

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4763676号  
(P4763676)

(45) 発行日 平成23年8月31日(2011.8.31)

(24) 登録日 平成23年6月17日(2011.6.17)

(51) Int.Cl.	F I
<b>H02J 3/16 (2006.01)</b>	H02J 3/16
<b>H02J 3/38 (2006.01)</b>	H02J 3/38 C
<b>H02M 7/48 (2007.01)</b>	H02M 7/48 R

請求項の数 10 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2007-336326 (P2007-336326)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成19年12月27日(2007.12.27)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2009-159754 (P2009-159754A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成21年7月16日(2009.7.16)	(74) 代理人	110000350
審査請求日	平成21年11月20日(2009.11.20)		ポレール特許業務法人
(出願人による申告)平成19年度独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究 北杜サイトにおける大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願		(72) 発明者	内山 倫行
			茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社日立製作所 電力・電機開発研究所 内
		(72) 発明者	大野 康則
			茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社日立製作所 電力・電機開発研究所 内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 太陽光発電システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

太陽電池パネルの出力を制御する電力変換器及びその制御器で構成され、電力変換器の発電出力の有効電力Pと無効電力Qの比を表す制御パラメータを調整して電圧変動を抑制する機能を有する複数の太陽光発電装置を母線に接続し、該母線から変圧器、連系用遮断器を介して電力系統の連系点に連系してなる太陽光発電システムにおいて、

前記制御器に、前記母線から前記連系点に流れる太陽光発電システムの合成出力電流と、太陽光発電システムと電力系統の連系点の電圧と、前記電力変換器の出力電圧および出力電流を用いて電圧変動を抑制するための電力量を演算する電力補償量演算器を設けたことを特徴とする太陽光発電システム。

【請求項2】

請求項1に記載の太陽光発電システムにおいて、

前記電力補償量演算器に、太陽光発電システムの合成出力電流の検出値Iと前記電力変換器の出力電圧の検出値V<sub>i</sub>を用いて電力系統との連系点電圧V<sub>s</sub>を推定する手段を設けたことを特徴とする太陽光発電システム。

【請求項3】

請求項1に記載の太陽光発電システムにおいて、

前記電力補償量演算器で、太陽光発電システムの合成発電出力の有効電力Pの変動分と連系点電圧V<sub>s</sub>の変動分の積にもとづいて算出した制御パラメータと、前記太陽光発電装置から出力される有効電力P<sub>i</sub>を用いて電圧変動を最小化する無効電力指令値Q<sub>i</sub>を算出

する際に、前記合成発電出力の有効電力  $P$  の変動分の検出に不感帯を設けたことを特徴とする太陽光発電システム。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の太陽光発電システムにおいて、

前記電力補償量演算器に、前記合成発電出力の有効電力  $P$  の変動分が閾値以下となる状態が所定時間以上継続した場合に、有効電力  $P$  の変動分に基づく当該太陽光発電装置の変動指令  $P_i$  を前記電力変換器に伝送し、前記有効電力  $P$  の変動分と連系点電圧  $V_s$  の変動分の積にもとづいて算出した制御パラメータ の変化量が閾値以下となった場合に変動指令  $P_i$  を停止する手段を設けたことを特徴とする太陽光発電システム。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の太陽光発電システムにおいて、

前記電力補償量演算器に、請求項 3 記載の不感帯および請求項 4 記載の手段を設けたことを特徴とする太陽光発電システム。

【請求項 6】

太陽電池パネルの出力を制御する電力変換器及びその制御器で構成され、電力変換器の発電出力の有効電力  $P$  と無効電力  $Q$  の比を表す制御パラメータ を調整して電圧変動を抑制する機能を有する複数の太陽光発電装置を母線に接続し、該母線から変圧器、連系用遮断器を介して電力系統の連系点に連系してなる太陽光発電システムにおいて、

前記母線から前記連系点に流れる前記太陽光発電システムの合成出力電流と、電力系統の連系点の電圧と、前記太陽光発電装置の電力変換器の出力電圧および出力電流を検出する手段を有し、

前記制御器に、太陽光発電システムの合成出力電流と、太陽光発電システムと電力系統の連系点の電圧と、前記電力変換器の出力電圧および出力電流を用いて電圧変動を抑制するための電力量を演算する電力補償量演算器を設け、

前記電力補償量演算器は、太陽光発電システムの合成発電出力の有効電力  $P$  の変動分と連系点電圧  $V_s$  の変動分の積にもとづいて算出した制御パラメータ と、当該太陽光発電装置から出力される有効電力  $P_i$  を用いて電圧変動を最小化する無効電力指令値を算出する際に、前記有効電力  $P$  の変動分の検出に不感帯を設け、

および / または、前記電力補償量演算器は、前記有効電力  $P$  の変動分が閾値以下となる状態が所定時間以上継続した場合に有効電力  $P$  の変動指令を前記電力変換器の電力制御器に伝送し、算出した制御パラメータ の変化量が閾値以下となった場合に有効電力の変動指令を停止する手段を設けたことを特徴とする太陽光発電システム。

【請求項 7】

太陽電池パネルの出力を制御する電力変換器及びその制御器で構成され、電力変換器の発電出力の有効電力  $P$  と無効電力  $Q$  の比を表す制御パラメータ を調整して電圧変動を抑制する機能を有する複数の太陽光発電装置を母線に接続し、該母線から変圧器、連系用遮断器を介して電力系統の連系点に連系してなる太陽光発電システムにおいて、

前記母線から前記連系点に流れる太陽光発電システムの合成出力電流  $I$  と電力系統との連系点電圧  $V_s$  を検出する手段を有し、それら検出値を用いて制御パラメータ を算出し、この を複数の太陽光発電装置の電力変換器に指令するための電力補償量制御器を設けたことを特徴とする太陽光発電システム。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の太陽光発電システムにおいて、

前記電力補償量制御器で、前記太陽光発電システムの合成発電出力の有効電力の変動分と連系点電圧の変動分の積にもとづいて制御パラメータ を算出する際に、前記有効電力の変動分の検出に不感帯を設けたことを特徴とする太陽光発電システム。

