

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7143183号
(P7143183)

(45)発行日 令和4年9月28日(2022.9.28)

(24)登録日 令和4年9月16日(2022.9.16)

(51)国際特許分類 F I
H 0 2 J 3/38 (2006.01) H 0 2 J 3/38 1 8 0

請求項の数 6 (全22頁)

(21)出願番号	特願2018-201255(P2018-201255)	(73)特許権者	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(22)出願日	平成30年10月25日(2018.10.25)	(73)特許権者	317015294 東芝エネルギーシステムズ株式会社 神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34
(65)公開番号	特開2020-68615(P2020-68615A)	(74)代理人	110001634弁理士法人志賀国際特許事務所
(43)公開日	令和2年4月30日(2020.4.30)	(72)発明者	秋山 雪菜 神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 東芝エネルギーシステムズ株式会社内
審査請求日	令和3年3月1日(2021.3.1)	(72)発明者	直井 伸也 神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 東芝エネルギーシステムズ株式会社内
		(72)発明者	河内 駿介

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 制御装置、および制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

交流系統と直流系統とに接続された自励式電力変換器を制御する制御装置であって、
前記交流系統の電圧検出値と、前記交流系統の電流検出値とに基づき第1電圧指令値を
導出する第1導出部と、

前記自励式電力変換器が出力する電流が基準よりも小さい場合、前記交流系統の電圧検
出値を前記交流系統の電圧指令値に近づけるように第2電圧指令値を決定し、

前記自励式電力変換器が出力する電流が基準よりも大きい場合、前記交流系統の電圧指
令値を前記第2電圧指令値として決定する第2導出部と、

前記交流系統と他の電力供給装置との電気的な接続状態に基づいて、前記第1電圧指令
値と前記第2電圧指令値とのいずれかを選択的に出力する選択部と、

前記選択部により出力された前記第1電圧指令値または前記第2電圧指令値に基づいて
、前記自励式電力変換器に出力するゲート信号を生成する生成部と、を備え、

前記第2導出部は、

前記交流系統と他の電力供給装置とが切り離され、且つ前記自励式電力変換器が出力する
電流が基準よりも小さい場合、前記交流系統の電圧検出値を前記交流系統の電圧指令値に
近づけるための第1補正值を導出し、

前記交流系統と他の電力供給装置とが切り離され、且つ前記自励式電力変換器が出力する
電流が基準よりも大きい場合、前記第1補正值を導出しない第1補正部と、

前記第1補正部の導出結果と、前記交流系統の電圧指令値とに基づいて、前記第2電圧指

10

20

令値を決定する決定部とを含む、

制御装置。

【請求項 2】

前記第 2 導出部は、

前記自励式電力変換器が出力する電流が基準よりも大きいことを検出する電流検出部と、

前記交流系統と他の電力供給装置とが切り離されたことを示す第 1 信号、および前記電流検出部により前記電流が基準よりも大きいことが検出されたことを示す第 2 信号を取得したことに応じて、前記交流系統の電圧指令値を前記第 2 電圧指令値として決定させる第 1 制御信号を生成する第 1 信号生成部と、

前記第 1 補正部は、前記第 1 信号生成部により生成された第 1 制御信号を取得した場合に、前記第 1 補正値を導出し、

請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 3】

前記交流系統と他の電力供給装置とが切り離された場合に、直前に出力された前記電圧指令値に対して、出力する前記電圧指令値の変化率を所定の範囲内に制限する制限部を備え、

前記制限部の制限が前記電圧指令値に対して作用しなくなったと推定される基準時間が経過した後、前記第 1 補正部が動作する、

請求項 1 または 2 に記載の制御装置。

【請求項 4】

前記第 2 導出部は、

前記交流系統と他の電力供給装置とが切り離され、且つ前記自励式電力変換器が出力する電流が基準よりも大きい場合、前記交流系統の電圧指令値を抑制するための第 2 補正値を出力し、

前記交流系統と他の電力供給装置とが切り離され、且つ前記自励式電力変換器が出力する電流が基準よりも小さい場合、前記交流系統の電圧指令値を抑制するための第 2 補正値を出力しない第 2 補正部を更に備える、

請求項 1 から 3 のうちいずれか 1 項に記載の制御装置。

【請求項 5】

前記第 2 導出部は、

前記交流系統と他の電力供給装置とが切り離され、且つ前記自励式電力変換器が出力する電流が基準よりも大きい場合、前記交流系統の電圧指令値を抑制するための第 2 補正値を出力し、

前記交流系統と他の電力供給装置とが切り離され、且つ前記自励式電力変換器が出力する電流が基準よりも小さい場合、前記交流系統の電圧指令値を抑制するための第 2 補正値を出力しない第 2 補正部と、

前記第 1 信号、および前記第 2 信号を取得したことに応じて、前記第 2 補正部を作動させる第 2 制御信号を生成する第 2 信号生成部と、を備え、

前記第 2 補正部は、前記第 2 信号生成部により生成された第 2 制御信号を取得した場合に、前記第 2 補正値を導出し、

前記決定部は、前記第 1 補正部の導出結果と、前記第 2 補正部の導出結果と、前記交流系統の電圧指令値とに基づいて、前記第 2 電圧指令値を決定する、

請求項 2 に記載の制御装置。

【請求項 6】

交流系統と直流系統とに接続された自励式電力変換器を制御する制御方法であって、制御装置が、

前記交流系統の電圧検出値と、前記交流系統の電流検出値とに基づく第 1 電圧指令値を導出する処理と、

前記自励式電力変換器が出力する電流が基準よりも小さい場合、前記交流系統の電圧検

10

20

30

40

50

出値を前記交流系統の電圧指令値に近づけるように第 2 電圧指令値を決定し、

前記自励式電力変換器が出力する電流が基準よりも大きい場合、前記交流系統の電圧指令値を前記第 2 電圧指令値として決定する処理と、

前記交流系統と他の電力供給装置との電氣的な接続状態に基づいて、前記第 1 電圧指令値と前記第 2 電圧指令値とのいずれかを選択的に出力する処理と、

前記出力された前記第 1 電圧指令値または前記第 2 電圧指令値に基づいて、前記自励式電力変換器に出力するゲート信号を生成する処理と、

前記交流系統と他の電力供給装置とが切り離され、且つ前記自励式電力変換器が出力する電流が基準よりも小さい場合、前記交流系統の電圧検出値を前記交流系統の電圧指令値に近づけるための第 1 補正值を導出し、

前記交流系統と他の電力供給装置とが切り離され、且つ前記自励式電力変換器が出力する電流が基準よりも大きい場合、前記第 1 補正值を導出ししない補正処理と、

前記補正処理の導出結果と、前記交流系統の電圧指令値とに基づいて、前記第 2 電圧指令値を決定する処理と、

を実行する制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、制御装置、および制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、系統事故により交流電源が喪失した系統である単独系統内の負荷に自励式電力変換器が電力を供給する場合、負荷容量が大きいと過電流となり、自励式電力変換器が停止する場合がある。自励式電力変換器が停止する要因となる過電流を抑制するために維持する電圧を下げる場合がある。しなしながら、単独系統内の負荷容量の大きさは時々によって異なるため、その交流系統にとって適切な電力を供給することができない場合があった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2000 - 217258 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明が解決しようとする課題は、交流系統にとって適切な電力を供給することができる制御装置、および制御方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0005】

実施形態の制御装置は、交流系統と直流系統とに接続された自励式電力変換器を制御する制御装置である。制御装置は、第 1 導出部と、第 2 導出部と、選択部と、生成部とを持つ。第 1 導出部は、前記交流系統の電圧検出値と、前記交流系統の電流検出値とに基づく第 1 電圧指令値を導出する。第 2 導出部は、前記自励式電力変換器が出力する電流が基準よりも小さい場合、前記交流系統の電圧検出値を前記交流系統の電圧指令値に近づけるように第 2 電圧指令値を決定し、前記自励式電力変換器が出力する電流が基準よりも大きい場合、前記交流系統の電圧指令値を前記第 2 電圧指令値として決定する。選択部は、前記交流系統と他の電力供給装置との電氣的な接続状態に基づいて、前記第 1 電圧指令値と前記第 2 電圧指令値とのいずれかを選択的に出力する。生成部は、前記選択部により出力された前記第 1 電圧指令値または前記第 2 電圧指令値に基づいて、前記自励式電力変換器に出力するゲート信号を生成する。前記第 2 導出部は、前記交流系統と他の電力供給装置とが切り離され、且つ前記自励式電力変換器が出力する電流が基準よりも小さい場合、前記交流系統の電圧検出値を前記交流系統の電圧指令値に近づけるための第 1 補正值を導出し

10

20

30

40

50

前記交流系統と他の電力供給装置とが切り離され、且つ前記自励式電力変換器が出力する電流が基準よりも大きい場合、前記第 1 補正値を導出しない第 1 補正部と、前記第 1 補正部の導出結果と、前記交流系統の電圧指令値とに基づいて、前記第 2 電圧指令値を決定する決定部とを含む。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 6 】

