

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6412822号
(P6412822)

(45) 発行日 平成30年10月24日 (2018.10.24)

(24) 登録日 平成30年10月5日 (2018.10.5)

(51) Int. Cl.	F I
H02J 3/16 (2006.01)	H02J 3/16
H02J 3/00 (2006.01)	H02J 3/00 170
H02J 13/00 (2006.01)	H02J 13/00 301A
	H02J 13/00 311R

請求項の数 24 (全 48 頁)

(21) 出願番号	特願2015-87301 (P2015-87301)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成27年4月22日 (2015.4.22)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2016-208654 (P2016-208654A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成28年12月8日 (2016.12.8)	(74) 代理人	110000350
審査請求日	平成30年1月19日 (2018.1.19)		ポレール特許業務法人
		(72) 発明者	黒田 英佑
			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	加藤 大地
			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	友部 修
			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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電力系統電圧無効電力監視制御装置及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電力系統の電圧、無効電力を調整可能な個別装置に対して送信データを与える電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

該電力系統電圧無効電力監視制御装置は、

電力系統の安定性を示す1つ以上の指標を用いて1つ以上の目標値制約を求め、目標値制約から目標値についての情報を得、目標値についての情報を含む送信データを前記個別装置に与え、前記個別装置により当該設置個所における電圧、無効電力を調整することを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

電力系統の安定性を示す前記 1 つ以上の指標は、電力系統の過渡安定性、定態安定性、電圧安定性、制御余裕の観点での指標であることを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

目標値制約から得た目標値についての情報は、目標値変更タイミング、目標値幅、および目標値の大きさのいずれか 1 つ以上を含む情報であることを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。

【請求項 4】

10

20

請求項 3 に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

前記個別装置は、当該設置個所における電力系統のデータを入手し、前記電力系統電圧無効電力監視制御装置から与えられる目標値についての情報を目標値として、当該設置個所における電圧、無効電力を調整することを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。

【請求項 5】

請求項 1 または請求項 2 に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

前記目標値制約から得た目標値についての情報は、目標値を達成するための制御量の情報であることを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

前記個別装置は位置制御を行うものであり、与えられた制御量が示す位置に操作することで、当該設置個所における電圧、無効電力を調整することを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。

【請求項 7】

請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

電力系統の変動成分から、故障発生時の大きな変動成分を除外し、再生可能エネルギーによる緩やかな需給変動を変動データとして抽出し、変動データを加味して電力系統の安定性を示す 1 つ以上の指標を用いて 1 つ以上の目標値制約を求め、目標値制約から目標値についての情報を得、目標値についての情報を含む送信データを前記個別装置に与え、前記個別装置により当該設置個所における電圧、無効電力を調整することを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。

【請求項 8】

請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

電力系統の潮流状態が変化したことによるずれを求め、当該ずれを加味して電力系統の安定性を示す 1 つ以上の指標を用いて 1 つ以上の目標値制約を求め、目標値制約から目標値についての情報を得、目標値についての情報を含む送信データを前記個別装置に与え、前記個別装置により当該設置個所における電圧、無効電力を調整することを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。

【請求項 9】

請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

電力系統の緊急状態を判定して、緊急状態における前記目標値についての情報を得、当該緊急状態における前記目標値についての情報を前記個別装置に与え、前記個別装置により当該設置個所における電圧、無効電力を調整することを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。

【請求項 10】

電力系統の電圧、無効電力を調整可能な個別装置に対して送信データを与える電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

電力系統情報の予測値と系統設備情報と計算設定情報と判断基準情報の一つ以上から指標値を計算する指標計算部と、

前記指標計算部の計算結果と判断基準情報を用いて一つ以上の電力系統の箇所の目標値制約を計算する目標値制約計算部と、

前記目標値制約計算部の計算結果を用いて目標値変更タイミングを計算する目標値変更タイミング計算部と、

前記目標値制約計算部の計算結果を用いて目標値幅を計算する目標値幅計算部と、前記系統設備情報と前記計算設定情報と前記目標値制約計算部と前記目標値変更タイミング計算部と前記目標値幅計算部の一つ以上の計算結果を用いて目標値を計算する目標値計

10

20

30

40

50

算部と、

前記目標値変更タイミング計算部と前記目標値幅計算部と前記目標値計算部の一つ以上の計算結果を用いて制御出力を指令する出力指令部と、

電力系統情報の計測情報と、前記目標値制約計算部と前記目標値変更タイミング計算部と前記目標値幅計算部と前記目標値計算部の一つ以上の計算結果を用いて前記出力指令部の指令結果を評価する制御評価部と、

前記指標計算部と前記目標値制約計算部と前記目標値変更タイミング計算部と前記目標値幅計算部と前記目標値計算部と前記制御評価部の一つ以上の計算結果を表示する表示部と、

を具備することを特徴とする、電力系統電圧無効電力監視制御装置。

10

【請求項 1 1】

請求項 1 0 に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

前記電力系統情報の予測値は、発電計画と需要予測の一つ以上を用いて潮流計算により求められることを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。

【請求項 1 2】

請求項 1 0 に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

前記指標計算部は、過渡安定性計算と定態安定性計算と電圧安定性計算と潮流計算と制御余裕の一つ以上の結果と、予め設定された閾値からなる判断基準情報と、を用いることを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。

20

【請求項 1 3】

請求項 1 0 に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

前記目標値計算部は、前記目標値制約計算部の計算結果を制約として、有効電力送電損失最小化と無効電力送電損失最小化と電源の有効電力出力配分の変更による総燃料費最小化と各電源の力率変更による無効電力出力最小化の一つ以上を目的関数とした最適化計算により求めること特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。

【請求項 1 4】

請求項 1 0 に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

前記制御評価部は、予め設定された各電圧レベルの違反を評価し、系統電圧状態を電圧の等高線と、系統の運用状態を電圧の時系列波形と選択時刻の目標電圧幅と計測値の関係、の一つ以上を表示することを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。

30

【請求項 1 5】

請求項 1 0 に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

前記目標値は、電圧、有効電力、無効電力、有効電力損失、無効電力損失の一つ以上であることを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。

【請求項 1 6】

請求項 1 0 に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

電力系統の変動情報を具備し、前記変動情報を用いて指標計算することを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。

【請求項 1 7】

請求項 1 0 に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

電力系統の変動情報を具備し、前記変動情報を用いた指標計算の計算結果を用いて、経済性を最大とする目標値制約を計算することを特徴とする、電力系統電圧無効電力監視制御装置。

40

【請求項 1 8】

請求項 1 0 に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

前記系統設備情報と前記計算設定情報と、前記目標値変更タイミング計算部と前記目標値幅計算部と前記目標値計算部の一つ以上の計算結果とを用いて制御量を計算する制御量計算部と、

前記目標値変更タイミング計算部と前記目標値幅計算部と前記目標値計算部と制御量計算部の一つ以上の計算結果を用いて制御出力を指令する出力指令部と、

50

電力系統情報の計測情報と、前記目標値制約計算部と前記目標値変更タイミング計算部と前記目標値幅計算部と前記目標値計算部と制御量計算部の一つ以上の計算結果を用いて前記出力指令部の指令結果を評価する制御評価部と、

前記指標計算部と前記目標値制約計算部と前記目標値変更タイミング計算部と前記目標値幅計算部と前記目標値計算部と制御量計算部と前記制御評価部の一つ以上の計算結果を表示する表示部と、

を具備することを特徴とする、電力系統電圧無効電力監視制御装置。

【請求項 19】

請求項 18 に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

前記制御量計算部は、目標値と計測値の偏差が最小化と有効電力送電損失最小化と無効電力送電損失最小化と電源の有効電力出力配分の変更による総燃料費最小化と各電源の力率変更による無効電力出力最小化の一つ以上を目的関数とし、調相設備の並解列情報と変圧器タップ値と発電機電圧自動調整装置の指令値と発電機無効電力自動調整装置の指令値の一つ以上を操作変数とした最適化計算により求めることを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。

10

【請求項 20】

請求項 15 に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

前記制御評価部は、電圧階級毎に安定性指標値をレーダーチャートに表示できるようにすることと、オンラインで経済性を評価し画面に表示することの、一つ以上を表示することを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。

20

【請求項 21】

請求項 10 または請求項 15 に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

電力系統の計画値情報を用いて電力系統情報を予測する予測値計算部と、

前記計測情報と予測値情報と系統設備情報の一つ以上を用いて系統状態の誤差を計算する誤差計算部と、

前記誤差計算部の計算結果と前記判断基準情報とを用いて誤差発生を判定する誤差発生判定部と、

前記誤差発生判定部にて誤差ありと判定された場合には、系統状態の情報をを用いて計画値情報を修正する計画値修正部と、

前記計画値修正部の計算結果を用いて前記予測値計算部での計算をやり直すことを特徴とする、電力系統電圧無効電力監視制御装置。

30

【請求項 22】

請求項 10 に記載の電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、

前記計測情報と前記判断基準情報を用いて、電力系統に事故や故障や系統構成の変化が生じたことを判定する緊急状態判定部と、

前記緊急状態判定部の判定結果と系統設備情報と計算設定情報とを用いて、緊急目標値を計算する緊急目標値計算部と、

前記緊急目標値計算部の計算結果である緊急目標値を出力指令する出力指令部を具備することを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。

【請求項 23】

電力系統における電圧無効電力監視制御方法であって、

電力系統情報の予測値と系統設備情報と計算設定情報と判断基準情報の一つ以上から指標値を計算する指標計算処理ステップと、

前記指標計算処理ステップの計算結果と判断基準情報を用いて一つ以上の電力系統の箇所の目標値制約を計算する目標値制約計算処理ステップと、

前記目標値制約計算処理ステップの計算結果を用いて目標値変更タイミングを計算する目標値変更タイミング計算処理ステップと、

前記目標値制約計算処理ステップの計算結果を用いて目標値幅を計算する目標値幅計算処理ステップと、

前記系統設備情報と前記計算設定情報と前記目標値制約計算処理ステップと前記目標値

40

50

変更タイミング計算処理ステップと前記目標値幅計算処理ステップの一つ以上の計算結果を用いて目標値を計算する目標値計算処理ステップと、

前記目標値変更タイミング計算処理ステップと前記目標値幅計算処理ステップと前記目標値計算処理ステップの一つ以上の計算結果を用いて制御出力を指令する出力指令処理ステップと、

電力系統情報の計測情報と、前記目標値制約計算処理ステップと前記目標値変更タイミング計算処理ステップと前記目標値幅計算処理ステップと前記目標値計算処理ステップの一つ以上の計算結果を用いて前記出力指令処理ステップの指令結果を評価する制御評価処理ステップと、

前記指標計算処理ステップと前記目標値制約計算処理ステップと前記目標値変更タイミング計算処理ステップと前記目標値幅計算処理ステップと前記目標値計算処理ステップと前記制御評価処理ステップの一つ以上の計算結果を表示する表示処理ステップと、
を具備することを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御方法。

【請求項 2 4】

電力系統の電圧、無効電力を調整可能な個別装置に対して送信データを与える電力系統電圧無効電力監視制御方法であって、

電力系統の安定性を示す 1 つ以上の指標を用いて 1 つ以上の目標値制約を求め、目標値制約から目標値についての情報を得、目標値についての情報を含む送信データを前記個別装置に与え、前記個別装置により当該設置個所における電圧、無効電力を調整することを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、電力系統の状態を監視し電圧と無効電力のバランスを維持するための、電力系統の電圧無効電力監視制御装置及び方法に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

本技術分野の背景技術として、特許文献 1、特許文献 2 がある。特許文献 1 には、「系統状態量格納手段 4 内にあるデータを用いて、目的関数算出手段 5 にて複数の電力系統制御業務の目的関数を夫々求め、次に目的関数変換手段 1 0 1 にて前記目的関数を線形変換し、更に統合目的関数算出手段 1 0 2 にて統合目的関数を導出し、この統合目的関数に対して感度算出し、操作量決定手段 7 にて操作量を決定する。」と記載されている。

【0 0 0 3】

また特許文献 2 には、「電力系統からの系統情報を、情報伝送装置を介して電子計算機へ入力し、これらの各情報をもとに処理して系統状態を表示する電力系統電圧安定性監視制御システムにおいて、安定化制御手段に、電源系統毎に無効電力供給指標 Q_s 及びその最大値 Q_{smax} を算出する指標算出手段 S 1 と、系統状態が健全時、送電損失が減少するように無効電力供給指標に Q_s の目標値を設定する目標値設定手段 S 2 と、前記無効電力供給指標 Q_s を目標値とするように各電圧制御機器の操作順序を決めて操作を行なう操作決定手段 S 3 とを備えた。」と記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 4】

【特許文献 1】特開平 9 - 3 7 4 6 3 号公報

【特許文献 2】特開平 6 - 2 8 4 5 8 2 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 5】

将来、電力系統には、再生可能エネルギー（太陽光発電や風力発電など）をはじめとする天候によって出力が変動する電源（出力変動型電源）が大量導入される予定であるが、

10

20

30

40

50

再生可能エネルギーは天候によって出力が変動するため、電圧や潮流の変動量が大きくなる可能性がある。そのため、電力系統の電圧と無効電力のバランスが維持できなくなる恐れや、経済性を向上することができない恐れがある。

【0006】

この点に関し特許文献1の電力系統制御装置には、「系統状態量格納手段4内にあるデータを用いて、目的関数算出手段5にて複数の電力系統制御業務の目的関数を夫々求め、次に目的関数変換手段101にて前記目的関数を線形変換し、更に統合目的関数算出手段102にて統合目的関数を導出し、この統合目的関数に対して感度算出し、操作量決定手段7にて操作量を決定する。」と記載されており、さらに「複数の電力系統制御を総合的に最適化し、設定した重みが制御結果に的確に反映されると共に運用者の意志を反映させた制御結果を得るための重みの値の設定を可能とし、系統状態に応じた総合的な制御を可能とする電力系統制御装置を提供することを目的としている。」としている。

10

【0007】

しかし、再生可能エネルギーは天候に起因して時間経過とともに出力変動すること、時間経過とともに電源構成や系統構成が変更されることなどの要因により、運用者の意志を反映させた制御結果を得るための重みの値が、必ずしも系統状態に応じた値にならず、電力系統の電圧と無効電力のバランスが維持できなくなる恐れや、経済性を向上することができない恐れがあるという課題がある。また、多目的最適化演算時に重みを調整する労力が多大であるという課題がある。

【0008】

20

そこで、本発明では、再生可能エネルギーは天候に起因して時間経過とともに出力変動すること、電源構成や系統構成が変更されることなどが発生しても、電力系統の電圧と無効電力のバランスが維持され、さらには経済性を向上することが可能な電力系統電圧無効電力監視制御装置及び方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記課題を解決するために、例えば特許請求の範囲に記載の構成を採用する。

【0010】

本発明は上記課題を解決する手段を複数含んでいるが、その一例を挙げるならば、「電力系統の電圧、無効電力を調整可能な個別装置に対して送信データを与える電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、電力系統電圧無効電力監視制御装置は、電力系統の安定性を示す1つ以上の指標を用いて1つ以上の目標値制約を求め、目標値制約から目標値についての情報を得、目標値についての情報を含む送信データを個別装置に与え、個別装置により当該設置個所における電圧、無効電力を調整することを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御装置。」である。

30

【0011】

また本発明は、「電力系統の電圧、無効電力を調整可能な個別装置に対して送信データを与える電力系統電圧無効電力監視制御装置であって、電力系統情報の予測値と系統設備情報と計算設定情報と判断基準情報の一つ以上から指標値を計算する指標計算部と、指標計算部の計算結果と判断基準情報を用いて一つ以上の電力系統の箇所の目標値制約を計算する目標値制約計算部と、目標値制約計算部の計算結果を用いて目標値変更タイミングを計算する目標値変更タイミング計算部と、目標値制約計算部の計算結果を用いて目標値幅を計算する目標値幅計算部と、系統設備情報と計算設定情報と目標値制約計算部と目標値変更タイミング計算部と目標値幅計算部の一つ以上の計算結果を用いて目標値を計算する目標値計算部と、目標値変更タイミング計算部と目標値幅計算部と目標値計算部の一つ以上の計算結果を用いて制御出力を指令する出力指令部と、電力系統情報の計測情報と、目標値制約計算部と目標値変更タイミング計算部と目標値幅計算部と目標値計算部の一つ以上の計算結果を用いて出力指令部の指令結果を評価する制御評価部と、指標計算部と目標値制約計算部と目標値変更タイミング計算部と目標値幅計算部と目標値計算部と制御評価部の一つ以上の計算結果を表示する表示部とを具備することを特徴とする電力系統電圧無

40

50

効電力監視制御装置。」である。

【 0 0 1 2 】

また本発明は、「電力系統における電圧無効電力監視制御方法であって、電力系統情報の予測値と系統設備情報と計算設定情報と判断基準情報の一つ以上から指標値を計算する指標計算処理ステップと、指標計算処理ステップの計算結果と判断基準情報を用いて一つ以上の電力系統の箇所の目標値制約を計算する目標値制約計算処理ステップと、目標値制約計算処理ステップの計算結果を用いて目標値変更タイミングを計算する目標値変更タイミング計算処理ステップと、目標値制約計算処理ステップの計算結果を用いて目標値幅を計算する目標値幅計算処理ステップと、系統設備情報と計算設定情報と目標値制約計算処理ステップと目標値変更タイミング計算処理ステップと目標値幅計算処理ステップの一つ以上の計算結果を用いて目標値を計算する目標値計算処理ステップと、目標値変更タイミング計算処理ステップと目標値幅計算処理ステップと目標値計算処理ステップの一つ以上の計算結果を用いて制御出力を指令する出力指令処理ステップと、電力系統情報の計測情報と、目標値制約計算処理ステップと目標値変更タイミング計算処理ステップと目標値幅計算処理ステップと目標値計算部の一つ以上の計算結果を用いて出力指令処理ステップの指令結果を評価する制御評価処理ステップと、指標計算処理ステップと目標値制約計算処理ステップと目標値変更タイミング計算処理ステップと目標値幅計算処理ステップと目標値計算処理ステップと制御評価処理ステップの一つ以上の計算結果を表示する表示処理ステップと、を具備することを特徴とする電力系統電圧無効電力監視制御方法。」である。

10

【発明の効果】

20

【 0 0 1 3 】

本発明によれば、時間経過とともに再生可能エネルギーは天候に起因して出力変動することや電源構成や系統構成の変更が発生しても、電力系統の電圧と無効電力のバランスが維持でき、さらには経済性の向上が可能となる。また、電力系統電圧無効電力監視制御装置の目標値や制御量の計算において、複数の目的関数を用いる際に、重みづけする労力を低減できる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 4 】