【請求項 9】

請求項 7 に記載の太陽光発電システムにおいて、

前記電力補償量制御器は、前記有効電力の変動分が閾値以下となる状態が所定時間以上継続した場合に、有効電力の変動指令を前記電力変換器の電力制御器に伝送し、算出した

10

20

30

40

50

制御パラメータ の変化量が閾値以下となった場合に有効電力の変動指令を停止する手段を設けたことを特徴とする太陽光発電システム。

【請求項 10】

請求項 7 に記載の太陽光発電システムにおいて、

前記電力補償量制御器は、請求項 8 記載の不寒帯および請求項 9 記載の手段を設けたことを特徴とする太陽光発電システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数の太陽光発電装置群からなる太陽光発電システムが連系される電力系統の電力品質に係わり、太陽光発電システムの構成及び制御方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

地球温暖化の原因と考えられている二酸化炭素排出量の削減が大きな課題になり、二酸化炭素排出量削減の手段の一つとして、風力発電や太陽光発電などの自然エネルギーを利用した分散型電源の導入が盛んになってきている。分散型電源は電力系統に連系されて用いられることが多いが、風速や日射量の変動により発電出力が変動するため、電力系統に大量に連系された場合には電力系統の電圧や周波数に影響を及ぼすことが懸念されている。

【0003】

20

電力変換器を介して電力系統に連系された風力発電機の電圧変動を抑制する方法として、特許文献 1 では、電力変換器の発電出力の有効電力  $P$  と無効電力  $Q$  の比を表す制御パラメータ を調整し、発電出力の有効電力に応じた無効電力を出力することで発電出力の変動に起因する電圧変動を抑制する方法が開示されている。具体的には、風力発電機と電力系統との連系点の電圧の変動分と発電出力の有効電力の変動分の積を用いて、電圧変動を最小化するための最適な制御パラメータ を探索するという方法である。一般に、この制御パラメータ は連系点からみた電力系統側の合成インピーダンスの抵抗分とリアクタンス分の比  $R/X$  に一致させることで電圧変動を最小化できることが知られている。

【0004】

さらに、非特許文献 1 では、上記方法において風力発電機の発電出力の有効電力の変動分をその極性に依拠して符号化して を探索する処理方法が開示されている。

30

【0005】

【特許文献 1】特開 2007 - 124779 号公報

【非特許文献 1】平成 19 年電気学会全国大会，No.4 - 082

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

風力発電は、効率化のために複数の風力発電機からなる風力発電機群、あるいはウィンドファームとして用いられることが多くなっている。一方、最近では太陽光発電についても大規模化の動きがあり、送発電出力が数 MW 級のいわゆるメガソーラシステムについて検討がなされている。これらの大規模な太陽光発電システムにおいても、風力発電と同様に、日射量の変化に伴う出力変動およびそれに起因する連系点の電圧変動が発生する。

40

【0007】

太陽光発電システムを大規模化する場合、太陽電池パネルを定格容量数 10 kW から数 100 kW の複数の電力変換器に接続し、さらにこれら電力変換器の出力を接続して電力系統に連系する構成とするのが一般的である。ここで、大規模システムの場合、太陽電池パネルの設置面積が広くなるため、各電力変換器に接続される太陽電池パネルが受ける日射量変化に時間遅れが生じることが考えられ、結果的に各電力変換器から出力される発電出力の変動成分の位相が異なる可能性がある。電力系統との連系点で発生する電圧変動は太陽光発電システム全体で合成された出力変動に依存するが、上述の位相遅れの影響で太陽光発

50

電システム全体の出力変動と各電力変換器の出力変動の増減の様相が異なる場合、上記の公知技術を適用すると複数の電力変換器において電圧変動を抑制するための制御が干渉する可能性がある（課題１）。

【０００８】

また、上記の公知技術を太陽光発電システムに適用する場合は、風力発電と太陽光発電における出力変動の発生形態の違いが問題となる。風力発電の場合は天候に起因する風速変動による生じる出力変動に加えて、タービンブレードが支柱を横切る際に発生する風速変動によっても出力変動が発生するため、比較的周期性の高い出力変動特性となる。これに対し、太陽光発電の場合には発電出力の変動は基本的には日射量の変化にのみ依存するため、天気によっては出力変動が発生しない場合、あるいは微小な出力変動が発生する時間帯が長く続く場合や、雲の流れ等により突発的かつ非周期的に大きな出力変動が発生する場合がある。

10

【０００９】

これらの場合、上記の公知技術のように、電力系統との連系点の電圧の変動分と発電出力の有効電力の変動分の符号（＋１あるいは－１）の積を用いて最適な制御パラメータを探索する方法では、微小な発電出力の変動が符号化されることによって制御パラメータが不要に補正されて最適値から外れてしまう可能性がある（課題２）。

【００１０】

また、発電出力に変動が発生しない状態が長時間継続している間に系統構成の変更等により合成インピーダンスが変化すると、制御パラメータの最適値が変化してしまうことがある。上記の公知技術では発電出力が変動しなければ制御パラメータ値は補正されないため、最適値から外れた状態が継続し、再び最適値に収束するまでに時間を要する可能性がある（課題３）。

20

【００１１】

本発明の目的は、以上の問題点に鑑みてなされたもので、太陽光発電システムの出力変動により生じる電圧変動を、他の補償装置を用いず、太陽光発電システムの構成要素の一つである複数の電力変換器の無効電力制御により、干渉を防止しながら安定に抑制することのできる太陽光発電システムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【００１２】

上記目的を達成する本発明の太陽光発電システムは、概ね以下の構成を特徴とする。

30

【００１３】

太陽光発電システムを大規模化する際の制御の干渉に関する課題１に対しては、各太陽光発電装置の制御器に、複数の太陽光発電装置の合成出力電流と、各太陽光発電装置の電力変換器の出力電圧および出力電流と、電力系統との連系点の電圧を用いて電圧変動を抑制するための電力量を演算する電力補償量演算器を設けるようにした。

【００１４】

制御パラメータの不要補正に関する課題２に対しては、前記の電力補償量演算器に、複数の太陽光発電装置の合成発電出力の有効電力の変動分と連系点電圧の変動分の積にもとづいて算出した前記制御パラメータと、各太陽光発電装置の有効電力を用いて電圧変動を最小化する無効電力指令値を算出する際に、合成発電出力の有効電力の検出値に不感帯を設けた。

40

【００１５】

制御パラメータが最適値から外れた状態が継続するという課題３に対しては、前記の電力補償量演算器に、複数の太陽光発電装置の合成発電出力の有効電力の変動分が閾値以下となる状態が所定時間以上継続した場合に有効電力の変動指令を電力変換器の電力制御器に伝送し、複数の太陽光発電装置の合成発電出力の有効電力の変動分と連系点電圧の変動分の積にもとづいて算出した制御パラメータの変化量が閾値以下となった場合に変動指令を停止する手段を設けた。

