

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6726959号
(P6726959)

(45) 発行日 令和2年7月22日 (2020.7.22)

(24) 登録日 令和2年7月2日 (2020.7.2)

(51) Int. Cl.		F I			
H O 2 J	3/00	(2006.01)	H O 2 J	3/00	1 7 O
H O 2 J	3/24	(2006.01)	H O 2 J	3/24	
H O 2 J	13/00	(2006.01)	H O 2 J	13/00	3 O 1 B

請求項の数 21 (全 43 頁)

(21) 出願番号	特願2015-244947 (P2015-244947)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成27年12月16日 (2015.12.16)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2017-112709 (P2017-112709A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成29年6月22日 (2017.6.22)	(74) 代理人	110000350
審査請求日	平成30年2月20日 (2018.2.20)		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	渡辺 雅浩
			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	谷津 昌洋
			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】 電圧安定度監視装置および方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電力系統における電圧の安定度を表す電圧安定度曲線を用いて電圧安定度を推定するための電圧安定度監視装置であって、

電力系統における負荷を示す指標を一方軸とし、電力系統における電圧、電圧の大きさ、電圧位相角あるいは有効電力損失を示す指標を他方軸とする座標上に示されノーズ曲線により表される前記電圧安定度曲線における前記ノーズ曲線の先端部である電圧安定限界を予測するために、前記座標上に基準点を設定し、設定した基準点を通過する直線の傾きの角度の変化分、あるいは前記座標上に設定した基準点又は収束点を中心とする円または球の径の変化分を第1の値とする繰り返し計算を実施する電圧安定限界予測部と、

10

前記繰り返し計算の結果、前記電圧安定限界を検知した場合に、この前後の区間を含む前記直線、あるいは前記円または球についての変化分を前記第1の値より小さい第2の値に再設定するための電圧安定度計算条件を決定する電圧安定度計算条件決定部と、

前記電圧安定度計算条件を用いて前記電圧安定度曲線を計算するために、前記座標上に設定した基準点を通過する直線の傾きの角度の変化分、あるいは前記座標上に設定した基準点を中心とする円または球の径の変化分を前記第2の値とする繰り返し計算を実施する電圧安定度曲線計算部と、

前記電圧安定度曲線の計算結果が示す前記ノーズ曲線の先端部の最大負荷点の座標上における位置と運転点を用いて電圧安定度余裕を計算する電圧安定度余裕計算部と、を具備することを特徴とした電圧安定度監視装置。

20

【請求項 2】

請求項 1 に記載の電圧安定度監視装置であって、

前記電圧安定限界予測部は、繰返し潮流計算法、繰返し最適潮流計算法、連続型潮流計算法、連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法、潮流計算法や最適潮流計算法や繰返し潮流計算法や繰返し最適潮流計算法や連続型潮流計算法や連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法に基づく近似計算手法、直接計算法、のいずれかにより前記電圧安定限界を算出することを特徴とする電圧安定度監視装置。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の電圧安定度監視装置であって、

電圧安定度計算条件決定部が定める電圧安定度計算条件には、繰返し潮流計算法または、繰返し最適潮流計算法または、連続型潮流計算法または、連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法、の計算に必要なパラメータ、を含むことを特徴とする電圧安定度監視装置。

10

【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の電圧安定度監視装置であって、

再生可能エネルギーの出力変動や負荷変動に起因する電圧や潮流量の変化、電源構成の変更や変化、負荷の周波数特性や電圧特性の変化、調相設備投入・解列、負荷力率変動、発電機出力や無効電力供給機器や線路潮流の制約の変化、系統運用上の系統構成の変更や変化や、線路温度や風速や潮流量によって変化する線路インピーダンスの変化や、系統におよび発生しないことを想定する計算設定データベースを備えることを特徴とする電圧安定度監視装置。

20

【請求項 5】

請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の電圧安定度監視装置であって、

前記電圧安定度余裕計算部は、再生可能エネルギーの出力変動や負荷変動に起因する電圧や潮流量の変化条件、電源構成の変更条件や変化条件、負荷の周波数特性や電圧特性の変化条件、調相設備投入・解列条件、負荷力率変動条件、発電機出力や無効電力供給機器や線路潮流の制約の変化条件、系統運用上の系統構成の変更条件や変化条件や、線路温度や風速や潮流量によって変化する線路インピーダンスの変化条件や、系統に落雷が原因で事故や故障が生じることによる系統構成の変化条件や、電圧安定度余裕の監視対象母線や箇所が一つ以上である場合に、一定または可変の監視周期の間に、過酷な変化条件、前記監視対象母線や箇所、および、電圧安定度とその電圧安定度余裕の一つ以上を算出することを特徴とする電圧安定度監視装置。

30

【請求項 6】

請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の電圧安定度監視装置であって、

前記電圧安定度余裕計算部で計算する電圧安定度余裕は、前記電圧安定度曲線の計算結果において計算された曲線を用いて、定めた基準点や初期収束点や運転点から電圧安定限界点や最大負荷点やサドルノード分岐点や即時不安定点までの偏差または、前記偏差を前記定めた基準点や前記初期収束点や前記運転点に関する値で割った値、であることを特徴とする電圧安定度監視装置。

【請求項 7】

請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の電圧安定度監視装置であって、

前記電圧安定度曲線計算部は、繰返し潮流計算法、繰返し最適潮流計算法、連続型潮流計算法、連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法、潮流計算法や最適潮流計算法や繰返し潮流計算法や繰返し最適潮流計算法や連続型潮流計算法や連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法に基づく近似計算手法、のいずれかにより電圧安定度曲線を計算することを特徴とする電圧安定度監視装置。

40

【請求項 8】

請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の電圧安定度監視装置であって、

前記電圧安定度の計算結果を用いて、繰返し潮流計算法、繰返し最適潮流計算法、連続型潮流計算法、連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法、潮流計算法や最適潮

50

流計算や繰返し潮流計算法や繰返し最適潮流計算法や連続型潮流計算法や連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法に基づく近似計算手法、のいずれかで電圧安定度曲線計算した時に、電圧安定限界が求まらない場合には、予測計算の刻み値を変更することや、幾何学的パラメータの符号を逆に変更すること、幾何学的パラメータの始点を変更すること、の一つ以上を行い、前記電圧安定度曲線計算を続けることを特徴とする電圧安定度監視装置。

【請求項 9】

請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の電圧安定度監視装置であって、

前記電圧安定度余裕計算部は、脆弱であることを選択するための閾値のデータベースを持つことを特徴とする電圧安定度監視装置。

10

【請求項 10】

請求項 1 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の電圧安定度監視装置であって、

前記電圧安定限界予測部は、初期潮流計算により求めた前記座標上の初期収束点に応じて前記基準点を定めることを特徴とする電圧安定度監視装置。

【請求項 11】

電力系統における電圧の安定度を表す電圧安定度曲線を用いて電圧安定度を推定するための電圧安定度監視方法であって、

電力系統における負荷を示す指標を一方軸とし、電力系統における電圧、電圧の大きさ、電圧位相角あるいは有効電力損失を示す指標を他方軸とする座標上に示されノーズ曲線により表される前記電圧安定度曲線における前記ノーズ曲線の先端部である電圧安定限界を予測するために、

20

前記座標上に基準点を設定する第 1 のステップと、

前記座標上に定めた基準点を通る直線の傾き、あるいは基準点又は収束点を中心とする円または球の径を幾何学的パラメータ値として決定する第 2 のステップと、

前記幾何学的パラメータ値を用いて、前記電圧安定度曲線上の複数の収束点を定める第 3 のステップと、

前記複数の収束点から、前記電圧安定度曲線を求めるに際し、前記ノーズ曲線の先端部の最大負荷点近傍において前記幾何学的パラメータ値をより小さい値として前記電圧安定度曲線を求める第 4 のステップと、

前記電圧安定度曲線の最大負荷点における電圧や電力に係る値と、初期収束点や定めた基準点における電圧や電力に係る値とから、電圧安定度の余裕値を定める第 5 のステップと、

30

を順次実行することを特徴とする電圧安定度監視方法。

【請求項 12】

請求項 11 に記載の電圧安定度監視方法であって、

前記第 4 のステップで求めた前記電圧安定度曲線について、その最大負荷点近傍に向けて前記第 3 のステップにおける複数の前記幾何学的パラメータ値を設定し、前記最大負荷点を再度求めることを特徴とする電圧安定度監視方法。

【請求項 13】

請求項 2 に記載の電圧安定度監視装置であって、

40

前記連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法における幾何学的パラメータとは電圧安定度曲線を表す座標上に定めた基準点を通る複数の直線の間の角度や曲線の多項式の係数であることや、前記連続型潮流計算における幾何学的パラメータとは前記基準点や各収束点を中心とした円または球の半径を示す距離であること、を特徴とする電圧安定度監視装置。

【請求項 14】

請求項 3 に記載の電圧安定度監視装置であって、

前記計算に必要なパラメータとは、電圧安定度曲線を表す座標上の基準点から複数の直線を設定するときにおける直線間の角度を定める要因であることや、電圧安定度曲線を表す座標上の基準点から複数の曲線を設定するときにおける曲線の多項式の係数を定める要

50

因であることや、電圧安定度曲線を表す座標上の基準点や各収束点からを中心とした円または球の半径を定める要因であること、を特徴とする電圧安定度監視装置。

【請求項 15】

請求項 13 に記載の電圧安定度監視装置であって、

電力系統の制約条件の情報を保有し、前記電圧安定度余裕計算部で求めた電圧安定度余裕と制約条件の差に応じて、前記幾何学的パラメータを変更することを特徴とする電圧安定度監視装置。

【請求項 16】

請求項 1 から請求項 9、または請求項 13 から請求項 15 のいずれか 1 項に記載の電圧安定度監視装置であって、

前記電圧安定境界予測部、前記電圧安定度計算条件決定部、電圧安定度曲線計算部における計算パラメータや計算アルゴリズムの処理を並列に実行することを特徴とする電圧安定度監視装置。

【請求項 17】

電力系統における電圧の安定度を表す電圧安定度曲線を用いて電圧安定度を推定するための電圧安定度監視方法であって、

電力系統における負荷を示す指標を一方軸とし、電力系統における電圧、電圧の大きさ、電圧位相角あるいは有効電力損失を示す指標を他方軸とする座標上に示されノーズ曲線により表される前記電圧安定度曲線における前記ノーズ曲線の先端部である電圧安定境界を予測するために、前記座標上に基準点を設定し、設定した基準点を通る直線の傾き、あるいは基準点又は収束点を中心とする円または球の径を幾何学的パラメータ値として決定し、前記幾何学的パラメータ値を用いて、前記電圧安定度曲線上の複数の収束点を定め、前記複数の収束点から、前記電圧安定度曲線を求めるに際し、前記ノーズ曲線の先端部の最大負荷点近傍において前記幾何学的パラメータ値をより小さい値として前記電圧安定度曲線を求め、前記直線や曲線と前記電圧安定度曲線の交点となる収束点が計算できなくなる直前時またはその前に座標上の横軸パラメータが最大となる時の、幾何学的パラメータ値の時の前記電圧安定度曲線の収束点を、前記電圧安定度曲線の最大負荷点とすることを特徴とする電圧安定度監視方法。

【請求項 18】

請求項 17 に記載の電圧安定度監視方法であって、

前記直線や曲線と前記電圧安定度曲線の交点となる収束点が計算できなくなる直前時の幾何学的パラメータ値の時の前記電圧安定度曲線の収束点における電圧や電力に係る値や定めた基準点の電圧や電力に係る値を第 2 の基準点として、当該第 2 の基準点を通る複数の直線や曲線の幾何学的パラメータ値を順次変更して設定し、各幾何学的パラメータ値の時の前記電圧安定度曲線との収束点を再度計算することを特徴とする電圧安定度監視方法。

【請求項 19】

請求項 11 または請求項 12 に記載の電圧安定度監視方法であって、

複数の前記幾何学的パラメータ値を用いて、前記電圧安定度曲線上の複数の潮流点を定める第 3 のステップを実行するときに、電力系統の負荷が電圧によって変化する特性を持つ場合に、電圧の大きさと初期潮流計算結果の電圧の大きさの比を加味して前記潮流点を定めることを特徴とする電圧安定度監視方法。

【請求項 20】

請求項 11 に記載の電圧安定度監視方法であって、

前記幾何学的パラメータ値を設定して、前記第 4 のステップにおいて前記電圧安定度曲線を求めるに際し修正子計算が収束しない場合に、収束子計算が収束したときの前記電圧安定度曲線上の位置を第 2 の始点として、前記幾何学的パラメータ値を設定して、再度前記電圧安定度曲線を求めることを特徴とする電圧安定度監視方法。

【請求項 21】

請求項 11 に記載の電圧安定度監視方法であって、

前記幾何学的パラメータ値を設定して、前記第4のステップにおいて前記電圧安定度曲線を求め、求めた前記電圧安定度曲線上の位置を第2の始点として、前記幾何学的パラメータ値を設定して、再度前記電圧安定度曲線を求めることを特徴とする電圧安定度監視方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電力系統の電圧安定度や電圧安定性を監視する電圧安定度監視装置および方法に関する。なお本発明においては、電圧安定度と電圧安定性を区別する必要がない場合には、これらを総称して電圧安定度ということにする。