【図 1】電力系統電圧無効電力監視制御装置 10 の構成をその機能面から整理して記述した図。

30

【図 2】実施例 1 における電力系統電圧無効電力監視制御装置のハード構成と電力系統の全体構成例を示す図。

【図 3】プログラムデータベース DB 11 に保有されたプログラムデータ D 11 により実行される機能を、プログラム名称で示した図。

【図 4】予測値データ D 1 の一例を示す図。

【図 5】判断基準データ D 4 の一例を示す図。

【図 6】実施例 1 における目標値変更タイミングデータと目標値幅データと目標値データの一部を示す図。

【図 7】制御評価結果データの一部を示す図。

【図 8】実施例 1 における電力系統電圧無効電力監視制御装置の処理の全体を示すフローチャートの例を示す図。

40

【図 9】目標値変更タイミングや目標値幅や目標値を算出するために用いる目標値制約の計算結果の一部を示す図。

【図 10】目標値変更タイミングと目標値幅を計算する処理の一部を示す図。

【図 11】目標値の計算結果の一部を示す図。

【図 12】過渡安定性計算による指標計算の処理の一部を示す図。

【図 13】電圧の目標値制約を過渡安定性計算結果から求める処理の一部を示す図。

【図 14】定態安定性計算による指標計算の処理の一部を示す図。

【図 15】電圧の目標値制約を定態安定性計算結果から求める処理の一部を示す図。

【図 16】電圧安定性計算による指標計算の処理の一部を示す図。

50

【図 1 7】電圧安定性計算による指標計算の処理の一例を示す図。

【図 1 8】電圧の目標値制約を電圧安定性計算結果から求める処理の一例を示す図。

【図 1 9】制御評価結果を確認するための系統の電圧状態を表示する画面の一例を示す図。

。

【図 2 0】制御評価結果を確認するための系統の運用状態を表示する画面の一例を示す図。

。

【図 2 1】実施例 2 における電力系統電圧無効電力監視制御装置の構成をその機能面から整理して記述した図。

【図 2 2】実施例 2 における電力系統電圧無効電力監視制御装置のハード構成と電力系統の全体構成例を示す図。

10

【図 2 3】変動データ D 1 3 の一例を示す図。

【図 2 4】実施例 2 における目標値制約データの一例を示す図。

【図 2 5】実施例 2 における目標値計算の処理の一例を示す図。

【図 2 6】実施例 2 における目標値データの一例を示す図。

【図 2 7】実施例 3 における電力系統電圧無効電力監視制御装置の構成をその機能面から整理して記述した図。

【図 2 8】実施例 3 における電力系統電圧無効電力監視制御装置のハード構成と電力系統の全体構成例を示す図。

【図 2 9】制御量計算結果データの一例を示す図。

【図 3 0】実施例 3 における電力系統電圧無効電力監視制御装置の処理の全体を示すフローチャートの例を示す図。

20

【図 3 1】制御評価結果を表示する画面の一例を示す図。

【図 3 2】制御評価結果を表示する画面の一例を示す図。

【図 3 3】実施例 4 における電力系統電圧無効電力監視制御装置の構成をその機能面から整理して記述した図。

【図 3 4】実施例 4 における電力系統電圧無効電力監視制御装置のハード構成と電力系統の全体構成例を示す図。

【図 3 5】計画値データの一例を示す図。

【図 3 6】実施例 5 における電力系統電圧無効電力監視制御装置の構成をその機能面から整理して記述した図。

30

【図 3 7】実施例 5 における電力系統電圧無効電力監視制御装置のハード構成と電力系統の全体構成例を示す図。

【図 3 8】実施例 6 における電力系統電圧無効電力監視制御装置の構成をその機能面から整理して記述した図。

【図 3 9】実施例 6 における電力系統電圧無効電力監視制御装置のハード構成と電力系統の全体構成例を示す図。

【図 4 0】実施例 6 における電力系統電圧無効電力監視制御装置の緊急状態判定および緊急目標値計算の処理の全体を示すフローチャート。

【図 4 1】実施例 7 における電力系統電圧無効電力監視制御装置のハード構成と電力系統の全体構成例を示す図。

40

【図 4 2】実施例 7 における電力系統電圧無効電力監視制御装置の緊急状態判定および緊急目標値計算の処理の全体を示すフローチャート。

【図 4 3】実施例 7 における電力系統電圧無効電力監視制御装置の緊急状態判定および緊急制御量計算の処理の全体を示すフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の実施例を、図面を用いて説明する。

【0016】

本発明の実施例は多様な形態のものを含んでいるので、詳細説明に入る前に各実施例のあらましについて説明をしておく。

50

【 0 0 1 7 】

図 1 から図 2 0 を用いて説明を行う実施例 1 は、電力系統全体の視点で監視制御を行う中央装置と、電力系統の個別箇所に設置され中央装置からの送信データにより作動する個別装置で構成されるシステム構成を示している。

【 0 0 1 8 】

図 2 1 から図 2 6 を用いて説明を行う実施例 2 は、実施例 1 のシステム構成において、送信データとして変動データを考慮し外乱の影響を排除する目標値を与えるものである。

【 0 0 1 9 】

図 2 7 から図 3 2 を用いて説明を行う実施例 3 は、実施例 1 のシステム構成において、中央装置が個別装置に与える送信データを個別装置に対する制御量としたものである。

10

【 0 0 2 0 】

図 3 3 から図 3 5 を用いて説明を行う実施例 4 は、実施例 1 のシステム構成において、中央装置に予測機能及び計画値修正機能を持たせたものである。

【 0 0 2 1 】

図 3 6、図 3 7 を用いて説明を行う実施例 5 は、実施例 3 のシステム構成において、中央装置に予測機能及び計画値修正機能を持たせたものである。

【 0 0 2 2 】

図 3 8 から図 4 0 を用いて説明を行う実施例 6 は、実施例 1、実施例 2 または実施例 4 のシステム構成において、電力系統の緊急状態を判定して緊急状態に対応した目標値を与えるものである。

20

【 0 0 2 3 】

図 4 1 から図 4 3 を用いて説明を行う実施例 7 は、実施例 3 または実施例 5 のシステム構成において、電力系統の緊急状態を判定して緊急状態に対応した制御量を与えるものである。

【 実施例 1 】

【 0 0 2 4 】

先にも説明したように、実施例 1 は、電力系統全体の視点で監視制御を行う中央装置と、電力系統の個別箇所に設置され中央装置からの送信データにより作動する個別装置で構成されるシステム構成を示している。実施例 1 の電力系統電圧無効電力監視制御装置について、図 1 から図 2 0 を用いて説明する。

30

【 0 0 2 5 】

最初に、実施例 1 で適用対象とする電力系統の構成例と、電力系統電圧無効電力監視制御装置のハード構成について図 2 を用いて説明する。

【 0 0 2 6 】

図 2 の上部には、電力系統電圧無効電力監視制御装置のハード構成が示され、下部には実施例 1 で適用対象とする電力系統の構成例が示されている。このうち適用対象電力系統は、発電系統、送電系統、負荷系統を含む概念であるが、本発明の実施例 1 では一例として送電系統内の機器を個別装置として取り扱うことから狭義の意味において送電系統を電力系統ということがある。

【 0 0 2 7 】

このうち発電系統 2 0 0 は、電源 1 1 0 (1 1 0 a , 1 1 0 b)、ノード (母線) 1 2 0 (1 2 0 b)、ノード (母線) 1 2 1 (1 2 1 a , 1 2 1 b , 1 2 1 c)、変圧器 1 3 0 (1 3 0 a , 1 3 0 b)、タップ付変圧器 1 3 1 (1 3 1 a)、負荷 1 5 0 a、電力用コンデンサ (SC : S t a t i c C o n d e n s e r) 1 6 0 a、分路リアクトル (S h R : S h u n t R e a c t o r) 1 7 0 a などを含んで構成されている。なお発電系統 2 0 0 における電源 1 1 0 の例としては、火力発電機や水力発電機や原子力発電機などの回転系電源のほか、太陽光発電や風力発電といった分散型電源およびインバータを介して電力系統に接続するインバータ連系電源を含む。

40

【 0 0 2 8 】

また負荷系統 3 0 0 は、ノード (母線) 1 2 1 (1 2 1 e , 1 2 1 d)、変圧器 1 3 0

50

(130c)、タップ付変圧器131(131b)、負荷150(150b, 150c)、電力用コンデンサ(SC: Static Capacitor)160(160b, 160c, 160d)、分路リアクトル(ShR: Shunt Reactor)170bなどを含んで構成されている。

【0029】

送電系統(電力系統)100は、ブランチ(線路)140(140a, 140c, 140d, 140e)、ノード(母線)120(120a, 120c, 120d, 120e)などで構成され、発電系統200、負荷系統300にそれぞれ接続されている。

【0030】

また送電系統(電力系統)100は、計測装置44と、個別装置である個別制御装置45(45a, 45b)を備えており、計測装置44と個別制御装置45は通信ネットワークを介して中央装置である電力系統電圧無効電力監視制御装置10に連携されている。

10

【0031】

ここで、個別装置である個別制御装置45(45a, 45b)としては、電力系統の電圧、無効電力を可変に制御可能な機器、装置であり、例えば図には記載していないが、バッテリー、充放電可能な二次電池、EVの蓄電池、フライホイール、その他の調相設備(静止型無効電力補償装置(SVC: Static Var Compensator)や、STATCOM: Static Synchronous Compensator)、静止型無効電力発生装置(SVG: Static Var Generator)、位相調整器付き変圧器(LPC: Loop Power Controller)等)、タップ付変圧器(LRT: Load Ratio control Transformer)など)131などが適用可能である。さらに発電系統200側も含めて制御の対象とするのであれば、発電所の送電端電圧を制御する送電電圧制御発電機励磁装置(PSVR: Power System Voltage Regulator)なども個別装置としての適用が可能である。さらに前記個別装置と機器や装置は同じである場合もあるが、階層型電圧制御装置(HVCS: Hierarchical Voltage Control System)のうち、第二階層の電圧制御装置(SVC: Secondary Voltage Control System)や、第一階層の電圧制御装置(PVR: Primary Voltage Control System)なども個別装置としての適用が可能である。

20

30

【0032】

計測装置44は、ノード電圧V、ブランチ電流I、有効電力P、無効電力Q、力率、タップ値、ノードやブランチや変圧器やSCやShRなどの開閉器の入り切り情報などのいずれか一つまたは複数を計測する装置である。具体的には、計器用変圧器(VT: Voltage Transformer)や、計器用変圧器(PT: Potential Transformer)や、計器用変流器(CT: Current Transformer)である。

【0033】

但し、これらの計測装置44は、データ計測箇所識別IDや計測装置の内蔵タイムスタンプを含んでデータを送信する機能を備える(計測情報: テレメータ(TM: Telemeter)やスーパービジョン: 表示情報(SV: Super Vision)などである)。なお、GPSを利用した絶対時刻付きの電力情報(電圧のフェーズ情報)を計測する装置や位相計測装置(PMU: Phasor Measurement Units)や、他の計測機器でもよい。

40

【0034】

なお計測装置44は、電力系統100内に存在するように記載しているが、発電系統200側の電源110、変圧器130、タップ付き変圧器131や、負荷系統側の負荷150、電力用コンデンサ160、分路リアクトル170に付属してその部分のデータを計測するものであってもよく、また計測装置44と個別制御装置45に接続する母線や線路などに設置されてもよい。

50

【0035】

図2に例示した電力系統は上記のようなものであり、計測装置44で計測した系統計測データD5は、電力系統電圧無効電力監視制御装置10の受信データ71となる。ここで、系統計測データD5は、計測装置44にて計測されたノード電圧V、ブランチ電流I、力率、有効電力P、無効電力Q、のいずれか一つまたは複数のデータであり、通信ネットワーク300を介して電力系統電圧無効電力監視制御装置10に受信される。ただし、計測装置44から直接系統計測データD5を受信する代わりに、その他の監視装置に一端集約されてから、通信ネットワーク300を介して電力系統電圧無効電力監視制御装置10に受信してもよいし、計測装置44やその他の監視装置から通信ネットワーク300を介して電力系統電圧無効電力監視制御装置10に受信してもよい。なお、系統計測データD5は、データを識別するための固有番号と、タイムスタンプとを含んでもよい。その他の監視装置とは、例えば、中央給電指令所や系統安定性監視サーバなどである。

10

【0036】

なお、最終的に電力系統電圧無効電力監視制御装置10からは、個別制御装置45に対して送信データ72aが与えられ、個別制御装置45は送信データ72aに応じた動作を行うことになる。ここで、個別装置に与えられる送信データ72aは、実施例1では目標信号を意味しているが、他の実施例では制御量を表す場合もある。送信データ72aは、目標信号や制御量を含む概念である。

【0037】

図2上部に示す電力系統電圧無効電力監視制御装置10は、そのハード構成を主体に記述している。電力系統電圧無効電力監視制御装置10は、表示部11、キーボードやマウス等の入力部12、計測装置44や個別制御装置45との間で通信を実行する通信部13、コンピュータや計算機サーバ(CPU: Central Processing Unit)14、メモリ15、各種データベースDBなどがバス線43に接続されて構成されている。

20

【0038】

電力系統電圧無効電力監視制御装置10に備える各種データベースDBとしては、予測値データD1を保有する予測値データベースDB1、系統設備データD2を保有する系統設備データベースDB2、計算設定データD3を保有する計算設定データベースDB3、判断基準データD3を保有する判断基準データベースDB4、系統計測データD5を保有する系統計測データベースDB5、指標計算結果データD6を保有する指標計算結果データベースDB6、目標値変更タイミングデータD7を保有する目標値変更タイミングデータベースDB7、目標値幅データD8を保有する目標値幅データベースDB8、目標値データD9を保有する目標値データベースDB9、制御評価結果データD10を保有する制御評価結果データベースDB10、プログラムデータD11を保有するプログラムデータベースDB11、目標値制約計算結果データD12を保有する目標値制約計算結果データベースDB12を備える。

30

【0039】

電力系統電圧無効電力監視制御装置10における他のハード構成機器のうち、表示部11は、例えば、ディスプレイ装置として構成される。表示部11は、例えば、ディスプレイ装置に代えて、またはディスプレイ装置と共に、プリンタ装置または音声出力装置等を用いる構成でもよい。入力部12は、例えば、キーボードスイッチ、マウス等のポインティング装置、タッチパネル、音声指示装置等の少なくともいずれか一つを備えて構成できる。通信部13は通信ネットワーク300に接続するための回路及び通信プロトコルを備える。

40

【0040】

またCPU14は、プログラムデータD11を保有するプログラムデータベースDB11から、所定のコンピュータプログラムPを読み込んで演算を実行する。CPU14は、一つまたは複数の半導体チップとして構成してもよいし、または、計算サーバのようなコンピュータ装置として構成してもよい。

50

【 0 0 4 1 】

メモリ 15 は、例えば、記憶装置（RAM：Random Access Memory）として構成され、プログラムデータ D 11 を保有するプログラムデータベース D B 11 から読み出されたコンピュータプログラムを記憶したり、各処理に必要な計算結果データ及び画像データ等を記憶したりする。メモリ 14 に格納された画面データは、表示部 11 に送られて表示される。表示される画面の例は後述する。

【 0 0 4 2 】

図 2 は、電力系統電圧無効電力監視制御装置 10 をハード構成の観点から整理して記述したものであるが、図 1 は電力系統電圧無効電力監視制御装置 10 の構成をその機能面から整理して記述したものである。図 2 の記述では、入力データ部 40 と、結果データ部 42 と、制御計算部 41 に大別して記載している。

10

【 0 0 4 3 】

図 1 では、図 2 の各種のデータを入力データ部 40 内のデータと結果データ部 42 内のデータに区別して示している。図 1 の表記において、前者に属するものが予測値データ D 1、系統設備データ D 2、計算設定データ D 3、判断基準データ D 4、系統計測データ D 5 である。後者に属するものが、指標計算結果データ D 6、目標値制約計算結果データ D 12、目標値変更タイミングデータ D 7、目標値幅データ D 8、目標値データ D 9、制御評価結果データ D 10 である。

【 0 0 4 4 】

また図 1 では、図 1 のプログラムデータベース D B 11 に保有されたプログラムデータ D 11 により実行される機能を、制御計算部 41 に展開して示している。プログラムデータ D 11 により実行される機能部は、指標計算部 31、目標値制約計算部 39、目標値変更タイミング計算部 32、目標値幅計算部 33、目標値計算部 34、制御評価部 36 からなる。またプログラムデータ D 11 により実行される機能部は、制御計算部 41 に記述されたもの以外に、出力指令部 16、表示部 11 の機能を含んでいる。

20

【 0 0 4 5 】

制御計算部 41 の各機能部における処理の概要は、以下のとおりである。なお、各入力データ D 40、各結果データ D 42 と、各機能部との利用の関係は、図 1 に矢印を付して示したとおりである。

【 0 0 4 6 】

図 1 では、まず指標計算部 31 において、予測値データ D 1 と系統設備データ D 2 と計算設定データ D 3 と判断基準データ D 4 とを用いて、指標計算を行う。指標計算の結果は、指標計算結果データベース D B 6 に格納される。

30

【 0 0 4 7 】

次に目標値制約計算部 39 において、計算した指標計算結果データ D 6 と判断基準データ D 4 とを用いて、目標値制約計算を行う。目標値制約計算の結果は、目標値制約計算結果データベース D B 12 に格納される。

【 0 0 4 8 】

次に、目標値変更タイミング計算部 32 において、計算した目標値制約計算結果データ D 12 を用いて、目標値変更タイミング計算を行う。目標値変更タイミング計算の結果は、目標値変更タイミングデータベース D B 7 に格納される。

40

【 0 0 4 9 】

次に目標値幅計算部 33 において、計算した目標値制約計算結果データ D 12 と目標値変更タイミングデータ D 7 を用いて、目標値幅計算を行う。目標値幅計算の結果は、目標値幅データベース D B 8 に格納される。

【 0 0 5 0 】

次に目標値計算部 34 において、系統設備データ D 2 と計算設定データ D 3 と、計算した目標値制約計算結果データ D 12 と目標値変更タイミングデータ D 7 と目標値幅データ D 8 を用いて、目標値計算を行う。目標値計算の結果は、目標値データベース D B 9 に格納される。

50

【 0 0 5 1 】

次に出力指令部 1 6 において、計算した目標値変更タイミングデータ D 7 と目標値幅データ D 8 と目標値データ D 9 の一つ以上を用いて、出力指令を行う。

【 0 0 5 2 】

次に制御評価部 3 6 において、系統計測データ D 5 と、計算した目標値制約計算結果データ D 1 2 と目標値変更タイミングデータ D 7 と目標値幅データ D 8 と目標値データ D 9 の一つ以上を用いて、制御評価の計算を行う。制御評価の結果は、制御評価結果データベース D B 1 0 に格納される。

【 0 0 5 3 】

最後に表示部 1 1 において、予測値データ D 1 と系統設備データ D 2 と計算設定データ D 3 と判断基準データ D 4 と系統計測データ D 5 と、計算した目標値制約計算結果データ D 1 2 と目標値変更タイミングデータ D 7 と目標値幅データ D 8 と目標値データ D 9 と制御評価結果データ D 1 0 の一つ以上の、画面表示を行う。

10

【 0 0 5 4 】

なお、各種計算結果や計算途中でメモリに蓄積されるデータは、その他の監視装置の画面に逐次表示されてもよい。これにより、運用者が電力系統電圧無効電力監視制御装置 1 0 の運用状況を容易に把握できる。

【 0 0 5 5 】

図 3 は、プログラムデータベース D B 1 1 に保有されたプログラムデータ D 1 1 により実行される機能を、プログラム名称で示した図である。これらは例えば、指標計算プログラム P 3 1、目標値制約計算プログラム P 3 9、目標値変更タイミング計算プログラム P 3 2、目標値幅計算プログラム P 3 3、目標値計算プログラム P 3 4、出力指令プログラム P 1 6、制御評価プログラム P 3 6、画面表示プログラム P 1 1 である。これらの各プログラム P に対応する図 1 の機能については、同一番号を付して示したとおりである。

20

【 0 0 5 6 】

図 2 に戻り、C P U 1 4 は、プログラムデータベース D B 1 1 からメモリ 1 4 に読み出された計算プログラム P (指標計算プログラム P 3 1、目標値制約計算プログラム P 3 9、目標値変更タイミング計算プログラム P 3 2、目標値幅計算プログラム P 3 3、目標値計算プログラム P 3 4、出力指令プログラム P 1 6、制御評価プログラム P 3 6、画面表示プログラム P 1 1) を実行して、指標計算と目標値制約計算と目標値変更タイミング計算と目標値幅計算と目標値計算と出力指令と制御評価と各種画面表示と表示すべき画像データの指示と各種データベース D B 内のデータの検索等を行う。

30

【 0 0 5 7 】

メモリ 1 4 は表示用の画像データ、系統計測データ D 5 や各計算一時データ及び各計算結果データを一旦格納するメモリであり、C P U 1 4 によって必要な画像データを生成して表示部 1 1 (例えば表示ディスプレイ画面) に表示する。なお、電力系統電圧無効電力監視制御装置 1 0 の表示部 1 1 は、各制御プログラムやデータベースの書き換えを行うための簡単な画面だけであってもよい。

【 0 0 5 8 】

以上述べたように、電力系統電圧無効電力監視制御装置 1 0 には、大きく分けて 1 2 個のデータベース D B が準備されている。プログラムデータベース D B 1 を除く 1 1 個のデータベースとその格納内容について、以下詳細に説明する。まず入力データ部 4 0 に属するデータベース D B 1 から D B 5 について説明する。