【図 1】第 1 の実施形態に係る電力システム 1 に含まれる制御装置 1 0 0 の使用環境の一例を示す図。

【図 2】制御装置 1 0 0 の機能構成の一例を示す図。

【図 3】交流電圧制御部 1 2 0 の機能構成の一例を示す図。

10

【図 4】制御装置 1 0 0 により実行される処理の流れを示すフローチャート。

【図 5】積分器 1 3 2 が補正値を出力する場合と出力しない場合について説明するための図。

【図 6】第 2 の実施形態の交流電圧制御部 1 2 0 A の機能構成の一例を示す図である。

【図 7】第 2 の実施形態の交流電圧制御部 1 2 0 A の処理と処理タイミングとを説明するための図。

【図 8】比較例の制御装置により制御が行われた場合のシミュレーション結果の波形を示す図。

【図 9】第 2 の実施形態の制御装置 1 0 0 により制御が行われた場合のシミュレーション結果の波形を示す図。

20

【図 1 0】第 3 の実施形態の交流電圧制御部 1 2 0 B の機能構成の一例を示す図。

【図 1 1】比例積分器 1 4 4 が補正値を出力する場合と出力しない場合について説明するための図。

【図 1 2】比較例の制御装置の制御が行われた場合のシミュレーション結果の波形を示す図。

【図 1 3】第 4 の実施形態の制御装置の制御が行われた場合のシミュレーション結果の波形を示す図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 7 】

以下、実施形態の制御装置、および制御方法を、図面を参照して説明する。

30

【 0 0 0 8 】

(第 1 の実施形態)

図 1 は、第 1 の実施形態に係る電力システム 1 に含まれる制御装置 1 0 0 の使用環境の一例を示す図である。電力システム 1 は、例えば、交流電圧源 1 0 と、交流送電線 2 0 と、遮断部 3 0 と、交流母線 6 0 と、電力変換器 7 0 と、電流検出器 8 0 と、電圧検出器 9 0 と、制御装置 1 0 0 と、負荷 1 6 0 と、電力変換器 1 7 0 と、交流母線 1 8 0 と、交流電圧源 1 9 0 とを含む。後述する単独系統 5 0 は、例えば、交流母線 6 0 と、電力変換器 7 0 と、電流検出器 8 0 と、電圧検出器 9 0 と、制御装置 1 0 0 と、負荷 1 6 0 とを含む。

【 0 0 0 9 】

遮断部 3 0 および電力変換器 7 0 は交流母線（交流系統）P L 1 を介して接続され、電力変換器 7 0 および電流変換器 1 7 0 は直流母線（直流系統）P L 2 を介して接続されている。電力変換器 7 0 と電力変換器 1 7 0 とのそれぞれは、例えば、交流と直流を相互に変換する自励式電力変換器である。

40

【 0 0 1 0 】

まず、単独運転について説明する。遮断部 3 0 よりも交流電圧源 1 0（背後系統）側で系統事故が発生し、遮断部 3 0 が開放されると、遮断部 3 0 より電力変換器 7 0 側の系統は、背後系統側から分離され単独系統 5 0 となる。単独系統 5 0 内には発電機などの電力供給源が存在しなくなるが、制御装置 1 0 0 が、電力変換器 7 0 を交流電力供給源として運転させることで、単独系統 5 0 に接続される負荷 1 6 0 に電力の供給が継続される。この電力変換器 7 0 の運転を単独運転と称する。

50

【 0 0 1 1 】

自励式電力変換器が、通常時の系統に対して指定された有効電力と無効電力を出力する通常運転を行う場合と、単独系統に対して交流電力供給源として単独運転を行う場合とでは、電力変換器 7 0 は、制御モードが異なる。単独運転時の電力変換器 7 0 の制御モードは、自励式電力変換器が交流母線 P L 1 の電圧を一定に維持する制御を行うことで、単独系統内の負荷 1 6 0 が必要な有効電力および無効電力を負荷 1 6 0 に供給するモード（以降、C V C F 制御モード）である。

【 0 0 1 2 】

交流電圧源 1 0 と、遮断部 3 0 とは、交流送電線 2 0 を介して、電氣的に接続されている。遮断部 3 0 は、交流母線 P L 1 を介して交流母線 6 0 に接続されている。遮断部 3 0 がオン状態の場合、交流電圧源 1 0 と交流母線 6 0 とは電氣的に接続される。遮断部 3 0 がオフ状態の場合、交流電圧源 1 0 と交流母線 6 0 とは電氣的に分離される。

10

【 0 0 1 3 】

電力変換器 7 0 は、交流母線 6 0 と電力変換器 1 7 0 とが電氣的に接続される。電力変換器 7 0 の交流端子側には交流母線 6 0 が交流母線 P L 1 を介して電氣的に接続されて、電力変換器 7 0 の直流端子側には直流母線 P L 2 を介して電力変換器 7 0 が電氣的に接続される。

【 0 0 1 4 】

電流検出部 8 0 は、例えば、交流母線 6 0 と電力変換器 7 0 との間であって、交流母線 P L 1 に電氣的に接続されている。電流検出部 8 0 は、電力変換器 7 0 を構成する部材（例えばアーム）に設けられてもよい。

20

【 0 0 1 5 】

電圧検出部 9 0 は、例えば、交流母線 6 0 に電氣的に接続される。電圧検出部 9 0 は、交流母線 6 0 の電圧を検出する。

【 0 0 1 6 】

負荷 1 6 0 は、交流母線 6 0 に電氣的に接続される。負荷 1 6 0 は、例えば、需要家などが使用する負荷である。

【 0 0 1 7 】

制御装置 1 0 0 は、電流検出器 8 0 の検出結果、および電圧検出部 9 0 の検出結果を取得し、取得した情報等に基づいて、種々の制御を行う。制御装置 1 0 0 の機能構成および制御内容については後述する。

30

【 0 0 1 8 】

電力変換器 1 7 0 の直流端子側には、電力変換器 7 0 が電氣的に接続されて、電力変換器 1 7 0 の交流端子側には交流母線 1 8 0 が電氣的に接続されている。電力変換器 1 7 0 は、交流母線 1 8 0（交流系統）を介して、交流電圧源 1 9 0 に電氣的に接続されている。なお、電力システム 1 において、負荷 1 6 0 に加えて、遮断器 3 0 の交流電圧源 1 0 側に負荷が接続されていてもよい。遮断部 3 0 がオン状態の場合において、この負荷には、例えば、交流電圧源 1 0 および電力変換器 7 0 により出力された電力が供給される場合がある。

【 0 0 1 9 】

40

図 2 は、制御装置 1 0 0 の機能構成の一例を示す図である。制御装置 1 0 0 は、例えば、第 1 位相導出部 1 0 2 と、第 2 位相導出部 1 0 4 と、選択器 1 0 6 と、d q 変換部 1 0 8 と、d q 変換部 1 1 0 と、交流電流制御部 1 1 2 と、選択器 1 1 4 と、選択器 1 1 6 と、交流電圧制御部 1 2 0 と、d q 逆変換部 1 5 0 と、パルス生成部 1 5 2 とを備える。これらの構成要素は、例えば、C P U（Central Processing Unit）などのハードウェアプロセッサがプログラム（ソフトウェア）を実行することにより実現される。また、これらの構成要素のうち一部または全部は、L S I（Large Scale Integration）や A S I C（Application Specific Integrated Circuit）、F P G A（Field-Programmable Gate Array）、G P U（Graphics Processing Unit）などのハードウェア（回路部；circuitryを含む）によって実現されてもよいし、ソフトウェアとハードウェアの協働によって実

50

現されてもよい。なお、これらの構成要素のうち一部あるいは全部、又はこれらの構成要素に含まれる構成要素のうち一部あるいは全部は、回路 (circuit) でもよい。交流電流制御部 112 は、「第 1 導出部」の一例である。交流電圧制御部 120 は、「第 2 導出部」の一例である。

【0020】

第 1 位相導出部 102 は、通常運転時に用いられる交流系統の位相 1 を導出する。第 1 位相導出部 102 は、例えば、電圧検出器 90 により検出された電圧検出値 V に基づいて、交流母線 60 の 3 相ごとの電圧の位相を導出し、導出した位相 1 を選択器 106 に出力する。

【0021】

第 2 位相導出部 104 は、単独運転時に用いられる出力電力に応じた位相 2 を導出する。第 2 位相導出部 104 は、例えば、電力変換器 70 が単独運転を行って電圧源として動作する場合の出力周波数 f (例えば、東日本であれば 50 [Hz]、西日本であれば 60 [Hz]) を設定する。第 2 位相導出部 104 は、設定した周波数に基づいて電力変換器 70 が出力すべき電圧の位相を導出し、導出した位相 2 を、選択器 106 に出力する。

【0022】

dq 変換部 108 は、第 1 位相導出部 102 または第 2 位相導出部 104 により導出された位相情報を用いて、電流検出器 80 の検出結果である 3 相の電流検出値を 2 相の電流検出値に変換し、変換結果である有効分電流 I_d と無効分電流 I_q とを交流電流制御部 112 に出力する。