10

【背景技術】

【0002】

電力系統の電圧安定度を監視する本技術分野の背景技術として、鈴木守、岸田幸雄：「電圧安定性オンライン監視システム」、電学論B、111巻3号、平成3年（非特許文献1）がある。非特許文献1の解説論文には、「オンライン定周期監視機能」や「ピーク負荷時の安定度判定機能」が記載されている（本文248頁～251頁参照）。

【0003】

また電力系統の電圧安定度を監視する本技術分野の背景技術として、特開平8-130828号公報（特許文献1）がある。この特許文献1には、「電力系統中の電圧安定状態を得たい着目負荷母線に対して、少なくとも2地点の基準母線を基礎とした潮流計算を行い、それぞれのPVカーブの差分情報から、電圧安定状態を判定する。」と記載されている。

20

【0004】

さらに電力系統の電圧安定度を監視する本技術分野の背景技術として、特開2001-025168号公報（特許文献2）がある。この特許文献2には、「系統における系統構成、各機器インピーダンス、各負荷容量、各電源とその容量、電圧指定値、負荷変化量等が与えられた時に、系統内の全送電線または全発電機を対象とした想定事故ケースに対して、想定事故後の電圧安定限界点における負荷余裕値を連続型潮流計算に基づく近似計算手法により求め、この負荷余裕値を電圧安定度の指標としてソートした事故ケースを対象として連続型潮流計算により系統の電圧信頼度を評価する電圧信頼度解析手法に関する。各事故ケースを複数の演算装置に分配して各演算装置により電圧安定度を並列的に計算し、求められたすべての事故ケースの電圧安定度を一つの演算装置に集約した上で電圧安定度に従って事故ケースをソートする。」と記載されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開平8-130828号公報

【特許文献2】特開2001-025168号公報

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】鈴木守、岸田幸雄：「電圧安定性オンライン監視システム」、電学論B、111巻3号、平成3年

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

非特許文献1に記載の従来の電圧安定度監視装置によれば、潮流変化の想定と故障や事故のいずれか一方もしくは両方を想定することで、電圧安定度の悪化の可能性を監視可能である。

【0008】

しかし、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

50

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。然るに係る電力系統の構成においては、再生可能エネルギーは天候によって出力が変動する可能性があるため、電圧や潮流が大きく変化する可能性がある。また、再生可能エネルギー導入に伴い、負荷の電圧特性や、発電機出力や線路潮流の制約も、変化する可能性がある。また、系統運用上の系統構成の変化や、系統に落雷などが原因で事故や故障が生じることによる系統構成の変化が生じる可能性もある。

【0009】

そのため、非特許文献1に記載の従来の電圧安定度監視装置により電圧安定度を計算し監視する場合には、適切な計算条件を用いないと計算量増加や未収束や非収束が生じる可能性があるという課題がある。

10

【0010】

また、前記各変化を想定して、それぞれの電圧安定度を計算し監視する必要がある場合もある。しかし、前記各変化に対応して、適切な計算条件を用いないと計算量増加や未収束や非収束が生じる可能性がある。そのため、監視周期によっては計算が終わらない、または、計算が不足し、過酷な変化条件およびその電圧安定度余裕が計算できない可能性があるという課題がある。

【0011】

また、電圧安定度計算にて想定する負荷や潮流の増加条件は、対象とする系統の全負荷が一律に増加する場合や、1つ以上の送電線からなる特定の送電ルートの潮流が増加する場合など、様々なケースがある。また、上記の負荷や潮流の増加条件に対する、電圧安定度余裕の監視対象母線や箇所が一つ以上である場合もある。

20

【0012】

そのため、監視周期によっては全ての前記ケースや前記監視対象母線や箇所に対する電圧安定度余裕の計算が終わらない、または、計算が不足し、過酷な変化条件、前記ケースや前記監視対象母線や箇所、および、その電圧安定度余裕が計算できない可能性があるという課題がある。

【0013】

一方で、前記特性や制約などを考慮しない条件で電圧安定度を計算し監視する場合には計算量増加や未収束や非収束が生じにくい、その分電圧安定度余裕の精度が悪化するため、電圧安定度余裕にマージンを加えて電圧安定度を監視する必要がある。

30

【0014】

よって、電圧安定度に関して予防制御（事前制御）する場合や事後制御する場合には、前記マージンにより、制御量が増加する可能性があるため、経済性を損なう可能性がある。また、前記マージンにより、送電可能容量が減少する可能性がある場合には、これにより経済的な発電機の出力を抑制しなければならない可能性もある。また、最悪の場合には電圧安定度余裕が不足し、電圧不安定を生じる恐れもある。よって、前記各可能性が生じるという課題がある。

【0015】

上記した課題に関連して、特許文献1に記載の電力系統の電圧安定度監視方法およびその装置では、「電力系統中の電圧安定状態を得たい着目負荷母線に対して、少なくとも2地点の基準母線を基礎とした潮流計算を行い、それぞれのPVカーブの差分情報から、電圧安定状態を判定する。」としている。しかし、「少なくとも2地点の基準母線を基礎とした潮流計算を行い、それぞれのPVカーブの差分情報から、電圧安定状態を判定」したとしても、上記各課題を解決できるものではない。

40

【0016】

同様に上記した課題に関連して、特許文献2に記載の電力系統の電圧信頼度解析における並列処理方法では、「系統における系統構成、各機器インピーダンス、各負荷容量、各電源とその容量、電圧指定値、負荷変化量等が与えられた時に、系統内の全送電線または全発電機を対象とした想定事故ケースに対して、想定事故後の電圧安定限界点における負荷余裕値を連続型潮流計算に基づく近似計算手法により求め、この負荷余裕値を電圧安定

50

度の指標としてソートした事故ケースを対象として連続型潮流計算により系統の電圧信頼度を評価する電圧信頼度解析手法に関する。各事故ケースを複数の演算装置に分配して各演算装置により電圧安定度を並列的に計算し、求められたすべての事故ケースの電圧安定度を一つの演算装置に集約した上で電圧安定度に従って事故ケースをソートする。」としている。しかし、「想定事故ケースに対して、想定事故後の電圧安定限界点における負荷余裕値を連続型潮流計算に基づく近似計算手法により求め、この負荷余裕値を電圧安定度の指標としてソートした事故ケースを対象として連続型潮流計算により系統の電圧信頼度を評価」したとしても、その他の前記各変化を考慮した場合には、前記適切な計算条件を用いないと計算量増加や未収束や非収束が生じる可能性があるという課題がある。

【0017】

以上のことから本発明においては、所定の監視周期の間に想定条件の範囲内で実用に供し得る電圧安定度の情報を得ることができる電圧安定度監視装置および方法を提供することを目的とする。

【0018】

より詳細に述べると、本発明の実施例においては、再生可能エネルギーの出力変動や負荷変動などに起因する電圧や潮流量の変化、電源構成の変更や変化、負荷の周波数特性や電圧特性の変化、調相設備投入・解列、負荷力率変動、発電機出力や無効電力供給機器や線路潮流の制約の変化、系統運用上の系統構成の変更や変化や、線路温度や風速や潮流量などによって変化する線路インピーダンスの変化や、系統に落雷などが原因で事故や故障が生じることによる系統構成の変化、の一つ以上が発生することおよび発生しないことを想定した上で、前記電圧安定度計算にて想定する再生可能エネルギーの出力変動や負荷変動などに起因する電圧や潮流量の変化条件、電源構成の変更条件や変化条件、負荷の周波数特性や電圧特性の変化条件、調相設備投入・解列条件、負荷力率変動条件、発電機出力や無効電力供給機器や線路潮流の制約の変化条件、系統運用上の系統構成の変更条件や変化条件や、線路温度や風速や潮流量などによって変化する線路インピーダンスの変化条件や、系統に落雷などが原因で事故や故障が生じることによる系統構成の変化条件や、電圧安定度余裕の監視対象母線や箇所が一つ以上である場合に、一定または可変の監視周期の間に、過酷な変化条件、前記ケースや前記監視対象母線や箇所、および、電圧安定度とその電圧安定度余裕の一つ以上を計算および監視できる技術、前記計算において計算量増加や未収束や非収束を低減する技術、前記マージンを低減できる技術、前記経済性を損なわせない技術、前記送電可能容量を減少させない技術、前記経済的な発電機の出力を抑制しない技術、前記電圧不安定を生じさせない技術、および装置、の一つ以上を提供することを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】**【0019】**

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。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、「電力系統における電圧の安定度を表す電圧安定度曲線を用いて電圧安定度を推定するための電圧安定度監視装置であって、電圧安定度曲線における電圧安定限界を予測する電圧安定限界予測部と、電圧安定限界予測結果を用いて電圧安定度計算条件を決定する電圧安定度計算条件決定部と、電圧安定度計算条件決定結果を用いて電圧安定度曲線を計算する電圧安定度曲線計算部と、電圧安定度曲線計算結果を用いて電圧安定度余裕を計算する電圧安定度余裕計算部と、を具備することを特徴とした電圧安定度監視装置」である。

【0020】

また本発明は、「電力系統における電圧の安定度を表す電圧安定度曲線を用いて電圧安定度を推定するための電圧安定度監視装置であって、初期潮流計算により、前記電圧安定度曲線を表す座標上に初期収束点を定める第1の処理部と、前記座標上に定めた基準点を通る直線や曲線の幾何学的パラメータ値や前記基準点や各収束点を中心とした円の幾何学的パラメータ値を決定する第2の処理部と、前記幾何学的パラメータ値を用いて、前記電圧安定度曲線上の複数の収束点を定める第3の処理部と、前記複数の収束点から、前記電

10

20

30

40

50

圧安定度曲線を求める第4の処理部と、前記電圧安定度曲線の最大負荷点における電圧や電力に係る値と、初期収束点や定めた基準点における電圧や電力に係る値とから、電圧安定度の余裕値を定める第5の処理部と、を備えることを特徴とする電圧安定度監視装置」である。

【0021】

また本発明は、「電力系統における電圧の安定度を表す電圧安定度曲線を用いて電圧安定度を推定するための電圧安定度監視方法であって、初期潮流計算により、前記電圧安定度曲線を表す前記座標上に初期収束点を定める第1のステップと、前記座標上に定めた基準点を通る直線や曲線の幾何学的パラメータ値や前記基準点や各収束点を中心とした円の幾何学的パラメータ値を決定する第2のステップと、前記幾何学的パラメータ値を用いて、前記電圧安定度曲線上の複数の収束点を定める第3のステップと、前記複数の収束点から、前記電圧安定度曲線を求める第4のステップと、前記電圧安定度曲線の最大負荷点における電圧や電力に係る値と、初期収束点や定めた基準点における電圧や電力に係る値とから、電圧安定度の余裕値を定める第5のステップと、を順次実行することを特徴とする電圧安定度監視方法」である。

【0022】

また本発明は、「電力系統における電圧の安定度を表す電圧安定度曲線を用いて電圧安定度を推定するための電圧安定度監視方法であって、前記電圧安定度曲線を表す座標上の定めた基準点を通る直線や曲線の幾何学的パラメータを順次変更して設定し、各幾何学的パラメータ時の前記電圧安定度曲線上の収束点を計算し、前記直線や曲線と前記電圧安定度曲線の交点となる収束点が計算できなくなる直前時またはその前に座標上の横軸パラメータが最大となる時の、幾何学的パラメータ時の前記電圧安定度曲線の収束点を、前記電圧安定度曲線の最大負荷点とすることを特徴とする電圧安定度監視方法」である。

【発明の効果】

【0023】

本発明によれば、所定の監視周期の間に想定条件の範囲内で実用に供し得る電圧安定度の情報を得ることができる電圧安定度監視装置および方法を提供することができる。

【0024】

さらに本発明の実施例によれば、再生可能エネルギーの出力変動や負荷変動などに起因する電圧や潮流量の変化、電源構成の変更や変化、負荷の周波数特性や電圧特性の変化、調相設備投入・解列、負荷力率変動、発電機出力や無効電力供給機器や線路潮流の制約の変化、系統運用上の系統構成の変更や変化や、線路温度や風速や潮流量などによって変化する線路インピーダンスの変化や、系統に落雷などが原因で事故や故障が生じることによる系統構成の変化、の一つ以上が発生することおよび発生しないことを想定した上で、前記電圧安定度計算にて想定する再生可能エネルギーの出力変動や負荷変動などに起因する電圧や潮流量の変化条件、電源構成の変更条件や変化条件、負荷の周波数特性や電圧特性の変化条件、調相設備投入・解列条件、負荷力率変動条件、発電機出力や無効電力供給機器や線路潮流の制約の変化条件、系統運用上の系統構成の変更条件や変化条件や、線路温度や風速や潮流量などによって変化する線路インピーダンスの変化条件や、系統に落雷などが原因で事故や故障が生じることによる系統構成の変化条件や、電圧安定度余裕の監視対象母線や箇所が一つ以上である場合に、一定または可変の監視周期の間に、過酷な変化条件、前記ケースや前記監視対象母線や箇所、および、電圧安定度とその電圧安定度余裕の一つ以上を計算および監視でき、前記計算において計算量増加や未収束や非収束を低減することができる。