40

【 0 0 5 9 】

予測値データベース D B 1 には、予測値データ D 1 として、図 4 に示すような、発電計画と負荷需要予測値などを用いて潮流計算により求められた各ノードの電圧、有効電力、無効電力などが、時系列データとして記憶されている。また有効電力と無効電力は、発電量 (発電機出力) と負荷量 (需要) のそれぞれについて計算され、記憶されている。

【 0 0 6 0 】

なお予測値データは、監視制御装置や中央給電指令所や E M S などの別システムで計算

50

され、記憶されたものを入手してもよいし、手動で入力されてもよい。手動で入力する際には、入力部 12 によって手動で入力し記憶する。なお、入力の際は CPU 14 によって必要な画像データを生成して表示部 11 に表示するのがよい。入力の際は、補完機能を利用して、大量のデータを設定できるように半手動にしてもよい。

【0061】

系統設備データベース DB2 には、系統設備データ D2 として、系統構成、線路インピーダンス ($R + jX$)、対地静電容量 (アドミタンス: Y)、電源データ、などが含まれ記憶されている。なお、系統構成は、系統の母線 120, 121 と線路 140 と電源 110 と負荷 150 と変圧器 130, 131 と各制御装置 45 の一つまたは複数の接続関係が含まれる。

10

【0062】

なお、系統設備データは、監視制御装置や中央給電指令所やエネルギーマネジメントシステム (EMS: Energy Management System) から入手してもよいし、手動で入力されてもよい。手動で入力する際には、入力部 12 によって手動で入力し記憶する。なお、入力の際は CPU 14 によって必要な画像データを生成して表示部 11 に表示するのがよい。入力の際は、補完機能を利用して、大量のデータを設定できるように半手動にしてもよい。

【0063】

計算設定データベース DB3 には、計算設定データ D3 として、潮流計算の収束判定閾値や過渡安定性計算の想定故障や定態安定性計算の想定故障や電圧安定性計算の増加対象負荷や負荷電圧特性や発電機出力制約や潮流制約や各制御装置の動作やスケジュールなど、の各計算に必要な設定値が記憶されている。

20

【0064】

判断基準データベース DB4 には、判断基準データ D4 として、図 5 に示すような、過渡安定性計算で使用する閾値の種類が、安定性の種類 (過渡安定性、定態安定性、電圧安定性) ごとに記憶されている。例えば、過渡安定性判断のためには、脱調判定閾値 s (Out Of Step: 脱調)、不安定閾値 $max T_i$ が準備され、定態安定性計算のためには、減衰閾値 T_i が準備され、電圧安定性計算のためには、有効電力余裕 P_{T_i} 、無効電力余裕 Q_{T_i} などが準備されている。これらの閾値は設定値として具体的数値で表され、記憶されている。

30

【0065】

これらのデータは、電力系統電圧無効電力監視制御装置 10 の入力部 12 を用いて記憶してもよいし、その他の監視装置から記憶されてもよいし、系統計測データ D5 や系統設備データ D2 を用いて計算された後に整定値として設定されてもよい。

【0066】

系統計測データベース DB5 には、系統計測データ D5 として、有効電力 P 、無効電力 Q 、電圧 V 、電圧位相角 φ 、電流 I 、力率、タップ値、電力系統とノードやブランチや変圧器や SC や SHR などの間の開閉器の入り切り情報、などが含まれる。時刻スタンプ付きデータや PMU データでもよい。

【0067】

40

例えば、電力系統 100 に接続するノード 120 における電圧 V および電圧位相角 φ と、電力系統 100 に接続するノード 120 に接続するブランチ 140 の線路電流 (I) または線路潮流 ($P + jQ$) と、電力系統 100 に接続するノード 120 に接続する変圧器 130 やタップ付き変圧器 131 の線路電流 (I) または線路潮流 ($P + jQ$) と、変圧器 130 に接続するノード 121 の電圧 V および電圧位相角 φ と、ノード 121 に接続する電源 110 の電圧 V や電流 I や有効電力 P や無効電力 Q や力率 $\cos \theta$ や、負荷 150 の電圧 V や電流 I や有効電力 P や無効電力 Q や力率 $\cos \theta$ と、計測装置 44 やその他の監視装置などから通信ネットワークを介して計測する電力系統 100 に接続するその他のノードやブランチや電源や負荷や制御装置などの電圧 V や電流 I や有効電力 P や無効電力 Q や力率 $\cos \theta$ や電圧 V および電圧位相角 φ や、変圧器 130 やタップ付き変圧器 131 のタップ値

50

や、ノードやブランチや変圧器やSCやShRなどの間の開閉器の入り切り情報などの、いずれか一つまたは複数が記憶されている。

【0068】

なお、電圧位相角 φ は、PMUやGPSを利用した他の計測機器を利用して計測したものでよい。なお、計測装置は、VTやPTやCTやTMやSV情報などである。VTやPTやCTなどで計測した電流Iと電圧Vと力率 $\cos\theta$ から線路潮流 ($P + jQ$) を計算することができる。なお、系統計測データは、監視制御装置や中央給電指令所やEMSから入手してもよいし、系統全体の計測装置から直接入手してもよい。

【0069】

次に結果データ部42に属するデータベースDB6からDB10およびDB12について説明する。

【0070】

指標計算結果データベースDB6には、指標計算結果データD6として、各時間断面に対する過渡安定性計算、定態安定性計算、電圧安定性計算の時系列計算結果と、図5に示した各判断基準データD4を用いて計算した各指標値の時系列データが記憶されている。これらは、例えば図12、図14、図16、図17に示すようなものである。

【0071】

このうち図12は、過渡安定性計算による指標計算の処理の一例を示す図である。ここでは横軸に時間 t 、縦軸に過渡安定性の指標値である発電機内部相差角 δ を記述している。図の例では、発電機内部相差角 δ は第1波の動揺（ピーク時刻（ベース時刻） t_A ）後に、より大きな第2波（ピーク時刻（ベース時刻） t_B ）を示したものとす。ここでは、各時間断面を対象として、計算設定データD3に記憶されている想定故障に対する過渡安定性計算を行い、過渡安定性の指標値である発電機内部相差角 δ の第一波ピーク値 δ_{max} を計算し、 δ_{max} の時系列データを記憶したものである。なお図12は、時刻 t_A では第一波ピーク値 δ_{max} が不安定閾値 δ_{max_Ti} （図5）以下であるが、時刻 t_3 において発電機内部相差角 δ が不安定閾値 δ_{max_Ti} （図5）以上となり、その後時刻 t_3 で脱調判定閾値 δ_{os} （図5）以上となり、時刻 t_B において脱調と判定されたことを示している。なお図12において、上2つの図示は下の図示と基準とする時刻が相違していることから、ベース時刻 t_B の断面から時系列計算をしたという意味を明確にするために、横軸を t' としている。

【0072】

図14は、定態安定性計算による指標計算の処理の一例を示す図である。ここでは横軸に時間、縦軸に定態安定性の指標値である発電機内部相差角 δ の包絡線の減衰率 σ を記述している。図の例では、発電機内部相差角 δ の包絡線の減衰率 σ は、減衰率閾値 σ_{T1} から σ_{T2} 以下に低下後に、時刻 t_4 で σ_{T2} 、時刻 t_5 で σ_{T1} 以上に上昇したことを示している。ここでは、各時間断面を対象として、計算設定データD3に記憶されている想定故障に対する定態安定性計算を行い、定態安定性の指標値である発電機内部相差角 δ の包絡線の減衰率 σ を計算し、 σ の時系列データを記憶する。

【0073】

図16と図17は、電圧安定性計算による指標計算の処理の一例を示す図である。ここでは横軸に時間 t 、縦軸に電圧安定性の指標値である有効電力余裕 P （図16）、無効電力余裕 Q （図17）を記述している。なお図16、図17の上の図示はベース時刻 t_D 、 t_E を基準として表記している。図の例では、有効電力余裕 P （図16）、無効電力余裕 Q （図17）は、有効電力余裕閾値 P_{T1} （図16）、無効電力余裕 Q_{T1} 以下に低下後、時刻 t_5 においてこれを超過したことを示している。ここでは、図16や図17に示すように、各時間断面を対象として、計算設定データD3に記憶されている増加対象負荷や負荷電圧特性や発電機出力制約や潮流制約や各制御装置の動作やスケジュールに対する電圧安定性計算を行い、電圧安定性の指標値である有効電力余裕 P や無効電力余裕 Q を計算し、 P や Q の時系列データを記憶したものである。なお各指標の算出方法は別の方法で求められてもよいし、各指標が別の指標であってもよい。

【 0 0 7 4 】

目標値制約計算結果データベース D B 1 2 には、目標値制約計算結果データ D 1 2 として、図 9 に示すような、過渡安定性や定態安定性や電圧安定性や設備上下限などから求められる目標値の上下限制約の時系列データの一つ以上が記憶されている。

【 0 0 7 5 】

図 9 には、これら目標値の上下限制約として、凡例に示すように設備上下限から定まる電圧制約の上下限值 $V_{i U P P E R}(t)$ 、 $V_{i L O W E R}(t)$ （実線）、過渡安定性から定まる電圧制約 $V_{i T S}(t)$ （一点鎖線）、定態安定性から定まる電圧制約 $V_{i S S}(t)$ （長い点線）、電圧安定性から定まる電圧制約 $V_{i V S}(t)$ （短い点線）を示している。これらの制約はいずれも時間の関数として、時間変化する制約である。

10

【 0 0 7 6 】

目標値の上下限制約は、指標計算結果データ D 6 に対して、判断基準データ D 4 を用いて図 1 3 や図 1 5 や図 1 8 に示すような方法で目標値制約を計算された結果であり、ここでは目標値を電圧 V で示している。目標値は、電圧 V であってもよいし、有効電力損失や無効電力損失などであってもよい。また、目標値は上記の一つであってもよいし、複数であってもよい。

【 0 0 7 7 】

図 1 3 は、電圧 V の目標値制約を過渡安定性計算結果から求める処理の一例を示す図である。図 1 2 の演算で求めた時々刻々の発電機内部相差角のピーク値 $m a x$ と、不安定閾値 $m a x_T$ との比較結果に応じて、電圧制約 $V_{i T S}(t)$ を定めている。図の例では、不安定閾値 $m a x_T$ を超過する時刻 t_3 後に制約条件電圧が大きくされている。

20

【 0 0 7 8 】

図 1 5 は、電圧 V の目標値制約を定態安定性計算結果から求める処理の一例を示す図である。図 1 4 の演算で求めた時々刻々の発電機内部相差角の包絡線の減衰率と、その閾値 T_1 、 T_2 をもとにして、定態安定性から定まる電圧制約 $V_{i S S}$ を定めている。図示の例では、減衰率が T_2 以下となった時刻 t_1 、減衰率が T_2 以上となった時刻 t_4 、減衰率が T_1 以上となった時刻 t_5 において、制約条件電圧が変更されている。なお減衰率は、固有値解析で求めてもよい。

【 0 0 7 9 】

図 1 8 は、電圧 V の目標値制約を電圧安定性計算結果から求める処理の一例を示す図である。ここでは図 1 6 の演算で求めた時々刻々の電圧安定性の指標である有効電力余裕 P （図 1 6）と、有効電力余裕閾値 P_{T_1} （図 1 6）から、電圧安定性から定まる電圧制約 $V_{i S V}$ を定めている。図示の例では閾値逸脱の前後で制約条件電圧が変更されている。

30

なおここでは有効電力余裕からの制約条件電圧変更の事例を示したが、同様にこれは無効電力余裕 Q に対して行うものとすることができる。なお図 1 6、図 1 8 において、有効電力余裕閾値 P は全系でもよいし、特定負荷 P_i でもよい。 dV/dP でもよいし、 $N-1$ 考慮の P でもよい。

【 0 0 8 0 】

先に説明した図 9 は、図 1 3、図 1 5、図 1 8 により求めた制約条件電圧の時間変化を 1 つの図表上に纏めて示した図である。図 9 には、これらの制約条件電圧以外に、設備上下限で定まる電圧制約が記述されているが、設備上下限で定まる電圧制約との差分に応じて、以下に説明する目標値変更タイミングや、目標値幅が決定される。

40

【 0 0 8 1 】

図 6 は、実施例 1 における目標値変更タイミングデータ t と目標値幅データ V_i と目標値データの一例を示す図であり、変更タイミングと変更幅と目標値が対になって記述されている。この表示事例において、目標値変更タイミングデータ t の部分が目標値変更タイミングデータベース D B 7 を表し、目標値幅データ V_i の部分が目標値幅データベース D B 8 を表し、目標値データの部分が目標値データベース D B 9 を表している。

【 0 0 8 2 】

50

目標値変更タイミングデータベース D B 7 には、目標値変更タイミングデータ D 7 として、図 6 に示すような、目標値を変更するタイミングの計算結果が記憶されている。この目標値変更タイミングデータ D 7 を持つことで、時々刻々変化する目標値を可変にすることができ、効果的に電圧 V と無効電力 Q のバランスを維持し経済性を向上できるようになる効果がある。

【 0 0 8 3 】

目標値幅データベース D B 8 には、目標値幅データ D 8 として、図 6 に示すような、各目標値変更タイミングの期間における目標値幅の計算結果が記憶されている。この目標値幅データ D 8 を持つことで、時々刻々変化する目標値の制約値を可変にすることができ、効果的に電圧 V と無効電力 Q のバランスを維持し経済性を向上できるようになる効果がある。

10

【 0 0 8 4 】

図 1 0 は、目標値変更タイミングと目標値幅を計算する処理の一例を示す図の例である。この図は、図 9 に示した各種の電圧制約に関して、過渡安定性から定まる電圧制約 $V_{i T S}(t)$ (一点鎖線)、定態安定性から定まる電圧制約 $V_{i S S}(t)$ (長い点線)、電圧安定性から定まる電圧制約 $V_{i V S}(t)$ (短い点線) の中で、最も大きな値と、設備から定まる電圧制約の上限値 $V_{i U P P E R}(t)$ との差分を求め、これをその時点における図 6 の目標値幅としたものである。また目標値変更タイミングについて、最も大きな値と、設備から定まる電圧制約の上限値 $V_{i U P P E R}(t)$ との差分が変更される時期としたものである。

20

【 0 0 8 5 】

目標値データベース D B 9 には、目標値データ D 9 として、図 1 1 に示すような、各目標値変更タイミングの期間における目標値の計算結果が記憶されている。図 1 1 の場合には、図 9 に示した各種の電圧制約に加えて、経済性からの電圧目標値 $V_{i r e f}(t)$ が加味されている。この経済性の観点からの電圧目標値 $V_{i r e f}(t)$ を考慮した目標値データ D 9 を持つことで、時間経過とともに目標値を変更することができ、効果的に電圧と無効電力のバランスを維持し、かつ経済性を向上できるようになる効果がある。この場合における計算方法は後述する。

【 0 0 8 6 】

制御評価結果データベース D B 1 0 には、制御評価結果データ D 1 0 として、図 7 に示すように、各地点の目標値と計測値とその偏差が記憶される。これにより、後述する図 2 0 に示すような画面で、目標値に従っているか、電圧と無効電力のバランスを維持できているかなどの監視事項を、簡単に把握できるようになる効果がある。

30

【 0 0 8 7 】

次に電力系統電圧無効電力監視制御装置 1 0 の計算処理内容について図 8 を用いて説明する。図 8 は、電力系統電圧無効電力監視制御装置の処理の全体を示すフローチャートの例である。以上の処理の流れを処理ステップ毎に説明する。

【 0 0 8 8 】

なお図 8 のプログラム実行に当たり、以下の点が既に配慮されているものとする。入力データ D 2 ~ 4 は、予め入力されていてもよいし、別サーバから受信してもよい。受信データ D 1, D 5, D 6 は周期的に常時計測しており、E M S や再生可能エネルギーコントロールセンタを介して周期的に受信してもよい。また各計算ができない場合などには、アラートを出すのがよい。系統構成には系統の母線と線路と電源と負荷と変圧器と各制御機器の一つまたは複数の接続関係が含まれるものとする。

40

【 0 0 8 9 】

まず、処理ステップ S 3 1 では、予測値データ D 1 と系統設備データ D 2 と計算設定データ D 3 と判断基準データ D 4 とを用いて、指標計算を行い、その結果を指標計算結果データベース D B 6 に記憶する。

【 0 0 9 0 】

指標計算は、過渡安定性、定態安定性、電圧安定性、制御余裕の観点から行う。但し、

50

周波数安定性は電圧と直接は関係がないので、考慮せずとも好い。指標計算の中は具体的には、過渡安定性計算，固有値計算，電圧安定性計算，潮流計算による上下限值違反チェックのプログラムなどが実行される。

【0091】

ここで、図12と図14と図16と図17を用いて、指標計算方法の例を説明する。まず、図12は過渡安定性に関する指標を計算した例であり、予測値データD1の各時間断面をそれぞれ初期条件として、系統設備データD2と計算設定データD3を用いて、計算設定データD3に記憶されている想定故障に対する過渡安定性計算を行い、過渡安定性の指標値である発電機内部相差角の第一波ピーク値 m_{a_x} を計算し、指標として m_{a_x} の時系列データを記憶する。

10

【0092】

ここで、過渡安定性計算の脱調判定閾値 o_{o_s} よりも m_{a_x} が大きくなり脱調と判定された場合には、指標としては o_{o_s} を結果とする。この場合の想定故障は、運用者の経験によって予め一つまたは複数設定されていてもよいし、過去の過渡安定性計算結果から過渡安定性が厳しい過酷故障に設定されてもよいし、図面には記載していないが、周期的に過渡安定性計算を実施し、過酷故障のみをスクリーニングにより抽出して設定してもよい。これにより、厳しい想定故障に対する指標計算をできるようになる効果や計算量を低減する効果がある。

【0093】

なお、具体的な過渡安定性計算手法としては、「Prabha Kundur, Power System Stability and Control, The Epr Power System Engineering (1994) pp. 827 - 954」や、「大規模電力系統の安定性総合解析システムの開発、電力中央研究所総合報告T14 (1990)」や、「電力系統の利用を支える解析・運用技術、電気学会技術報告第1100号 (2007) pp. 106 - 110」などに示される各種方法などに則して行うことができる。

20

【0094】

また目標値制約計算に関して、OPFに安定性制約を取り込むことで、安定性の確保された幅を求める手法であってもよい。この点について、「関根 他、電力系統の最適潮流計算 (OPF: Optimal Power Flow)、平成14年3月、日本電気協会, pp. 58 - 66」に記載がある。

30

【0095】

次に、図14は定態安定性に関する指標を計算した例であり、各時間断面を対象として、計算設定データD3に記憶されている想定故障である微小擾乱を起こすためのある線路の三相開放に対する前記過渡安定性計算と同様の計算である定態安定性計算を行い、定態安定性の指標値である発電機内部相差角の包絡線の減衰率を計算し、指標として包絡線の減衰率の時系列データを記憶する。

【0096】

包絡線の減衰率を計算するための式を(1)式に示す。但し、(1)式において、 (t) は発電機内部相差角、 γ は減衰率、 t は時刻、 ω は動揺周波数、 t_c はベース時刻である。

40

【0097】

なお包絡線などについて、「Definition and classification of power system stability IEEE CIGRE joint task force on stability terms and definitions, p. 1397, Fig. 5」を参考にしている。

【0098】

この式において求めた発電機内部相差角の包絡線の減衰率が負の場合は発電機内部相差角の動揺は減衰し安定となる。発電機内部相差角の包絡線の減衰率が正の場合は発電機内部相差角の動揺は減衰せず発散し不安定となる。また、発電機内部相差角

50

の包絡線の減衰率が負の場合、その大きさが大きいほど減衰率が大きくなり、減衰し易くなる。

【 0 0 9 9 】

【 数 1 】

$$\delta(t) = \varepsilon e^{\alpha(t-t_0)} \cos(\beta t) \dots\dots\dots (1)$$

【 0 1 0 0 】

ここで、定態安定性計算は、前記過渡安定性計算と同様の計算である定態安定性計算の方法でもよいし、「電力系統の利用を支える解析・運用技術、電気学会技術報告第1100号(2007) pp. 105 - 106」や、「Prabha Kundur、Power System Stability and Control、The Epr Power System Engineering(1994) pp. 699 - 822」、などに記載の固有値計算などの各種計算に則して求める方法でもよい。