【発明の効果】

50

## 【 0 0 1 6 】

本発明の太陽光発電システムによれば、合成出力電流の検出値を用いて算出した発電出力の有効電力の変動成分と、電力変換器の出力電圧の検出値から推定した連系点電圧を用いて算出した電圧の変動成分から、電圧変動を抑制するための電力補償量を演算するため、各電力変換器の発電出力に位相差がある場合でも干渉を発生させることなく、安定に電圧変動を抑制するための電力補償量を演算できる。よって、複数の電力変換器で構成された大規模な太陽光発電システムにおいて発電出力の変動により生じる電圧変動を抑制することが可能となる。

## 【 0 0 1 7 】

さらに、発電出力に変動がないか、あるいは微小な変動が発生する時間帯が続く場合においても、発電出力の有効電力の検出値に応じて電力変換器で能動的に微小な変動を発生させることで、発電出力の有効電力 $P$ と無効電力 $Q$ の比を表す制御パラメータが電圧変動を抑制するための最適値から不要に補正されたり、最適値への収束に時間を要したりする問題を克服することが可能となり、太陽光発電システムに好適な電圧変動抑制制御が可能となる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【 0 0 1 8 】

電力系統に接続される複数の電力変換器と太陽電池パネルからなる太陽光発電システムにおいて、発電出力の変動に起因する電圧変動を適切かつ安定に抑制するという目的を、特別な調整装置の設置を行うことなく実現した。

## 【 0 0 1 9 】

本発明の太陽光発電システムは、太陽電池パネルの出力を制御する電力変換器及びその制御器で構成され、電力変換器の発電出力の有効電力 $P$ と無効電力 $Q$ の比を表す制御パラメータを調整して電圧変動を抑制する機能を有する複数の太陽光発電装置を、電力系統に連系してなる。前記制御器には、太陽光発電システムの合成出力電流と、太陽光発電システムと電力系統の連系点の電圧と、前記電力変換器の出力電圧および出力電流を用いて電圧変動を抑制するための電力量を演算する電力補償量演算器を設ける。前記電力補償量演算器には、太陽光発電システムの合成出力電流の検出値 $I$ と前記電力変換器の出力電圧の検出値 $V_i$ を用いて電力系統との連系点電圧 $V_s$ を推定する手段を設ける。

## 【 0 0 2 0 】

前記電力補償量演算器で、太陽光発電システムの合成発電出力の有効電力 $P$ の変動分と連系点電圧 $V_s$ の変動分の積にもとづいて算出した制御パラメータと、前記太陽光発電装置から出力される有効電力 $P_i$ を用いて電圧変動を最小化する無効電力指令値 $Q_i$ を算出する際に、前記合成発電出力の有効電力 $P$ の変動分の検出に不感帯を設ける。また、前記電力補償量演算器に、前記合成発電出力の有効電力 $P$ の変動分が閾値以下となる状態が所定時間以上継続した場合に、有効電力 $P$ の変動分に基づく当該太陽光発電装置の変動指令 $P_i$ を前記電力変換器に伝送し、前記有効電力 $P$ の変動分と連系点電圧 $V_s$ の変動分の積にもとづいて算出した制御パラメータの変化量が閾値以下となった場合に変動指令 $P_i$ を停止する手段を設ける。

## 【 0 0 2 1 】

以下、本発明の複数の実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。

## 【実施例 1】

## 【 0 0 2 2 】

図 1 は、本発明の一実施形態による太陽光発電システムの概略構成図である。複数の太陽光発電装置 11 ~ 1*i* が、構内配線 5 および連系用変圧器 4 を介して電力系統の連系点 3 に接続されており、さらに連系線 2 を介して主幹系統 1 に連系されている。連系用変圧器 4 の低圧側には太陽光発電装置 11 ~ 1*i* の出力電流の合成値を検出するための電流検出器 6 が設置されている。

## 【 0 0 2 3 】

太陽光発電装置 11 は、主として太陽電池パネル 111、電力変換器 112、制御器 1

10

20

30

40

50

10, 電圧検出器 115, 電流検出器 116 で構成されている。制御器 110 は同図 (b) に示すように電力補償量演算器 113, 電力制御器 114 とで構成されている。電力補償量演算器 113 では電圧検出器 115 および電流検出器 116 から得られた出力端の電圧検出値  $V1$  および電流検出値  $I1$  と, 電流検出器 6 から得られた合成電流検出値  $I$  を用いて, 電圧変動を抑制するための電力補償量  $Q1^*$ ,  $P1^*$  を演算し, 電力制御器 114 に指令する。電力制御器 114 では, これらの電力補償量指令  $Q1^*$ ,  $P1^*$  と, 出力端の電圧検出値  $V1$  および電流検出器  $I1$  を用いて, 電力変換器 112 を制御するゲートパルス信号  $G1$  を出力する。

#### 【0024】

図 2 は, 実施例 1 の電力補償量演算器における具体的な制御ブロック図である。以下に処理の流れを説明する。電力補償量演算器 113 は, 電圧電流電力演算器 1131 において, 電力変換器 112 の出力端の電圧検出値  $V1$  および電流検出値  $I1$  と, 合成電流検出値  $I$  を用いて, 太陽光発電装置 11 の発電出力の有効電力  $P1$ , 太陽光発電装置 11 ~ 1i の合計発電出力の有効電力  $P$  と, 出力端の電圧および電流の  $dq$  軸成分を演算して出力する。電圧推定演算器 1132 では出力端の電圧および電流の  $dq$  軸成分を用いて連系点 3 の電圧の振幅  $Vs$  を算出する。変動検出器 1133, 1134 は電圧推定演算器 1132 で求められた電圧振幅値  $Vs$ , 合成発電出力の有効電力  $P$  を入力し, それぞれ電圧振幅の変動成分  $Vs$ , 有効電力  $P$  の変動成分  $P$  を抽出する。

#### 【0025】

変動検出器 1133, 1134 としては, 太陽光発電装置の出力変動の主要な周波数成分を抽出できるように時定数を調整したフィルタを適用する。変動検出器 1134 を構成するフィルタとしては, 例えば, 周期が数秒以下程度の高周波のノイズ成分 (日射量変化に依存しない変動成分) をカットするためのローパスフィルタと, 周期が数十秒程度以下の低周波の出力変動成分をカットするためのハイパスフィルタを組み合わせることで構成することができる。電圧に対する変動検出器 1133 は有効電力の変動と同じ周波数成分を抽出するため変動検出器 1134 と同じ特性になるようにフィルタの時定数を設定する必要がある。