【0025】

また本発明の実施例によれば、前記計算量増加や未収束や非収束を低減する技術を利用することにより、前記マージンを低減でき、前記経済性を損なわせないことや、前記送電可能容量を減少させないことや、前記経済的な発電機の出力を抑制しないことや、前記電圧不安定を生じさせないこと、ができる。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】電圧安定度監視装置を計算機システムにより構成する場合のソフトウェア構成を示す図。

【図2】電圧安定度監視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】電圧安定度監視装置の処理の全体を示すフローチャートの例。

【図4】電圧安定限界予測から電圧安定度曲線計算までの処理を示すフローチャート。

【図5a】電圧安定度を求めるための考え方を説明するための $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線を示す図。

【図5b】電圧安定度を求めるための考え方を説明するための $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線を示す図。

【図5c】電圧安定度を求めるための考え方を説明するための $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線を示す図。

【図6】処理ステップS51～処理ステップS53を繰り返した例を示す図。

10

【図7】電圧安定度余裕計算結果を示す図。

【図8】図6の処理を条件付きで一部見直した例を示す図。

【図9】電圧安定限界予測計算～電圧安定度曲線計算の処理の別例を説明するフローチャート。

【図10a】電圧ベクトルと負荷パラメータを疑似アークレングスとするCPF法の考え方を示す図。

【図10b】電圧安定度を求めるための考え方を説明するための $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線を示す図。

。

【図11】 $\Delta \alpha_1$ が大きい場合の電圧安定限界予測計算結果を示す図。

【図12】電圧安定限界予測値<電圧安定限界の ΣV_i 時の処理を示す図。

20

【図13】電圧安定度曲線の代表的な特性事例として $\lambda - Pa$ 曲線を示す図。

【図14】電圧安定度曲線の代表的な特性事例として $\lambda - \theta$ 曲線を示す図。

【図15】実施例2における電圧安定度監視装置のハード構成と電力系統の全体構成例を示す図。

【図16】実施例2における電圧安定限界予測から電圧安定度曲線計算までの処理を示すフローチャート。

【図17a】 $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線における制約条件有の時の処理を説明するための図。

【図17b】 $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線における制約条件有の時の処理を説明するための図。

【図17c】 $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線における制約条件有の時の処理を説明するための図。

【図18a】 $\lambda - Pa$ 曲線における処理を説明するための図。

30

【図18b】 $\lambda - Pa$ 曲線における処理を説明するための図。

【図19a】図9による処理を説明するための図。

【図19b】図9による処理を説明するための図。

【図20】電圧安定限界予測計算～電圧安定度曲線計算の処理の別例を説明するフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【0027】

以下、本発明の実施例について図面を用いて説明する。

【実施例1】

【0028】

40

図2は、本発明に係る電圧安定度監視装置のハード構成と、電圧安定度監視装置が適用される電力系統の全体構成を示している。まず、本発明の電圧安定度監視装置が適用される電力系統の一例について説明する。

【0029】

典型的な電力系統は狭義の意味では送電系統を意味している。図2の図示の例では狭義の電力系統100を示しており、電力系統100は、複数のブランチ（線路）140およびノード（母線）120などで構成されている。また電力系統は広義の意味では発送電系統を意味することがあり、電力系統100の各所から変圧器130、母線121を介して、発電機110あるいは負荷150に接続されている。また、図には記述していないがその他計測装置や制御可能な装置（バッテリー、充放電可能な二次電池、EVの蓄電池、フ

50

ライホイール等)のいずれか又は複数を含んで構成されている。

【0030】

電力系統の各所には、適宜計測装置44が設置されており、通信ネットワーク300を介して計測データD1が本発明に係る電圧安定度監視装置10に取り込まれている。このため計測装置44などは、通信機能を備えたものとされている。なお図示の例では電力系統100に設けられた計測装置44以外に、発電機110、負荷150などからも計測データD1が得られている状況を示しているが、これは適宜の箇所からの入力とすることができる。

【0031】

概略を上記した電力系統の構成において、電源110の例としては、火力発電機、水力発電機、原子力発電機などの大型電源のほかに、太陽光発電や風力発電といった分散型電源を含むものである。

【0032】

また計測装置44の例としては、ノード電圧V、ブランチ電流I、力率Φ、有効電力P、無効電力Q、のいずれか一つまたは複数を計測する装置(例えば電圧変成器VT、電力検出器PT、変流器CTなど)であり、データ計測箇所識別符号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(テレメータ(TM:Telemetry))などである)を備える。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、他の計測機器であってもよい。また計測装置44は、電力系統100内にあるように記述したが、発電機110と変圧器130と計測装置44と負荷150に接続する母線や送電線などに設置されていてもよい。

【0033】

電力系統100における系統計測データD1は、計測装置44などにて計測された各データであり、通信ネットワーク300を介して本発明に係る電圧安定度監視装置10内の系統計測データベースDB1に受信され、記憶される。ただし、計測装置44から直接計測データD1を受信する代わりに、監視制御装置などに一端集約されてから、通信ネットワーク300を介して系統計測データベースDB1に受信してもよいし、計測装置44の両方から通信ネットワーク300を介して系統計測データベースDB1に受信してもよい。なお、系統計測データD1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いるのがよい。

【0034】

次に系統計測データD1を取り込んで電圧安定度計算を実行する電圧安定度監視装置10の構成について説明する。電圧安定度監視装置10は一般には計算機システムとして構成されている。

【0035】

図2に示す計算機システムのハード構成によれば、電圧安定度監視装置10は表示部11、キーボードやマウス等の入力部12、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が、バス線43により接続されて構成されている。

【0036】

このうち各種データベースDBとしては、系統計測データD1を記憶保持する系統計測データベース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などの入力データベースDB1、計算結果データD4を保持しておく計算結果データベースDB4、プログラムデータD5を保持するプログラムデータベースDB5などで構成されている。

【0037】

表示部11は、例えば、ディスプレイ装置として構成されるのがよいが、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あってもよい。

【0038】

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。

【0039】

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。

【0040】

CPU14は、プログラムデータベースDB5から所定のコンピュータプログラムを読み込んで実行する。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。

10

【0041】

メモリ15は、例えば、RAM(Random Access Memory)として構成され、プログラムデータベースDB5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15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。

【0042】

ここで、プログラムデータベースDB5の記憶内容を説明する。図2のプログラムデータベースDB5は、電圧安定度監視装置10のプログラムデータD5の内容を示しており、例えば、状態推定計算プログラムP10、電圧安定限界予測プログラムP20、電圧安定度計算条件決定プログラムP30、電圧安定度曲線計算プログラムP40、電圧安定度余裕計算プログラムP50が格納されている。

20

【0043】

CPU14は、プログラムデータベースDB5からメモリ15に読み出された計算プログラム(状態推定計算プログラムP10、電圧安定限界予測プログラムP20、電圧安定度計算条件決定プログラムP30、電圧安定度曲線計算プログラムP40、電圧安定度余裕計算プログラムP50)を適宜逐次実行して、尤もらしい系統状態の計算、電圧安定限界の予測、電圧安定度計算条件の決定、電圧安定度曲線の計算、電圧安定度余裕の計算、表示すべき画像データの指示、各種データベース内のデータの検索等を行う。

【0044】

30

メモリ15は表示用の画像データ、計算結果データ等の計算一時データ及び計算結果データを一旦格納するメモリであり、CPU14によって必要な画像データを生成して表示部11(例えば表示ディスプレイ画面)に表示する。なお、電圧安定度監視装置10の表示部11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だけの簡単な画面だけであってもよい。

【0045】

次に各種データベースDBの詳細な記憶内容について説明する。電圧安定度監視装置10には、大きく分けて5つのデータベースが格納されている。ここでは、説明済みのプログラムデータベースDB5を除く、系統計測データベースDB1、系統設備データベースDB2、計算設定データベースDB3、計算結果データベースDB4について説明する。

40

【0046】

系統計測データベースDB1には、系統計測データD1として、有効電力P、無効電力Q、電圧V、電圧位相角 δ 、電流I、力率 Φ などが記憶されている。これらは時刻スタンプ付きデータやPMUデータであることが望ましい。具体的には例えば、電力系統100に接続するノード120aや120bにおける電圧および電圧位相角と、電力系統100に接続するノード120aや120bに接続するブランチ140aや140bの線路潮流($P+jQ$)と、電力系統100に接続するノード120aや120bに接続する変圧器130aや130bの線路潮流($P+jQ$)と、変圧器130aや130bに接続するノード121aや121bの電圧Vおよび電圧位相角 δ と、ノード121aや121bに接続する負荷150や電源110の有効電力Pや無効電力Qや力率 Φ と、計測装置44など

50

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有効電力Pや無効電力Qや力率 Φ や電圧Vおよび電圧位相角 δ などが記憶されている。

【0047】

なお、電圧位相角 δ 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、電圧変成器VTや電力検出器PTなどである。電圧変成器VTや電力検出器PTなどで計測した電流Iと電圧Vと力率 Φ から線路潮流($P + jQ$)を計算することができる。

【0048】

また系統計測データベースDB1には、状態推定計算プログラムP10の計算結果である、尤もらしい系統の各ノード、ブランチ、発電機、負荷、制御機器の有効電力P、無効電力Q、電圧V、電圧位相角 δ 、電流I、力率 Φ 、を推定計算した結果も、系統計測データD1として保存しておく。

【0049】

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)、系統構成と状態推定に必要なデータ(バットデータの閾値など)、発電機データ、その他の潮流計算・状態推定・電圧安定度計算に必要なデータが記憶されている。なお、計測値は、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。なお、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CPU14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。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。

【0050】

計算設定データベースDB3には、計算設定データD3として、電圧安定度監視装置10の入力部12を用いて記憶された、電力系統において想定される、再生可能エネルギーの出力変動や負荷変動などに起因する電圧や潮流量の変化、電源構成の変更や変化、負荷の周波数特性や電圧特性の変化、調相設備投入・解列、負荷力率変動、発電機出力や無効電力供給機器や線路潮流の制約の変化、系統運用上の系統構成の変更や変化や、線路温度や風速や潮流量などによって変化する線路インピーダンスの変化や、系統に落雷などが原因で事故や故障が生じることによる系統構成の変化、などと、電力系統において想定される故障ケースとして故障箇所と故障様相などの、一つ以上の設定値や、想定する再生可能エネルギーの出力変動や負荷変動などに起因する電圧や潮流量の変化条件、電源構成の変更条件や変化条件、負荷の周波数特性や電圧特性の変化条件、調相設備投入・解列条件、負荷力率変動条件、発電機出力や無効電力供給機器や線路潮流の制約の変化条件、系統運用上の系統構成の変更条件や変化条件や、線路温度や風速や潮流量などによって変化する線路インピーダンスの変化条件や、系統に落雷などが原因で事故や故障が生じることによる系統構成の変化条件や、電圧安定度余裕の監視対象母線や箇所の一つ以上の設定値や、電圧安定限界予測プログラムP20および電圧安定度曲線計算プログラムP40である、繰返し潮流計算法、繰返し最適潮流計算法、連続型潮流計算法(コンティニューーション法)、連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法、潮流計算法や最適潮流計算や繰返し潮流計算法や繰返し最適潮流計算法や連続型潮流計算法や連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法の計算結果に基づく近似計算手法、直接計算法、のいずれかの計算に必要なパラメータ、および収束判定閾値、などを組み合わせたリストなどが記憶されている。各計算法および技法についての詳細は後述する。

【0051】

想定再生可能エネルギーの出力変動は、太陽光発電や風力発電やメガソーラやウィンドファームの出力変動や、ウィンドファームの一斉脱落などを含む。故障ケースとしては、系統の運用によっては、過酷な故障ケースのみであってもよい。なお、計算設定データD3は入力部12を用いずに事前に設定したり、で設定した値を通信ネットワーク300および通信部13を介して設定したり、してもよい。これらの設定方法により、柔軟に計算

10

20

30

40

50

設定データD3を設定することができる効果がある。

【0052】

図2は、本発明の電圧安定度監視装置10を計算機システムにより構成する場合のハード構成を示しているが、図1には電圧安定度監視装置10を計算機システムにより構成する場合のソフトウェア構成を示している。

【0053】

図1のソフトウェア構成では、入力データベースDBIに記憶された入力データ（系統計測データD1と系統設備データD2と計算設定データD3）が、計算結果データD4として計算結果データDB4に格納され、表示部11に表示されることになる電圧安定度監視計算部41における一連の処理手順が示されている。