10

【 0 1 0 1 】

次に、図16や図17は電圧安定性に関する指標を計算した例であり、各時間断面を対象として、計算設定データD3に記憶されている増加対象負荷や負荷電圧特性や発電機出力制約や潮流制約や各制御装置の動作やスケジュールに対する電圧安定性計算であるP-V曲線およびV-Q曲線の計算を行い、電圧安定性の指標値である有効電力余裕Pや無効電力余裕Qを計算し、PやQの時系列データを指標として記憶する。予測値データD1があまり変化していない時間帯は、時系列データの指標計算の刻み時間を長くとして計算の効率化をはかってもよい。

20

【 0 1 0 2 】

ここで、図16および図17のP-V曲線およびV-Q曲線について説明する。図16は、横軸に有効電力の総需要Pや各負荷の有効電力 P_i 、縦軸にノードiの電圧 V_i をとったP-V曲線を算出した例である。運転点は、 (P_0, V_{i0}) となり、この高め解と対となる低め解は、 (P_0, V'_{i0}) となる。さらに、電圧安定性の限界である、有効電力限界は、 P_c の箇所である。P-V曲線の先端である、有効電力限界を一般にノーズと呼ぶ。

【 0 1 0 3 】

図17は、横軸にノードiの電圧 V_i 、縦軸に無効電力の総需要QをとったV-Q曲線を算出した例である。運転点は、 (V_{i0}, Q_0) となる。さらに、電圧安定性の限界である、無効電力限界は、 Q_c の箇所である。V-Q曲線は、ノードiの無効電力消費から、系統側からの無効電力供給分を引くことで描く事ができる。なお、発電機の有効・無効電力出力の制約データを考慮してもよいし、負荷の電圧特性を考慮してもよい。これにより、より現実に近い電力系統の電圧安定性を検討することができる。

30

【 0 1 0 4 】

ここで、P-V曲線の計算は、「電力系統の電圧安定性解析手法の開発、電力中央研究所総合報告T37(1995)」や、「Prabha Kundur、Power System Stability and Control、The Epr Power System Engineering(1994) pp. 977 - 1012」や、「Chiang. H. D. et al.、CPFLOW: A Practical Tool for Tracing Power System Steady-State Stationary Behavior Due to Load and Generation Variations、IEEE Trans. on Power Systems、Vol. 10、No. 2、pp. 623 - 634、1995や、Venkataramana Ajjarapu、Computational Techniques for Voltage Stability Assessment and Control、Springer、2006、pp. 49 - 116」や、特開平6-153397号公報などに記載の計算方法などに則し

40

50

て行うことができる。

【 0 1 0 5 】

また、V - Q 曲線の計算は、「電力系統安定運用技術専門委員会、電力系統安定運用技術電気協同研究、第 4 7 巻、第 1 号、p p . 2 4 - 2 6」に記載の計算方法などに則して行うことができる。また、P - V 曲線の指標として、図 1 6 に示す運転点の P_0 と有効電力限界 P_c との差分である (2) 式によって、電圧安定性余裕 P が計算できる。なお、電圧安定性余裕は、(3) 式によって計算される V_i であってもよい。また、P - V 曲線の指標として、運転点の傾き dV / dP など別の電圧安定性に関する指標を用いてもよい。

【 0 1 0 6 】

10

【数 2】

$$\Delta P = (P_c - P_0) / P_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

【 0 1 0 7 】

【数 3】

$$\Delta V_i = (V_{i0} - V'_{i0}) / V_{i0} \quad \dots\dots\dots (3)$$

【 0 1 0 8 】

20

また、電圧安定性余裕 P の計算は、N - 1 基準を適用し、ある地点の線路や設備が失われたときの P - V 曲線の先端 P_c と運転点 P_0 との差を運転点 P_0 で割ったものとして算出してもよい。これにより、N - 1 基準を踏まえた電圧安定性余裕を計算することができ、より電圧安定性を向上することができるようになる。なお、N - 1 基準を適用する際の対象箇所は予め設定する。

【 0 1 0 9 】

また、V - Q 曲線の計算は、図 1 7 に示す無効電力 $Q = 0$ と無効電力限界 Q_c との差分である Q によって、電圧安定性余裕 Q が計算できる。このように、系統運用者が普段用いている物理量で構成される P - V 曲線や V - Q 曲線から、簡単に求められる電圧安定性余裕を用いることによって、系統運用者が理解し易いという効果がある。

30

【 0 1 1 0 】

なお、予測値データ D 1 と系統設備データ D 2 と計算設定データ D 3 と判断基準データ D 4 が予め設定されていない場合、入力部 1 2 および表示部 1 1 を用いて入力してもよい。ここで、その他の監視装置から通信ネットワーク 3 0 0 および通信部 1 3 を通してデータの入力をしてもよいし、その他の監視装置などで保持している予測値データ D 1 と系統設備データ D 2 と計算設定データ D 3 と判断基準データ D 4 に関するデータを一定周期で自動受信し、記憶してもよい。また、予測値データ D 1 と系統設備データ D 2 と計算設定データ D 3 と判断基準データ D 4 が予め設定されている場合は、修正を加えてもよいし、そのままのデータを用いてもよい。

【 0 1 1 1 】

40

次に指標計算として、制御余裕の観点から行うことについて説明する。制御余裕について、「中地 他：「経済性とセキュリティを考慮したタブサーチによる電圧・無効電力制御の最適化」，電学論 B，V o l . 1 2 8，N o . 1，p p . 3 0 5 - 3 1 1，2 0 0 8」や「岸 他：「運用余裕を考慮した電圧無効電力制御」，東海大学紀要工学部，V o l . 4 8，N o . 1，p p . 8 1 - 8 6，2 0 0 8」に説明がされている。。

【 0 1 1 2 】

上記「運用余裕を考慮した電圧無効電力制御」の p . 8 2 の式 (1) に示されるような Q_{gi} の発電機母線 i の無効電力出力や、 $T a p r$ の変圧器母線 r のタップ位置偏差、が、 Q_{gi} の最大値からどれだけ余裕があるかや、タップ位置の最大値までどれだけ余裕があるか、を求めることで、もし、それぞれの上下限に張りついてしまうと、制御できな

50

いことになるので、安定性が悪くなるという観点が必要である。なお、これらの指標は 1 つ以上計算することが前提である。

【 0 1 1 3 】

なお上記説明の制御余裕の考え方は、潮流計算による上下限值違反チェックと似ているが、これは機器の絶縁破壊を防ぐ意味での電圧安定性の観点であるため、本発明で述べるところの「制御余裕」とは別の観点である。

【 0 1 1 4 】

処理ステップ S 3 9 では、処理ステップ S 3 1 で記憶した指標計算結果データ D 6 と判断基準データ D 4 とを用いて、目標値制約計算を行い、その結果を目標値制約計算結果データベース D B 1 2 に記憶する。これにより、過渡安定性や定態安定性や電圧安定性や設備上下限などから求められる目標値の上下限制約の時系列データの一つ以上が記憶されている。

10

【 0 1 1 5 】

これは、指標計算結果データ D 6 に対して、判断基準データ D 4 を用いて図 1 3 や図 1 5 や図 1 8 に示すような方法で目標値制約を計算された結果であり、ここでは目標値を電圧で示している。目標値は、電圧であってもよいし、有効電力損失や無効電力損失などであってもよい。また、目標値は上記の一つであってもよいし、複数であってもよい。ここで、図 1 3 や図 1 5 や図 1 8 を用いて、目標値制約計算する方法の具体例を説明する。

【 0 1 1 6 】

まず図 1 3 は過渡安定性に関する目標値制約を計算した例であり、図 8 で示す処理ステップ S 3 1 で計算した指標計算結果データ D 6 に対して、図 5 で示す判断基準データ D 4 の不安定閾値 $\delta_{max T}$ を用いて、(4) 式や (5) 式で示す条件のように $\delta_{max} < \delta_{max T}$ のとき (4) 式、 $\delta_{max} < \delta_{max T}$ のとき (5) 式、のように目標値制約 V_i が決定される。ここでは判断基準データ D 4 の閾値は一つまたは複数またはゼロであってもよい。

20

【 0 1 1 7 】

【 数 4 】

$$V_i = V_{iTS0} \quad (\delta_{max} < \delta_{max T}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

30

【 0 1 1 8 】

【 数 5 】

$$V_i = V_{iTS1} \quad (\delta_{max T} \leq \delta_{max}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

【 0 1 1 9 】

図 1 5 は定態安定性に関する目標値制約を計算した例であり、図 8 に示す処理ステップ S 3 1 で計算した指標計算結果データ D 6 に対して、図 5 で示す判断基準データ D 4 の減衰率閾値 α_{T1} を用いて、(6) 式 ~ (8) 式で示す条件のように $\alpha_{T2} < \alpha_{T1}$ のとき (6) 式、 $\alpha_{T2} < \alpha_{T1}$ のとき (7) 式、 $\alpha_{T1} < \alpha_{T2}$ のとき (8) 式、のように各時刻の定態安定性の目標値制約 V_i が決定される。

40

【 0 1 2 0 】

【 数 6 】

$$V_i = V_{iSS0} \quad (\alpha_{T2} < \alpha \leq \alpha_{T1}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

【 0 1 2 1 】

【数 7】

$$V_i = V_{iSS2} \quad (\alpha \leq \alpha_{T2}) \quad \dots\dots\dots (7)$$

【 0 1 2 2 】

【数 8】

$$V_i = V_{iSS1} \quad (\alpha_{T1} < \alpha) \quad \dots\dots\dots (8)$$

【 0 1 2 3 】

10

図 18 は電圧安定性に関する目標値制約を計算した例であり、図 8 に示す処理ステップ S 3 1 で計算した指標計算結果データ D 6 に対して、図 5 で示す判断基準データ D 4 の有効電力余裕閾値 P_{Ti} を用いて、(9) 式および (10) 式で示す条件のように $P_T < P$ のとき (9) 式、 $P < P_T$ のとき (10) 式、のように各時刻の電圧安定性の目標値制約 V_i が決定される。ここでは、指標として P を用いたが、 Q を用いてもよいし、その他の指標と合わせて用いてもよい。

【 0 1 2 4 】

【数 9】

$$V_i = V_{iVS0} \quad (\Delta P_T < \Delta P) \quad \dots\dots\dots (9)$$

20

【 0 1 2 5 】

【数 10】

$$V_i = V_{iVS1} \quad (\Delta P \leq \Delta P_T) \quad \dots\dots\dots (10)$$

【 0 1 2 6 】

ここで、図 9 を用いて、各安定性の目標値制約計算結果データ D 12 の例を説明する。ここでは目標値の種類として電圧を選択しており、対象と設定された地点 i の電圧制約として、以下の 4 つを与えている。一つ目は設備上下限の電圧制約である。これはこの地点 i の設備例えば需要家や変圧器や各制御機器や線路や母線などが損傷しないために守らなければならない設備の上下限であり、図 9 では、時間 t の上限値を $V_{iUpper}(t)$ 、時間 t の下限値を $V_{iLower}(t)$ と表現しており、それぞれの値は図 9 に示す時間 t の範囲では、実線で表されるように、それぞれ $V_{iUpper}(t) = V_{iUpper}$ および $V_{iLower}(t) = V_{iLower}$ である。

30

【 0 1 2 7 】

二つ目は過渡安定性の電圧制約である。これは、処理ステップ 39 で計算した過渡安定性に関する目標値制約を計算した結果であり、図 9 では、時間 t の電圧制約として $V_{iTS}(t)$ と表現しており、図 9 に示す時間 t の範囲では、一点鎖線で表されるように、 V_{iTS0} と V_{iTS1} の二段階となる例を示している。なお、TS は Transient Stability を意味している。

40

【 0 1 2 8 】

三つ目は定態安定性の電圧制約である。これは、処理ステップ 39 で計算した定態安定性に関する目標値制約を計算した結果であり、図 9 では、時間 t の電圧制約として $V_{iSS}(t)$ と表現しており、図 9 に示す時間 t の範囲では、長破線で表されるように、 V_{iSS0} と V_{iSS1} と V_{iSS2} の三段階となる例を示している。なお、SS は Steady-state Stability を意味している。

【 0 1 2 9 】

四つ目は電圧安定性の電圧制約である。これは、処理ステップ 39 で計算した電圧安定性に関する目標値制約を計算した結果であり、図 9 では、時間 t の電圧制約として V_{iV}

50

$s(t)$ と表現しており、図9に示す時間 t の範囲では、短破線で表されるように、 $V_{iV_{S0}}$ と $V_{iV_{S1}}$ の二段階となる例を示している。なお、 VS はVoltage Stabilityを意味している。

【0130】

以上の四つの目標値制約をまとめて示したものが図9となる。なお、二つ目から四つ目の制約が下限しか示されていないが、場合によっては上限であってもよい。以上により計算された目標値制約は上下限值が合成されて決定される。例えば、図9では、 V_{iUpper} から $V_{iT_{S0}}$ と V_{iSS1} と $V_{iV_{S1}}$ と $V_{iT_{S1}}$ のそれぞれの幅が電圧値制約となる。これにより、一つ以上の安定性を踏まえた目標値制約を計算することが可能になり、一つ以上の安定性を守ることができる目標値の幅やタイミングを計算しやすくなる効果や、目に見てどの時間でどの制約が厳しくなっているかを運用者が把握しやすいという効果がある。

10

【0131】

また、このような制約値が計算できない場合は、予め設定された値を使用してもよい。例えば、「電力系統の電圧・無効電力制御調査専門委員会、電力系統の電圧・無効電力制御、電気学会技術報告、第743号(1999)、pp.6-13」に示されるように、運用者が設定してもよい。なお、この計算時間幅は、電力系統電圧無効電力監視制御装置10の目標値などの指令値を出す周期の間を、予測値データを用いて計算してもよいし、それ以外の計算時間幅で用いてもよい。

【0132】

20

なお図9において、さらに以下の点に考慮するのがよい。まず設備上下限の電圧制約では、電圧が下がると定態安定性がわるくなる。図9では、 P -カーブの $P_{max} = V \cdot V/X$ により、時刻を直角で示したが、予測値からこうなることはない。もっとぎざぎざしているので、平滑化して、タイミングを判定するのがよい。また、不感帯の設定があってもよい。電圧安定性について、電圧降下時に、悪化するため、下限制約が生じる。電圧安定性制約は、 P と Q で制約作る方式の両方がある。

【0133】

処理ステップS32では、処理ステップS31で記憶した目標値制約計算結果データD12を用いて、目標値変更タイミング計算を行い、その結果を目標値変更タイミングデータベース27に記憶する。ここで、図10を用いて、目標値変更タイミング計算の方法の例を説明する。目標値変更タイミングは、制御遅れを見込んで短過ぎる変化の時には、予め制御しておくものである。

30

【0134】

目標値変更のタイミングは、基本的に目標値制約の幅が変化するタイミングとする。つまり、図10に示す各時刻 t_0 、 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 、 t_5 、 t_6 、 t_7 のうち、最初の t_0 と最後の t_7 と途中の t_3 、 t_4 、 t_5 を除く、 t_1 、 t_2 、 t_6 、が目標値変更タイミングとして計算される。これは最も大きな値と、設備から定まる電圧制約の上限値 $V_{iUpper}(t)$ との差分が変更される時期を求めたものである。

【0135】

なお、後述する目標値計算の結果が目標値変更タイミングの前後でほぼ変化しない場合は、その後の目標値変更タイミングを設定しなくてもよい。ただし、目標値幅の計算には用いる。なお、制御の時間遅れを考慮してタイミングにマージンをとってもよい。この目標値変更タイミングデータD7を計算することで、時々刻々変化する目標値を可変することができ、固定の目標値を指令するのに対して、より効果的に電圧と無効電力のバランスを維持し経済性を向上できるような目標値の変更が可能となる。

40

【0136】

処理ステップS33では、処理ステップS39で記憶した目標値制約計算結果データD12と処理ステップS32で記憶した目標値変更タイミングデータD7を用いて、目標値幅計算を行い、その結果を目標値幅データベースDB8に記憶する。ここで、図10を用いて、目標値幅計算の方法の例を説明する。

50

【 0 1 3 7 】

図 10 に示すように、各時刻における目標値制約の幅が目標値幅となる。つまり、時刻 $t_0 \sim t_1$ における目標値幅は V_{i0} 、 $t_1 \sim t_2$ における目標値幅は V_{i1} 、 $t_2 \sim t_3$ における目標値幅は V_{i2} 、 $t_3 \sim t_4$ における目標値幅は V_{i3} 、 $t_4 \sim t_5$ における目標値幅は V_{i4} 、 $t_5 \sim t_6$ における目標値幅は V_{i5} 、 $t_6 \sim t_7$ における目標値幅は V_{i6} となる。ここで、目標値変更タイミングとして除外された t_3 、 t_4 、 t_5 に関しては、目標値幅が同じになるため、 $V_{i3} \sim V_{i5}$ は不要となる。この目標値幅データ D 8 を持つことで、時々刻々変化する目標値の制約値を可変にすることができ、効果的に電圧と無効電力のバランスを維持しできるようになる効果がある。

【 0 1 3 8 】

処理ステップ S 3 4 では、系統設備データ D 2 と計算設定データ D 3 と、処理ステップ S 3 9 で記憶した目標値制約計算結果データ D 1 2 と、処理ステップ S 3 2 で記憶した目標値変更タイミングデータ D 7 と、処理ステップ S 3 3 で記憶した目標値幅データ D 8 を用いて、目標値計算を行い、その結果を目標値データベース D B 9 に記憶する。

【 0 1 3 9 】

各タイミングの目標値幅を制約として、有効電力送電損失最小化と無効電力送電損失最小化と電源の有効電力出力配分の変更による総燃料費最小化と各電源の力率変更による無効電力出力最小化の一つ以上を目的関数とし、操作変数を目標値の種類（本実施例では、電圧）とした、最適化計算をすることで、各タイミングおよび目標値幅における目標値を計算する。

【 0 1 4 0 】

この目標値データ D 9 を持つことで、時間経過とともに目標値を変更することができ、効果的に電圧と無効電力のバランスを維持できる電圧制約の中で、経済性を向上できるようになる効果がある。

【 0 1 4 1 】

ここで、図 11 を用いて、目標値計算の結果の例を説明する。各制約幅の中で電圧 $V_{i \text{ ref } 0} \sim V_{i \text{ ref } 2}$ の目標値が計算される。ここで、最適化計算として最適潮流計算（OPF：Optimal Power Flow）を使用する計算式の例を示す。OPF で最適化する問題の一例を（11）式に示す。最適潮流計算は、例えば、「関根他、電力系統の潮流計算（OPF：Optimal Power Flow）、平成 14 年 3 月、日本電気協会、P P . 1 3 3 - 2 0 3」などに記載の計算方法などに則して行うことができる。

【 0 1 4 2 】

【 数 1 1 】

$$\begin{aligned} \min \quad & f(x) \\ \text{subject to} \quad & g_i(x) \leq 0 \quad (i=0, \dots, m) \quad \dots\dots\dots (11) \\ & h_j(x) \leq 0 \quad (j=0, \dots, m) \end{aligned}$$

【 0 1 4 3 】

ここで、 $f(x)$ は評価関数である。評価関数 $f(x)$ は、有効電力送電損失と、無効電力送電損失と、電源の有効電力出力配分の変更による総燃料費と、各電源の力率変更による電源の無効電力出力、などの経済性に関する評価関数であり、これらのうちのいずれか一つまたは複数についての評価関数である。ただし複数の場合は予め設定した重みづけで行うのがよい。

【 0 1 4 4 】

$h(x)$ は、等式制約条件であり、有効無効潮流方程式である。 $g(x)$ は、不等式制約条件（ペナルティ関数）であり、目標値制約（電圧上下限制約）、発電機無効電力出力上下限制約、潮流上下限制約などの一つまたは複数についての不等式制約条件である。ただし、不等式制約条件は、ペナルティでなく制約値として扱ってもよいが、収束性が悪く