#### 【0026】

抽出された有効電力の変動成分  $P$  は不感帯付符号器 1135 に入力され,  $P$  の変動の増減方向を表す符号信号に変換されたのち, 電圧変動成分  $Vs$  と積演算を行い, これを積分器 1136 で積分して制御パラメータ  $\alpha$  を得る。ここで,  $\alpha$  は電力変換器 112 から出力する有効電力  $P$  と無効電力  $Q$  の比を表すパラメータであり, 上記の処理により,  $\alpha$  の値を電圧変動を最小化するための最適値, すなわち連系点からみた電力系統側の合成インピーダンスの抵抗分とリアクタンス分の比  $R/X$  に収束させることができる。

#### 【0027】

制御パラメータ  $\alpha$  と, 電圧電流電力演算器 1131 で算出された太陽光発電装置 11 の発電出力の有効電力  $P1$  を無効電力補償量演算器 1137 に入力し, 両者の積  $\alpha \cdot P1$  として電力制御器 114 に指令する無効電力補償量  $Q1^*$  を得る。また, 有効電力変動発生器 1138 では, 有効電力の変動成分  $P$  と制御パラメータ  $\alpha$  を用いて有効電力の変動量  $P1^*$  を算出し, 電力制御器 114 に指令する。電力制御器 114 では, 無効電力指令  $Q1^*$ , 有効電力変動指令  $P1^*$ , 電圧検出器 115 で検出した電圧  $V1$ , 電流検出器 116 で検出した電流  $I1$  を用いて, ゲートパルス信号  $G1$  を生成し電力変換器 112 によりその出力電力を制御する。

#### 【0028】

次に, 電圧電流電力演算器 1131 での具体的な演算方法について説明する。電力変換器 112 の出力端の有効電力  $P1$  及び太陽光発電装置 11 ~ 1i の合成発電出力の有効電力  $P$  は, 例えば, 太陽光発電装置 11 においては, 式 (1) 及び式 (2) を用いて求められる。

$$P1 = I1d \times V1d + I1q \times V1q \quad \dots (1)$$

$$P = Id \times V1d + Iq \times V1q \quad \dots (2)$$

ここで,  $I1d$  および  $I1q$  は, 電流検出器 116 で検出した 3 相の電流検出値  $I1$

10

20

30

40

50

を回転座標変換等で座標変換した d 軸成分及び q 軸成分である。同様に、V1d 及び V1q は、電圧検出器 115 で検出した 3 相の電圧検出値 V1 を回転座標変換等で変換した d 軸成分及び q 軸成分である。また、Id、Iq は電流検出器 6 で検出した 3 相の合成電流検出値 I を回転座標変換等で座標変換した d 軸成分及び q 軸成分である。

【0029】

電圧電流電力演算器 1131 の中には、位相検出器（図示せず）があり、この位相検出器は、系統電圧の U 相に追従する位相信号  $\cos(\omega t)$ 、 $\sin(\omega t)$  を検出する。位相信号  $\cos(\omega t)$  が系統の U 相に一致している場合、Id、Iq、Vd、Vq は式 (3)、式 (4) にて計算される。

【0030】

【数 1】

$$\begin{pmatrix} Id \\ Iq \end{pmatrix} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} \cos\omega t & \sin\omega t \\ -\sin\omega t & \cos\omega t \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -0.5 & -0.5 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Iu \\ Iv \\ Iw \end{pmatrix} \quad \dots (3)$$

【0031】

【数 2】

$$\begin{pmatrix} Vd \\ Vq \end{pmatrix} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} \cos\omega t & \sin\omega t \\ -\sin\omega t & \cos\omega t \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -0.5 & -0.5 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Vu \\ Vv \\ Vw \end{pmatrix} \quad \dots (4)$$

【0032】

ここで、Iu、Iv、Iw は電流検出器 116 により検出した 3 相の電流の U 相、V 相、W 相成分である。また、Vu、Vv、Vw は、電圧検出器 115 により検出した 3 相電圧の U 相、V 相、W 相成分である。

【0033】

次に、連系点電圧の振幅 Vs の推定方法について説明する。連系点電圧 Vs と各太陽光発電装置の接続点の電圧 V1 ~ Vi は構内配線や連系用変圧器のインピーダンスの影響で異なるのが一般的である。太陽光発電装置 11 ~ 1i の出力変動により生じる電圧変動を抑制すべき位置は系統連系点 3 であり、この位置の電圧値を用いて制御を行う必要がある。連系点 3 の電圧を直接検出して変動抑制制御を行う方法も考えられるが、検出器等の付帯設備の追加が必要になる。また、連系点 3 と太陽光発電装置 11 ~ 1i の設置距離が長くなると、検出値を伝送するための通信設備が必要になることも考えられ、この場合、通信設備で要する処理時間によって電圧変動抑制制御の制御応答性が低下することも懸念される。ここでは、以下に示すように連系端電圧を推定する。

【0034】

図 3 は連系端電圧推定演算器の構成図を示す。太陽光発電装置 11 ~ 1i の出力端電圧の検出値 V1 ~ Vi、および合成出力電流の検出値 I、構内配線 5 および連系用変圧器 4 のインピーダンス値を用いて連系点 3 の電圧振幅 Vs を推定する。連系点 3 の電圧ベクトル Vs は、太陽光発電装置 11 ~ 1i の接続点の電圧ベクトル Vpcs、合成出力電流ベクトル I、および構内設備のインピーダンス Zc を用いて式 (5) で表される。

$$Vs = Vpcs - Zc \times I \quad \dots (5)$$

ここで、太陽光発電装置 11 ~ 1i の電力変換器 112 ~ 1i2 は互いに近接して設置されるため、これらの接続点の電圧ベクトル Vpcs は各電力変換器の出力端電圧 V1 ~ Vi に等しい。よって、式 (3) において Vpcs = V1 とおくと、太陽光発電装置 11 における連系点電圧 Vs の推定式として式 (6) を得る。

$$Vs = V1 - Zc \times I \quad \dots (6)$$

式 (4) を展開すると、連系点電圧ベクトル Vs の d 軸成分、q 軸成分、および振幅値

10

20

30

40

50

$V_s$  は式 (7) ~ 式 (9) により求められる。

$$V_{sd} = V_{1d} - R_c \times I_d + X_c \times I_q \quad \dots (7)$$

$$V_{sq} = V_{1q} - R_c \times I_q - X_c \times I_d \quad \dots (8)$$

$$V_s = (V_{sd}^2 + V_{sq}^2)^{1/2} \quad \dots (9)$$

変動検出器 1133, 1134 から積分器 1136 までの処理により, 制御パラメータを算出する方法の基本的な考え方は, 公知技術として記載した特許文献 1 の内容と同様である。但し, 発電出力の有効電力として, 電力変換器 112 の有効電力出力  $P_1$  ではなく, 太陽光発電装置 11 ~ 1i の合成出力の有効電力  $P$  を用いている点が異なっている。ここで, 合成出力の有効電力  $P$  を用いた理由は次の通りである。

