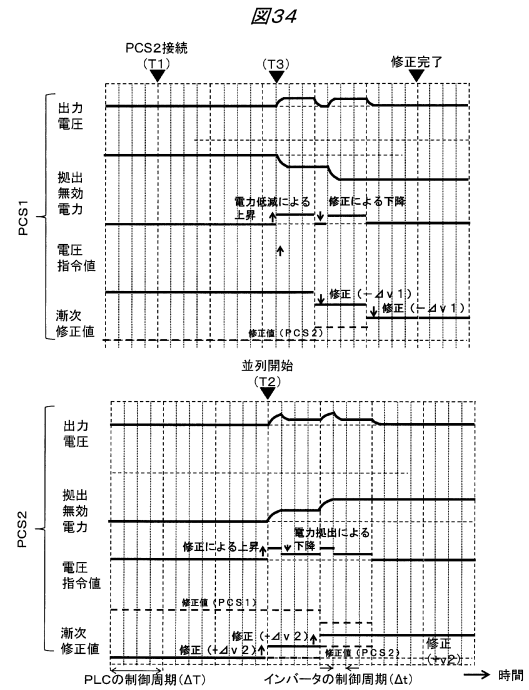
図32



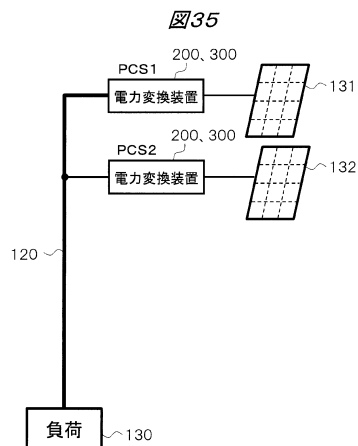
【図 33】



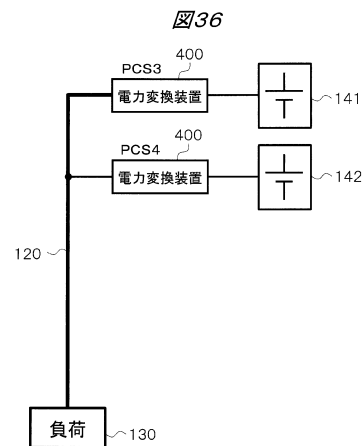
【図 34】



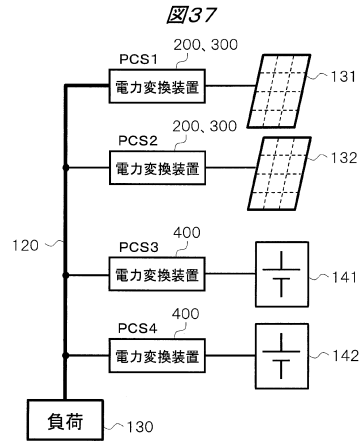
【図 35】



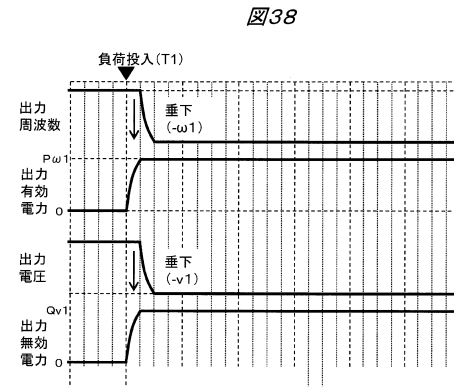
【図 36】



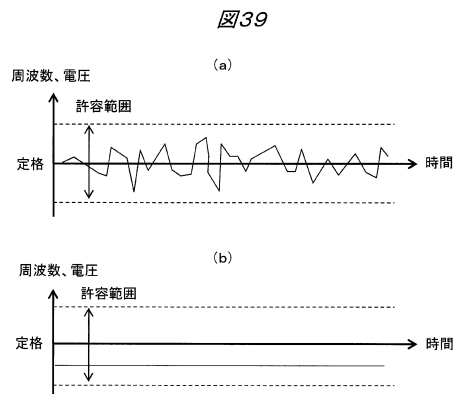
【図 37】



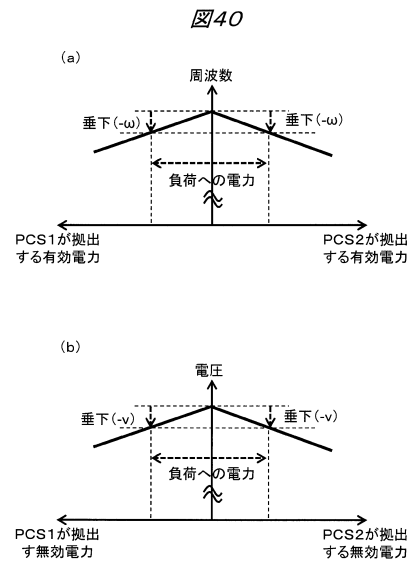
【図 38】



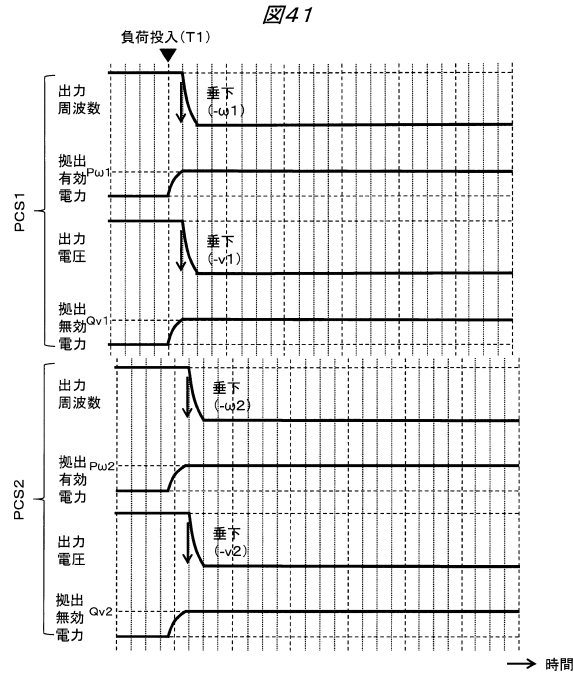
【図 39】



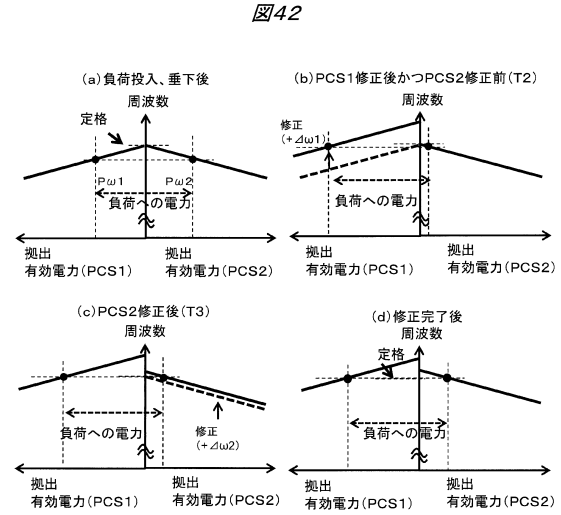
【図 40】



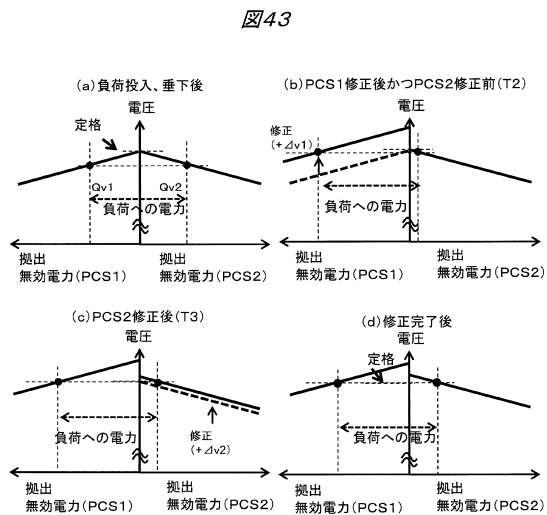
【図 4 1】



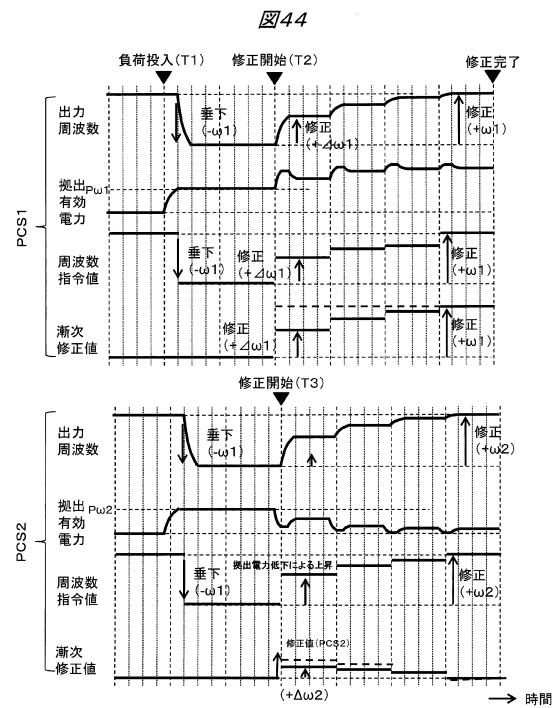