10

20

30

40

50

なる場合には、ペナルティ関数として目的関数に組み込むことで、収束性の向上を図るのがよい。さらに収束性が悪くなる場合には、ペナルティ関数の値を緩和する処理を入れることで解を得ることをできるようにするのがよい。

【 0 1 4 5 】

ここで、評価関数 $f(x)$ の例として、全系の有効電力送電損失 $P_{Loss}(x)$ と、全系の無効電力送電損失 $Q_{Loss}(x)$ と、電源の有効電力出力配分の変更による総燃料費 $Cost(p)$ と、各電源の力率変更による電源の有効電力出力の総和 $Q_{Gall}(x)$ の式をそれぞれ (12) 式 ~ (15) 式に示す。下記は、各評価関数を別々に記述したが、一つ以上の組合せとなってもよい。

【 0 1 4 6 】

10

【数 1 2】

$$P_{Loss}(x) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |P_{ij} + P_{ji}| \dots\dots\dots (12)$$

$$= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left[G_{ij} \{V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\theta_i - \theta_j)\} \right] (i \neq j)$$

【 0 1 4 7 】

全系の有効電力送電損失 $P_{Loss}(x)$ を示す (12) 式において、 i, j は、監視対象母線、 N は母線番号の総数 ($i = 1 \sim N$)、 P_{ij} は母線 i から j への有効電力、 P_{ji} は母線 j から i への有効電力、 $G_{ij} + jB_{ij}$ は母線アドミタンス行列の実部と虚部、 V_i と V_j は母線 i と j の電圧の大きさ、 θ_i と θ_j は、母線 i と j の位相角、である。ただし、 $G_{ij} + jB_{ij} = (R_{ij} + jX_{ij})$ であり、 $R_{ij} + jX_{ij}$ は線路のインピーダンスである。

20

【 0 1 4 8 】

【数 1 3】

$$Q_{Loss}(x) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |Q_{ij} + Q_{ji}| \dots\dots\dots (13)$$

$$= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left[-B_{ij} \{V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\theta_i - \theta_j)\} - Y_{ij} (V_i^2 + V_j^2) \right] (i \neq j)$$

30

【 0 1 4 9 】

全系の無効電力送電損失 $Q_{Loss}(x)$ を示す (13) 式において、 Q_{ij} は母線 i から j への無効電力、 Q_{ji} は母線 j から i への無効電力、 Y_{ij} は母線の対地容量成分のアドミタンス、である。

【 0 1 5 0 】

【数 1 4】

$$Cost(p) = \sum_{g=1}^m (\alpha_g p_g^2 + \beta_g p_g + \gamma) \dots\dots\dots (14)$$

40

【 0 1 5 1 】

電源の有効電力出力配分の変更による総燃料費 $Cost(p)$ を示す (14) 式において、 α_g 、 β_g 、 γ は発電機 g の燃料消費特性の係数、 p_g は発電機 g の有効出力、 m は発電機の個数、である。

【 0 1 5 2 】

【数 1 5】

$$Q_{Gall}(x) = \sum_m |Q_g| \dots\dots\dots (15)$$

【0 1 5 3】

各電源の力率変更による電源の無効電力出力の総和 $Q_{Gall}(x)$ を示す (15) 式において、 $Q_{Gall}(x)$ は発電機の無効電力出力の総和、 Q_g は発電機 g の無効電力出力、 m は発電機の個数、である。ただし、 Q_g の大きさによって力率を算出し、発電機 g の燃料消費特性の係数を用いて、コストに換算してもよい。

10

【0 1 5 4】

なお、最適化計算は、システムを線形化し線形計画問題として、内点法、有効制約法、シンプレックス法などを適用してもよいし、二次計画問題として、主双対内点法、最大エントロピー手法などを適用してもよいし、非線形計画問題として、再急降下法、準ニュートン法、ペナルティ関数法などを適用してもよいし、制約付き非線形計画問題として、拡張ラグランジュ乗数法などを適用してもよい。また、各問題や組合せ最適化問題や混合整数非線形最適化問題などに対してメタヒューリスティックである遺伝アルゴリズムやシミュレーティッドアニーリングやタブサーチや粒子群最適化 (PSO: PARTICLE SWARM OPTIMIZATION) を適用して求める方法でもよい。

【0 1 5 5】

20

線形計画問題の場合、例えば、「石田他、LP法を用いた基幹系への予測先行型電圧無効電力制御方式、電学論B、Vol. 117、No. 8、pp. 1115 - 1120、1997」に記載の電力システムの線形近似を行う方法により、線形計画法を適用できる。非線形計画問題ならば、電力方程式に対して例えばニュートンラフソン法などの計算方法を適用することで、非線形計画法を適用できる。

【0 1 5 6】

処理ステップS16では、処理ステップS32で記憶した目標値変更タイミングデータD7と処理ステップS33で記憶した目標値幅データD8と処理ステップS34で記憶した目標値データD9の一つ以上を用いて、出力指令を行う。送信先は、例えば、ある地域の電圧無効電力バランスを維持するための個別制御装置45であり、個別制御装置45は、予め設定された周期で、目標値変更タイミングデータD7と目標値幅データD8と目標値データD9の一つ以上を受信し、例えば、目標値変更タイミングデータD7に従ったタイミングで、目標値データD9の値に目標値を変更し、(11)式および(16)式に基づき最適化計算を行い、電圧無効電力制御を実施する。

30

【0 1 5 7】

【数 1 6】

$$V(x) = \sum_{i=1}^M (v_i - v_{iref})^2 \dots\dots\dots (16)$$

40

【0 1 5 8】

この(16)式において $V(x)$ は、監視対象母線の電圧目標値と電圧計測値の偏差の総和、 i, j は監視対象母線、 M は監視対象母線の総数 ($i = 1 \sim M$)、 v_i は母線 i の電圧計測値、 v_{iref} は母線 i の目標値、である。

【0 1 5 9】

ただし、目標値幅が制約式となる。収束性が悪くなる場合には、ペナルティ関数として目的関数に組み込むことで、収束性の向上を図る。さらに収束性が悪くなる場合には、ペナルティ関数の値を緩和する処理を入れることで解を得ることをできるようにする。

【0 1 6 0】

なお図11において、電圧設定値 V_{ref} に不感帯を設けることが可能である。また V

50

V_1 、 V_2 、 Q_2 を与える場合もある。さらに経済性に加えて、電圧上下限の安定性の補正をするのもよい。なお、需要の上げ下げ傾向から、予め電圧設定値 V_{ref} をどうするか補正しておく方式が知られている。

【0161】

処理ステップ S36 では、系統計測データ D5 と、処理ステップ S39 で記憶した目標値制約計算結果データ D12 と、処理ステップ S40 で記憶した目標値変更タイミングデータ D7 と、処理ステップ S33 で記憶した目標値幅データ D8 と、処理ステップ S34 で記憶した目標値データ D9 の一つ以上を用いて、制御評価の計算として、運用者が目標値に正しく追従しているかを確認しやすくなるために、目標電圧と計測値の偏差を計算し、その結果を制御評価結果データベース DB10 に記憶する。

10

【0162】

最後の処理ステップ S11 では、電力系統の状態監視として、予測値データ D1 と系統設備データ D2 と計算設定データ D3 と判断基準データ D4 と系統計測データ D5 と、処理ステップ S39 で記憶した目標値制約計算結果データ D12 と、処理ステップ S32 で記憶した目標値変更タイミングデータ D7 と、処理ステップ S33 で記憶した目標値幅データ D8 と、処理ステップ S34 で記憶した目標値データ D9 と、処理ステップ S36 で記憶した制御評価結果データ D10 の一つ以上の、画面表示を行う。

【0163】

なお、各種計算結果や計算途中でメモリに蓄積されるデータは、その他の監視装置の画面に逐次表示されてもよい。これにより、運用者が電力系統電圧無効電力監視制御装置 10 の運用状況を容易に把握できる。

20

【0164】

図 19 と図 20 は、出力画面の具体的な表示事例である。まず、図 19 は、系統電圧状態を電圧の等高線で示した系統図である。この事例では電圧の等高線表示のために、色分け表示がされている。さらに電圧の状態を常に監視し、予め設定された各電圧レベルの違反が発生すると、画面上部にメッセージを通知することで、運用者が状態を把握しやすくなるという効果がある。なお、電圧の等高線は直線で示し、全ての母線をまたはマップの計測点を線で接続可能である。また、系統図状の電圧等高線とその等高線で挟んだ図形の色は、透明度を調節し、系統図が後ろに見えるようにすることで、系統図の各地点と電圧状況が運用者にわかりやすくなるという効果がある。なお、エリアが大きい場合は、タブで図面を分割することも可能であるが、系統図を拡大縮小することで、一つの画面全てのエリアを出すことも可能である。

30

【0165】

また図 19 の表示に関し、全てのノードまたはマップの計測点を線で接続してもよい。電圧レベル 1 違反などを監視する役割もある。スケルトンでマップは見えるようにするのがよい。タブ表示でなくてもよい。領域毎に 1 画面にしてもよい。

【0166】

次に、図 20 は、系統の運用状態を電圧の時系列波形と選択時刻の目標電圧幅と計測値の関係で示したものである。図 20 上部の画面では、設備電圧上下限と電圧目標値幅と目標電圧の関係が容易に確認できるようになっており、そこへ計測値の実績値と運転点が表示されることで、運用者が容易に系統の運用状態を把握できるようになる効果がある。また、処理ステップ S36 で計算した制御評価結果データ D10 を画面に表示することで、運用者が制御の追従性を評価しやすくなる効果がある。なお、監視対象の母線それぞれをタブで切り替えられるようになっているが、ウィンドウとして扱い、並列に図面を並べすることもできる。これにより、運用者が見比べるときに容易になる効果がある。

40

【0167】

また、図 20 の下部には、各監視対象母線の目標電圧幅に対する計測値が表示されることで、運用者が見比べるときに容易になる効果がある。これらの画面は時々刻々計測周期毎に変化するが、過去の履歴をデータベースからみることにもできる。これにより、過去のデータを評価し、あるいは現在状態と任意の時間の過去状態を比較することが可能となり

50

、運用に生かしやすくなる効果がある。

【0168】

また図20の表示に関し、タブ表示でなくてもよい。母線毎に1画面にしてもよい。その他、計算結果データ、過去データを選択可能にしてもよい。画面に目標電圧と計測値の偏差の積分結果を表示してもよい。

【0169】

かくして、中央装置である電力系統電圧無効電力監視制御装置10で作成された上記の送信データ72a(目標値変更タイミングデータD7、目標値幅データD8、目標値データD9)は、個別装置である個別制御装置45に送られる。個別制御装置45では、与えられた目標値に従って当該設置点における電圧、無効電力を計測して求め、目標値に向けて制御を実行する。個別制御装置45は、予め設定された周期で、目標値変更タイミングデータD7と目標値幅データD8と目標値データD9の一つ以上を受信し、例えば、目標値変更タイミングデータD7に従ったタイミングで、目標値データD9の値に目標値を変更し、電圧無効電力制御を実施する。

10

【0170】

この実施例1では、電力系統全体の視点で監視制御を行う中央装置において個別装置に対する目標値を演算して提供し、個別装置はこれを順守すべく制御を実行する方式である。

【0171】

以上述べたように実施例1では、電力系統情報の予測値である予測値データD1と系統設備情報である系統設備データD2と計算設定情報である計算設定データD3と判断基準情報である判断基準データD4とを用いて指標を計算し、計算した指標計算結果データD6を用いて一つ以上の電力系統の箇所の目標値制約を計算し、計算した目標値制約計算結果データD12を用いて目標値変更タイミングを計算し、計算した目標値制約計算結果データD12と目標値変更タイミングデータD7とを用いて目標値幅を計算し、系統設備データD2と計算設定データD3と、計算した目標値制約計算結果データD12と目標値変更タイミングデータD7と目標値幅データD8と、を用いて目標値を計算し、計算した目標値変更タイミングデータD7と目標値幅データD8と目標値データD9とを用いて出力指令し、電力系統情報の計測情報である系統計測データD5と、計算した目標値制約計算結果データD12と目標値変更タイミングデータD7と目標値幅データD8と目標値データD9と、を用いて出力指令の結果を評価し、計算した指標計算結果データD6と目標値制約計算結果データD12と目標値変更タイミングデータD7と目標値幅データD8と目標値データD9と制御評価結果データD10の一つ以上の計算結果を表示する電力系統電圧無効電力監視制御装置10の例について説明した。

20

30

【0172】

なお、以降の実施例に共通に適用可能なものもあるが、本発明及びその実施例において、さらに以下の点を考慮して反映して置くのがよい。ここでは、全体を通じた気付き事項を纏めて説明しておく。

【0173】

まず経済性を目的関数とした目標値計算方法(最適化計算)を行う時には、電源ロスとして経済負荷配分、有効電力制御、送電ロスして調相設備、変圧器タップ比、発電機端子電圧変更、電圧/無効電力制御、操作量としての制御量の観点を反映、考慮するのがよい。

40

【0174】

本発明によれば、目的関数を狭めていく方式のため、重み調整が不要であり、従来の課題であった多目的最適化演算時に重みを調整する労力が多大であるという課題が解消できる。

【0175】

実施例1では、個別装置に目標値を与える方式であるが、この目標値に関して、以下の点を考慮するのがよい。まず、目標値を与える設定対象箇所を抽出することに関し、適宜

50

の方式で決定してよい。本発明において、目標値幅は絶対に必要な情報であり、目標値は必ずしもなくてもよい。目標値、あるいは目標値幅の情報があれば、個別装置による目標値制御が可能である。系統の状態が厳しくなり、解なしとなった時には、判断基準の緩和処理により幅の解を求めるのがよい。目標値計算において、幅が厳しい時には、絶対制約でなく、ペナルティ関数として解を求めるのがよい。目標値制約とは例えば、電圧目標値の制約のことであり、それ以外に無効電力ロス目標値などが設定可能である。個別装置からは制御実施結果を返してもらってもよい。

【0176】

系統から得るデータに関し、系統計測データD1はパイロット母線だけの場合と、全系統データを集める場合がある。系統各所のV、I、またはP、Qである。また系統設備データD2は、系統トポロジーや、調整電源の調整力であり、さらには動特性解析のデータも必要である。データやりとりには、指令値・時刻・IDも入っているのがよい。

【0177】

また、通信不良時は、個別装置だけでもうごけるように尤度をもった緊急時の電圧設定と幅を与えておくのがよい。個別装置の仕様によって、電圧設定と制御量のどちらかを使用するのがよい。なお制御評価は、常実施するが、個別装置が動かないと制御評価に意味はない。

【0178】

上記の変形、代案の実施例は、以降の実施例においても適宜適用可能なものである。

【実施例2】

【0179】

実施例2では、実施例1のシステム構成において、送信データとして変動データを考慮し外乱の影響を排除する目標値を与えることについて、図21から図26を用いて説明する。

【0180】

実施例2では、実施例1において、予測値データD1に加えて変動データD13を加える。これにより、再生可能エネルギーが天候に起因して時間経過とともに出力変動したとしても、より強固に電力系統の電圧と無効電力のバランスを維持し、経済性を向上するいずれか一つまたは両方の効果を達成することを目的とする、系統制御装置10の例を説明する。なお実施例1と同じ構成箇所と同じ動作の箇所については説明を省略する。

【0181】

図21は、実施例2の電力系統電圧無効電力監視制御装置10の構成をその機能面から整理して記述した図の例である。実施例1の図1の入力データ部40に変動データデータベースDB13が追加され、指標計算部31で用いるデータとして変動データD13が追加された点が構成的には異なる。

【0182】

図22は、実施例1における電力系統電圧無効電力監視制御装置のハード構成と電力系統の全体構成例を示す図であり、実施例1の図2のデータベースDBとして変動データデータベースDB13が追加された点が異なる。

【0183】

図23は、変動データD13の一例を示す図である。ここで、図23を用いて変動データD13について説明する。変動データD13は、再生可能エネルギー（太陽光発電や風力発電など）が原因で発生する変動データを例えば、時系列の確率分布の標準偏差 \pm および ± 2 と ± 3 などとして格納している。なお、変動データは予めデータベースで設定されていてもよいし、系統計測データを蓄積し、参照して求めてもよい。なお、ここで説明した変動データの変動とは、故障発生時などの大きな変化ではなく、再生可能エネルギーなどによる需給変動を実施例2では示している。

【0184】

なお変動データはデータベースで持っていてよいし、系統計測データの履歴から算出してもよい。ここで変動とは、再エネ変動など事故時でない定常的な変動のことであり、

10

20

30

40

50

ローパスフィルタなどで、急峻な変動は除くことで求められる。

【0185】

変動データD13を用いることで、計算処理内容が実施例1とは異なる。電力系統電圧無効電力監視制御装置の処理の全体を示すフローチャートの例である図8において、計算が異なる箇所を、順を追って説明する。

【0186】

まず、図8の処理ステップS31では、予測値データD1と系統設備データD2と計算設定データD3と判断基準データD4と変動データD13とを用いて、指標計算を行い、その結果を指標計算結果データベースDB6に記憶する。ここで、指標計算のやり方は実施例1と同様であるが、計算対象の予測値データD1の各時間断面に対して予め設定された変動データの最大・最小の変動を加えた各時間断面についても初期条件として、計算する点異なる。

10

【0187】

次に、処理ステップS39では、処理ステップS31で記憶した指標計算結果データD6と判断基準データD4とを用いて、目標値制約計算を行い、その結果を目標値制約計算結果データベースDB12に記憶する。目標値制約計算の方法は実施例1と同様であるが変動データを加えたうえで過酷な制約となるものだけでなく予め設定された刻みで潮流断面を変更し計算したものを計算結果とする。

【0188】

図24は、実施例2における目標値制約データの一例を示す図であり、ここには、最過酷の計算結果のみ載せている。ここで、図24を用いて、各安定性の目標値制約計算結果データD12の例を説明する。

20

【0189】

ここでは目標値の種類として電圧を選択しており、対象と設定された地点iの電圧制約として、以下の4つを与えている。一つ目は設備上下限の電圧制約 $V_{i, Upper}(t)$ 、 $V_{i, Lower}(t)$ (実線)である。これは実施例1と同様である。

【0190】

二つ目は過渡安定性の電圧制約 $V_{i, TS}$ であり、図9とは異なる計算結果となる。これは、処理ステップ39で計算した過渡安定性に関する目標値制約を計算した結果であり、図24では、時間tの電圧制約として $V_{i, TS}(t)$ と表現しており、図24に示す時間tの範囲では、一点鎖線で表される。

30

【0191】

三つ目は定態安定性の電圧制約であり、処理ステップ39で計算した定態安定性に関する目標値制約 $V_{i, SS}$ を計算した結果であり、図24では、時間tの電圧制約として $V_{i, SS}(t)$ と表現しており、図24に示す時間tの範囲では、細長破線で表される。

【0192】

四つ目は電圧安定性の電圧制約 $V_{i, VS}$ であり、処理ステップ39で計算した電圧安定性に関する目標値制約を計算した結果であり、図24では、時間tの電圧制約として $V_{i, VS}(t)$ と表現しており、図24に示す時間tの範囲では、細短破線で表される。

【0193】

40

以上の四つの目標値制約をまとめて示したものが図24となる。なお、二つ目から四つ目の制約が下限しか示されていないが、場合によっては上限であってもよい。以上により計算された目標値制約は上下限值が合成されて決定される。図24には、変動データD13の最過酷の目標値制約データの計算結果を示しているが、実際には、変動データで増減した各断面に対して計算を行っている。図11と図24を比較して明らかなように、図11では電圧目標上下限值 $V_{i, ref}$ が1組であるに対し、図24では変動データD13で増減した各断面に対して計算を行った結果として、複数組の電圧目標上下限值 $V_{i, ref}$ が記述されている。

【0194】

次に、処理ステップS32では、処理ステップS39で記憶した目標値制約計算結果デ

50

ータD12を用いて、目標値変更タイミング計算を行い、その結果を目標値変更タイミングデータベースDB7に記憶する。計算方法は実施例1と同様であるが、前記変動データD13で増減した各断面に対して計算を行う。