【0023】

dq 変換部 110 は、第 1 位相導出部 102 または第 2 位相導出部 104 により導出された位相情報を用いて、電圧検出器 90 の検出結果である 3 相の電圧検出値を 2 相の電圧検出値に変換し、変換結果である有効分電圧指令値 V_{sd} と無効分電圧指令値 V_{sq} とを交流電流制御部 112 に出力する。

【0024】

交流電流制御部 112 は、通常運転時に用いられる有効分電圧指令値 V_{cd1} および無効分電圧指令値 V_{cq1} を導出する。交流電流制御部 112 は、dq 変換部 108 により出力された有効分電流 I_d と無効分電流 I_q と、dq 変換部 110 により出力された有効分電圧 V_{sd} と、有効電力指令値 P_{ref} とに基づいて、有効分電圧指令値 V_{cd1} を導出する。例えば、交流電流制御部 112 は、電力変換器 70 が有効電力指令値 P_{ref} に合致する有効電力を出力するように、有効分電圧指令値 V_{cd1} を導出する。

【0025】

交流電流制御部 112 は、dq 変換部 108 により出力された有効分電流 I_d と無効分電流 I_q と、dq 変換部 110 により出力された無効分電圧 V_{sq} と、無効電力指令値 Q_{ref} とに基づいて、無効分電圧指令値 V_{cq1} を導出する。例えば、交流電流制御部 112 は、電力変換器 70 が無効電力指令値 Q_{ref} に合致する無効電力を出力するように、無効分電圧指令値 V_{cq1} を導出する。交流電流制御部 112 は、導出した有効分電圧指令値 V_{cd1} および無効分電圧指令値 V_{cq1} を選択器 114 および選択器 116 に出力する

【0026】

交流電圧制御部 120 は、単独運転時に用いられる有効分電圧指令値 V_{cd2} および無効分電圧指令値 V_{cq2} を導出する。導出手法については、後述する図 3 を用いて説明する。

【0027】

選択器 106 は、単独運転移行信号 S が入力されていない場合に、第 1 位相導出部 102 により導出された位相 1 を dq 逆変換部 150 に出力する。選択器 106 は、単独運転移行信号 S が入力された場合に、第 2 位相導出部 104 により導出された位相 2 を dq 逆変換部 150 に出力する。

【0028】

10

20

30

40

50

単独運転移行信号 S は、例えば、系統の異常などが発生した場合に遮断部 30 が開放状態に制御され、遮断部 30 より電力変換器 70 側の系統が単独系統となる場合に出力される信号である。単独運転移行信号 S は、例えば遮断部 30 が開放状態となった場合に、遮断部 30 を制御する装置が、制御装置 100 に出力する信号である。また、単独運転移行信号 S は、例えば制御装置 100 自身が、電圧検出部 90 の検出結果に基づいて、遮断部 30 が開放状態となったと推定した場合に生成する信号であってもよい。単独運転移行信号 S は、交流系統と電氣的に接続されていた他の電力供給装置が切り離された場合に出力される信号である。他の電力供給装置とは、遮断部 30 が開放状態となる前に負荷 160 や交流系統 60 等と電氣的に接続されていた交流電圧源 10 や他の供給源などである。

【0029】

選択器 114 は、単独運転移行信号 S が入力されていない場合に、交流電流制御部 112 により導出された有効分電圧指令値 V_{cd1} と交流電圧制御部 120 により導出された有効分電圧指令値 V_{cd2} とのうち、有効分電圧指令値 V_{cd1} を選択し、選択した有効分電圧指令値 V_{cd1} を dq 逆変換部 150 に出力する。

【0030】

選択器 114 は、単独運転移行信号 S が入力された場合に、交流電流制御部 112 により導出された有効分電圧指令値 V_{cd1} と交流電圧制御部 120 により導出された有効分電圧指令値 V_{cd2} とのうち、有効分電圧指令値 V_{cd2} を選択し、選択した有効分電圧指令値 V_{cd2} を dq 逆変換部 150 に出力する。

【0031】

選択器 116 は、単独運転移行信号 S が入力されていない場合に、交流電流制御部 112 により導出された無効分電圧指令値 V_{cq1} と交流電圧制御部 120 により導出された無効分電圧指令値 V_{cq2} とのうち、無効分電圧指令値 V_{cq1} を選択し、選択した無効分電圧指令値 V_{cq1} を dq 逆変換部 150 に出力する。

【0032】

選択器 116 は、単独運転移行信号 S が入力された場合に、交流電流制御部 112 により導出された無効分電圧指令値 V_{cq1} と交流電圧制御部 120 により導出された無効分電圧指令値 V_{cq2} とのうち、無効分電圧指令値 V_{cq2} を選択し、選択した無効分電圧指令値 V_{cq2} を dq 逆変換部 150 に出力する。

【0033】

単独運転移行信号 S が入力されると、選択器 106 が dq 逆変換部 150 に入力される位相を位相 1 から位相 2 に切り替え、選択器 114、および選択器 116 が、 dq 逆変換部 150 の入力される指令値を有効分電圧指令値 V_{cd1} および無効分電圧指令値 V_{cq1} から有効分電圧指令値 V_{cd2} および無効分電圧指令値 V_{cq2} に切り替える。有効分電圧指令値 V_{cd1} および無効分電圧指令値 V_{cq1} は、「第 1 電圧指令値」の一例である。有効分電圧指令値 V_{cd2} および無効分電圧指令値 V_{cq2} は、「第 2 電圧指令値」の一例である。

【0034】

dq 逆変換部 150 は、電圧指令値と位相に基づいて dq 逆変換を行う。 dq 逆変換部 150 は、選択器 106 により選択された位相と、選択器 114 および選択器 116 により選択された有効分電圧指令値 V_{cd} と無効分電圧指令値 V_{cq} とに基づいて、2 相の電圧指令値を三相の電圧指令値に変換し、変換した三相の電圧指令値をパルス生成部 152 に出力する。

【0035】

パルス生成部 152 は、 dq 逆変換部 150 により出力された電圧指令値に基づいて、電力変換器 70 のスイッチング素子に与えるゲート信号を生成し、生成したゲート信号を電力変換器 70 に出力する。電力変換器 70 は、制御装置 100 により出力されたゲート信号に基づいて、通常運転時または単独運転時に適した制御を実行する。

【0036】

[交流電圧制御部]

10

20

30

40

50

図3は、交流電圧制御部120の機能構成の一例を示す図である。交流電圧制御部120は、例えば、加算器122と、演算部124と、過電流検出器126と、NOT回路128と、AND回路130と、積分器132と、加算器134とを備える。積分器132は、「第1補正部」の一例である。加算器134は、「決定部」の他の一例である。過電流検出器126は「電流検出部」の一例であり、NOT回路128、またはAND回路130或いはこれらの組み合わせは「第1信号生成部」の一例である。また、上記第1信号生成部により出力される、後述するリセット信号などの過電流であることを示す信号は、「第1制御信号」の一例である。

【0037】

加算器122は、交流電圧指令値 V_{sdref} と、有効分電圧指令値 V_{sd} との差分を算出し、算出した差分を積分器132に出力する。交流電圧指令値 V_{sdref} は、単独運転時における所望の電圧値である。交流電圧指令値 V_{sdref} は、例えば、交流系統の定格電圧値である。あるいは、交流電圧指令値 V_{sdref} は、単独運転を開始する直前の交流系統の電圧値でもよい。

10

【0038】

演算部124は、電力変換器70により出力された有効分電流 I_d と無効分電流 I_q とを、下記の式(1)に適用して、「 I 」を導出する。

【0039】

【数1】

$$I = \sqrt{I_d^2 + I_q^2} \quad \dots (1)$$

20

【0040】

過電流検出器126は、演算部124の演算結果である「 I 」が、第1閾値以上である場合、過電流であることを示す「1」をNOT回路128に出力し、第1閾値未満である場合、過電流でないことを示す「0」をNOT回路128に出力する。

【0041】

AND回路130には、NOT回路128により出力された信号と、単独運転移行信号 S とが入力される。AND回路130は、入力された信号に基づいて、リセット信号を積分器132に出力する。

30

【0042】

積分器132は、交流系統の電圧が交流電圧指令値 V_{sdref} に合致するように補正值 V_{cd2b} を導出する。補正值 V_{cd2b} は、電力変換器70が出力すべき有効分電圧指令値 V_{cd2a} (V_{sdref})を補正する補正值である。補正值 V_{cd2b} は、「第1補正值」の一例である。

【0043】

例えば、積分器132は、有効分電圧 V_{sd} が交流電圧指令値 V_{sdref} よりも大きくなった場合に、負の補正值 V_{cd2b} を導出する。負の補正值 V_{cd2b} は、加算器134において有効分電圧指令値 V_{cd2a} を低減させる補正值である。

40

【0044】

例えば、積分器132は、有効分電圧 V_{sd} が交流電圧指令値 V_{sdref} よりも小さくなった場合に、正の補正值 V_{cd2b} を導出する。正の補正值 V_{cd2b} は、加算器134において有効分電圧指令値 V_{cd2a} を増加させる補正值である。

【0045】

また、積分器132は、リセット機能を有する。積分器132は、AND回路130の出力が「1」のときに演算処理を実行して補正值を出力し、「0」のときには出力をゼロにリセットする。なお、積分器132は、比例積分器でもよい。