10

【0054】

電圧安定度監視計算部41における一連の処理手順は、電圧安定限界予測部31と電圧安定度計算条件決定部32と電圧安定度曲線計算部33と電圧安定度余裕計算部34で構成されている。電圧安定限界予測部31では電圧安定限界予測プログラムP20を実施し、電圧安定度計算条件決定部32では電圧安定度計算条件決定プログラムP30を実施し、電圧安定度曲線計算部33では電圧安定度曲線計算プログラムP40を実施し、電圧安定度余裕計算部34では電圧安定度余裕計算プログラムP50を実施する。

【0055】

電圧安定度監視装置10の入力データベースDBIに記憶された入力データは、系統計測データD1と系統設備データD2と計算設定データD3からなる。電圧安定度監視計算部41の最初の処理部である電圧安定限界予測部31では、入力データベースDBIの系統計測データD1と系統設備データD2と計算設定データD3を用いて、電圧安定限界予測プログラムP20による電圧安定限界予測計算を行い、計算結果を計算結果データDB4に出力する。また、電圧安定度計算条件決定部32では、電圧安定限界予測の計算結果を用いて、電圧安定度計算条件決定プログラムP30による電圧安定度計算条件を決定し、計算結果を計算結果データDB4に出力する。また、電圧安定度曲線計算部33では、計算結果データDB4の電圧安定度計算条件決定結果を用いて、電圧安定度曲線計算プログラムP40による電圧安定度曲線計算を行い、計算結果を計算結果データDB4に出力する。また、電圧安定度余裕計算部34では、計算結果データDB4の電圧安定度曲線計算結果を用いて、電圧安定度余裕計算プログラムP50による電圧安定度余裕計算を行い、計算結果を計算結果データDB4に出力する。表示部11では、前記各計算の結果を格納した計算結果データDB4の一つ以上の情報を表示する。

20

30

【0056】

以上の処理を通じて計算結果データベースDB4には、状態推定計算プログラムP10によって計算された尤もらしい系統状態と、電圧安定限界予測プログラムP20によって計算された電圧安定限界の予測結果と、電圧安定度計算条件決定プログラムP30によって計算された電圧安定度計算条件の決定結果と、電圧安定度曲線計算プログラムP40によって計算された電圧安定度曲線の計算結果と、電圧安定度余裕計算プログラムP50によって計算された電圧安定度余裕の計算結果、の一つ以上が記憶されることになる。

【0057】

40

図5a、図5b、図6は、本発明に係る電圧安定度監視装置において電圧安定度を求めるための考え方を説明するための図である。

【0058】

一般には電圧安定度曲線を用いて、電圧安定度（電圧の安定度や安定性）を評価することが多い。電圧の安定度は、電圧の安定の程度を表す言葉であり、電圧安定度曲線を用いて、運転点から最大負荷点（MLP：Maximum Loading Point）までの距離を負荷余裕と呼び電圧の安定度を評価する。ここでMLPは電圧安定限界であるサドルノード分岐点や即時不安定点を意味する。またそれ以外にも電圧安定度曲線の運転点の傾きを用いて電圧の安定度を評価することも可能である。このように、電圧安定度曲線を用いて、電圧の安定度や安定性を評価することができる。

50

【0059】

電圧安定度曲線を表す表現形式には種々のものがあるが、図5a、図5b、図6は、電圧安定度曲線の一例として $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線を示している。 $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線は、座標の横軸に負荷パラメータ λ 、縦軸に電力系統の母線電圧の和 ΣV_i を採用して表した電圧安定度曲線である。電圧安定度曲線としては、座標の縦横軸項目に何を採用するかにより複数種類のものがあり、他にはいわゆるP-V曲線、 $\lambda - V$ 曲線、 $\lambda - Pa$ 曲線、 $\lambda - \theta$ 曲線などが用いられる。ここで、ここでPは電力、Vは電圧、 λ は負荷パラメータ、Paは電力系統全体の有効電力損失、 θ は電圧位相角、である。本発明ではこれらを総称して電圧安定度曲線としており、どの曲線を用いて本発明を実現してもよい。

【0060】

これらの電圧安定度曲線に示された特性によれば、電力（負荷電力）と電圧の間には、いわゆるノーズ曲線の関係があり、ノーズ先端の最大負荷点Mを超えると電圧安定度が低下し、異常電圧低下現象を引き起こすことを表している。ノーズ先端の最大負荷点Mは、再生可能エネルギーの出力変動や負荷変動などに起因する電圧や潮流量の変化、電源構成の変更や変化、負荷の周波数特性や電圧特性の変化、調相設備投入・解列、負荷力率変動、発電機出力や無効電力供給機器や線路潮流の制約の変化、系統運用上の系統構成の変更や変化や、線路温度や風速や潮流量などによって変化する線路インピーダンスの変化や、系統に落雷などが原因で事故や故障が生じることによる系統構成の変化（送電線における各種の事故、送電線の開放・閉路）、などの要因により移動する。またノーズ先端の最大負荷点より大きな電力は送ることができず、タップ切替装置などの電圧制御系は、この曲線の上側の垂下特性を前提に作られているためノーズ先端の最大負荷点より下では電圧は急速に低下し、送電不能となる電圧崩壊現象を引き起こす可能性がある。

【0061】

電圧安定度曲線の他の代表的な特性事例として、 $\lambda - Pa$ 曲線、 $\lambda - \theta$ 曲線を図13、図14に示している。図13の $\lambda - Pa$ 曲線は、横軸に負荷パラメータ λ 、縦軸に電力系統全体の有効電力損失Paを採用し、点線で示した曲線の先端位置に最大負荷点Mを有している。図14の $\lambda - \theta$ 曲線は、横軸に負荷パラメータ λ 、縦軸に電圧位相角 θ を採用し、ノーズ曲線の先端位置に最大負荷点Mを有している。

【0062】

なお図13の $\lambda - Pa$ 曲線の表示においては、特性の先端位置をノーズ先端の最大負荷点Mと表記しているが、実際の系統によってはPa（電力系統全体の有効電力損失）の最大と、負荷パラメータ λ の最大が一致しない時があり、この場合には例えば図示のM点の少し手前の点が最大負荷点（MLP）となることがある。

【0063】

このことから、本発明に係る電圧安定度監視装置では、現状における電圧安定度曲線上のノーズ先端の最大負荷点の位置を正しく推定し、現状運転位置との間の余裕（電圧安定度余裕）を正しく求めておくものである。これらの図の詳細は別途説明するが、上記の各プログラムによって求める計算結果は、要するに図5a、図5b、図6における以下の各点の値を求めたことを意味している。

【0064】

例えば、電圧安定限界予測プログラムP20によって計算された電圧安定限界の予測結果は、図5aのLook-Ahead法計算結果の $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線Lのノーズ先端の最大負荷点Mにおける負荷パラメータ λ 、電力系統の母線電圧の和 ΣV_i の値などを求めたものであり、この値が計算結果データベースDB4に保存されている。負荷パラメータ λ は負荷倍率や負荷増加率などを意味する。なお、以下の事例では横軸の負荷パラメータ λ として、負荷倍率の例で示している。

【0065】

また、電圧安定度計算条件決定プログラムP30によって計算された電圧安定度計算条件の決定結果は、図6の幾何学的パラメータ $(^k)\alpha$ の値などを求めたものであり、この値が計算結果データベースDB4に保存されている。

【0066】

また、電圧安定度曲線計算プログラムP40によって計算された電圧安定度曲線の計算結果は、図6のような連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法や連続型潮流計算法などにより計算された $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線LやこのときのP-V曲線Lを求めたものであり、この値が計算結果データベースDB4に保存されている。

【0067】

なお、連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法や連続型潮流計算法などとは、負荷電力Pや負荷パラメータ λ の一例である負荷倍率などのパラメータをある一定の条件で変化させ系統状態を予測する計算（予測子計算）と、対応する母線電圧 V_i および負荷パラメータ λ （負荷倍率）を潮流計算（修正子計算）で求める、という動作を連続して計算することで $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線やP-V曲線を計算する手法である。連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法や連続型潮流計算法の詳細は後述する。前記のある一定の条件とは例えば、すべての有効電力負荷および無効電力負荷に対して一律に λ をかけて負荷を増加させるという条件や、ある特定の有効電力負荷および無効電力負荷に対して一律に λ をかけて負荷を増加させるという条件など、がある。

【0068】

また、電圧安定度余裕計算プログラムP50によって計算された電圧安定度余裕の計算結果は、図6で示す $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線Lから計算された $\Delta \lambda_{MLP} = (\lambda_{MLP} - (^{(0)})\lambda)$ や $\Delta \lambda_{MLP} = (\lambda_{MLP} - (^{(0)})\lambda) / (^{(0)})\lambda$ や、P-V曲線から計算された $\Delta P_{MLP} = (P_{MLP} - (^{(0)})P)$ や $\Delta P_{MLP} = (P_{MLP} - (^{(0)})P) / (^{(0)})P$ や、 $\Delta \Sigma V_{MLP}$ などを求めたものであり、この値が計算結果データベースDB4に保存されている。ここで、 λ_{MLP} は電圧安定限界MLP（最大負荷点M）における負荷倍率であり、 $(^{(0)})\lambda$ は初期潮流計算結果の負荷倍率、 P_{MLP} は電圧安定限界における負荷有効電力Pや負荷有効電力の総和 ΣP 、 $(^{(0)})P$ は初期潮流計算結果の負荷有効電力Pや負荷有効電力の総和 ΣP 、 $\Delta \lambda_{MLP}$ や ΔP_{MLP} や $\Delta \Sigma V_{MLP}$ は電圧安定度余裕、である。

【0069】

次に電圧安定度監視装置10の計算処理内容について図3を用いて説明する。図3は、電圧安定度監視装置の処理の全体を示すフローチャートの例である。まず、簡単に流れを説明する。

【0070】

処理ステップS1では系統設備データD2と計算設定データD3を入力し記憶したあと、処理ステップS2では系統計測データD1を受信し、系統計測データD1と系統設備データD2と計算設定データD3とを用いて状態推定計算を行い、状態推定計算結果を記憶する（計算結果データベースDB4に格納される）。

【0071】

次に処理ステップS3では、入力データベースDBIの系統計測データD1と系統設備データD2と計算設定データD3から電圧安定限界（図5aのM点）を予測計算し、電圧安定限界予測の計算結果を記憶する（計算結果データベースDB4に格納される）。

【0072】

次に処理ステップS4では、電圧安定限界予測の計算結果を用いて、電圧安定度計算条件（図6の幾何学的パラメータ α_i ）を決定し、電圧安定度計算条件決定の計算結果を記憶する（計算結果データベースDB4に格納される）。

【0073】

次に処理ステップS5では、入力データベースDBIの系統計測データD1と系統設備データD2と計算設定データD3と電圧安定度計算条件決定の計算結果を用いて、電圧安定度曲線（図6の電圧安定度曲線L）を計算し、電圧安定度曲線の計算結果を記憶する（計算結果データベースDB4に格納される）。

【0074】

次に処理ステップS6では、電圧安定度曲線の計算結果を用いて、電圧安定度余裕を計

10

20

30

40

50

算し、電圧安定度余裕の計算結果を記憶する（計算結果データベースDB4に格納される）。

【0075】

最後に処理ステップS7では、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、表示画面に逐次表示されるのがよい。これにより、運用者が電圧安定度監視装置10の運用状況や電圧安定度が容易に把握できる。また、電圧安定度余裕計算結果と、計算設定データに別途保存してもよい閾値を比較することで、余裕が少ないケースが計算された場合には、緊急画面や警報を出力してもよい。これにより、運用者が電圧安定度監視装置10の運用状況を容易に把握できる。なお、監視箇所変更が実施されるまで、各種データの受信から各種計算結果を夫々送信するまでの状況の画面表示を繰り返す。

10

【0076】

以上の一連の処理を極簡便に説明すると、処理ステップS3で電圧安定限界（図5aのM点）を仮決めし、処理ステップS4で電圧安定限界点M近傍の詳細探索を実行するための電圧安定度計算条件（図6の幾何学的パラメータ α_i ）を設定し、処理ステップS5で詳細探索の結果として最大負荷点Mの座標、強いては電圧安定度曲線Lを求めたものである。

【0077】

以上の処理の流れを処理ステップ毎にさらに詳細に説明する。まず、処理ステップS1では、系統設備データD2と計算設定データD3が予め設定されていない場合、系統設備データD2と計算設定データD3を入力部12および表示部11を用いて入力する。入力に際しては、計測装置44から通信ネットワーク300から通信部13を通してデータの

20

入力をしてよいし、監視制御装置などに保持している系統設備データD2と計算設定データD3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、系統設備データD2と計算設定データD3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。

【0078】

処理ステップS2では、系統計測データD1を受信し、系統計測データD1と系統設備データD2と計算設定データD3とを用いて状態推定計算を行い、状態推定計算結果を、計算結果データベースDB4に記憶する。