【0195】

次に、処理ステップS33では、処理ステップS39で記憶した目標値制約計算結果データD12と処理ステップS32で記憶した目標値変更タイミングデータD7を用いて、目標値幅計算を行い、その結果を目標値幅データベースDB8に記憶する。計算方法は実施例1と同様であるが、前記変動データD13で増減した各断面に対して計算を行う。

【0196】

次に、処理ステップS34では、系統設備データD2と、計算設定データD3と、処理ステップS39で記憶した目標値制約計算結果データD12と、処理ステップS32で記憶した目標値変更タイミングデータD7と、処理ステップS33で記憶した目標値幅データD8を用いて、目標値計算を行い、その結果を目標値データベースDB9に記憶する。このときの計算方法は実施例1と同様であるが、結果が図24に示すように、幅を持った計算結果となる。これについて図25を用いて後述する。

【0197】

各タイミングの目標値幅を制約として、有効電力送電損失最小化と無効電力送電損失最小化と電源の有効電力出力配分の変更による総燃料費最小化と各電源の力率変更による無効電力出力最小化の一つ以上を目的関数とし、操作変数を目標値の種類（実施例2では、電圧）とした、最適化計算をすることで、各タイミングおよび目標値幅における目標値を前記変動データで増減した各断面に対して計算する。

【0198】

図25は、実施例2における目標値計算の処理の一例を示す図である。縦軸に経済性、横軸に電圧 V_i を示しているが、経済性を最大とする解が存在している。この目標値データD9は、図25に示すように、ある一つの変動データD13で増減した断面の電圧制約に対して最適化計算の答えが一つ算出される。これを図25に示すように各線の一点分となる。目標値幅が複数あるので、この計算を繰り返すと、図25の横軸が電圧 V_i で縦軸が評価関数の結果である経済性に対する、一点細鎖線と細長破線と細短破線が得られる。

【0199】

従って、各線が予め設定する経済性を評価する閾値 E_T よりも大きな領域で運転すれば、系統潮流断面が変動したとしても、各安定性を維持し、かつ、閾値 E_T よりはより大きな経済性で運転することができるようになるという効果がある。また、これらの各線を重ね合わせると、太実線が得られるので、これの経済性が最大の点を目標値として決定することで、変動が起き得る中で最も経済的な目標値を計算することができる。

【0200】

図26は、実施例2における目標値データの一例を示す図である。目標値の計算結果を示す図26によれば、時間の経過に応じて電圧目標値 $V_{i,ref}$ を太い実線のように変化させてやることにより、常に図25の経済性の閾値 E_T よりも大きな領域で運転できることを表している。

【0201】

なお処理ステップS16以降は、実施例1と同様である。

【実施例3】

【0202】

実施例3は、実施例1のシステム構成において、中央装置が個別装置に与える送信データを個別装置に対する制御量としたものである。図27から図32を用いて実施例3の説明を行う。

【0203】

実施例3では、実施例1が目標値を個別装置である個別制御装置45に送信するという構成だったのに対して、目標値を計算した後に、制御量を計算し、個別装置である直接制御装置46を用いて制御するという構成および制御フローの違いを持つ。

【 0 2 0 4 】

これにより、個別制御装置 4 5 がない電力系統に対しても、制御装置 4 6 があれば、電力系統の電圧と無効電力のバランスが維持し、経済性を向上するいずれか一つまたは両方の機能を提供できるようになる。以下、系統制御装置 1 0 の例を説明する。実施例 1 と同じ構成箇所と同じ動作の箇所については説明を省略する。

【 0 2 0 5 】

図 2 7 は、実施例 3 の電力系統電圧無効電力監視制御装置 1 0 の構成をその機能面から整理して記述した図であり、実施例 1 の図 1 の制御計算部 4 1 に制御量計算部 3 5 が追加され、結果データ D 4 2 に制御量計算結果データ D 1 5 が追加された点が構成的には異なる。ここでは、経済性を目的関数とした目標値計算方法を最適化計算し、制御量を個別装置に送信する方式である。

10

【 0 2 0 6 】

図 2 8 は、本実施例の電力系統電圧無効電力監視制御装置 1 0 のハード構成と電力系統 1 0 0 の全体構成図の例であり、実施例 1 の図 2 のデータベースとして制御量計算結果データベース D B 5 が追加された点と、個別制御装置 4 5 から直接制御装置 4 6 に変更されている点と、送信データ 7 2 b に制御量計算結果データ D 1 5 を含む点が異なる。なお、直接制御装置 4 6 は、送電系統 1 0 0 のみならず、発電系統 2 0 0 や負荷系統 3 0 0 の装置をも制御の対象としている。

【 0 2 0 7 】

ここで実施例 1 の場合の個別制御装置 4 5 と実施例 3 の直接制御装置 4 6 の相違について説明しておく。両者とも、ある地域の電圧無効電力バランスを維持するためのものであるが、実施例 1 では、個別制御装置 4 5 に目標値（タイミング、幅、大きさ）が与えられて、個別制御装置 4 5 は与えられた目標値とすべく電圧・無効電力の大きさを計測して制御量を定め、目標値に向けて制御を行っている。これに対し、実施例 3 の直接制御装置 4 6 では制御量の形式で信号が送られてくる。直接制御装置 4 6 では制御量に従って操作を実行するのみである。これらのことから実施例 1 の場合の個別制御装置 4 5 は、アナログ的な大きさを制御可能な機器に適しているに対し、実施例 3 の直接制御装置 4 6 は例えばデジタル的に開閉制御を行うような機器に適しているといえることができる。つまり図 2 9 に例示されるように、開閉位置、あるいはタップ位置といった位置制御により機能する機器を対象とする場合に適している。

20

30

【 0 2 0 8 】

図 2 9 は、制御量計算結果データ D 1 5 の一例を示す図である。ここで、図 2 9 を用いて制御量計算結果データ D 1 5 について説明する。制御量計算結果データ D 1 5 には、S C や S h R やタップ付き変圧器のタップ値や電源の A V R や A Q R の時系列指令値が記憶されている。これに従って制御指令をできるようになる。なお電源の A V R や A Q R については、目標値の形式で与えることも可能であるが、ここでは制御量の形式で与える事例として示している。

【 0 2 0 9 】

なお図 2 8 によれば、電力系統電圧無効電力監視制御装置 1 0 が直接制御装置 4 6 に与える送信データ 7 2 b には、制御量計算結果データ D 1 5 の他に目標値（タイミング、幅、大きさ）が含まれていてもよい。

40

【 0 2 1 0 】

直接制御装置 4 6 が人ベースの装置であれば、制御量計算結果データ D 1 5 により制御指令を与えるだけでなく、目標値変更タイミングデータ D 7 と目標値幅データ D 8 と目標値データ D 9 の一つ以上も与えることで、制御効果を確認しながら制御できるという利点がある。これは、直接制御装置 4 6 の性能次第であるが、直接制御装置 4 6 も制御効果の確認ができるのであれば、制御量計算結果データ D 1 5 に加えて、目標値変更タイミングデータ D 7 と目標値幅データ D 8 と目標値データ D 9 の一つ以上を送信しておくことで、制御効果を確認しながら制御できるという利点がある。

【 0 2 1 1 】

50

制御量計算結果データD15を用いることで、実施例1に追加される計算処理内容がある。電力系統電圧無効電力監視制御装置10の処理の全体を示すフローチャートの例である図30において、計算が追加された箇所を説明する。

【0212】

図30において、まず、処理ステップS31～処理ステップS34までは、実施例1と同様である。

【0213】

次に、処理ステップS35では、処理ステップS32で記憶した目標値変更タイミングデータD7と、処理ステップS33で記憶した目標値幅データD8と、処理ステップS34で記憶した目標値データD9の一つ以上を用いて、制御量計算を行い、計算結果を制御量計算結果データベースDB15に記憶する。

10

【0214】

制御量計算は、(11)式および(16)式に基づき、最適化計算を行い制御量計算するが、このときの制御変数 x の一例を(17)式に示す。制御変数 x は、制御対象箇所のSC、ShR、タップ付き変圧器のタップ値(Tap)、発電機のAVR/AQR指令値、さらに、位相調整器、線路切替など、として以下のベクトル式で定義される。これを用いて最適化計算した結果を用いて、電圧無効電力制御を実施する。

【0215】

【数17】

$$x = [SC, ShR, Tap]^T$$

$$= [SC_1 \cdots SC_n, ShR_1 \cdots ShR_m, Tap_1 \cdots Tap_p, V_{g1} \cdots V_{gq}]^T \quad \cdots \cdots \cdots (17)$$

20

【0216】

ここで、 SC_n は n 番目のSCのバンク投入量、 ShR_m は m 番目のShRの投入量、 Tap_p は p 番目のLRTのタップ位置、 V_{gq} は q 番目の発電機端子電圧、 n はSCの設備台数、 m はShRの設備台数、 p はLRTの設備台数、 q は V_g の設備台数、である。

【0217】

なお(17)の実行に当たり、制御余裕の観点を考慮するのがよい。運転余裕に関して、上記中他：「経済性とセキュリティを考慮したタブサーチによる電圧・無効電力制御の最適化」, 電学論B, Vol. 128, No. 1, pp. 305 - 311, 2008や、岸 他：「運用余裕を考慮した電圧無効電力制御」, 東海大学紀要工学部, Vol. 48, No. 1のP82の式(2)に示されるような発電機の端子電圧 V_g を考慮するのがよい。

30

【0218】

処理ステップS16は、実施例1で出力指令した各データに加えて、処理ステップS35で計算した制御量計算結果データD15も出力指令する点が異なる。

【0219】

処理ステップS36および処理ステップS11は、実施例1に加えて、図31および図32に示す内容を処理ステップS36で計算し、処理ステップS11で画面表示する点が実施例1と異なる。

40

【0220】

図35の画面表示事例に示すように、処理ステップS36では、各電圧階級の安定性をレーダーチャートに表示できるように、「Jintaek Lim and Jaeseok Choi et. al, Expert criteria based probabilistic power system health index model and visualization, Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), 2014 International Conference on, pp. 1 - 6や、Chr

50

istoph Schneiders, et.al、Enhancement of situation awareness in wide area transmission systems for electricity and visualization of the global system state、Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe)、2012 3rd IEEE PES International Conference and Exhibition on、pp.1-9」などに示されるような計算などを行い、結果を制御評価結果データベースDB10に格納する。

【0221】

また、経済性についても、処理ステップS34に示す各評価関数でオンライン計算することで、評価する。これにより、制御の効果を容易に確認することができ、もしうまくいっていない場合には運用者がそれに気づくことができるという効果がある。また、図32に示すように、制御量まで計算できるので、制御量の候補と制御機器の関係がわかる系統図を処理ステップS11では合わせて表示することで、制御の効果を確認しやすくなるという効果がある。

【0222】

なお、系統設備データは、系統の接続構成を含むものであり、調整力（調整能力）データは、計画調整量でもよいし、周期的に受信してもよい。

【実施例4】

【0223】

実施例4は、実施例1のシステム構成において、中央装置に予測機能及び計画値修正機能を持たせたものである。実施例4について、図33から図35を用いて説明を行う。

【0224】

実施例4における電力系統電圧無効電力監視制御装置の構成をその機能面から整理して記述した図である図33は、実施例1における電力系統電圧無効電力監視制御装置の構成をその機能面から整理して記述した図である図1と比較すると、以下の点の構成が新たに追加されている。追加部分は、計画値データベースDB17と、予測計算部60と、誤差計算部61と、誤差量データベースDB19と、誤差発生判定部62と、計画値修正部63と、修正計画値データベースDB18である。

【0225】

これらを加えることで、電力系統の潮流状態などが変化し、予測値データD1とズレが生じてしまった場合に、そのズレを計算し、そのズレを元に、修正計画値データD18を計算し、その修正計画値データD18を元に予測計算をやり直すことで、実施例1と同様の動作で目標値を計算し出力指令できるようになり、時間経過とともに再生可能エネルギーが天候に起因して出力変動したとしても、電力系統の電圧と無効電力のバランスが維持し、経済性を向上するいずれか一つまたは両方を提供できるようになる。

【0226】

以下においては、まず、系統制御装置10の例を説明する。実施例1と同じ構成箇所と同じ動作の箇所については説明を省略する。

【0227】

図33は、実施例4の電力系統電圧無効電力監視制御装置10の全体構成図の例であり、計画値データベースDB17と予測部60と誤差計算部61と誤差量データベースDB19と誤差発生判定部62と計画値修正部63と修正計画値データベースDB18が追加された点が、構成的には異なる。

【0228】

図34は、実施例4の電力系統電圧無効電力監視制御装置10のハード構成と電力系統100の全体構成図の例であり、実施例1の図2のデータベースとして計画値データベースDB17と修正計画値データベースDB18と誤差量データベースDB19が追加された点が異なる。

【0229】

10

20

30

40

50

図35は、計画値データの一例を示す図である。ここで、図35を用いて計画値データD17について説明する。計画値データD17は、需要予測結果および発電機出力計画および制御計画からなり、これを用いて、予測計算部60で、将来の予測時刻断面毎に潮流計算をすることで、予測値データD1を計算できるようになる。そのため、修正計画値データD18も値は修正されているが計画値データD17と同じ種類のデータが格納されることになる。この計画値データベースD17と予測計算部60を持つことで、修正計画値データD18を用いた予測計算ができ、時間経過とともに再生可能エネルギーは天候に起因して出力変動したとしても、電力系統の電圧と無効電力のバランスが維持し、経済性を向上するいずれか一つまたは両方を提供できるようになる。これらにより、計算処理内容が実施例1とは異なる。電力系統電圧無効電力監視制御装置の処理の全体を示すフローチャートの例である図8において、計算が異なる箇所を、順をおって説明する。

10

【0230】

まず、処理ステップS31の前に、計画値データD17を用いて予測計算を行い、予測値データD1を記憶する。それ以降の処理ステップS31～処理ステップS11までは、実施例1と同様である。

【0231】

またこれと並列して、誤差計算部61において周期的に計測している系統計測データD5の各値と、予測値データD1の値を、差し引き、誤差を計算する。また誤差計算部61において、系統計測データD5の入り切りデータと系統設備データD2の入り切り状態を差し引きして、系統構成に誤差がないかを計算する。

20

【0232】

誤差計算部61におけるこの2つの誤差の計算結果を、誤差量データD19として誤差量データベースD19に記憶するとともに、誤差発生判定部62にも送信し、誤差が発生していることを、予め設定する閾値との比較により判定する。誤差発生判定部62において、誤差発生判定された場合には、計画値修正部63において誤差量データD19と計画値データD17を用いて、その誤差量の分だけ計画値を修正し、修正計画値データD18を修正計画値データベースD18に記憶する。

【0233】

修正計画値データD18は最後に予測値計算部60に送信し、予測値計算部60では計画値データD17を用いた予測値計算を行う時と同様に予測値データD1を計算し、上書きする。これらの動作は、誤差発生時に速やかに行うことによって、制御の誤差を低減することができる。

30

【0234】

また、誤差発生判定部62にて誤差発生を判定した際には、目標値の出力指令を一旦待ちの状態にすることで、誤差のある目標値を送信しないで済むという効果がある。また、誤差計算に関しては計測データそのものを使用したやり方もあるが、計測データを状態推定と潮流計算した後に比較してもよい。これにより系統のもっともらしい状態を推定したのちに比較をすることができるので、誤差判定の精度が向上する。また、天候によっては、誤差判定に不要な急峻な再エネ出力変動などが計測値に混入する可能性があるため、予め設定したローパスフィルタを用いて、所望の変動成分のみを取り出せるようにすることで、誤差判定の精度が向上する。

40

【0235】

ここで、状態推定と潮流計算について補足する。系統計測データD5と系統設備データD2と計算設定データD3を用いて、図面には示していない状態推定計算・潮流計算プログラムの計算により、系統計測時の系統状態を計算し、系統計測データベース25に記憶する。なお、状態推定計算とは、変電所、発電所、送電線をはじめとした電力送配電機器の観測データ、ならびに接続データをもとに、観測データ中の異常データの有無を判定と除去を行い特定の時間断面におけるもっともらしい系統状態を推定する計算機能のことである。ここで、状態推定計算は、例えば、Lars Holten、Anders Gjelsvik、Sverre Adam、F. F. Wu、and Wen-

50

Hs Iung E. Liu, Comparison of Different Methods for State Estimation, IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 3 (1988), pp. 1798 - 1806」の各種方法などに即して行う。

【0236】

また、潮流計算では、状態推定結果と系統設備データD2と計算設定データD3の潮流計算に必要な各ノード120の電圧Vと負荷の出力指令値PとQを用いて、電力系統100中の発電機ノードと同期調相機と無効電力補償装置をPV指定し、変電所ノードと負荷ノードをPQ指定し、電力系統100中に予め設定したスラックノードに予め設定したノード電圧Vと位相角を指定し、系統データベース21から作成したアドミタンス行列Y_{ij}と共に、ニュートンラプソン法を用いて、潮流計算を実施し、計算結果を記憶するのがよい。ここで、潮流計算手法は、例えば、「WILLIAM F. TINNEY, CLIFFORD E. HART, Power Flow Solution by Newton's Method, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, VOL. PAS-86, NO. 11 (1967) pp. 1449 - 1967」の方法などに則して行うのがよい。なお、潮流計算手法は、交流法を基本とするが、直流法やフロー法などを用いてもよい。

10

【0237】

なお実施例4の誤差計算は、系統計測データを状態推定した後に比較してもよい。また誤差計算は、SV値の違いで判定してもよいし、状態推定値との平均偏差でもよい。この場合に、ローパスフィルタ通す必要がある場面がある。

20

【実施例5】

【0238】

実施例5は、実施例3のシステム構成において、中央装置に予測機能及び計画値修正機能を持たせたものである。実施例5について、図36から図37を用いて説明を行う。

【0239】

実施例5は、実施例1に実施例4で追加した内容を、実施例3に同様に追加した内容である。図36は、実施例5の電力系統電圧無効電力監視制御装置10の全体構成図の例であり、図27の構成を前提にしている。計画値データベースDB7と予測部60と誤差計算部61と誤差量データベースDB19と誤差発生判定部62と計画値修正部63と修正計画値データベースDB18が追加された点が、構成的には異なる。

30

【0240】

図37は、実施例5の電力系統電圧無効電力監視制御装置10のハード構成と電力系統100の全体構成図の例であり、図28の構成を前提にしている。ここでは、実施例3の図28のデータベースとして計画値データベースDB17と修正計画値データベースDB18と誤差量データベースDB19が追加された点が異なる。これにより実施例4と同様の効果が、実施例3の構成でも達成できる。

【実施例6】

【0241】

実施例6は、実施例1のシステム構成において、電力系統の緊急状態を判定して緊急状態に対応した目標値を与えるものである。実施例6について、図38から図40を用いて説明を行う。

40

【0242】

実施例6では、図38に示すように実施例1の図1の構成に対して、緊急状態判定部37と緊急目標値計算部38と緊急目標値データD14を保有する緊急目標値データベースDB14を加えることで、系統故障発生時などにより電力系統の潮流状態が急変した際に、その緊急状態を判定し、緊急時に適した目標値を計算し、出力指令できるようになり、時間経過とともに再生可能エネルギーは天候に起因して出力変動したとしても、電力系統の電圧と無効電力のバランスが維持し、経済性を向上するいずれか一つまたは両方を提供できるようになる。まず、系統制御装置10の例を説明する。実施例1と同じ構成箇所

50

同じ動作の箇所については説明を省略する。

【0243】

図38は、本実施例の電力系統電圧無効電力監視制御装置10の全体構成図の例であり、緊急状態判定部37と緊急目標値計算部38と緊急目標値データベースDB14が追加された点が、構成的には異なる。

【0244】

図39は、本実施例の電力系統電圧無効電力監視制御装置10のハード構成と電力系統100の全体構成図の例であり、実施例1の図2のデータベースとして緊急目標値データベースDB14が追加された点が異なる。メインフローである図8は実施例1と同様である。