【0035】

大規模なシステムの場合, 太陽電池パネルの設置面積が広くなるため, 各電力変換器に接続される太陽電池パネルが受ける日射量変化に時間遅れが生じることが考えられ, 電力変換器によって発電出力の変動成分の位相が異なる可能性がある。連系点 3 で発生する電圧変動は太陽光発電システム全体の出力変動に依存するが, システム全体の出力変動と各電力変換器の出力変動の位相が異なる場合, 各電力変換器の制御器でそれぞれ自身の有効電力を用いて無効電力補償量の指令値  $Q_1^* \sim Q_i^*$  を求めているのでは, 電圧変動を抑制するための制御に干渉が発生し, 過補償または補償不足となる可能性がある。

【0036】

また, 特許文献 1 の記載とその他の相違点として, 符号器 1135 に不感帯を設けたことが挙げられる。

【0037】

図 4 は, 本発明の実施例 1 における不感帯付き符号器 1135 の動作を説明する図である。図 2 の制御ブロックにおいて, 検出された電圧の変動成分  $V_s$  が小さくても, 有効電力の変動成分  $P$  が大きければその積 ( $V_s \cdot P$ ) は大きな値となり, その積分値である制御パラメータの値が大きく変化することが考えられる。本来の目的は電圧変動の抑制であり, 電圧の変動成分  $V$  が小さいときは制御パラメータの値を補正する必要がない。よって, 非特許文献 1 では, 有効電力の変動成分  $P$  は増減の方向だけを表すように符号化し, 制御パラメータの補正量を ( $V_s \cdot P_{SIGN}$ ) として電圧の変動成分  $V_s$  の値で調整するようにしている。

【0038】

風力発電ならばタワーシャドウ効果等により定常的に出力変動が発生しているため, 非特許文献 1 の方法で問題ないが, 太陽光発電の場合には, 図 4 (a) の (2) に示すように, 日射量の変動の関係で検出される有効電力の変動成分  $P$  が微小に変動する状態が継続する可能性がある。この場合, 微小な変動成分が図 4 (a) の (3) のように符号化することによって不要に拡大されてしまい, 図 4 (a) の (4) (5) に示したように, かって制御パラメータの値を不要に補正してしまう可能性が懸念される。

【0039】

本実施例の不感帯付き符号器 1135 では, 図 4 (b) の (2) に示すように有効電力の変動成分  $P$  に適切に不感帯を設定しておく。これにより, 図 4 (b) の (3) に示したようにノイズに近い成分はカットされて符号化されず  $P_{SIGN}$  は零となり, 図 4 (b) の (4) (5) に示したように制御パラメータに不要な補正動作が発生しない。

【0040】

次に, 本発明の実施例 1 で能動的に有効電力を発生させるための概念について説明する。図 5 は能動的に有効電力を発生させるときの概念図である。太陽光発電の場合, 図 5 (a) のように晴天の時などに長時間にわたって発電出力の有効電力  $P$  が変動しない場合が考えられる。この間, 太陽光発電システムが連系している電力系統で供給ルート変更等 (3) が実施され, 連系点 3 からみた系統側の合成インピーダンスが変化したとする。すると, 出力変動が発生していないため制御パラメータは電圧変動を最小化するための最適値 (点線) から外れることになる。太陽光発電システムに出力変動が生じない限りは, 制御パラメータが最適値から外れていても出力変動に起因する電圧変動は発生しない。し

10

20

30

40

50



かし、図5(b)に示したように日射量が変化して発電出力に大きな変動が発生すると(1)、大きな電圧変動(2)が発生する可能性がある。この場合も発生した電圧変動と出力変動の関係から制御パラメータは徐々に最適値に近づくように補正されるが、その間、大きな電圧変動の発生が継続する点が懸念される。

#### 【0041】

そこで本実施例では、この問題を解消するために、図5(b)のように太陽光発電装置の各電力変換器から能動的に有効電力出力Pに微少な変動を発生させ(1)、電力系統の条件変化に常に追従しながら制御パラメータを最適値に保つ(3)ように、図2の制御ブロックに有効電力変動発生器1138を設けた。これによって、図5(b)に示したように、日射量が変化して発電出力に大きな変動が発生しても、が最適値に保たれているため大きな電圧変動が発生することはない。

10

#### 【0042】

図6は、実施例1において能動的に有効電力の変動を発生させる場合の処理フローである。本処理内容は全ての太陽光発電装置11~1iの電力補償量演算器113~1i3で共通であるが、以下に電力補償量演算器113の場合を例に説明する。

#### 【0043】

まず、処理S1では太陽光発電装置11~1iの合成出力の変動成分Pを用いて、能動的な変動指令を発生させるか否かの判定を行う。例えば、有効電力の変動成分Pが予め定めたしきい値以下となる状態が連続して所定時間以上継続した場合に発生させると判定し、次の処理へ進む。

20

#### 【0044】

次に処理S2では発生させる有効電力の変動指令 $P1^*$ を演算し、図1の各電力変換器の電力制御器114に指令する。電力制御器114では、無効電力補償量の指令値 $Q1^*$ に加えて、有効電力の変動指令 $P1^*$ にもとづき電力変換器112の出力を制御するための制御信号であるゲートパルス信号G1を生成する。変動指令 $P1^*$ は例えば式(10)を用いて算出する。

$$P1^* = P_o \cdot \sin(2\pi f_o \cdot t) \quad \dots (10)$$

ここで、 $P_o$ 、 $f_o$ は発生させる有効電力変動成分の振幅及び周波数である。変動周波数 $f_o$ は有効電力の変動検出器1134で検出される周波数帯に設定する必要がある。また、振幅 $P_o$ は図4(b)に示した有効電力の変動分の不感帯よりも大きく設定する必要がある、例えば、系統に出力変動の影響を与えないように定格出力の数%程度に設定する。