【0079】

状態推定計算によって、尤もらしい系統の各ノード、ブランチ、発電機、負荷、制御機器の有効電力P、無効電力Q、電圧V、電圧位相角 δ 、電流I、力率 Φ 、を推定計算した結果も、計測データとして保存しておく。なお、状態推定計算の方法は、例えば、「Lars Holten, Anders Gjelsvik, Sverre Adam, F. F. Wu, and Wen-Hsiong E. Liu, "Comparison of Different Methods for State Estimation", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 3, pp. 1798-1806, 1988」に記載の計算方法などに則して行うことができる。

30

【0080】

処理ステップS3では、処理ステップS1で記憶した系統設備データD2と計算設定データD3と、処理ステップS2で求めた状態推定結果と、を用いて、電圧安定限界予測計算を行い、その結果を計算結果データベースDB4に記憶する。電圧安定限界予測計算によって、 $\lambda - \sum V_i$ 曲線のノーズ端Mにおける負荷パラメータ λ 、電力系統の母線電圧の和 $\sum V_i$ の値などを計算し記憶する。これは $\lambda - \sum V_i$ 曲線のノーズ端Mを仮決定したものである。

40

【0081】

電圧安定限界予測計算の方法は、例えば、「WILLIAM F. TINNEY, CLIFFORD E. HART, "Power Flow Solution by Newton's Method", IEEE Transaction on Power

50

APPARATUS AND SYSTEMS, VOL. PAS-86, NO. 11, pp. 1449-1967, 1967」に記載の潮流計算法、および、「Chiang. H. D. et al., "Look-Ahead Voltage and Load Margin Contingency Selection Functions for Large-Scale Power Systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 12, No. 1, pp. 173-180, 1997」に記載のLook-ahead法などの計算方法を組み合わせた方法を用いたり、「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, pp. 49-116, 2006」や、特開平6-153397号公報、などに記載の連続型潮流計算法の計算ステップを大きくとった計算精度を粗くした方法を用いたり、「Bonini Neto A. et al., "Technique for Continuation Power Flow Using the "Flat Start" and for Ill-Conditioned Systems", World Journal Control Science and Engineering, Vol. 3, No. 1, pp. 1-7, 2015」などに記載の連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法の計算ステップや幾何学的パラメータを大きくとった計算精度を粗くした方法を用いたり、「餘利野直人:「電力系統の電圧安定性とその解析技術の動向」、電学論B、123巻7号、p. 805、2003」に記載の分岐点・最大負荷点の直接計算法、などに則して行うことができる。なお、潮流計算法は、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。

【0082】

処理ステップS4では、処理ステップS1で記憶した系統設備データD2と計算設定データD3と、処理ステップS2で求めた状態推定結果と、処理ステップS3で記憶した電圧安定限界予測の計算結果と、を用いて、電圧安定度計算条件決定を行い、その結果を計算結果データベースDB4に記憶する。

【0083】

処理ステップS5では、処理ステップS1で記憶した系統設備データD2と計算設定データD3と、処理ステップS2で求めた状態推定結果と、処理ステップS4で記憶した電圧安定度計算条件の決定結果と、を用いて、電圧安定度曲線計算を行い、その結果を計算結果データベースDB4に記憶する。

【0084】

ここで、図4を用いて処理ステップS3～S5の計算の流れを各処理ステップごとに詳しく説明する。図4は、電圧安定限界予測部31と電圧安定度計算条件決定部32と電圧安定度曲線計算部33の処理を詳細に説明するフローチャートの例である。図4では、図3の処理ステップS3に対応する詳細な処理ステップS31～S36を通して、電圧安定限界予測部31の処理を説明し、図3の処理ステップS4に対応する詳細な処理ステップS41～S42を通して、電圧安定度計算条件決定部32の処理を説明し、図3の処理ステップS5に対応する詳細な処理ステップS51～S54を通して、電圧安定度曲線計算部33の処理を説明する。以上の処理の流れを以下で説明する。

【0085】

処理ステップS31では、処理ステップS1で記憶した系統設備データD2と計算設定データD3と、処理ステップS2で求めた状態推定結果と、をメモリ15に読み込む。ここで、計算設定データD3に想定故障リストがあれば、メモリ15に読み出された想定故障

などのリストの中から、未選択のひとつを選択していくが、今回は、想定故障などの変化がなしの場合を説明する。

【0086】

メモリ15に読込んだ各データをもとに、初期潮流計算を行い、結果をメモリ15に保持する。初期潮流計算は、前記潮流計算法の文献に記載の方法などに則して行う。初期潮流計算の結果は、図5aの初期潮流計算結果点N1であり、座標上において $(^{(1)}\lambda, \sum (^{(1)}V_i))$ として示されている。

【0087】

次に、幾何学的パラメータ $(^{(1)}\alpha)$ を決定する。これは、先に述べた連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法(PCPF(:Geometric Parameterization Techniques for Continuation Power Flow))を用いた場合に使用する幾何学的パラメータである。

【0088】

以下、連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法を用いた方法について、説明する。幾何学的パラメータ $(^{(1)}\alpha)$ は、図5aに示す $\lambda - \sum V_i$ 平面において、初期潮流計算結果のN1点の座標 $(^{(1)}\lambda, \sum (^{(1)}V_i))$ と、同点を縦軸 $\sum V_i$ は同じにしたまま、横軸 λ の原点などにもっていった基準点であるO点の座標 $(0, \sum (^{(0)}V_i))$ を用いて、次式により決定する。なおここで、 $(^{(1)}\alpha)$ は、幾何学的パラメータの初期値である。

【0089】

【数1】

$$(^{(1)}\alpha) = \frac{(\sum (^{(1)}V_i) - \sum (^{(0)}V_i))}{(^{(1)}\lambda - (^{(0)}\lambda))} \quad (1)$$

【0090】

なお、ここでは図5aの $\lambda - \sum V_i$ 曲線を前提とした説明を行っているが、他の電圧安定度曲線を採用する場合には、縦軸は $\sum V_i$ ではなく、電力系統全体の有効電力損失Paや、電力系統のあるノードの電圧位相角 θ 、などでとってよい。

【0091】

ここで縦軸項目[y]について数式で表すと(2)式のようにになる。

【0092】

【数2】

$$[y] = \begin{cases} y_i \\ \sum y_i \\ (\sum y_i)/n \\ \|y\|_2 \\ \|y\|_3 \\ \|y\|_\infty \end{cases} \quad (2)$$

【0093】

(2)式で、縦軸項目[y]はある特定ノードの電圧Vや電圧位相角 θ などであってもよいし、全てか複数ノードの電圧Vなどの総和であってもよいし、全てか複数ノードの電圧Vなどの総和を全てか複数ノードの電圧Vなどの初期値や対象ノードの数など(数式上ではnで表現)で割った値であってもよいし、1つ以上のノードの電圧などの2ノルムであってもよいし、1つ以上のノードの電圧などの3ノルムであってもよいし、1つ以上のノードの電圧などの無限ノルム、などであってもよい。また、O点の取り方は、 $\lambda - \sum V_i$ 平面の原点(0, 0)などをとってよい。

【0094】

また例えば、電圧安定度曲線として図13に例示した $\lambda-P_a$ 曲線を採用する場合には、縦軸が電力系統全体の有効電力損失 P_a である。縦軸が電力系統全体の有効電力損失の場合に、(1)式は(3)式のようにになる。

【0095】

【数3】

$$^{(i)}\alpha = \frac{(^{(i)}P_a - ^{(0)}P_a) / ^{(i)}P_a}{(^{(i)}\lambda - ^{(0)}\lambda)} \quad (3)$$

10

【0096】

(3)式で、電力系統全体の有効電力損失 P_a は(4)式で求めたものである。

【0097】

【数4】

$$P_a(V, \theta) = \sum_{i \text{ and } j = \Omega} G_{ij} \{V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \theta_{ij}\} \quad (4)$$

【0098】

なお(4)式において、 G_{ij} はノード i と j 間のコンダクタンス、 V_i はノード i の電圧、 V_j はノード j の電圧、 θ_{ij} はノード i と j 間の電圧位相角差である。(4)式は電圧を極座標系で扱ったが、直角座標系で扱ってもよい。

20

【0099】

また、電圧安定度曲線として例えば図14に例示した $\lambda-\theta$ (電圧位相角)曲線を採用する場合には、縦軸があるノードの電圧位相角 θ の場合である。縦軸がノードの電圧位相角 θ の場合は、(1)式は(5)式のようにになる。

【0100】

【数5】

$$^{(i)}\alpha = \frac{(^{(i)}\theta_i - ^{(0)}\theta_i)}{(^{(i)}\lambda - ^{(0)}\lambda)} \quad (5)$$

30

【0101】

ここで、 θ_i は例えば脆弱母線ノードの電圧位相角を、単位を度などで設定したものとする。なお脆弱母線ノードとは、電圧安定度曲線上に複数の母線におけるノーズ曲線を描いたときに、ノーズ端が最も低い母線のことを指している。この母線では、負荷パラメータ λ に対して、電圧の落ち込みが他の母線に比較して早いということが言える。なお、 $\lambda-\theta_i$ 曲線と $\lambda-P_a$ 曲線の場合の脆弱母線ノードは、曲線の形状は若干異なるが、上記考えと同じことがいえる。

【0102】

図4において処理ステップS32は、一連の処理を継続して繰り返し実行するための初期化処理を示しており、 k は収束点を定める際のループのカウンタ($k=1$ は1点目)であり、数式上で使用される l は、 l 収束点を定めるために、 $N-R$ 法で収束計算している際のカウンタである。修正計算内のループ計算に必要なカウンタ l は、修正計算ブロック内の処理で必ず初期化される。なお数式上で使用する $\Delta\alpha_1$ 、 $\Delta\alpha_2$ といった値は、開始の前に予め設定されているものとする。

40

【0103】

なお、以降の計算に必要なパラメータの初期化はこの処理タイミングで行う。

【0104】

(5)式の幾何学的パラメータ α とは、電圧安定度曲線を表す座標上の基準点を通る複数の直線の間の角度を意味している。

50

【0105】

処理ステップS33では、2点以降の潮流計算解を求めるために必要な、 $(k+1)\alpha$ を次式により決定する。

【0106】

【数6】

$$^{(k+1)}\alpha = ^{(k)}\alpha - \Delta\alpha_1 \quad (6)$$

【0107】

なおここで、 $(k+1)\alpha$ は $k+1$ 点目の収束子計算を行うときの幾何学的パラメータ値、 $^{(k)}\alpha$ は k 点目の収束子計算を行うときの幾何学的パラメータ値、 $\Delta\alpha_1$ は k 点目から $k+1$ 点目の収束子計算を行うときに k 点目の幾何学的パラメータ値 $^{(k)}\alpha$ を増加させる値、である。なお、 $\Delta\alpha_1$ ずつ増加させることは、収束子計算をする際に、図5aにおけるO点から初期潮流計算結果の収束点N1を通るように引かれる直線の傾きが $\Delta\alpha_1$ ずつ増加するような関係を意味する。なお(6)式において $\Delta\alpha_1$ は正值である。

【0108】

処理ステップS34では、連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法の予測子計算および収束子計算を行う。ここで、連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法の予測子計算および収束子計算の詳細について説明する。なお、図5a、図5b、図6において「○」で示したのが予測値、「●」で示したのが収束値であり、黒の矢印「→」が予測子の示す方向を表し、点線が収束子の示す方向を表しているものとする。また点線の丸は、最大負荷点Mの位置を表すMLPtempである。なおMLPとは、電圧安定限界を表している。

【0109】

まず、予測子計算について説明する。予測子の目的は、次の解を得るための予測点(=予測値)を求めることである。予測点は、修正子計算(潮流計算)の初期値となるため、予測点の質が高いほど、正確な解を得るための修正子の反復計算が短くなる。

【0110】

予測子の計算方法は、線形の予測子と非線形の予測子に大別できる。さらに線形の予測子は(a)単純予測子と(b)割線法予測子と(c)接線法予測子などがあり、非線形の予測子は(d)非線形予測子に大別できるが、いずれかの一つまたは複数の予測子の組合せの予測子計算を実施してもよい。なお、(a)単純予測子は、直近の1つの解を電圧 x や負荷パラメータ λ などといった横軸または縦軸のパラメータを単純に増加または減少させて予測点を求める方法である。(b)割線法予測子は、「森他：「ラグランジュ補間非線形予測子を用いた連続型潮流計算」、電学論B、123巻、4号、2003年」に示すような前回収束点 $(\lambda', \Sigma V_i')$ と前々回収束点 $(\lambda'', \Sigma V_i'')$ を通る割線を引き、前記横軸および縦軸のパラメータを増加させて、その直線上で予測点を求める方法である。(c)接線法予測子は、「福山他：「Continuation Power Flow実用化システムの開発」、電気学会全国大会、No. 1387、1997」、に示すような前回収束点におけるP-V曲線に対する接線を引き、前記横軸および縦軸のパラメータを増加させて、接線上で予測点を求める方法である。(d)非線形予測子は、「森他：「ラグランジュ補間非線形予測子を用いた連続型潮流計算」電学論B、123巻4号、2003年」や「A. Bonini Neto et al., "DEVELOPMENT AND ASSESSMENT OF NONLINEAR PREDICTORS FOR CONTINUATION METHOD", International Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 5, No. 01, pp. 1-9, 2014」に示すような前回以前の収束点を用いて多項式曲線を引き、前記横軸および縦軸のパラメータを増加させて、多項式曲線上で予測点を求める方法である。