【0046】

50

加算器 134 は、入力された有効分電圧指令値 V_{cd2a} と入力された補正值 V_{cd2b} とを加算して、加算結果である有効分電圧指令値 V_{cd2} を出力する。

【0047】

また、交流電圧制御部 120 は、入力された単独運転時に対する無効分電圧指令値 V_{cq2} (V_{sqref}) を、単独運転時に用いられる無効分電圧指令値 V_{cq2} として選択器 116 に出力する。

【0048】

[フローチャート]

図 4 は、制御装置 100 により実行される処理の流れを示すフローチャートである。まず、制御装置 100 は、電力変換器 70 に通常運転を開始させる (ステップ S100)。次に、制御装置 100 は、単独運転移行信号 S が入力されたか否かを判定する (ステップ S102)。

10

【0049】

単独運転移行信号 S が入力されていない場合、制御装置 100 は、通常運転を維持する制御を行う (ステップ S104)。単独運転移行信号 S が入力された場合、制御装置 100 は、電力変換器 70 に単独運転を開始させる (ステップ S106)。

【0050】

次に、制御装置 100 は、電力変換器 70 の出力電流が第 1 閾値以上であるか否かを判定する (ステップ S108)。電力変換器 70 の出力電流が第 1 閾値以上でない場合 (第 1 閾値未満である場合 / 電流が基準より小さい場合)、制御装置 100 は、補正值を出力する (ステップ S110)。次に、制御装置 100 は、出力された補正值が加味された有効電圧指令値 V_{cd2} を出力する (ステップ S112)。すなわち、制御装置 100 は、交流系統の電圧検出値を交流系統の電圧指令値に近づけるように電圧指令値を決定する。

20

【0051】

電力変換器 70 の出力電流が第 1 閾値以上である場合 (電流が基準より大きい場合)、制御装置 100 は、リセット信号を出力する (ステップ S114)。次に、制御装置 100 は、補正值が加味されない有効電圧指令値 V_{cd2} を出力する (ステップ S112)。すなわち、制御装置 100 は、交流系統の電圧指令値を電圧指令値として決定する。これにより、本フローチャートの 1 ルーチンの処理は終了する。

【0052】

図 5 は、積分器 132 が補正值を出力する場合と出力しない場合について説明するための図である。(1) 有効電圧指令値 V_{cd2a} に補正值 V_{cd2b} が加味される場合の処理について説明する。電力変換器 70 の出力電流が第 1 閾値未満である場合、「ゼロ」が NOT 回路 128 に入力され、NOT 回路 128 は、「1」を出力する。AND 回路 130 には、NOT 回路 128 に出力された「1」と、単独運転移行信号 S の「1」とが入力され、AND 回路 130 は「1」を出力する。積分器 132 には AND 回路 130 に出力された「1」が入力される。この場合、積分器 132 は、補正值を出力する。これにより、有効電圧指令値 V_{cd2a} に補正值 V_{cd2b} が加味される。

30

【0053】

例えば、有効分電圧指令値 V_{cd2} に交流電圧指令値 V_{sdref} が与えられた場合、電力変換器 70 は交流電圧指令値 V_{sdref} の交流電圧を出力するが、単独系統 50 内の負荷 160 の影響により、出力された交流電圧指令値 V_{sdref} と交流系統の電圧とは合致しない場合がある。これに対して、本実施形態では積分器 132 が、単独運転時に、交流系統の電圧が交流電圧指令値 V_{sdref} になるように電力変換器 70 が出力すべき有効分電圧指令値 V_{cd2a} を補正する補正值 V_{cd2b} を出力することにより、交流電圧指令値 V_{sdref} の交流電圧と系統電圧とが合致する。

40

【0054】

(2) リセット信号が出力され、有効電圧指令値 V_{cd2a} に補正值 V_{cd2b} が加味されない場合の処理について説明する。電力変換器 70 の出力電流が第 1 閾値以上である場合、「1」が NOT 回路 128 に入力され、NOT 回路 128 は「ゼロ」を出力する。

50

AND回路130には、NOT回路128に出力された「ゼロ」と、単独運転移行信号Sの「1」とが入力され、AND回路130は、「ゼロ」を出力する。積分器132にはAND回路130に出力された「ゼロ」が入力される。この場合、積分器132は、補正值Vcd2bを出力せずに、ゼロを出力する。これにより、有効電圧指令値Vcd2aに補正值は加味されない。

【0055】

例えば、単独運転時において、単独系統50内の負荷160の容量が電力変換器70の容量よりも大きい場合、交流系統の電圧を交流電圧指令値Vsdr efに維持するように電力変換器70が動作し、電力変換器70の出力が単独系統内の負荷160の容量に比例した電流が流れる場合がある。このように単独系統内の負荷160の容量が電力変換器70の容量よりも大きい場合には、電力変換器70の出力電流が大きくなる場合がある。

10

【0056】

例えば、単独系統内の負荷160によって交流系統の電圧は交流電圧指令値Vsdr efよりも低くなるため、積分器132の出力である補正值Vcd2bは正の補正值となり、この補正值は交流系統の電圧を増加させる方向に作用する。この作用により、電力変換器70の出力電流が大きくなったことが検出された場合に、制御装置100が、積分器132の出力をゼロとして交流系統の電圧を増加させる作用を無効とすることで、出力電流を抑制させることができる。

【0057】

また、一般的に、過負荷でない場合に交流系統の電圧を一定に維持する制御が高速すぎると系統電圧の振動の原因となる場合がある。これに対して、上述したように、本実施形態の制御装置100は、積分器132が導出した補正值により、交流電圧指令値Vsdr efと、有効分電圧指令値Vs dとの差分が小さくなるように有効分電圧指令値Vcd2が導出される。これにより、系統電圧の振動が生じないように交流系統の電圧を一定に維持する制御が適切に行われる。

20

【0058】

[比較例との対比]

例えば、近年、連系強化や再生可能エネルギー導入促進などを目的として、直流送電システムや周波数変換システムの技術開発が行われている。これらのシステムにおいて使用される、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 等の自己消弧型の半導体素子を利用した電力変換器は、自励式電力変換器自身が交流電圧源となって電気機器へ電力を供給することができる。この特徴を生かし、自励式電力変換器は、通常時には指定した有効電力や無効電力を出力させるが、系統事故により交流電源が喪失した場合には、交流電力供給源となり、交流電圧の振幅や位相を維持し、電気機器が必要とする必要な有効電力、無効電力を供給するという使い方が可能である。

30

【0059】

CVC F制御モードでは、単独系統内の負荷が必要とする有効電力、無効電力を供給するため、単独系統内の負荷容量に比例した電流が自動的に自励式電力変換器から出力される。したがって、単独系統内の負荷容量が変換器容量より大きい場合(過負荷時)、より大きな電力を出力しようと自装置の電圧指令値を上昇させる。そうすると、電力変換器は運転継続ができず、単独系統は電源を喪失して停電に至る。

40

【0060】

この問題に対して、一般的に、自励式電力変換器が維持する交流系統の電圧を下げることにより、変換器が出力する電流を抑制することができる。これにより、単独系統内の負荷容量が変換器容量よりもある程度大きくても運転継続が可能となり、単独系統への給電を行うことができる。例えば、自励式電力変換器の出力電流が第1閾値を超過した際に、交流系統の電圧を維持する電圧制御の電圧指令値を通常時より小さな値に段階的に切り替えることで、交流系統の電圧を下げる手法が存在する。しかしながら、単独系統となったときの単独系統内の負荷容量の大きさは時々によって異なり、またその大きさを予め取得することは困難である。したがって、この電圧指令値を段階的に切り替える手法では、必

50

要以上に交流系統の電圧を低減する課題があった。

【 0 0 6 1 】

これに対して、本実施形態の制御装置 1 0 0 が、過電流が検出されていない場合、交流系統の電圧が交流電圧指令値に近づくような補正值 V_{cd2b} を導出し、補正值 V_{cd2b} に基づいて電力変換器 7 0 の有効分電圧指令値 V_{cd2} を増加させ、電力変換器 7 0 の出力電流が過電流となる場合には、積分器 1 3 2 の出力をゼロとして交流系統の電圧を増加させる作用を無効にすることで、出力電流を抑制し、過電流により電力変換器 7 0 が停止するのを防ぐことができる。

【 0 0 6 2 】

以上説明した第 1 の実施形態によれば、制御装置 1 0 0 が、自励式の電力変換器 7 0 が出力する電流が基準よりも小さい場合、交流系統の電圧検出値を交流系統の電圧指令値に近づけるように第 2 電圧指令値を決定し、自励式の電力変換器 7 0 が出力する電流が基準よりも大きい場合、交流系統の電圧指令値を前記第 2 電圧指令値として決定することで、出力電流を抑制させることができる。この結果、交流系統にとって適切な電力を供給することができる。

10

【 0 0 6 3 】

(第 2 の実施形態)

以下、第 2 の実施形態について説明する。第 2 の実施形態では、通常運転から単独運転に切り替わる際に、変化率制限器が作用し、更に積分器 1 3 2 が補正值を出力するタイミングが調整されるため、シームレスに切り替が行われる。以下、第 1 の実施形態との相違点を中心に説明する。