10

【0245】

ここで、図40を用いてメインフローと並列計算する、緊急処理フローについて説明する。処理ステップS100にて、まず系統計測データを周期的に受信し、処理ステップS110にて緊急状態を判定する。緊急状態の判定は、実施例4の誤差計算と同様の方法で行うが、判定閾値が異なる。また、処理ステップS120では、実施例1と同様の方法で、緊急状態が発生して計測し、その断面に対する緊急目標値を計算することで、緊急目標値データD14を得て、出力指令する。これにより、緊急時も安定化できる効果がある。

【0246】

実施例6において、緊急目標値データは即座に制御する必要があるため、予測値は不要である。緊急目標値計算は、系統計測データがなくても予め過酷条件を想定しておき予め計算しておいてもよい。またプログラムデータベースに緊急状態判定と緊急目標値計算が追加される。この効果として、緊急時にも安定化できる。

20

【実施例7】

【0247】

実施例7は、実施例3のシステム構成において、電力系統の緊急状態を判定して緊急状態に対応した制御量を与えるものである。図41から図43を用いて説明を行う。

【0248】

実施例7は、実施例1に実施例6で追加した内容を、実施例3に同様に追加した内容である。図41は、本実施例の電力系統電圧無効電力監視制御装置10の全体構成図の例であり、緊急状態判定部37と緊急目標値計算部38と緊急制御量計算結果データD16を保有する緊急制御量計算結果データベースDB16が追加された点が、構成的には異なる。

30

【0249】

図42は、実施例7の電力系統電圧無効電力監視制御装置10のハード構成と電力系統100の全体構成図の例であり、実施例3の図32の構成に、緊急制御量計算結果データD16を保有する緊急制御量計算結果データベースDB16が追加された点が異なる。これにより実施例6と同様の効果が、実施例3の構成でも達成できる。

【0250】

図43は、実施例7における電力系統電圧無効電力監視制御装置の緊急状態判定および緊急制御量計算の処理の全体を示すフローチャートである。

40

【0251】

最初の処理ステップS100では系統計測データを受信し、処理ステップS110では緊急状態を判定し、処理ステップS121では緊急制御量計算を行い、処理ステップS130では出力司令を与える。

【符号の説明】

【0252】

10：電力系統電圧無効電力監視制御装置

11：表示部

12：入力部

13：通信部

50

14	: CPU	
15	: メモリ	
16	: 指令部	
DB1	: 予測値データベース (予測値データD1)	
DB2	: 系統設備データベース (系統設備データD2)	
DB3	: 計算設定データベース (計算設定データD3)	
DB4	: 判断基準データベース (判断基準データD4)	
DB5	: 系統計測データベース (系統計測データD5)	
DB6	: 指標計算結果データベース (指標計算結果データD6)	
DB7	: 目標値変更タイミングデータベース (目標値変更タイミングデータD7)	10
DB8	: 目標値幅データベース (目標値幅データD8)	
DB9	: 目標値データベース (目標値データD9)	
31	: 指標計算部	
32	: 目標値変更タイミング計算部	
33	: 目標値幅計算部	
34	: 目標値計算部	
35	: 制御量計算部	
36	: 制御評価部	
37	: 緊急状態判定部	
38	: 緊急目標値計算部	20
39	: 目標値制約計算部	
40	: 入力データ部 (入力データD40)	
41	: 制御計算部	
42	: 結果データ部 (結果データD42)	
43	: バス線	
44	: 計測装置	
45a、45b	: 個別制御装置	
46a、46b、46c、46d、46e	: 直接制御装置	
DB10	: 制御評価結果データベース (制御評価結果データD10)	
DB11	: プログラムデータベース (プログラムデータD11)	30
DB12	: 目標値制約計算結果データベース (目標値制約計算結果データD12)	
DB13	: 変動データベース (変動データD13)	
DB14	: 緊急目標値データベース (緊急目標値データD14)	
DB15	: 制御量計算結果データベース (制御量計算結果データD15)	
DB16	: 緊急制御量計算結果データベース (緊急制御量計算結果データD16)	
DB17	: 計画値データベース (計画値データD17)	
DB18	: 修正計画値データベース (修正計画値データD18)	
60	: 予測計算部	
61	: 誤差計算部	
62	: 誤差発生判定部	40
63	: 計画値修正部	
71	: 受信データ (系統計測データD1)	
72a	: 受信データ (目標値変更タイミングデータD7、目標値幅データD8、目標値データD9)	
72b	: 送信データ (目標値変更タイミングデータD7、目標値幅データD8、目標値データD9、制御量計算結果データD15)	
100	: 送電系統	
200	: 発電系統	
300	: 負荷系統	
110a、110b	: 電源 (発電機または再生可能エネルギー電源またはインバータ連系	50

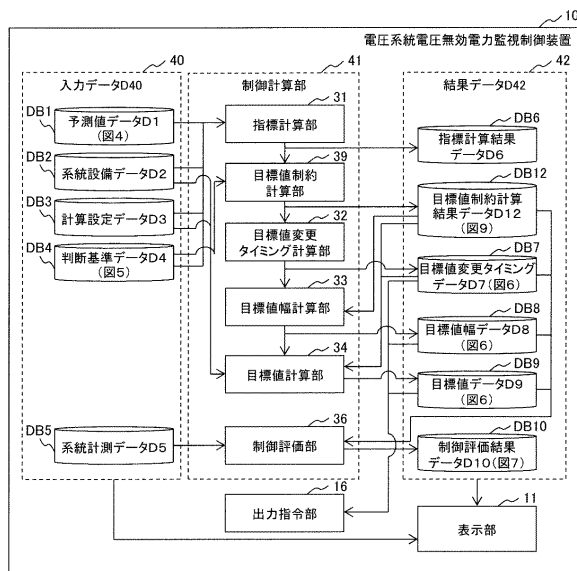
電源)

120a、120b、120c、120d、120e、121a、121b、121c、
121d、121e、：ノード(母線)
130a、130b、130c：変圧器
131a、131b：タップ付き変圧器
140a、140b、140c、140d、140e：ブランチ(送電線または線路)
150a、150b、150c：負荷
160a、160b、160c、160d：電力用コンデンサ(SC:Static
Condenser)
170a、170b：分路リアクトル(ShR:Shunt Reactor)
300：通信ネットワーク

10

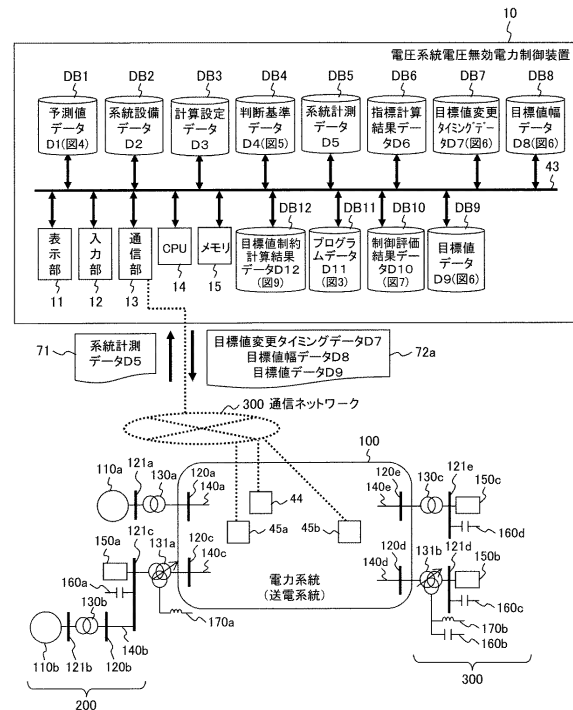
【図1】

図 1



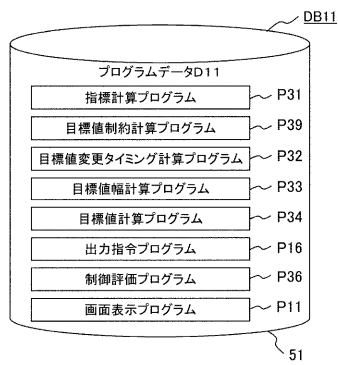
【図2】

図 2



【図 3】

図 3



【図 4】

図 4

DB1

時刻 [s]	電圧[p.u.]			需要[p.u.]				発電機出力[p.u.]				...	
				有効電力	無効電力	有効電力	無効電力	有効電力	無効電力	有効電力	無効電力	...	
	V1	V2	...	PL1	QL1	PL2	QL2	PG1	QG1	PG2	QG2	...	
t1	XX	XX	...	XX	XX	XX	XX	...	XX	XX	XX	XX	...
t2	XX	XX	...	XX	XX	XX	XX	...	XX	XX	XX	XX	...
...

【図 5】

図 5

安定性の種類	閾値の種類	設定値1	設定値2	...
過渡安定性	脱調判定閾値 (δ_{OOS})	360 deg.	—	...
	不安定閾値 (δ_{maxTi})	$\delta_{maxT1}=90$ deg.	$\delta_{maxT2}=120$ deg.	...
定態安定性	減衰率閾値 (α_T)	$\alpha_{T1}=0.1$	$\alpha_{T2}=0$...
	有効電力余裕閾値 (ΔP_T)	$\Delta P_T=0.2$ p.u.	$\Delta P_T=**$ p.u.	...
電圧安定性	無効電力余裕閾値 (ΔQ_T)	$\Delta Q_T=0.2$ p.u.	$\Delta Q_T=**$ p.u.	...

【図 6】

図 6

No.	V1			...
	変更タイミング	幅	目標値	
1	t_0	ΔV_0	XX	...
2	t_1	ΔV_1	XX	...
...

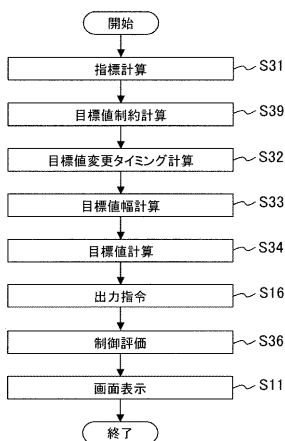
【図 7】

図 7

時刻 [s]	V1[p.u.]			V2[p.u.]			...
	目標値	計測値	偏差	目標値	計測値	偏差	
t1	XX	XX	XX	XX	XX	XX	...
t2	XX	XX	XX	XX	XX	XX	...
...

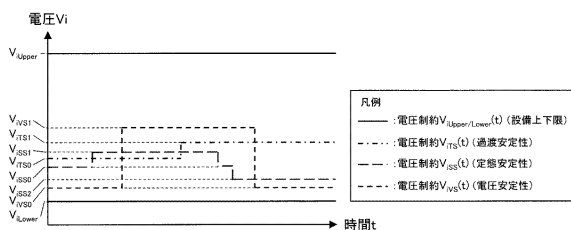
【図 8】

図 8



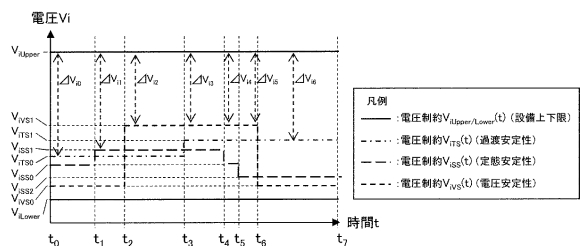
【図 9】

図 9



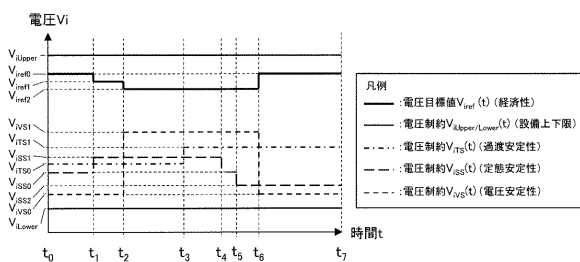
【図 10】

図 10



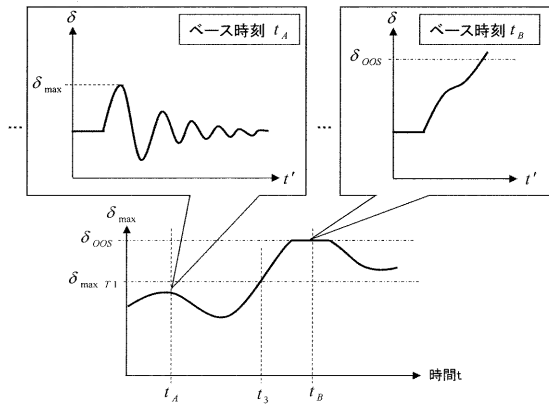
【図 11】

図 11



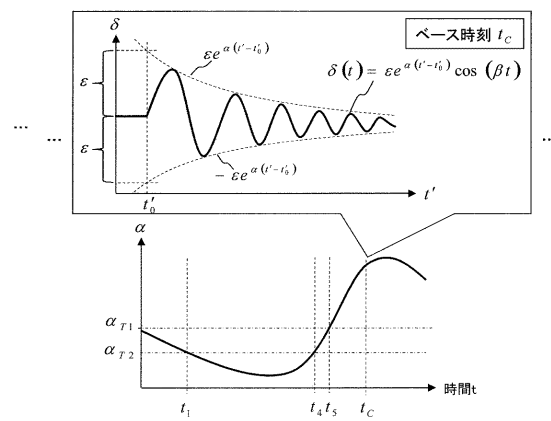
【図 12】

図 12



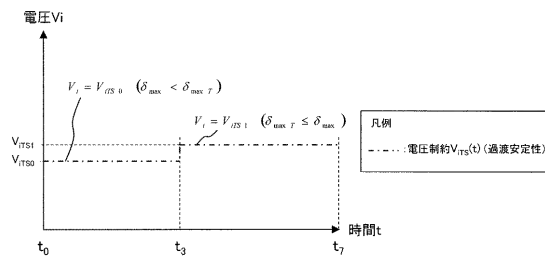
【図 14】

図 14



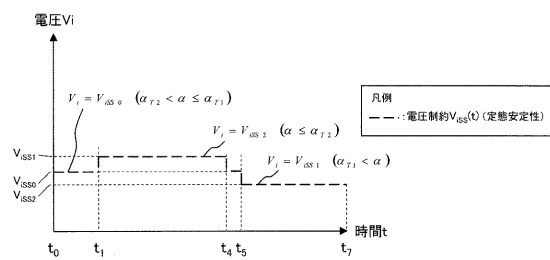
【図 13】

図 13



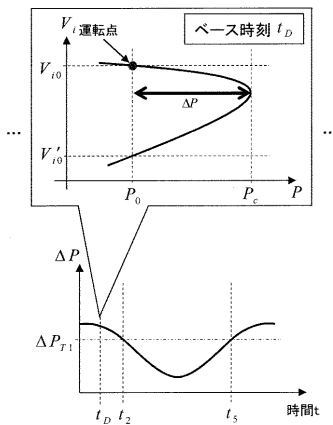
【図 15】

図 15



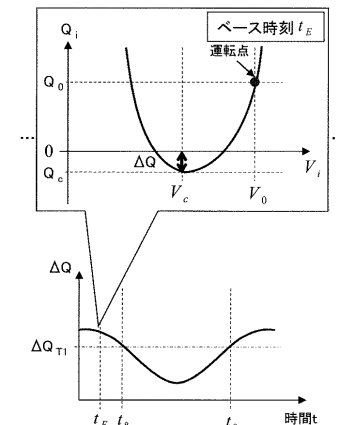
【図 16】

図 16



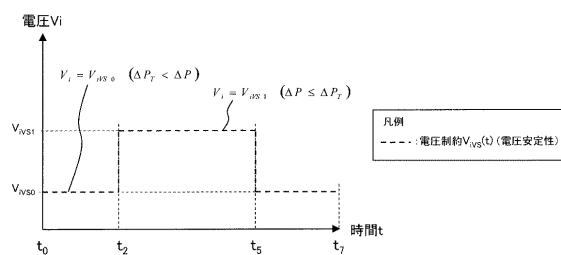
【図 17】

図 17



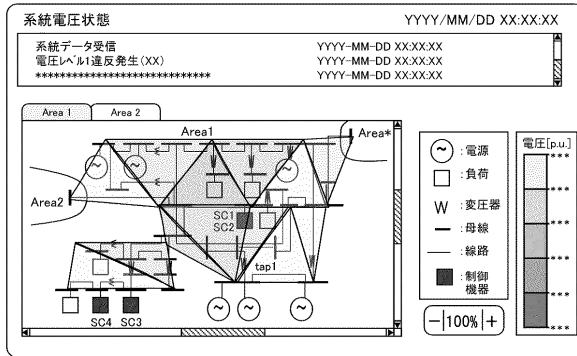
【図 18】

図 18



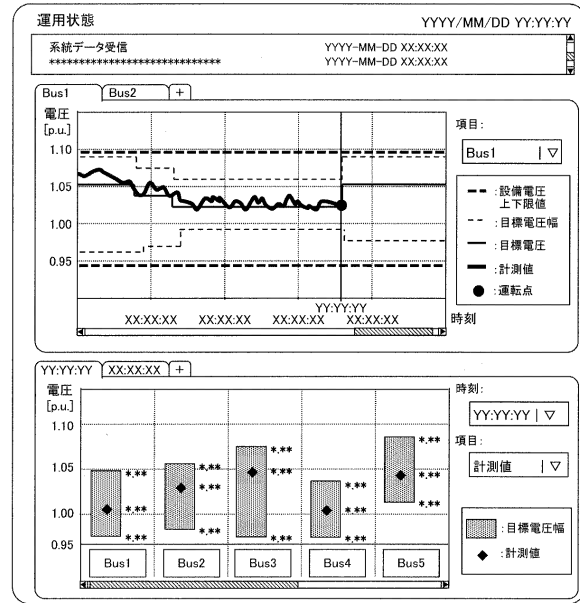
【図 19】

図 19



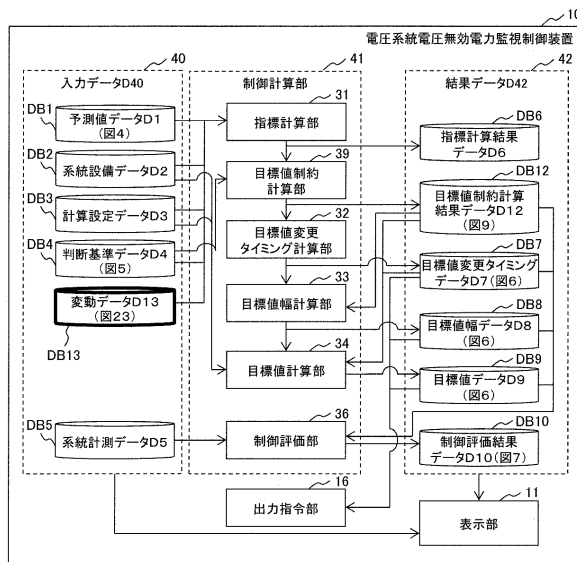
【図 20】

図 20



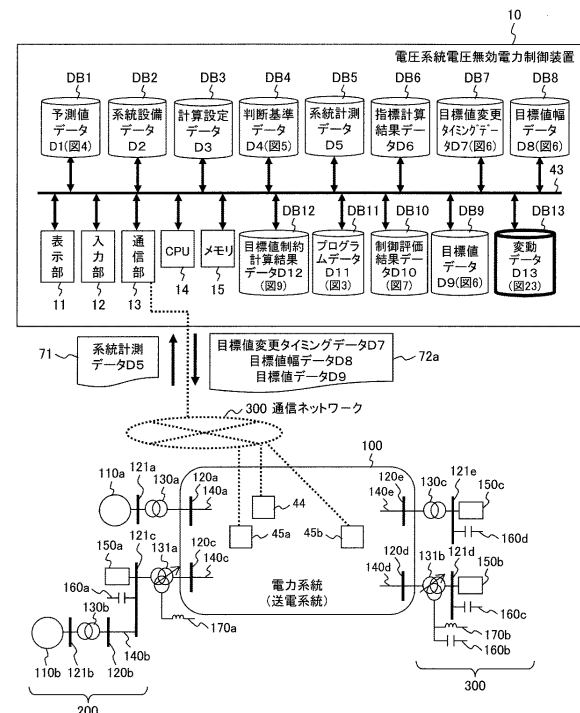
【図 21】

図 21



【図 22】

図 22



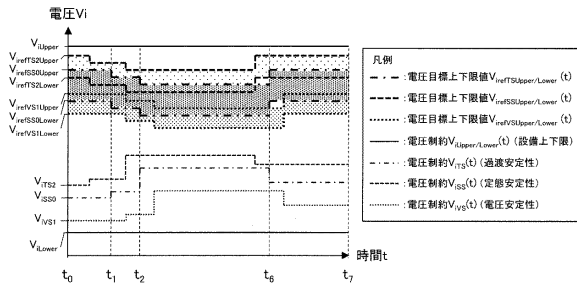
【図 23】

図 23

															DB13
時刻 [s]	WT1[p.u.]						PVI[p.u.]						...		
	PG[p.u.]			QG[p.u.]			PG[p.u.]			QG[p.u.]					
	$\pm \sigma$	$\pm 2\sigma$	$\pm 3\sigma$	$\pm \sigma$	$\pm 2\sigma$	$\pm 3\sigma$	$\pm \sigma$	$\pm 2\sigma$	$\pm 3\sigma$	$\pm \sigma$	$\pm 2\sigma$	$\pm 3\sigma$...		
	t1	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	...	
t2	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	...		
...		