【0111】

以下では、(a)単純予測子と(b)割線法予測子を用いた計算を説明する。1ステッ

プ目のみ (a) 単純予測子を用いて予測点を求め、2 ステップ目以降は (b) 割線法予測子を用いて計算することで、計算量を低減する。これは、割線を引くためには最低 2 点の収束解が必要なためである。この 2 つの予測子計算の組合せにすることで、簡単な計算で予測点を求めることができるようになり、計算量を低減できる効果がある。

【0112】

(7) 式は (b) 割線法や接線法を用いる際の予測子算出式を表している。ここで $[(k) \ x^T \ (k) \ \lambda]^T$ は第 k 点の潮流計算解、 $[(k+1) \ x^T \ (k+1) \ \lambda]^T$ は第 $k+1$ 点の予測値ベクトルとし第 $k+1$ ステップの修正子計算の初期値、 σ は予測子ステップ幅である。

【0113】

10

【数 7】

$$\begin{bmatrix} (k+1)x \\ (k+1)\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (k)x \\ (k)\lambda \end{bmatrix} + \sigma t \quad (7)$$

【0114】

また (7) 式において t は、(8) 式で求める割線法や、接線法で求める第 k 点の勾配ベクトル、である。ここで、 $[(k) \ x^T \ (k) \ \lambda]^T$ は第 k 点の潮流計算解、 $[(k-1) \ x^T \ (k-1) \ \lambda]^T$ は第 $k-1$ ステップの修正子計算の結果である。これにより前回と前々回の収束値の幅が次の予測子のステップ幅となり効率的な探索が可能となる。

20

【0115】

【数 8】

$$t = \begin{bmatrix} (k)x \\ (k)\lambda \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} (k-1)x \\ (k-1)\lambda \end{bmatrix} \quad (8)$$

【0116】

なお σ は固定として、未収束や非収束と判断される場合に二分探索法で半分にしてもよい。なお σ の算出に当たり、電圧や収束計算回数などを踏まえて可変に制御するものであってもよい。なお、割線法の場合、収束点が 2 点ないと予測点を計算できないため、1 点目は ΣVi 軸の増加は考えずに、 λ 軸の増加だけを考える方法をとってもよい。

30

【0117】

また、 σ は以下に示す (9) 式を用いて算出してもよい。

【0118】

【数 9】

$$\sigma = {}^{(0)}\sigma / \|t\|_2 \quad (9)$$

【0119】

40

ここで、 ${}^{(0)}\sigma$ は事前に設定する初期ステップ幅であり、 $\|t\|_2$ は t の 2 ノルムである。下式は、「E. E. Nino et al., "Continuation Load Flow Using Automatically Determined Branch Megawatt Losses as Parameters", IEEE Proc. - Gener. Transm. Distrib., Vol. 153, No. 3, pp. 302, 2006」に示すような方法の一例である。

【0120】

次に修正子計算方法について説明する。まず、負荷パラメータ (負荷倍率) λ を変数として考慮して、潮流方程式を (10) 式のように定式化する。ただし、 x は母線電圧値を並べた変数ベクトル、 λ は負荷パラメータ、である。

50

【 0 1 2 1 】

【数 1 0】

$$G(x, \lambda) = 0 \quad (10)$$

【 0 1 2 2 】

なお (10) 式において、 x は (11) 式に示すように、極座標系で電圧の大きさ V と電圧の位相角 δ で扱ってもよいし、直角座標系で電圧ベクトルの実部 e と電圧ベクトルの虚部 f で扱ってもよい。

【 0 1 2 3 】

10

【数 1 1】

$$x = \begin{Bmatrix} \begin{bmatrix} V^T & \delta^T \end{bmatrix}^T \\ \begin{bmatrix} e^T & f^T \end{bmatrix}^T \end{Bmatrix} \quad (11)$$

【 0 1 2 4 】

(10) 式は具体的には次の三つの (12) (13) (14) 式からなる。これらの式において、 x は電圧ベクトル、 λ は負荷パラメータ、 $\Delta P(x, \lambda)$ と $\Delta Q(x, \lambda)$ は有効電力と無効電力の指定値と電力方程式の計算値のミスマッチを表す関数、 $\Delta |V|$ は電圧の指定値と電圧計算値の差を表す関数、 P^{esp} と Q^{esp} は負荷パラメータ λ の時の有効電力と無効電力の予測指定値、 V^{esp} はノード電圧の予測指定値、 P^{cal} と Q^{cal} は電圧ベクトル x の時の有効電力と無効電力の計算値、 P^{sp}_{gen} と Q^{sp}_{gen} は発電機の有効電力と無効電力の指定値、 P^{sp}_{load} と Q^{sp}_{load} は負荷の有効電力と無効電力の指定値、 k_{pg} は発電機の有効電力の予測値を調整するための発電機の有効電力の予測指定値パラメータ、 k_{pl} と k_{ql} は負荷の有効電力と無効電力の予測値を調整するための負荷の有効電力と無効電力の予測指定値パラメータ、 $|V|$ は電圧計算値の大きさ、である。

20

【 0 1 2 5 】

【数 1 2】

$$\Delta P(x, \lambda) = \{P^{esp}(\lambda)\} - P^{cal}(x) = \{\lambda k_{pg} P^{sp}_{gen} - \lambda k_{pl} P^{sp}_{load}\} - P^{cal}(x) = 0 \quad (12)$$

30

【 0 1 2 6 】

【数 1 3】

$$\Delta Q(x, \lambda) = \{Q^{esp}(\lambda)\} - Q^{cal}(x) = \{Q^{sp}_{gen} - \lambda k_{ql} Q^{sp}_{load}\} - Q^{cal}(x) = 0 \quad (13)$$

【 0 1 2 7 】

【数 1 4】

$$\Delta |V|^2 = V^{esp^2} - |V|^2 = 0 \quad (14)$$

40

【 0 1 2 8 】

ここで、負荷の電圧特性を考慮する場合には、(12) (13) 式の代わりに (15) (16) 式を用いる。

【 0 1 2 9 】

【数 15】

$$\Delta P(x, \lambda) = \left\{ \lambda k_{pg} P_{gen}^{sp} - \lambda k_{pl} \left(\frac{V}{({}^{(0)}V)} \right)^{K_{pv}} P_{load}^{sp} \right\} - P^{cal}(x) = 0 \quad (15)$$

【0130】

【数 16】

$$\Delta Q(x, \lambda) = \left\{ Q_{gen}^{sp} - \lambda k_{pl} \left(\frac{V}{({}^{(0)}V)} \right)^{K_{qv}} Q_{load}^{sp} \right\} - Q^{cal}(x) = 0 \quad (16)$$

10

【0131】

(12) (13) 式は負荷が電圧によって変化しない定電力特性については模擬できるが、負荷が電圧によって変化する場合には、(15) (16) 式を使用することで、電力系統の電圧安定性の評価精度を向上させることができる。これらの式において、(12) (13) 式と異なるパラメータについて説明する。Vは電圧の大きさ、 $({}^{(0)}V)$ は初期潮流計算結果の電圧の大きさ、 K_{pv} と K_{qv} は負荷の有効電力と無効電力の電圧特性定数、である。(15) (16) 式では電圧特性定数を指数で与える式を示したが、ZIPモデルなどを用いてもよい。このとき、 $K_{pv} = 0$ と $K_{qv} = 0$ の場合は定電力負荷、 $K_{pv} = 1$ と $K_{qv} = 1$ の場合は定電流負荷、 $K_{pv} = 2$ と $K_{qv} = 2$ の場合は定インピーダンス負荷、と呼ばれるが、実際の系統では様々な負荷が導入されているため、 K_{pv} と K_{qv} の値が異なった、0, 1, 2といった整数にならないことが多い。

20

【0132】

また(17) (18) 式は(12) (13) 式や(15) (16) 式の P^{cal} と Q^{cal} を示す式であり、極座標系で示している。

【0133】

【数 17】

$$P^{cal}(x) = P^{cal}(V, \delta) = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_i V_j \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (17)$$

30

【0134】

【数 18】

$$Q^{cal}(x) = Q^{cal}(V, \delta) = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_i V_j \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (18)$$

【0135】

これらの式において、 Y_{ij} はノードij間のアドミタンス、 V_i はノードiの電圧、 V_j はノードjの電圧、 δ_i はノードiの電圧位相角、 δ_j はノードjの電圧位相角、 θ_{ij} はノードij間の電圧位相角差、である。

通常、負荷母線など電圧制御がかかっていない母線はPQ指定として(12) (13) 式や(15) (16) 式を用い、発電機母線など電圧制御がかかっている母線はPV指定として(12) (14) 式や(15) (14) 式を用いる。PV指定時の電圧の大きさは通常一定とする。ただし無効電力制約や電圧制御機器の動作を考慮する場合には、それぞれに応じて変化させる。

40

【0136】

また、「Bonini Neto A. et al., "Technique for Continuation Power Flow Using the "Flat Start" and for Ill-Conditioned Systems", World Journal Control Science and Engineering, Vol. 3, No. 1, pp. 1-7, 2015」に示されるように、

50

前記幾何学的パラメータ α と γ を用いて制約式として、(19)式を用いる。この式は「Venkataramana Ajjarapu, “Computational Techniques for Voltage Stability Assessment and Control”, Springer, pp. 49–116, 2006」における $\lambda-V$ 平面の縦軸収束計算（電圧ベクトル x を変数とした修正子計算で、(19)式の $\alpha=0$ の場合）と、 $\lambda-V$ 平面のノーズ端付近における横軸収束計算（負荷パラメータ λ を変数とした修正子計算で、(19)式の $\beta=0$ の場合）の両方を考慮した形式となっている。

【0137】

【数19】

$$R(y, \lambda, \alpha, \beta) = \alpha(\lambda - {}^0\lambda) - \beta([y] - [{}^0y]) = 0 \quad (19)$$

【0138】

(19)式において、 $R(y, \lambda, \alpha, \gamma)$ は連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法における制約式、 $({}^0)$ λ は初期ポイントO点の負荷パラメータ、 α と γ は角度を示す幾何学的パラメータ値、 $[y]$ は(2)式で表され、1以上の特定ノードの電圧 V や電圧位相角 θ などであってもよいし、全ノードの電圧 V の総和などであってもよいし、1以上か全てのノードの電圧 V などの総和を1つ以上か全てのノードの電圧 V などの初期値や対象ノードの数など（数式上では n で表現）で割った値であってもよいし、1つ以上のノードの電圧などの2ノルムであってもよいし、1つ以上のノードの電圧などの3ノルムであってもよいし、1つ以上のノードの電圧などの無限ノルム、などであってもよい。

$[({}^0)y]$ は初期潮流計算結果から算出する $[({}^1)y]$ と同じ値であってもよいし、原点 $(0, 0)$ のゼロであってもよい。O点は $(0, [({}^0)y] = [({}^1)y])$ であってもよいし、 $(0, 0)$ であってもよい。

【0139】

ここで、(20)式の条件を設定すると、(19)式は(21)式となる。(21)式において、上記説明でない式を説明すると、 $R(V, \lambda, \alpha)$ は(20)式の条件のときの連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法における制約式、 $\sum ({}^k)V_i$ は k 点目の各ノード電圧値の総和、である。(21)式は $\lambda - \sum V_i$ 平面上の傾きを表す。この式を考慮することで、連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法はヤコビ行列が特異となる条件を変化させることができる。

【0140】

【数20】

$$[y] = \sum y_i, y = V, \beta = 0 \quad (20)$$

【0141】

【数21】

$$R(V, \lambda, \alpha) = \alpha(\lambda - {}^0\lambda) - (\sum V_i - \sum {}^0V_i) = 0 \quad (21)$$

【0142】

修正子計算は(10)式と(19)式（本実施例では(21)式）の連立方程式の負荷パラメータ λ を変更することで、有効電力および無効電力を変更しながら、その都度ニュートン・ラプソン法などで解くことによって、 $\lambda - \sum V_i$ 曲線を作成する。(10)(21)式に対して、他変数関数のテイラー級数展開式を用いて第一次近似まで採用すれば、幾何学的パラメータ値を事前設定することで、(22)式の修正方程式を得ることができる。(22)式の修正量 Δx および $\Delta \lambda$ を求め、求めた修正量を(23)式に適用し、 x と λ を更新し、ミスマッチがある閾値以下になるまで解を更新することで修正点を求める

10

20

30

40

50

。これが、ニュートン・ラブソン法による求解の方法である。

【0143】

【数22】

$$\begin{bmatrix} \Delta G \\ \Delta R \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} J & G_\lambda \\ \partial R / \partial x & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = -J_{Aug} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} \quad (22)$$

【0144】

【数23】

$$\begin{bmatrix} x^{(l+1)} \\ \lambda^{(l+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x^{(l)} \\ \lambda^{(l)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} \quad (23)$$