30

#### 【0045】

処理S3では、発生させた変動指令 $P1^*$ の出力停止の判定を行う。ここでは、図2の無効電力補償演算器1137に入力される制御パラメータの所定時間における変化量がしきい値以下となった場合に、が収束したと判定して処理S4で変動指令 $P1^*$ を停止し、処理S1へ戻る。

#### 【0046】

以上のように処理することで、太陽光発電装置11~1iの発電出力が変動していない場合においても、系統条件の変更に追従して常に制御パラメータを電圧変動量が最小となる最適値に保つことができるため、電圧変動の発生を防止することができる。

40

#### 【実施例2】

#### 【0047】

次に本発明の実施例2を説明する。図7は、実施例2による太陽光発電システムの構成図で、連系点の電圧を直接、計測する手段を有する点が図1と異なる。図7では、連系点3の電圧を検出する電圧検出器7を設置し、その検出値 $V_s$ を制御器110に入力するようにした点であり、1台の太陽光発電装置で構成される場合にも好適な形態である。他の構成要素については図1と同様である。電圧検出器7で検出した検出値は制御器111を構成する電力補償量演算器113に入力される。

#### 【0048】

図8は、実施例2による電力補償演算器の制御ブロック図である。本実施例では、電圧

50

検出器 7 で連系点 3 の電圧  $V_s$  を検出するため、図 2 の電圧推定演算器 1132 を省略した。その他の処理は図 2 と同様である。

【実施例 3】

【0049】

次に本発明の実施例 3 を説明する。図 9 は、電力補償量演算器を各太陽光発電装置 1i に共通の専用制御器とした、太陽光発電システムの概略構成図である。図 1 に示した実施例 1 との相違点は、系統連系点の電圧を検出する電圧検出器 7、電圧振幅演算器 8a、電力演算器 8b を追加した点と、電圧変動を抑制するための電力補償量制御器 9 を太陽光発電装置の制御器 110 ~ 1i0 から独立させて共通化させた点である。

【0050】

電圧検出器 7 の出力を用いて電圧振幅演算器 8a で算出された連係点電圧の振幅  $V_s$  と、電圧検出器 7 および電流検出器 6 で検出された電圧、電流を用いて電力演算器 8b で算出された太陽光発電装置 11 ~ 1i の合成発電出力の有効電力検出値  $P$  を電力補償量制御器 9 に入力する。電力補償量制御器 9 では、電圧振幅  $V_s$  と有効電力  $P$  を用いて電圧変動を抑制するための制御指令を演算し、電力変換器 112 ~ 1i2 の電力制御器 114 ~ 1i4 に指令するようにした。

【0051】

図 10 は、実施例 3 による電力補償量演算器を専用制御器とした場合の制御ブロック図である。以下に処理の流れを説明する。まず、電圧振幅値  $V_s$ 、合成発電出力の有効電力  $P$  が変動検出器 91、92 にそれぞれ入力され、電圧振幅値  $V_s$ 、合成発電出力の有効電力  $P$  の変動成分  $V_s$ 、 $P$  をそれぞれ抽出する。

【0052】

変動検出器としては、図 2 で説明したと同様に変動を抑制する対象の周波数成分を抽出できるように時定数を調整したフィルタを適用する。変動検出器 92 では、電圧  $V_s$  から有効電力  $P$  の変動と同じ変動成分を抽出する必要があるため、変動検出器 91 と同じ特性になるように時定数を設定する。

【0053】

抽出された有効電力の変動成分  $P$  は不感帯付符号器 93 に入力され  $P$  の変動の増減方向を表す信号  $P_{SIGN}$  に変換されたのち、電圧変動成分  $V_s$  と積演算を行う。この ( $V_s \cdot P_{SIGN}$ ) を積分器 94 で積分し、制御パラメータ  $\alpha$  を求め、これを太陽光発電装置 11 ~ 1i の電力制御器 114 ~ 1i4 に同時に伝送する。

【0054】

電力制御器 114 ~ 1i4 では、伝送された制御パラメータ  $\alpha$  と、自身の発電出力の有効電力  $P1$  (~  $Pi$ ) との積により、それぞれで無効電力の補償量  $Q_i^*$  を算出する。ここで、実施例 1 のように電力制御器 114 ~ 1i4 に無効電力指令  $Q_i^*$  を伝送するのではなく制御パラメータ  $\alpha$  を伝送するようにした理由は次の通りである。

【0055】

すなわち、制御パラメータ  $\alpha$  と有効電力  $Pi$  の積として定義される無効電力補償量  $Q_i$  は、所定の電圧変動抑制効果を得るためには時々刻々と変化する有効電力  $Pi$  に同期して出力される必要がある。しかし、電力補償量演算器 9 から無効電力指令  $Q_i^*$  を伝送していたのでは通信遅れの影響で有効電力  $Pi$  に同期した無効電力補償量  $Q_i$  を出力できなくなり十分な電圧変動抑制効果が得られない恐れがある。そこで、実施例 3 では制御パラメータ  $\alpha$  を伝送するようにした。

【0056】

さらに、有効電力変動判定器 95 では、有効電力の変動成分  $P$  と制御パラメータ  $\alpha$  を用いて有効電力の微小な変動分を発生あるいは停止させるタイミングを判定し、太陽光発電装置 11 ~ 1i の電力制御器 114 ~ 1i4 に発生、停止させるためのトリガ信号 Trig を生成し指令する。

【0057】

例えば、トリガ信号 Trig の値が「1」の時に変動発生を開始、「0」の時に変動発生を

10

20

30

40

50

停止とする。これを受けて電力制御器 114 ~ 1i4 では式 (10) を用いて有効電力に微小な変動指令  $P1^*$  を生成し、これにもとづき電力変換器 112 の出力を制御するための制御信号であるゲートパルス信号  $G1$  を生成する。ここで、実施例 1 のように電力制御器 114 ~ 1i4 に変動指令  $Pi^*$  を伝送するのではなく変動発生を開始 / 停止させるトリガ信号  $Trig$  を伝送するようにした理由は、上述のように通信遅れの影響を受けないようにするためである。