20

【 0 0 6 4 】

図 6 は、第 2 の実施形態の交流電圧制御部 1 2 0 A の機能構成の一例を示す図である。交流電圧制御部 1 2 0 A は、例えば、第 1 の実施形態の交流電圧制御部 1 2 0 の機能構成に加え、更に選択器 1 3 5、変化率制限器 1 3 6、選択器 1 3 7、変化率制限器 1 3 8、オンディレイ回路 1 3 9 を備える。

【 0 0 6 5 】

選択器 1 3 5 は、有効分電圧指令値 V_{cd1} と、交流電圧指令値 V_{sdref} とが入力される。選択器 1 3 5 は、単独運転移行信号 S が入力される前は有効分電圧指令値 V_{cd1} を選択し、単独運転移行信号 S が入力された後は交流電圧指令値 V_{sdref} を選択し、選択した電圧指令値を変化率制限器 1 3 6 に出力する。

30

【 0 0 6 6 】

変化率制限器 1 3 6 は、直前に出力した電圧指令値に対して、今回出力する電圧指令値の変化率が所定値を上回ったり、下回ったりすることを制限する。変化率制限器 1 3 6 は、制限した有効分電圧指令値 V_{cd2a} を加算器 1 3 4 に出力する。

【 0 0 6 7 】

これにより、有効分電圧指令値 V_{cd2a} は、変化率が所定の範囲内で変化するように制御される。この結果、 dq 逆変換部 1 5 0 に入力される有効分電圧指令値 V_{cd2} はシームレスになる。すなわち、 dq 逆変換部 1 5 0 に入力される有効分電圧指令値 V_{cd2} のギャップは抑制され、有効分電圧指令値 V_{cd2} の変動が滑らかになる。

40

【 0 0 6 8 】

選択器 1 3 7 には、無効分電圧指令値 V_{cq1} と、交流電圧指令値 V_{sqref} とが入力される。選択器 1 3 7 は、単独運転移行信号 S が入力される前は無効分電圧指令値 V_{cq1} を選択し、単独運転移行信号 S が入力された後は交流電圧指令値 V_{sqref} を選択し、選択した電圧指令値を変化率制限器 1 3 8 に出力する。

【 0 0 6 9 】

変化率制限器 1 3 8 は、直前に出力された電圧指令値に対して、出力する電圧指令値の変化率を所定の範囲内に制限する。変化率制限器 1 3 8 は、直前に出力した電圧指令値と、今回出力する電圧指令値の変化率が所定値を上回ったり、下回ったりすることを制限する。変化率制限器 1 3 8 は、制限した無効分電圧指令値 V_{cq2a} を dq 逆変換部 1 5 0

50

に出力する。

【 0 0 7 0 】

これにより、無効分電圧指令値 V_{cq2} は、変化率が所定の範囲内で変化するように制御される。この結果、 dq 逆変換部 150 に入力される無効分電圧指令値 V_{cq2} はシームレスになる。すなわち、 dq 逆変換部 150 に入力される有効分電圧指令値 V_{cd2} のギャップは抑制され、有効分電圧指令値 V_{cd2} の変動が滑らかになる。

【 0 0 7 1 】

第 1 の実施形態では、単独運転移行信号 S が直接 AND 回路 130 に入力された。第 2 の実施形態では、単独運転移行信号 S は、オンディレイ回路 139 に入力される。オンディレイ回路 139 は、単独運転移行信号 S が入力されたとき、オンディレイ時間の計時を開始し、オンディレイ時間経過後に単独運転移行信号 S を AND 回路 130 に出力する。

10

【 0 0 7 2 】

オンディレイ時間（基準時間）は、変化率制限器 136 と協調し、例えば、選択器 135 が動作して、有効分電圧指令値 V_{cd2a} が、有効分電圧指令値 V_{cd1} から交流電圧指令値 V_{sdrf} に移行完了するまでの時間である。移行が完了とは、変化率制限器 136 による制限が、出力される電圧指令値に対して作用しなくなったことである。上記のオンディレイ時間は、変化率制限器 136 による制限が、出力される電圧指令値に対して作用しなくなったと推定される時間、または変化率制限器 136 が直前に出力した電圧指令値に対して、変化率制限器 136 が出力する電圧指令値が合致するまでの時間である。これにより、単独運転モードへの切り替えが完了した後に、積分器 132 が有効分電圧指令値 V_{cd2} の補正を開始する。

20

【 0 0 7 3 】

このように、変化率制限器 136 の作用、および積分器 132 が、単独運転移行信号 S が出力され、且つ基準時間経過した後に補正值 V_{cd2b} を出力することにより、単独運転にモード切り替えが行われる際に、電力変換器 70 が出力すべき有効電圧指令値 V_{cd} 、無効電圧指令値 V_{cq} がシームレスに切り替わり、安定して単独運転にモード切り替えすることができる。

【 0 0 7 4 】

図 7 は、第 2 の実施形態の交流電圧制御部 120A の処理と処理タイミングとを説明するための図である。時刻 t において、単独運転移行信号 S が選択部 135 に入力されると（ステップ S200）、時刻 $t+1$ において、選択器 135 が有効分電圧指令値 V_{sdrf} を選択し、変化率制限器 136 が直前に出力した有効電圧指令値 V_{cd2a} に対する、出力する有効電圧指令値 V_{cd2a} の変化率が所定の範囲内に制限して、有効電圧指令値 V_{cd2a} を加算器 134 に出力する（ステップ S202）。時刻 $t+3$ において、出力する有効電圧指令値 V_{cd2a} が、出力する有効電圧指令値 V_{sdrf} に合致する。すなわち、電圧指令値に関して有効分電圧指令値 V_{sdrf} に移行が完了する（ステップ S204）。

30

【 0 0 7 5 】

また、時刻 t において、単独運転移行信号 S がオンディレイ回路 139 に入力されると（ステップ S206）、時刻 $t+1$ において、オンディレイ回路 139 が、計時を開始する（ステップ S208）。時刻 $t+2$ において、オンディレイ回路 139 が、オンディレイ時間に到達して計時を終了すると、単独運転移行信号 S を AND 回路 130 に出力する（ステップ S210）。時刻 $t+3$ において、積分器 132 は、AND 回路 130 に出力された信号に基づいて、加算器 134 に、ゼロを出力するか、補正值を出力するかを決定し、決定結果に基づく信号を出力する動作を行う（ステップ S212）。

40

【 0 0 7 6 】

時刻 $t+4$ において、加算器 134 が、変化率制限器 136 の出力結果および AND 回路 130 の出力結果に基づく有効分電圧指令値 V_{cd2} を出力する（ステップ S214）。

【 0 0 7 7 】

上述したように、変化率制限器 136 の出力により、シームレスに有効分電圧指令値 V

50

c dの値が切り替わり、変化率制限器 1 3 8の出力により、d q逆変換器 1 5 0の無効分電圧指令値 $V_{c q}$ の値の切り替えがシームレスに行われる。また、電圧指令値 $V_{s d r e f}$ に移行が完了したときに積分器 1 3 2が動作するため、加算器 1 3 4に入力される電圧値に関する制御が干渉することが抑制される。

【 0 0 7 8 】

[比較例との対比]

図 8 は、比較例の制御装置により制御が行われた場合のシミュレーション結果の波形を示す図である。図 8 の上図の縦軸は交流系統の電圧の変化を示し、横軸は時間を示している。図 8 の下図の縦軸は出力電流の変化を示し、横軸は時間を示している。

【 0 0 7 9 】

図 8 は、交流送電線 2 0 で系統事故が発生した後に、遮断部 3 0 が開放され単独系統となり、電力変換器 7 0 が単独運転により単独系統 5 0 に電力を供給した場合のシミュレーション結果である。図 8 のシミュレーション結果は、過電流が検出されても積分器がリセットされない場合の波形である。比較例では、上記のように過電流が検出されても積分器がリセットされず、電力変換器の出力電流が抑制されないため、電力変換器が停止する。なお、過電流検出器 1 2 6 の閾値は、通常運転時の最大電流レベル程度に設定されている。過電流により電力変換器 7 0 が停止するレベルは、通常運転時の最大電流レベルよりも高めに設定されている。これは、過電流耐量設計の裕度が反映されたものである。また、図 8 の時間 T_1 、 T_2 は、後述する図 9 の時間 T_1 、 T_2 に対応する時間である。

【 0 0 8 0 】

図 9 は、第 2 の実施形態の制御装置 1 0 0 により制御が行われた場合のシミュレーション結果の波形を示す図である。図 9 の上図の縦軸は交流系統の電圧の変化を示し、横軸は時間を示している。図 9 の下図の縦軸は出力電流の変化を示し、横軸は時間を示している。

【 0 0 8 1 】

図 9 のシミュレーション結果は、オンディレイ時間が経過し、積分器 1 3 2 が動作を開始した後に、電力変換器 7 0 により出力された電流が過電流であると検出されて、積分器 1 3 2 がリセットされた場合の交流系統の電圧と電力変換器 7 0 の出力電流との推移である。本実施形態の制御装置 1 0 0 は、過電流が検出されると、積分器 1 3 2 をリセットし、交流系統の電圧を増加させる作用を無効にするため、出力電流を抑制でき、電力変換器 7 0 の運転を継続させることができる。