10

【0145】

ここで、(22)式において、 ΔG は(10)式の不マッチであり(12)(13)(14)式や(14)(15)(16)式で表される不マッチと同じ、 ΔR は(21)式で表される連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法における制約式の不マッチ、 J は(10)式を x の要素で偏微分したヤコビ行列、 J_{Aug} は(10)(21)式を x および λ の要素で偏微分した拡張ヤコビ行列、 Δx および $\Delta \lambda$ は電圧および負荷パラメータの修正量、 G_λ は(10)式を λ の要素で偏微分したヤコビ行列の拡張部、 $\partial R / \partial x$ は(21)式を x の要素で偏微分したヤコビ行列の拡張部、 α は(21)式を λ の要素で偏微分したヤコビ行列の拡張部、 $x^{(l+1)}$ および $\lambda^{(l+1)}$ は収束計算の $l+1$ ステップの計算値、 $x^{(l)}$ および $\lambda^{(l)}$ は収束計算の l ステップの計算値、である。右肩添え字(1)は収束計算のステップ数を表し、収束した場合には初期化される。 x の初期値としては全ての電圧の大きさを1、電圧位相をゼロとするフラットスタート値などを用いる。このように、ヤコビ行列を拡張することで電圧安定限界付近でも収束性が改善できる。

20

【0146】

また、前記ニュートン・ラブソン法は、極座標系で計算してもよいし、直交座標系で計算してもよい。また、前記ニュートン・ラブソン法による、連立方程式を解くにはLU分解などを用いるが、順序付け(オーダリング)によりフィルインを減少させてから計算してもよい。これにより、計算量を低減できる効果がある。前記ニュートン・ラブソン法の収束判定処理は、(10)(21)式で示す不マッチを求め、各不マッチの最大の大きさなどが予め設定する収束判定閾値 ε 以下の場合、収束と判定する。前記収束判定処理は、前記各不マッチの最大の大きさを用いるとしたが、各不マッチの総和などを用いてもよい。なお、収束判定に不マッチを用いず修正量を用いてもよいし、両方を用いてもよい。

30

【0147】

なお、前記連続型潮流計算法(以下、CPF(:Continuation Power Flow)と略す)を用いた場合には、「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」に示されるように、電圧ベクトルと負荷パラメータを疑似アークレンクスによって決まる変数として表し、(23)式、(24)式により求められる。図10aは、上記文献における電圧ベクトルと負荷パラメータを疑似アークレンクスとするCPF法の考え方を示す図である。ただし図10a、(24)式、(25)式において、 x は電圧ベクトル、 λ は負荷パラメータ、 s は疑似アークレンクス、である。

40

50

【0148】

【数24】

$$x = x(s) \quad (24)$$

【0149】

【数25】

$$\lambda = \lambda(s) \quad (25)$$

10

【0150】

ここで、(24)式および(25)式に以下の(26)式の条件を与え、(19)式の代わりに用いるものとする。ただし、 x は電圧ベクトル、 n はノード数、 i は変数の番号、 k はステップ数、 Δs は、疑似アークレングスの変化量、である。

【0151】

【数26】

$$\sum_{i=1}^n \left\{ \left({}^{(k+1)}x_i - {}^{(k)}x_i \right)^2 \right\} + \left({}^{(k+1)}\lambda_i - {}^{(k)}\lambda_i \right)^2 = \Delta s^2 \quad (26)$$

【0152】

20

(26)式は、超球面を表し、全変数の増加量の和が部分的に $P-V$ 曲線を線形近似した値と等しい制約を示す。この式の考慮によって、CPF法はヤコビ行列が特異となる条件を変化させている。以下、連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法を用いた説明に戻る。

【0153】

処理ステップS35では、処理ステップS31で求めた収束点に加えて、処理ステップS34で求めた収束点の数が N 点収束したかを判定し、まだの場合は処理ステップS36においてステップ数 k を $k = k + 1$ として処理ステップS33に戻り、 $\Delta \alpha$ を変化させ、 N 点収束した場合には、処理ステップS41に進む。なお、図5aでは、 $N = 3$ 点としている。

30

【0154】

処理ステップS41では、処理ステップS1で記憶した系統設備データD2と計算設定データD3と、処理ステップS2で求めた状態推定結果と、を用いて、電圧安定限界予測計算を行い、その結果を計算結果データベースDB4に記憶する。電圧安定限界予測計算によって、 $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線のノーズ端Mである λ および ΣV_i の値などを計算し記憶する。

【0155】

電圧安定限界予測計算の方法は、「Chiang. H. D. et al., "Look-Ahead Voltage and Load Margin Contingency Selection Functions for Large-Scale Power Systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 12, No. 1, pp. 173-180, 1997」に記載のLook-ahead法(以下、L-A法)や「横山明彦・熊野照久・関根泰次:「潮流多根解を利用した静的電圧安定度指標」、電気学会論文誌B(電力・エネルギー部門誌)、Vol. 110, No. 11, pp. 870-879, 1990」にて記載の現在の運転点とそれに対応する低め解電圧点(潮流多根解)を用いた静的電圧安定度指標の計算方法、を用いる。以下では、L-A法を用いた方法を説明する。

40

【0156】

ここで、図5a、図5b、図6の $\lambda - \Sigma V_i$ 平面において、初期潮流計算結果のN1点の座標($^{(1)}\lambda$, $\Sigma^{(1)}V_i$)と二点目の収束点N2の座標($^{(2)}\lambda$, $\Sigma^{(2)}V_i$)

50

i) と三点目の収束点 N 3 の座標 $(^{(3)}\lambda, \Sigma^{(3)} V_i)$ を用いる場合の L-A 法による、電圧安定限界予測計算について説明する。

【0157】

前記 3 点 N 1、N 2、N 3 を通る $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線は、次の (27) 式により近似できる。

【0158】

【数 27】

$$\lambda = a + b(\Sigma V_i) + c(\Sigma V_i)^2 \quad (27)$$

10

【0159】

ここで、点 N 1 の座標 $(^{(1)}\lambda, \Sigma^{(1)} V_i)$ と、点 N 2 の座標 $(^{(2)}\lambda, \Sigma^{(2)} V_i)$ と、点 N 3 の座標 $(^{(3)}\lambda, \Sigma^{(3)} V_i)$ を用いることにより次の (28) 式、(29) 式、(30) 式が得られる。

【0160】

【数 28】

$$^{(1)}\lambda = a + b(\Sigma^{(1)} V_i) + c(\Sigma^{(1)} V_i)^2 \quad (28)$$

【0161】

【数 29】

$$^{(2)}\lambda = a + b(\Sigma^{(2)} V_i) + c(\Sigma^{(2)} V_i)^2 \quad (29)$$

20

【0162】

【数 30】

$$^{(3)}\lambda = a + b(\Sigma^{(3)} V_i) + c(\Sigma^{(3)} V_i)^2 \quad (30)$$

【0163】

よって、(28) 式、(29) 式、(30) 式から、係数 a 、 b 、 c を求めることができる。

30

【0164】

また、前述の (27) 式を変形すると次の (31) 式が得られる。

【0165】

【数 31】

$$\lambda = c \left(\Sigma V_i + \frac{b}{2c} \right)^2 + a - \frac{b^2}{4c^2} \quad (31)$$

【0166】

さらに、図 5 a、図 5 b、図 6 における電圧安定限界である最大負荷点 M の $(\Sigma^{(1)} V_i = -b/2c)$ における、電圧安定限界 λ_{KMLP} は (32) 式で得られる。

40

【0167】

【数 32】

$$\lambda_{MLPtemp} = ^{(0)}\lambda + \Delta\lambda_{MLPtemp} = ^{(0)}\lambda + \frac{\Sigma^{(0)} V_i^+ - \Sigma^{(0)} V_i^-}{2 \left(\frac{d \Sigma^{(0)} V_i^-}{d\lambda} - \frac{d \Sigma^{(0)} V_i^+}{d\lambda} \right)} \quad (32)$$

【0168】

50

なお、 $\lambda - \Sigma V_i$ 平面において、初期潮流計算結果のN1点の座標 $(^{(1)}\lambda, \Sigma^{(1)}V_i)$ と二点目の収束点N2の座標 $(^{(2)}\lambda, \Sigma^{(2)}V_i)$ だけを用いる場合のL-A法による、電圧安定限界予測計算の場合は、N1点の座標 $(^{(1)}\lambda, \Sigma^{(1)}V_i)$ とN2点の座標 $(^{(2)}\lambda, \Sigma^{(2)}V_i)$ と二点目の時点の $\Sigma^{(2)}V_i$ の微分値 $\Sigma^{(2)}V_i$ ドットを用いることにより、(28)式と、(29)式と、(30)式の代わりに次の(33)式が得られ、係数a, b, cを求めることができる。その他の計算は、前記内容と同じである。

【0169】

【数33】

$$\lambda_{MLPtemp} = a - \frac{b^2}{4c^2} \quad (33)$$

10

【0170】

前記L-A法を用いてMLPtempを求めるイメージを図5aに示す。幾何学的パラメータ $(^k)\alpha$ の値が十分に小さく、 $\Delta\alpha$ 1ずつ増加させながら計算を実行する。なお、図11に運転点とMLPが近い場合や $\Delta\alpha$ 1が大きい場合について示す。この場合でも問題なくL-A法により電圧安定限界予測計算ができることがわかる。

【0171】

ここで、処理ステップS41にて、前記L-A法ではなく、前記静的電圧安定度指標の計算方法を用いた場合についても説明する。前記静的電圧安定度指標の計算方法を用いてMLPtempを求めるイメージを図5cに示す。ここで、N1+は初期潮流計算結果であり $(^0)\lambda$ における高め電圧運転点、N1-は「横山明彦・熊野照久・関根泰次：「潮流多根解を利用した静的電圧安定度指標」、電気学会論文誌B（電力・エネルギー部門誌）、Vol. 110、No. 11、pp. 870-879、1990」にて記載の $(^0)\lambda$ における低め電圧運転点のことである。N1-は前記文献に記載の方法や、「森啓之・山田創平：「ハウスホルダー変換法を用いたCPFLOW」、電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会、PE-01-128、PSE-01-122、2001」に記載のハウスホルダー変換による多根の求解、などによって求める。

20

【0172】

前記N1+およびN1-に対して、前記静的電圧安定度指標の計算方法を用いると、(34)式により、 $\lambda_{MLPtemp}$ を求めることができる。ここで、 $\Sigma^{(0)}V_i+$ は初期潮流計算の収束点N1+の電圧の大きさの総和、 $\Sigma^{(0)}V_i-$ はN1+と対に求まるN1-の低め電圧運転点における電圧の大きさの総和、 $d\Sigma^{(0)}V_i+/d\lambda$ は初期潮流計算の収束点N1+における λ に対する電圧の大きさの総和の感度、 $d\Sigma^{(0)}V_i-/d\lambda$ はN1+と対に求まるN1-の低め電圧運転点における λ に対する電圧の大きさの総和の感度、である。

30

【0173】

【数34】

$$1 = b(\sum^{(2)}\dot{V}_i) + 2c(\sum^{(2)}\dot{V}_i)(\sum^{(2)}V_i) \quad (34)$$

40

【0174】

このようにして、前記L-A法ではなく、前記静的電圧安定度指標の計算方法でも、電圧安定限界予測計算ができることがわかる。

【0175】

処理ステップS42では、N+1点目（図5bでは4点目）を求める際の $(^k)\alpha$ を次の(35)式で求める。ここで図5b、(35)式における β は電圧安定限界予測点とO点でなす幾何学的パラメータ値、rateはそこから何割手前の α から計算するかを表す割合パラメータ、である。例えば、rate=0.9とする。

【0176】

50

【数 3 5】

$$^{(k)}\alpha = \beta \times rate \quad (35)$$

【0 1 7 7】

なお、 β は次の (36) 式で求まり、図 5 b のように示される。

【0 1 7 8】

【数 3 6】

$$\beta = \frac{(\sum V_{i_MLPtemp} - \sum^{(0)} V_i)}{(\lambda_{MLPtemp})} \quad (36)$$

10

【0 1 7 9】

ここで、前記連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法ではなく、前記連続型潮流計算を用いた場合の処理ステップ S 4 2 の $^{(k)}\alpha$ の決定方法を補足する。N+1 点目 (図 5 b では 4 点目) を求める際の $^{(k)}\alpha$ を次の (37) 式で求める。ここで図 10 b、(37) 式における $\Delta s_{MLPtemp}$ は電圧安定限界予測点と直前の収束点までの超平面上の距離であり、収束点を中心とした前記距離を半径とする円の幾何学的パラメータ値、 $^{(k)}\Delta s$ は、前記 $\Delta s_{MLPtemp}$ に $rate$ をかけた幾何学的パラメータ値、 $rate$ は何割手前の Δs から計算するかを表す割合パラメータ、である。例えば、 $rate = 0.9$ とする。