【0058】

図 11 は、実施例 3 により電力補償量演算器を専用制御器とした場合に、能動的に有効電力を発生させるための処理フローである。

【0059】

10

まず、処理 S1 では太陽光発電装置 11 ~ 1i の合成発電出力  $P$  の変動成分  $P$  を用いて、能動的な変動成分を発生させるか否かの判定を行う。例えば、 $P$  が予め定めたしきい値以下の状態が連続して所定時間以上継続した場合に変動を発生させると判定し次の処理へ進む。

【0060】

次に、処理 S2 では図 9 に示した電力制御器 114 ~ 1i4 に変動発生開始のトリガ信号 ( $Trig = 1$ ) を伝送する。電力制御器 114 ~ 1i4 では式 10 を用いて変動を発生させる。処理 S3 では、発生させた変動信号の停止判定を行う。ここでは、図 10 で説明した制御パラメータの所定時間における変化量がしきい値以下となった場合に収束したと判定して、処理 S4 で電力制御器 114 ~ 1i4 に変動停止のトリガ信号 ( $Trig = 0$ ) を伝送し処理 S1 へ戻る。

20

【0061】

以上のように処理することで、太陽光発電装置 11 ~ 1i の発電出力が変動していない場合においても、系統条件の変更に追従して常に制御パラメータを電圧変動量が最小となる最適値に保つことができるため、電圧変動の発生を防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【0062】

【図 1】本発明の実施例 1 による太陽光発電システムの構成図。

【図 2】実施例 1 における制御器の制御ブロック図。

【図 3】実施例 1 における電圧推定機能の説明図。

30

【図 4】実施例 1 における不感帯付き符号器の動作を示す説明図。

【図 5】実施例 1 において能動的に有効電力を発生させる概念を示す説明図。

【図 6】実施例 1 における能動的に有効電力を発生させる処理フロー図。

【図 7】実施例 2 による太陽光発電システムの構成図。

【図 8】実施例 2 における制御器の制御ブロック図。

【図 9】実施例 3 による太陽光発電システムの構成図。

【図 10】実施例 3 における電力補償量制御器の制御ブロック図。

【図 11】実施例 3 における電力補償量制御器の処理フロー図。

【符号の説明】

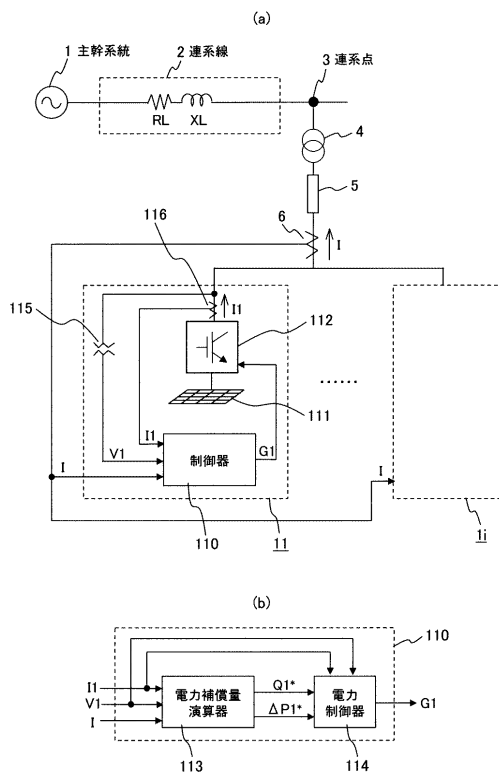
【0063】

40

1 ... 主幹系統、2 ... 連系線、3 ... 連系点、4 ... 連系用変圧器、5 ... 構内配線、6, 116 ... 電流センサ、7, 115 ... 電圧センサ、8a ... 電圧演算器、8b ... 電力演算器、9, 113 ... 電力補償量演算器、11 ... 太陽光発電装置、110 ... 制御器、111 ... 太陽電池パネル、112 ... 電力変換器、114 ... 電力制御器、1131 ... 電圧電流電力演算器、1132 ... 電圧推定演算器、1133, 1134, 91, 92 ... 変動検出器、1135, 93 ... 不感帯付符号器、1136, 94 ... 積分器、1137 ... 無効電力補償演算器、1138 ... 出力変動発生器、95 ... 出力変動判定器。