【 0 0 8 2 】

また、単独運転移行信号 S が入力され、選択器 1 1 4、1 1 6 によって d q 逆変換器 1 5 0 の入力である有効分電圧指令値 $V_{c d}$ 、無効分電圧指令値 $V_{c q}$ の値が切り替えられるとき、有効分電圧指令値 $V_{c d 1}$ 、無効分電圧指令値 $V_{c q 1}$ は単独運転前の運転状態によって変化しているため、単独運転時の有効分電圧指令値 $V_{c d 2}$ 、無効分電圧指令値 $V_{c q 2}$ と乖離している場合があり、安定して単独運転にモード切り替えができない場合がある。

【 0 0 8 3 】

これに対して、本実施形態の制御装置 1 0 0 が、変化率制限器 1 3 6 の出力により、シームレスに有効分電圧指令値 $V_{c d}$ の値を切り替え、変化率制限器 1 3 8 の出力により、d q 逆変換器 1 5 0 の無効分電圧指令値 $V_{c q}$ の値の切り替えをシームレスに行うことができる。

【 0 0 8 4 】

以上説明した第 2 の実施形態によれば、制御装置 1 0 0 が、積分器 1 3 2 を動作させるタイミングを、変化率制限器 1 3 6 の制御により電圧指令値に関して電圧指令値 $V_{s d r e f}$ に移行が完了するタイミングに同期させることにより、加算器 1 3 4 に入力される電圧値に関する制御が干渉することが抑制される。この結果、交流系統にとって適切な電力を供給することができる。

【 0 0 8 5 】

(第 3 の実施形態)

10

20

30

40

50

以下、第3の実施形態について説明する。第1の実施形態および第2の実施形態の制御は、単独系統内の負荷容量が電力変換器70の容量よりも大きい場合に、積分器132がリセットされ交流系統の電圧を増加させる作用が無効にされることで、出力電流が抑制される制御であった。

【0086】

これに対して、第3の実施形態では、更に比例積分器144を用いて、より出力電流の抑制の効果を高める制御が行われる。例えば、負荷容量が大きい場合など、積分器132がリセットされるだけでは出力電流の抑制効果が不足する場合に、電力変換器70が停止してしまうような場合に効果的な制御である。

【0087】

図10は、第3の実施形態の交流電圧制御部120Bの機能構成の一例を示す図である。交流電圧制御部120Bは、例えば、第2の実施形態の交流電圧制御部120Aの機能構成に加え、更に加算器140と、AND回路142と、比例積分器144とを備える。AND回路142は、「第2信号生成部」の一例であり、AND回路142により出力される信号は「第2制御信号」の一例である。比例積分器144は、「第2補正部」の一例である。

【0088】

加算器140には、演算部124の演算結果と、電流制限値 I_{lim} とが入力される。電流制限値 I_{lim} は、電力変換器70が運転継続可能な電流値である。そして、加算器140は、演算部124の演算結果と、電流制限値 I_{lim} との差分の値を比例積分器144に出力する。

【0089】

AND回路142には、過電流検出器126の検出結果と、単独運轉移行信号 S （「1」）とが入力される。例えば、過電流が生じている場合は、過電流検出器126は「1」を出力し、過電流が生じていない場合は、過電流検出器126は「ゼロ」を出力する。例えば、AND回路142は、過電流が生じていることを示す信号、および単独運轉移行信号 S が入力された場合、「1」を比例積分器144に出力する。

【0090】

比例積分器144は、AND回路142により「1」が入力された場合、以下のように演算を行い、AND回路142により「ゼロ」が入力された場合、出力をゼロにリセットしてゼロを出力する。比例積分器144は、電力変換器70の出力する電流が過電流となった場合（「1」が入力された場合）、電流制限値 I_{lim} に基づいて、補正值 V_{cd2c} を生成する。補正值 V_{cd2c} は、交流系統の電圧を低減するように電力変換器70が出力すべき有効分電圧指令値 V_{cd2a} を補正する補正值である。

【0091】

比例積分器144は、リミッタ機能を有し、ゼロより大きい値を出力しないように上限リミッタがゼロに設定されている。比例積分器144は、演算部124が出力した電流値 I が電流制限値 I_{lim} よりも大きくなると負の補正值 V_{cd2c} を生成する。負の補正值 V_{cd2c} は、加算器134に入力されることにより、電力変換器70が出力する有効分電圧指令値 V_{cd2} を低減させる補正值である。電流値 I が電流制限値 I_{lim} よりも大きいほど、有効分電圧指令値 V_{cd2} をより低減させる負の補正值 V_{cd2c} が生成される。

【0092】

比例積分器144は、演算部124が出力した電流値 I が電流制限値 I_{lim} よりも小さくなると、上限リミッタの機能により出力はゼロよりも大きい補正值 V_{cd2c} を出力しない。これにより、演算部124が出力した電流値 I が電流制限値 I_{lim} よりも小さい場合であっても、電力変換器70の有効分電圧指令値 V_{cd2} が増加するような補正は行われない。

【0093】

図11は、比例積分器144が補正值を出力する場合と出力しない場合について説明す

10

20

30

40

50

るための図である。図 5 と重複する説明については省略する。ここでは、図 11 の下図の比例積分器 144 の処理を中心について説明する。

【0094】

例えば、電力変換器 70 の出力電流が所定値未満である場合、AND 回路 142 には、過電流検出器 126 により出力された「ゼロ」と、単独運転移行信号 S の「1」とが入力され、AND 回路 142 は「ゼロ」を出力する。比例積分器 144 には AND 回路 142 に出力された「ゼロ」が入力される。この場合、比例積分器 144 は、補正值を出力しない。これにより、有効電圧指令値 V_{cd2a} に補正值 V_{cd2c} が加味されない。

【0095】

例えば、電力変換器 70 の出力電流が所定値以上である場合、AND 回路 142 には、過電流検出器 126 により出力された「1」と、単独運転移行信号 S の「1」とが入力され、AND 回路 142 は「1」を出力する。比例積分器 144 には AND 回路 142 に出力された「1」が入力される。この場合、比例積分器 144 は、補正值を出力する。これにより、有効電圧指令値 V_{cd2a} に補正值 V_{cd2c} が加味される。

10

【0096】

このように、電力変換器 70 の出力電流が所定値以上である場合、図 11 の上図に示すように積分器 132 は補正值 V_{cd2b} を出力せずに出力電流を抑制し、図 11 の下図に示すように、更に比例積分器 144 が出力電流を減らすための補正值 V_{cd2c} を出力する。

【0097】

上述した処理により、単独運転中に過電流が検出された場合、例えば、以下 (A) ~ (C) の作用効果を奏する。(A) 積分器 132 がリセットされるとともに、比例積分器 144 が作用して有効分電圧指令値 V_{cd2} が低減することにより、出力電流を抑制され、過電流により電力変換器 70 が停止するのを防ぐことができる。

20

【0098】

(B) 比例積分器 144 が、有効分電流 I_d 、無効分電流 I_q の大きさに基づいて、有効分電圧指令値 V_{cd2} の低減量を連続的に調整する。すなわち、制御装置 100 は、電力変換器 70 が運転継続可能な出力電流の出力を維持するように電力変換器 70 を制御しつつ、交流系統の電圧の低減量を必要最低限とするように電力変換器 70 を制御することができる。

30

【0099】

(C) 積分器 132 は、オンディレイ回路 139 により出力される信号に基づいて動作するので、比例積分器 144 は、積分器 132 よりも高速に信号を出力する。この結果、積分器 132 が、交流電圧指令値 V_{sdref} 自体を低減させるよりも、比例積分器 144 により高速に出力電流が抑制される。

【0100】

以上説明した第 3 の実施形態によれば、比例積分器 144 が作用することにより、より有効分電圧指令値 V_{cd2} が低減される。この結果、制御装置 100 は、電力変換器 70 を停止させることなく、交流系統にとって適切な電力を供給することができる。

【0101】

(第 4 の実施形態)

以下、第 4 の実施形態について説明する。第 4 の実施形態の制御装置 100 は、過電流検出器 126 の機能が、第 3 の実施形態の過電流検出器 126 の機能と異なる。以下、第 3 の実施形態との相違点を中心に説明する。なお、第 4 の実施形態の説明は、前述した図 10 を援用する。

40

【0102】

過電流検出器 126 は、過電流の判定を「1」とする電流レベルと、「ゼロ」とする電流レベルとを別に設定できるヒステリシス特性を有する。例えば、過電流検出器 126 は、演算部 124 の演算結果である電流値 I が所定値 I_n よりも小さい状態から所定値 I_n 以上となったときに、過電流であることを意味する「1」を出力する。過電流検出器

50

126は、電流値Iが所定値I_n以上である場合、「1」の出力を継続する。

【0103】

例えば、過電流検出器126は、演算部124の演算結果である電流値I_{ff}よりも大きい状態から所定値I_{ff}以下となったときに、過電流でないことを意味する「ゼロ」を出力する。過電流検出器126は、電流値Iが所定値I_{ff}以下である場合、「ゼロ」の出力を継続する。