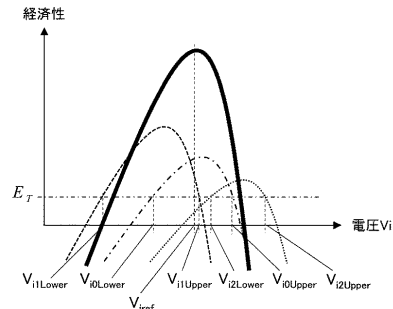
【図 24】

図 24



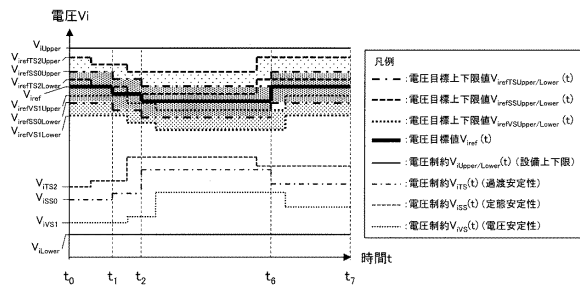
【図 25】

図 25



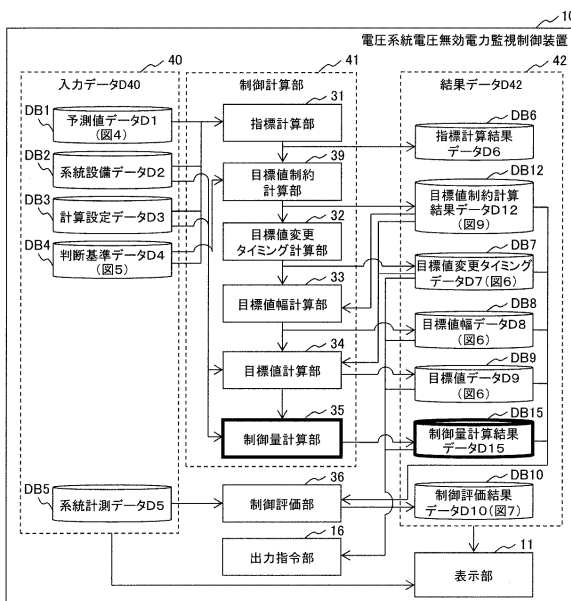
【図 26】

図 26



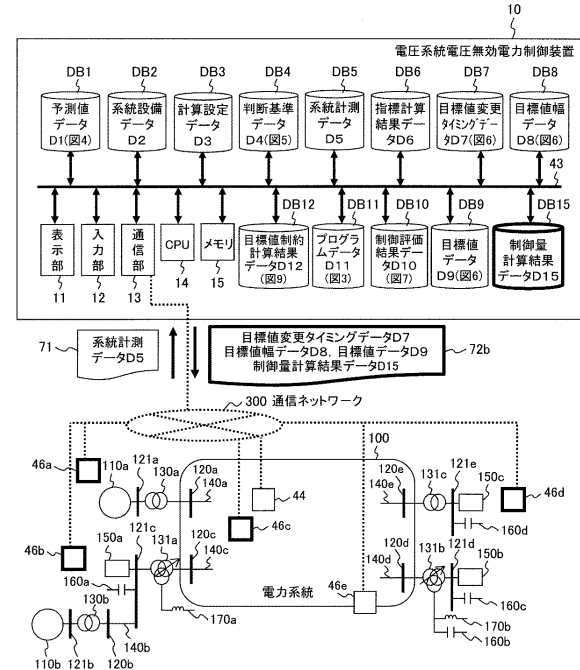
【図 27】

図 27



【図 28】

図 28



【図 29】

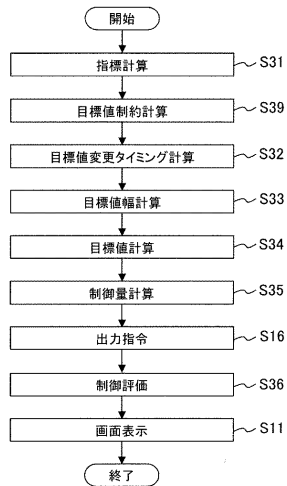
図 29

時刻 [s]	TAP1	TAP2	...	SC1	SC2	...	ShR1	ShR2	...	AVR1	AVR2	...	AQR1	AQR2	...
t1	-	-	...	-	-	...	切	-	...	XX	XX	...	XX	XX	...
t2	+1	-	...	入	-	...	-	-	...	XX	XX	...	XX	XX	...
...

DB15

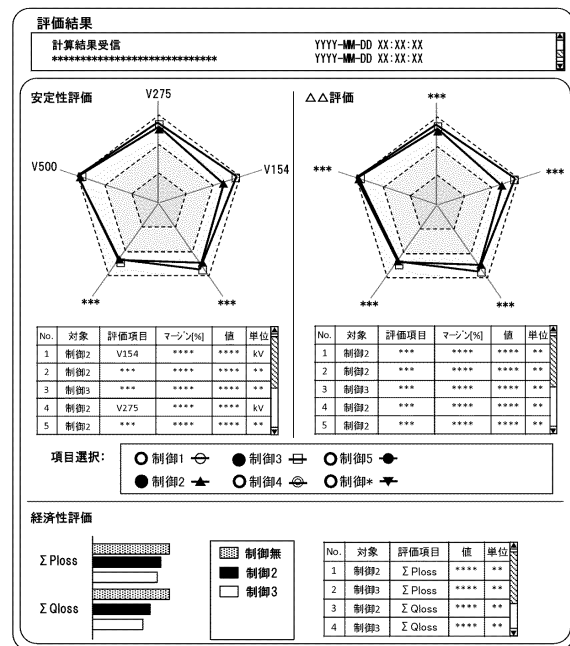
【図 30】

図 30



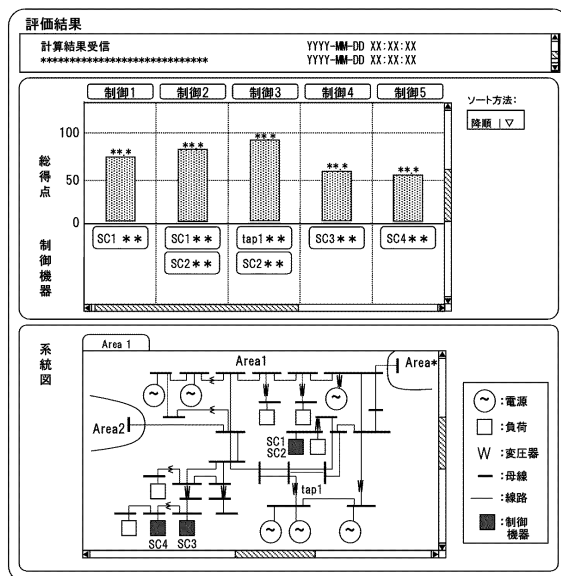
【図 31】

図 31



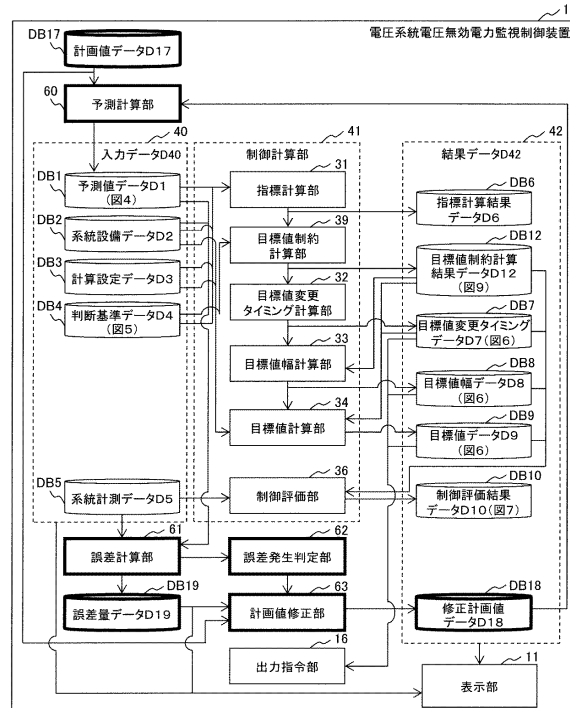
【図 32】

図 32



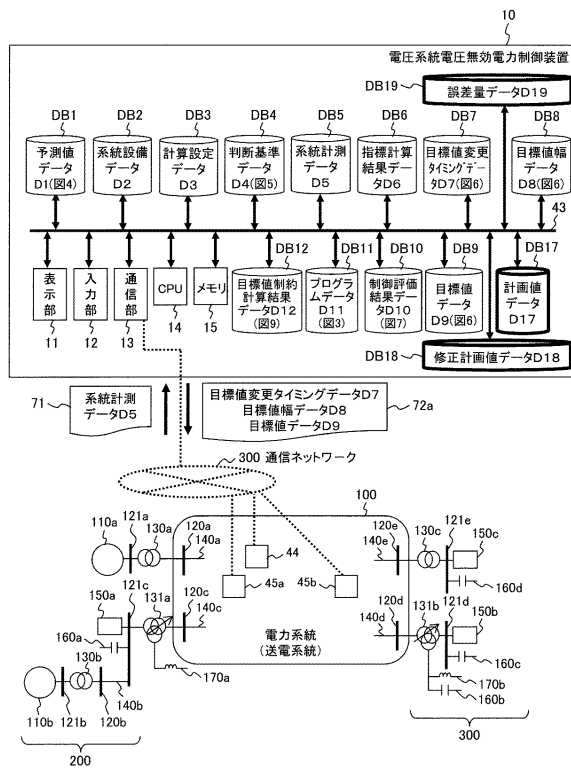
【図 33】

図 33



【図 34】

図 34



【図 35】

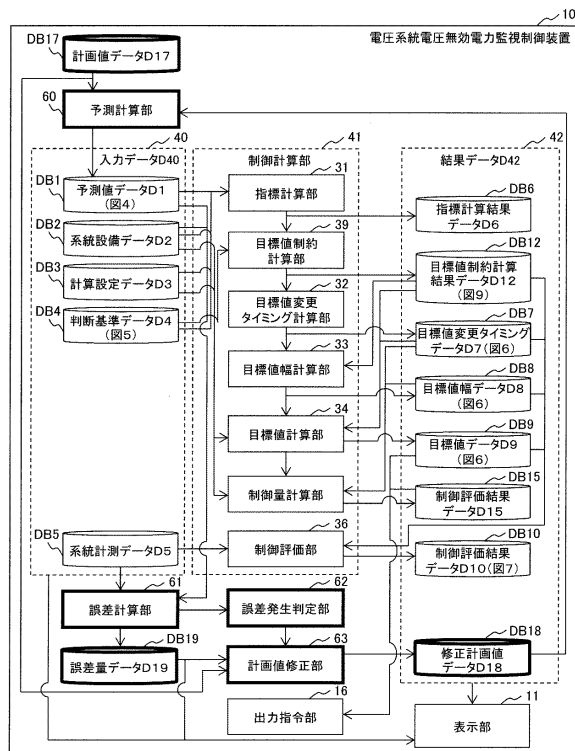
図 35

DB17

時刻		予測需要[p.u.]				発電出力計画[p.u.]				制御計画													
[s]		PL1	QL1	PL2	QL2	PG1	GG1	PG2	GG2	...	TAP1	TAP2	...	SC1	SC2	...	ShR1	ShR2	...	AVR1	AVR2	...	
t1		XX	XX	XX	XX	...	XX	XX	XX	XX	...	-	-	...	-	...	切	-	...	XX	XX	...	
t2		XX	XX	XX	XX	...	XX	XX	XX	XX	...	+1	-	...	入	-	...	-	...	XX	XX	...	
		:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

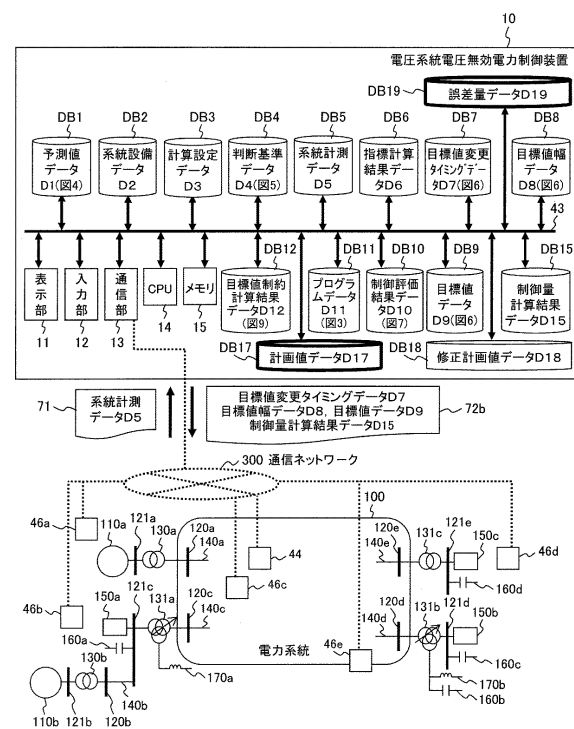
【図 36】

図 36



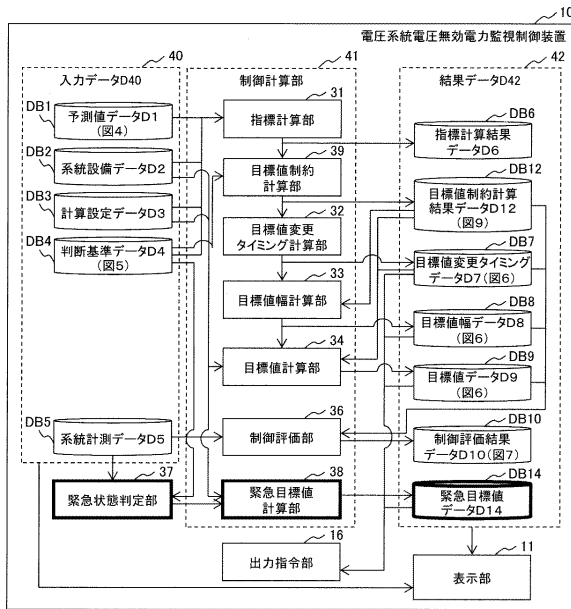
【図 37】

図 37



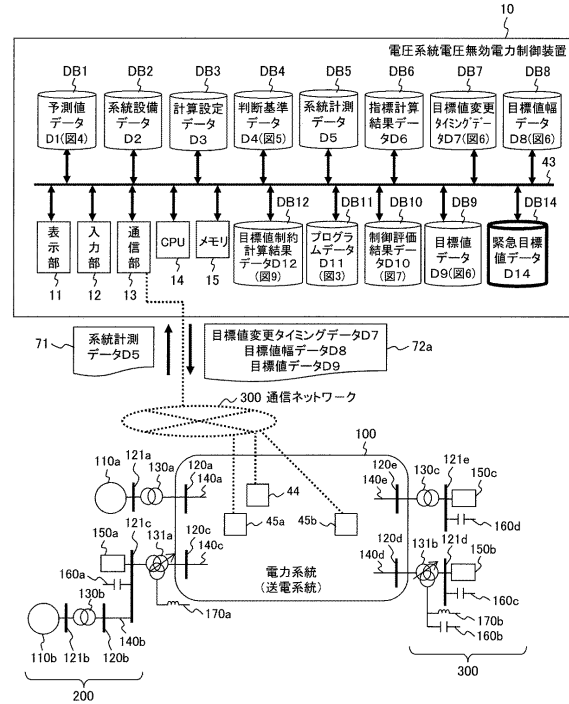
【図 38】

図 38



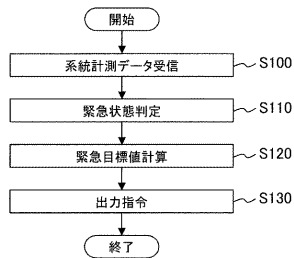
【図 39】

図 39



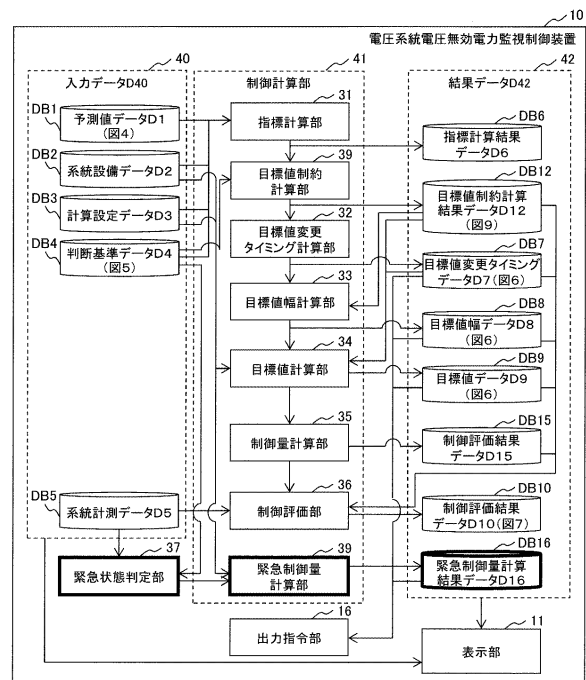
【図 40】

図 40



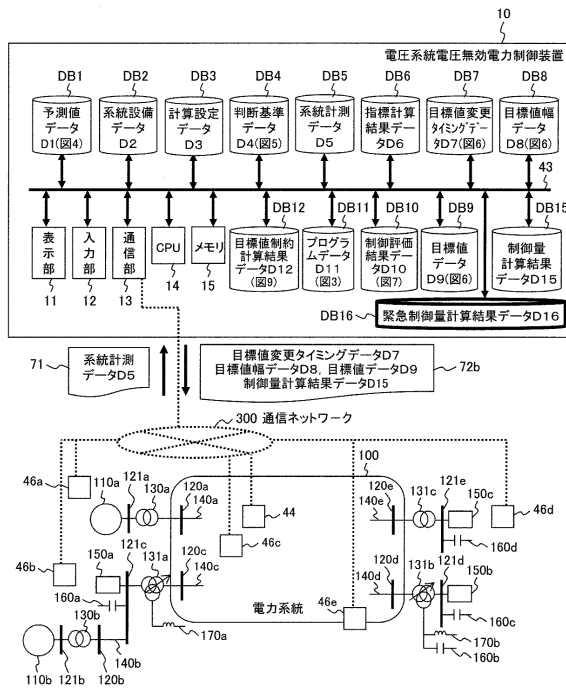
【図 41】

図 41



【図 42】

図 42



フロントページの続き

- (72)発明者 三好 晴樹
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 上野 真太郎
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

審査官 古河 雅輝

- (56)参考文献 国際公開第2015/022746(WO, A1)
特開2001-016781(JP, A)
特開2004-187390(JP, A)
国際公開第2014/207849(WO, A1)
特開2014-064382(JP, A)
特開2012-186961(JP, A)
特開2003-018748(JP, A)
特開平09-037463(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06F 19/00
G06Q 10/00 - 10/10
G06Q 30/00 - 30/08
G06Q 50/00 - 50/20
G06Q 50/26 - 99/00
H02J 3/00 - 5/00
H02J 13/00