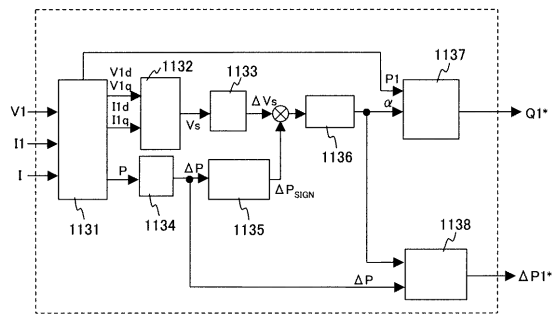
【図 1】

図 1



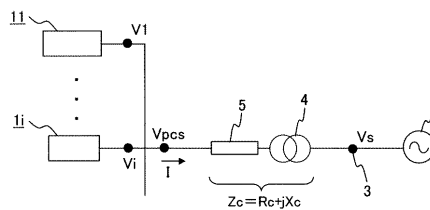
【図 2】

図 2



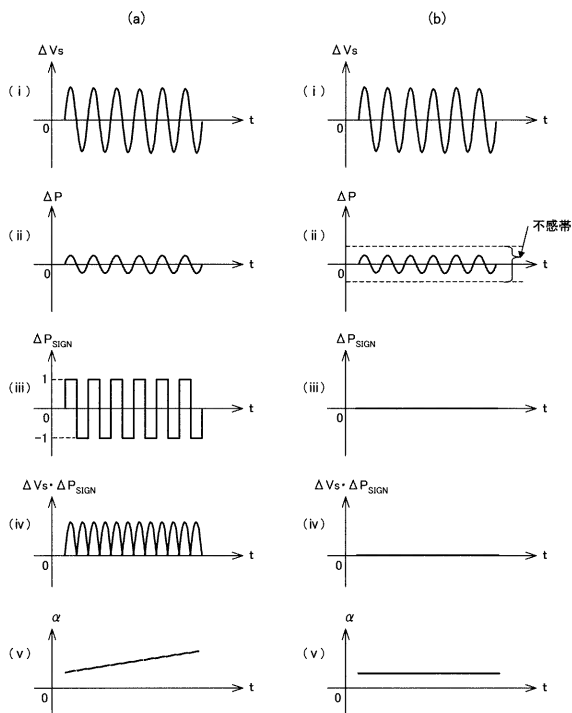
【図 3】

図 3



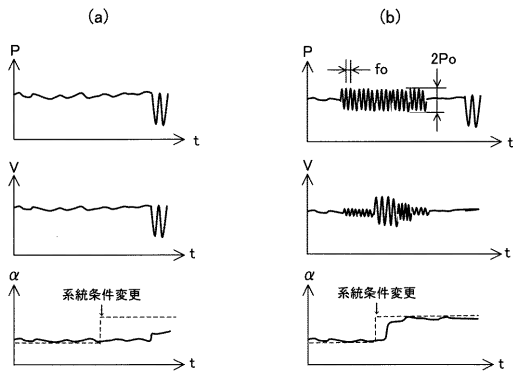
【図 4】

図 4



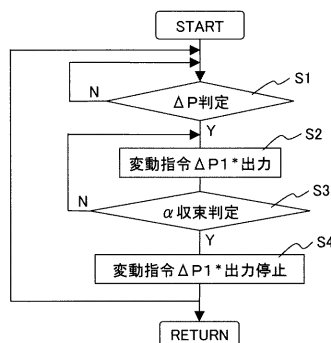
【図 5】

図 5



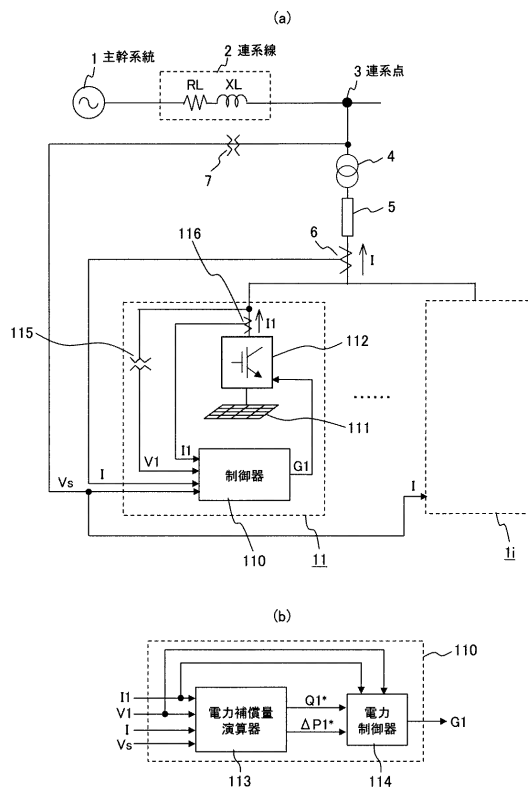
【図 6】

図 6



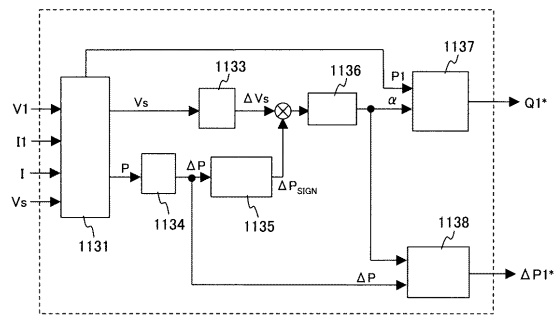
【図 7】

図 7



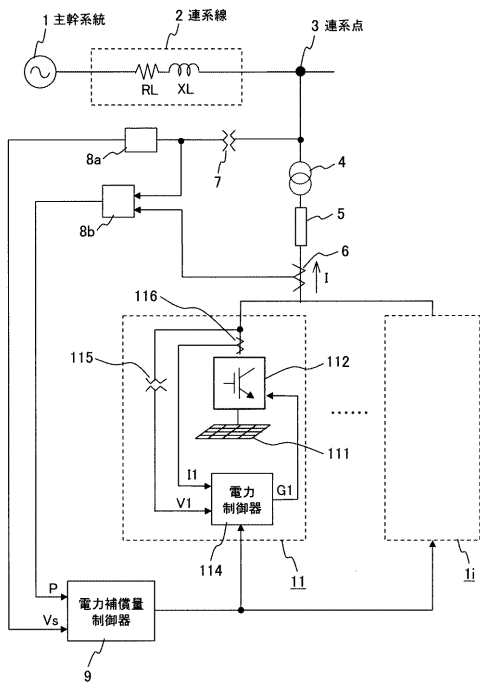
【図 8】

図 8



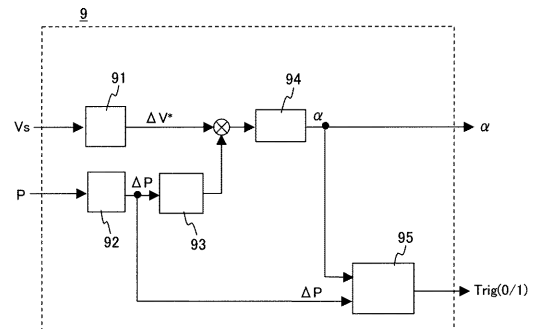
【図 9】

図 9



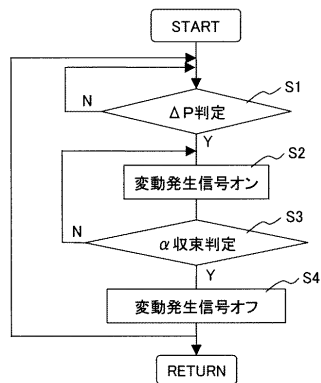
【図 10】

図 10



【図 11】

図 11



---

フロントページの続き

- (72)発明者 近藤 真一  
茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社日立製作所 電力・電機開発研究所内
- (72)発明者 宮田 博昭  
茨城県日立市大みか町五丁目2番1号 株式会社日立製作所 情報制御システム事業部内
- (72)発明者 伊藤 智道  
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立研究所内
- (72)発明者 大原 伸也  
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立研究所内

審査官 石川 晃

- (56)参考文献 特開2007-124779(JP, A)  
特開2000-333373(JP, A)  
特開2001-186663(JP, A)  
特開2001-346332(JP, A)  
特開2005-160260(JP, A)  
特開2003-061364(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- |      |        |
|------|--------|
| H02J | 3 / 16 |
| H02J | 3 / 38 |
| H02M | 7 / 48 |