【0104】

このように、過電流検出器126が、ヒステリシス特性を有することにより、電力変換器70の出力電流が過電流の検出値付近となる場合に、積分器132と比例積分器144との切り替えのハンチングが防止される。

【0105】

[比較例との対比]

図12および図13は、図8または図9より単独系統内の負荷容量がさらに大きい場合のシミュレーション結果である。図8または図9と重複する説明については省略する。図12は、比較例の制御装置の制御が行われた場合のシミュレーション結果の波形を示す図である。図12のシミュレーション結果は、過電流が検出されても比例積分器144が動作しない場合の波形である。比較例では、上記のように過電流が検出されても比例積分器が動作せず、電力変換器の出力電流が抑制されないため、電力変換器が停止する。なお、図12の時間T3は、後述する図13の時間T3に対応する時間である。

【0106】

図13は、第4の実施形態の制御装置の制御が行われた場合のシミュレーション結果の波形を示す図である。図13のシミュレーション結果は、過電流が検出されれば場合に積分器132がリセットされ、且つ比例積分器144の作用により系統電圧が低減された場合の交流系統の電圧と電力変換器70の出力電流を示したものである。

【0107】

このように、比例積分器144が作用することにより系統電圧が低減され、出力電流が抑制される。また、単独系統となってから一定時間後に、系統安定化装置などの系統側システムにより負荷制御が行われ、負荷が切り離されて過負荷状態が解消されると、比例積分器144がリセットされ、再び積分器132による制御に自動的に切り替わる。この結果、交流系統の電圧が一定に維持される。

【0108】

以上説明した第4の実施形態によれば、過電流検出器126がヒステリシス特性を有することにより、積分器132および比例積分器144のオンまたはオフにより生じるハンチングが防止される。この結果、制御装置100は、交流系統にとって適切な電力を供給することができる。

【0109】

以上説明した少なくともひとつの実施形態によれば、交流系統と直流系統とに接続された自励式電力変換器を制御する制御装置であって、前記交流系統の電圧検出値と、前記交流系統の電流検出値とに基づく第1電圧指令値を導出する第1導出部と、前記自励式電力変換器が出力する電流が基準よりも小さい場合、前記交流系統の電圧検出値を前記交流系統の電圧指令値に近づけるように第2電圧指令値を決定し、前記自励式電力変換器が出力する電流が基準よりも大きい場合、前記交流系統の電圧指令値を前記第2電圧指令値として決定する第2導出部と、前記交流系統と他の電力供給装置との電気的な接続状態に基づいて、前記第1電圧指令値と前記第2電圧指令値とのいずれかを選択的に出力する選択部と、前記選択部により出力された前記第1電圧指令値または前記第2電圧指令値に基づいて、前記自励式電力変換器に出力するゲート信号を生成する生成部とを持つことにより、交流系統にとって適切な電力を供給することができる。

【0110】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様

10

20

30

40

50

々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

【符号の説明】

【0111】

10 交流電圧源、20 交流送電線、30 遮断部、60 交流母線、70 電力変換器、80 電流検出器、90 電圧検出器、100 制御装置、106 選択器、108 d q変換部、110 d q変換部、112 交流電流制御部、114 選択器、116 選択器、120 交流電圧制御部、122 加算器、124 演算部、126 過電流検出器、128 NOT回路、130 AND回路、132 積分器、134 加算器、135 選択器、136 変化率制限器、137 選択器、138 変化率制限器、139 オンディレイ回路、140 加算器、142 AND回路、144 比例積分器、150 d q逆変換部、152 パルス生成部、160 負荷、170 電力変換器、180 交流母線、190 交流電圧源