【図 4 2】



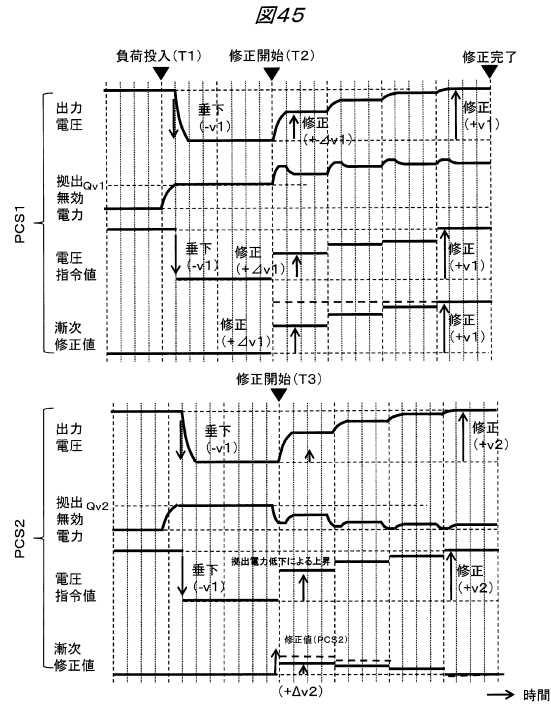
【図 4 3】



【図 4 4】



【図 45】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2014/103192(WO,A1)

特開2001-016785(JP,A)

国際公開第2015/050093(WO,A1)

LIU Ting et al., A novel droop control strategy to share power equally and limit voltage deviation, 8th International Conference on Power Electronics- ECCE Asia, 2011年, p.1520-1523, URL, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5944495>

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02M 7/42 - 7/98

H02J 3/38

H02J 3/46