10

20

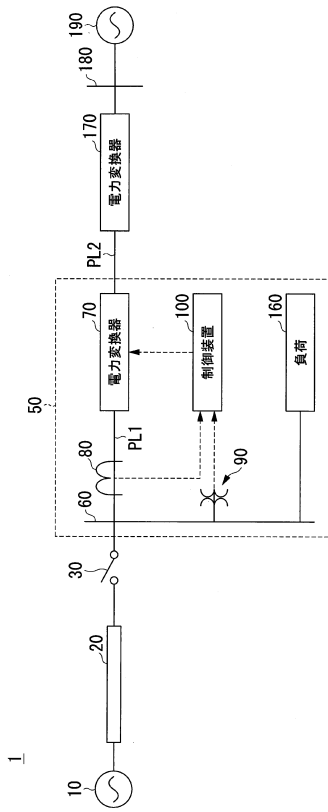
30

40

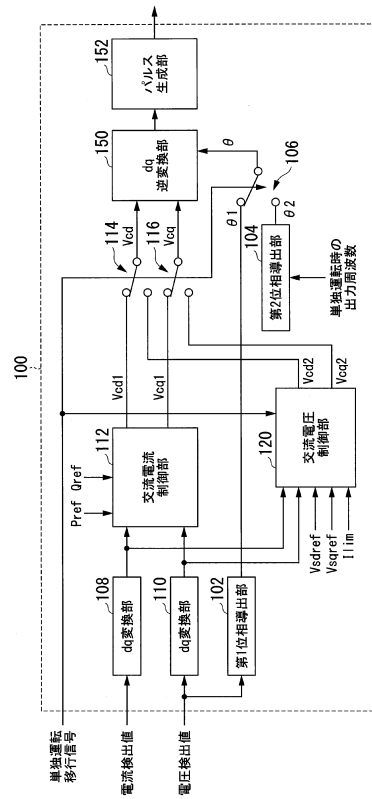
50

【図面】

【図 1】



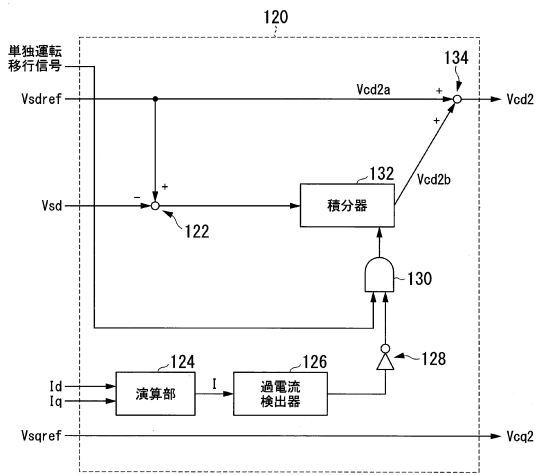
【図 2】



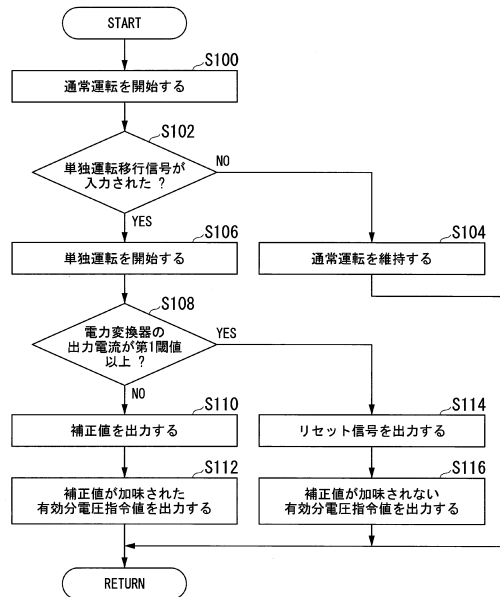
10

20

【図 3】



【図 4】

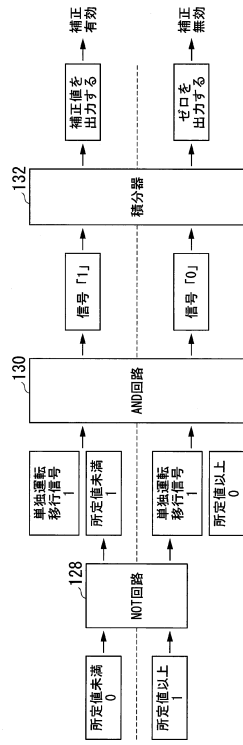


30

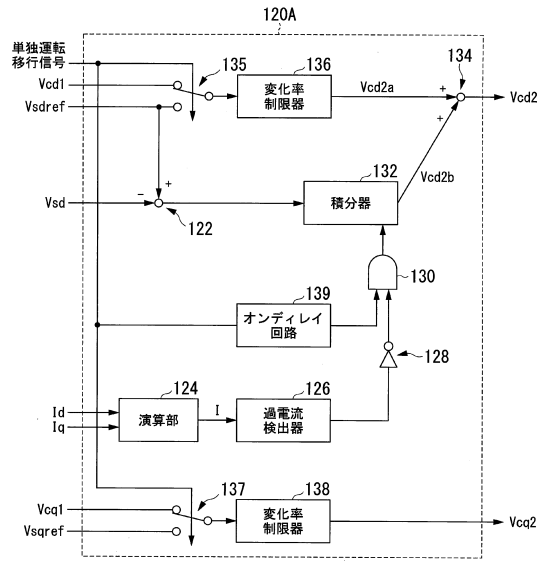
40

50

【図5】



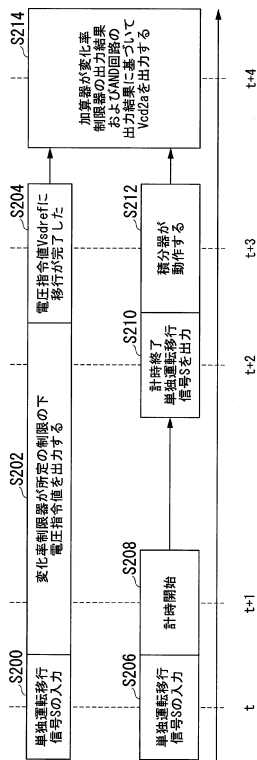
【図6】



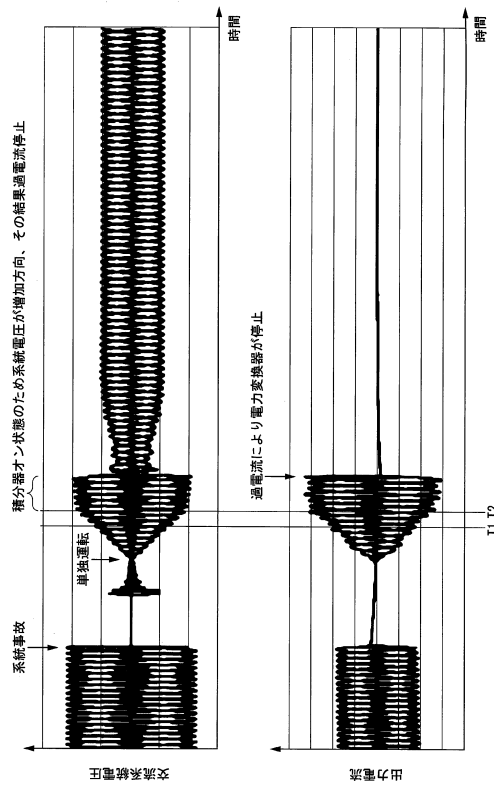
10

20

【図7】



【図8】

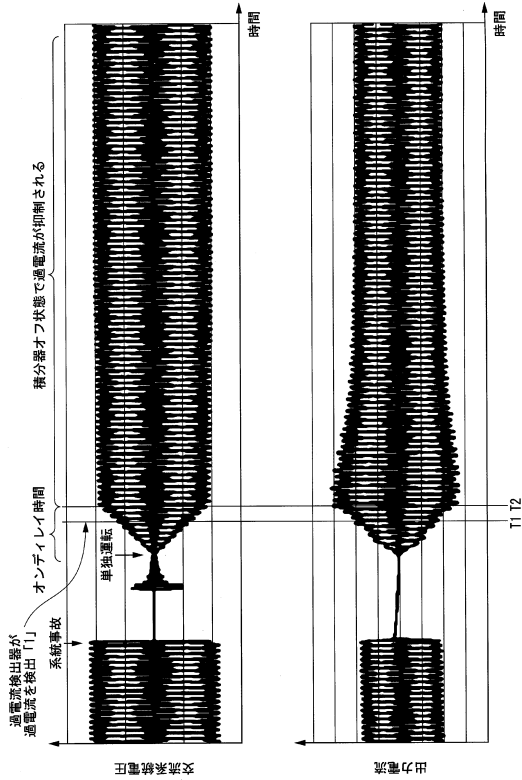


30

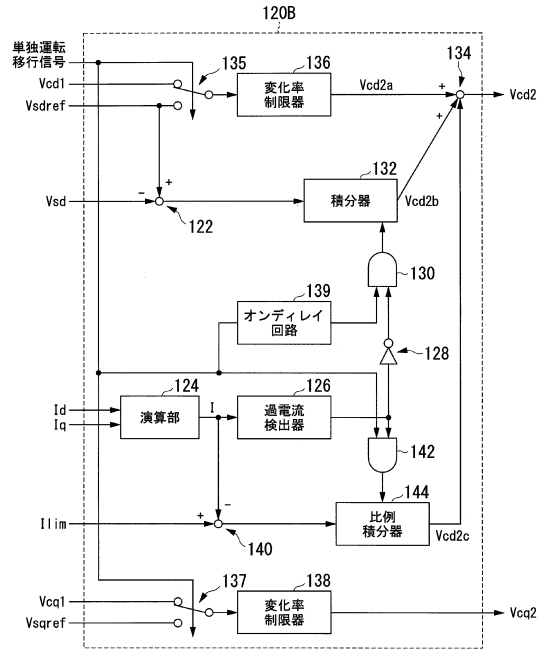
40

50

【図 9】



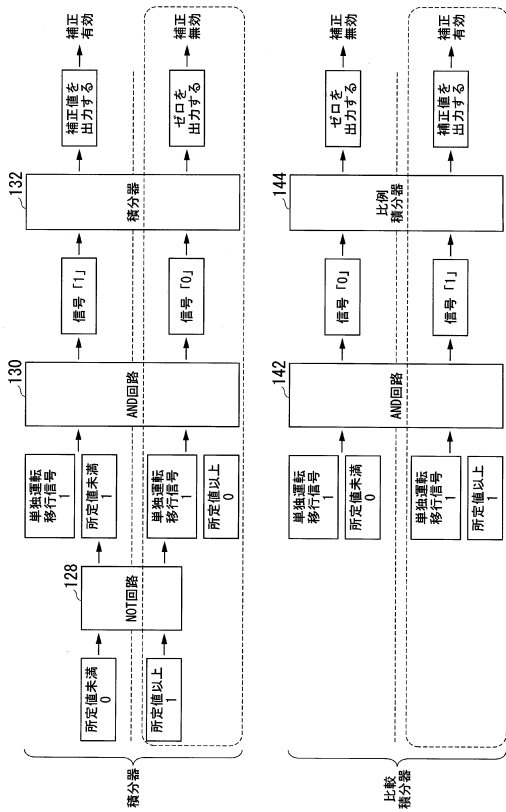
【図 10】



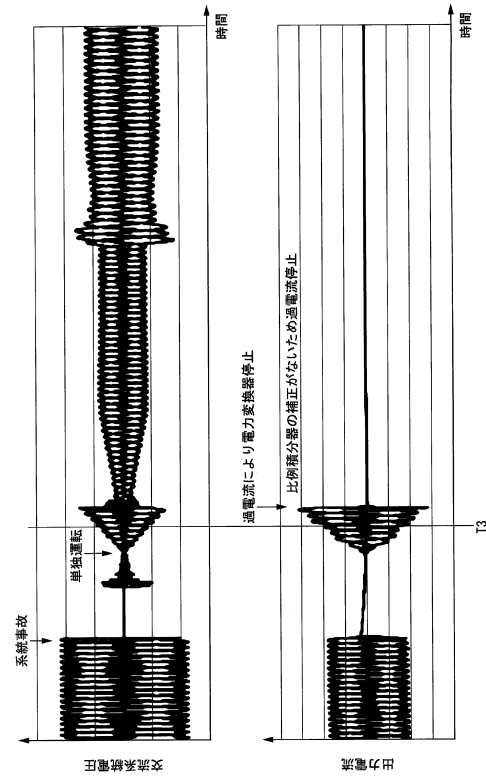
10

20

【図 11】



【図 12】

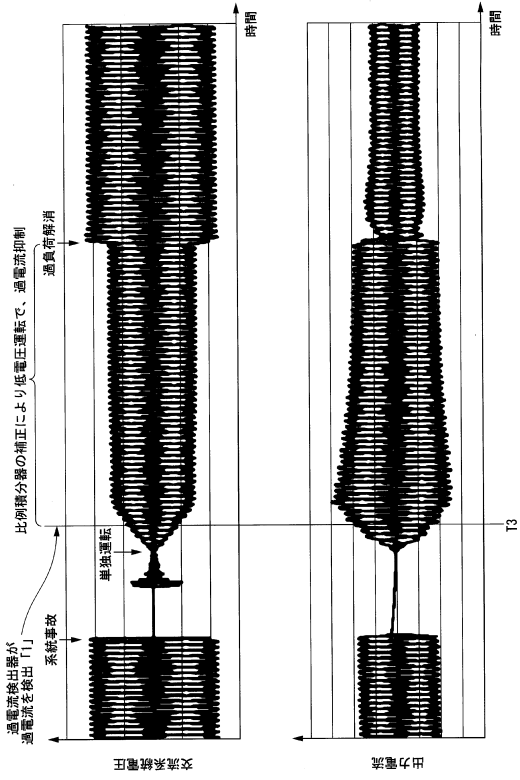


30

40

50

【 図 13 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 東芝エネルギーシステムズ株式会社内
(72)発明者 飯尾 尚隆
- 神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 東芝エネルギーシステムズ株式会社内
(72)発明者 石黒 崇裕
- 神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 東芝エネルギーシステムズ株式会社内
審査官 右田 勝則
- (56)参考文献 特開平10-313540(JP,A)
特開2002-238163(JP,A)
特開2000-217258(JP,A)
特開2009-183117(JP,A)
米国特許出願公開第2018/0219380(US,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H02J 3/38