20

【0 1 8 0】

【数 3 7】

$$^{(k)}\lambda < ^{(k-1)}\lambda \quad (37)$$

【0 1 8 1】

なお、 $\Delta s_{MLPtemp}$ の二乗は、次の (38) 式で求まり、図 10 b のように示される。これにより、収束点の計算回数を減らすことができるので、計算量を低減することが可能である。

【0 1 8 2】

30

【数 3 8】

$$^{(k+1)}\alpha = ^{(k)}\alpha - \Delta\alpha^2 \quad (38)$$

【0 1 8 3】

このように、本発明は修正子計算の方法を限定せずに収束点の計算回数を減らすことが可能である。

【0 1 8 4】

処理ステップ S 5 1 では、処理ステップ S 4 2 で計算した $^{(k)}\alpha$ を用いて、処理ステップ S 3 4 と同様の修正子計算を行う。

【0 1 8 5】

40

処理ステップ S 5 2 では、電圧安定限界 (MLP) が見つかったかを次の (39) 式を用いて判定する。

【0 1 8 6】

【数 3 9】

$$\Delta\lambda_{MLP} = (\lambda_{MLP} - ^{(0)}\lambda)^{(0)}\lambda \quad (39)$$

【0 1 8 7】

(39) 式が成り立たない場合には、まだ電圧安定限界 (MLP) が見つかっていないと判定し、処理ステップ S 5 3 においてステップ数 k を $k = k + 1$ として処理ステップ S 5 4 に進み、(36) 式が成り立つ場合には、電圧安定限界 (MLP) が見つかったと判

50

定し、処理ステップ S 6 に進む。

【0188】

処理ステップ S 5 4 では、処理ステップ S 3 3 と同様に、 $(k+1)$ α を (6) 式により決定する。ただし、 $\Delta \alpha 1$ の代わりに $\Delta \alpha 2$ を用いる。 $\Delta \alpha 1$ と $\Delta \alpha 2$ は同じであってもよいが、より最大負荷点 M を簡単に求めるために大きくしたり小さくしたり事前に設定できるようにする。(40) 式は、(6) 式において $\Delta \alpha 1$ の代わりに $\Delta \alpha 2$ を用いた式を表している。

【0189】

【数 40】

$$\Delta P_{MLP} = (P_{MLP} - {}^{(0)}P) / {}^{(0)}P \quad (40)$$

10

【0190】

なお、電圧安定度計算条件決定結果を用いて、連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法で電圧安定度曲線を計算した時に、電圧安定限界が求まらない場合には、予測子計算の刻み値を変更し、あるいは収束子計算の幾何学的パラメータの符号を逆に変更するなどの対応を行い、連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法を続けるのがよい。

【0191】

ここで、図 6 は処理ステップ S 5 1 から処理ステップ S 5 4 を繰り返した例を示している。一方、処理ステップ S 3 5 の代わりに処理ステップ S 5 2 の計算終了条件で、処理ステップ S 3 1 および処理ステップ S 3 2 と処理ステップ S 3 3 を繰り返した結果を図 8 に示す。

20

【0192】

図 6 および図 8 を比較すると、提案手法を適用した図 6 の方が、収束点が先端の最大負荷点 M 点に固まっており、精度を向上できる効果がある。なお、 $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線の形状や大きさにもよるが、収束点の数が提案手法を適用した方が、収束点が少なくなり、計算量増加を抑えることができる効果もある。

【0193】

また、処理ステップ S 5 4 の例外処理を備えるのがよい。図 6 と異なり、図 12 に示すように、電圧安定限界予測値よりも電圧安定限界の ΣV_i が高い場合には、ステップ S 5 2 でそのことを判定し、ステップ S 5 4 の $\Delta \alpha 2$ の符号を判定することで、図 12 に示すように、電圧安定限界 (MLP) の探索精度を向上できる効果がある。図 12 では、 $\Delta \alpha 2$ が反転するときに、 $\Delta \alpha 2$ の符号を逆転させたことを表している。

30

【0194】

図 3 に戻り、ここで、処理ステップ S 7 では、電圧安定度余裕計算を行い、および電圧安定度余裕計算結果を計算結果データベース DB 4 に記憶する。

【0195】

ここで処理ステップ S 7 の処理内容は、電圧安定度余裕計算部の処理に対応しており、想定する負荷や潮流の増加条件や電圧安定度余裕の監視対象母線や箇所が一つ以上である場合に、一定または可変の監視周期の間に、過酷な変化条件、前記ケースや前記監視対象母線や箇所、および、電圧安定度とその電圧安定度余裕の一つ以上を算出する。また電圧安定度余裕計算部で計算する電圧安定度余裕は、電圧安定度曲線計算結果において計算された曲線を用いて得られた運転点から限界点までの偏差である。

40

【0196】

ここで、図 6 で示す $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線 L から計算された $\Delta \lambda_{MLP} = (\lambda_{MLP} - {}^{(0)}\lambda) / {}^{(0)}\lambda$ や (41) 式の $\Delta \lambda_{MLP} = (\lambda_{MLP} - {}^{(0)}\lambda) / {}^{(0)}\lambda$ や、 $P - V$ 曲線から計算された $\Delta P_{MLP} = (P_{MLP} - {}^{(0)}P) / {}^{(0)}P$ や (42) 式の $\Delta P_{MLP} = (P_{MLP} - {}^{(0)}P) / {}^{(0)}P$ や、 $\Delta \Sigma V_{MLP}$ などが、電圧安定度余裕であってもよい。ここで、 λ_{MLP} は電圧安定限界 MLP (最大負荷点 M) における負荷倍率であり、 ${}^{(0)}\lambda$ は初期潮流計算結果の負荷倍率、 P_{MLP} は電圧安定限界における負荷有効電力 P や負荷

50

有効電力の総和 ΣP 、 $(^0)P$ は初期潮流計算結果の負荷有効電力 P や負荷有効電力の総和 ΣP 、 $\Delta \lambda_{MLP}$ や ΔP_{MLP} や $\Delta \Sigma V_{MLP}$ は電圧安定度余裕、である。

【0197】

【数41】

$$\Delta^{(k)} Qg_i = Qg_{i\max} - {}^{(k)}Qg_i \quad (41)$$

【0198】

【数42】

$${}^{(k)}\alpha' = \beta \times rate \times C \quad (42)$$

10

【0199】

ここで、図7に電圧安定度余裕の時系列波形を示す。このような電圧安定度余裕の時間変化を表示画面などに示すことで、運用者に電圧安定度がどんな時間帯で少なくなるかということを明確にする効果がある。

【0200】

また最終的に求めた電圧安定度余裕を外部出力する際に、再生可能エネルギー変化を考慮した場合には、故障ケース（故障箇所＋様相の組）毎に評価し出力することも考えられる。例えば、ある故障ケースの再生可能エネルギー変化のうち電圧余裕度が最小となる値でランキングし、あるいは平均値でランキングすることが考えられる。これにより、どの故障ケースが電圧不安定になりやすいかわかりやすいという効果があり、対策が検討しやすくなる。なお、過酷度閾値の種類によってランキング結果が異なる時には、評価で出す電圧安定度余裕の定義が異なる（ ΔV 、 ΔP など）。

20

【0201】

図9は、図4の変形実施例を示した図である。図9は、記号'を付した部分の処理が図4と相違している。具体的に述べると、図9に示す計算フローにおいて、ステップS33の $\Delta \alpha 1$ を大きくとり、処理ステップS34'ではL-A法を用いずに、刻みの大きな予測子の修正子計算1（連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法の大まかな計算だけ）を実施し、ステップS35'およびステップS41'においてMLPtempを予測決定した後に、ステップS42の計算をする。その後処理ステップS51'において、修正子計算2（ $\Delta \alpha 2$ の連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法による計算）で電圧安定限界を計算している。

30

【0202】

図19a、図19bは、図9による処理を説明するための図であり、図9の時、MLPtempは、図19aに示すようにステップS35'によりYesとなった $k-1$ の計算結果としてN3点とする。また、図19bに示すように、 $(^k)\alpha$ を求めることができる。これによりアルゴリズムを極力同一にして計算することができる。

【0203】

なお、想定故障などのランキング手法に上記説明の実施例1のいずれの手法を用いてもよい。これによって、ランキングの高速化を図れる効果がある。

40

【0204】

また、L-A法だけでまず電圧安定度余裕を計算した後に、余裕が少ない過酷なケースや余裕が求められなかったケースに絞って、実施例1の手法を適用して、電圧安定度余裕を計算してもよい。これにより、ランキングの高速化と過酷なケースに対する電圧安定度余裕算出精度向上を図れる効果がある。

【0205】

以上説明した本発明による図4の処理は、要するに「初期潮流計算により、電圧安定度曲線を示す座標上に初期潮流点を定め、座標の電圧軸または電力軸上における初期潮流点の位置を基準点とし、基準点を通り、幾何学的パラメータ値として傾き α の直線を決定し

50

、複数の傾き α の直線を用いて、電圧安定度曲線上の複数の潮流点を定め、複数の潮流点から、電圧安定度曲線を求め、電圧安定度曲線のピーク点における電圧、電力と、現時点における電圧、電力とから、電圧安定度の余裕値を定めたものである。さらにその際、電圧安定度曲線のピーク点近傍に向けて複数の傾き α の前記直線を設定し、ピーク点を再度求めたものである。

【0206】

なお上記説明において、電圧安定限界予測部31は、繰返し潮流計算法、繰返し最適潮流計算法、連続型潮流計算法（コンティニュエーション法）、連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法、潮流計算法や最適潮流計算や繰返し潮流計算法や繰返し最適潮流計算法や連続型潮流計算法や連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法の計算結果に基づく近似計算手法、直接計算法、のいずれかにより電圧安定限界を算出するものである。

10

【0207】

このうち連続型潮流計算法とは、数学の連続法と呼ばれる方法のことであり、電圧安定度曲線計算では、「連続型潮流計算法：CPF：CPF flow：Continuation Power Flow method」が一般的である。

【0208】

「連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法」における幾何学的パラメータとは、横軸の負荷倍率 λ と縦軸のノード i での電圧の総和 $\sum V_i$ からなる角度 α のことを言っている。また「連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法」は、PCPF：Geometric Parameterization Techniques for Continuation Power Flow と呼ばれるものの直訳である。

20

【0209】

「連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法、潮流計算法や最適潮流計算や繰返し潮流計算法や繰返し最適潮流計算法や連続型潮流計算法や連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法の計算結果に基づく近似計算手法」における近似計算手法とは、潮流計算法や最適潮流計算や繰返し潮流計算法や繰返し最適潮流計算法や連続型潮流計算法や連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法の計算結果を用いて、「Chiang, H. D. et al., "Look-Ahead Voltage and Load Margin Contingency Selection Functions for Large-Scale Power Systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 12, No. 1, pp. 173-180, 1997」に記載の先読み法（Look-Ahead法）や「横山明彦・熊野照久・関根泰次：「潮流多根解を利用した静的電圧安定度指標」、電気学会論文誌B（電力・エネルギー部門誌）、Vol. 110、No. 11、pp. 870-879、1990」にて記載の現在の運転点とそれに対応する低め解電圧点（潮流多根解）を用いた静的電圧安定度指標を、計算する手法のことである。

30

【0210】

「直接計算法」とは、「餘利野他：「制約切替点の逐次計算に基づく連続的潮流計算法」、電気学会論文誌B、Vol. 119、No. 2、1999」に記載の分岐点・最大負荷点をの直接計算法のことであり、PoC（Point of Collapse）法や内点法を用いて電圧安定限界であるサドルノード分岐や即時不安定点を求める方法である。

40

【実施例2】

【0211】

実施例2では、実施例1の図3、図4の処理フローにおける電圧安定限界予測計算処理ステップS3と、電圧安定度計算条件決定処理ステップS4と、電圧安定度曲線計算処理ステップS5を実行するに当たり、各種制約を考慮した場合について説明する。ここで、各種制約とは、発電機の無効電力出力制約や負荷の電圧特性制約や連系線の有効電力制約などの1つまたは複数の制約があげられるが、実施例2の説明では、このうち発電機の無

50

効電力制約の１つのみが制約条件となる場合を例にして説明する。

【０２１２】

図１５は、実施例２における電圧安定度監視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に対応している。図１５が図２と相違する点は、図２の電圧安定度監視装置１０に、補正データＤ６を記憶する補正データデータベースＤＢ６および制約データＤ７を記憶する制約データデータベースＤＢ７を追加した点である。なお、プログラムデータベースＤＢ５内のプログラムデータＤ５の内容も一部変更されることになるが、この点は以下の説明から明らかになるので格別の説明は割愛する。

【０２１３】

図１６は、実施例２における電圧安定限界予測から電圧安定度曲線計算までの処理を示すフローチャートであり、実施例１の図４に対応している。図１６が図４と相違する点は、図４のフローチャートに、処理ステップＳ４３と処理ステップＳ４４を追加した点である。

10

【０２１４】

以下、追加した処理ステップＳ４３と処理ステップＳ４４について詳細に説明するが、その前に実施例２で考慮した制約条件について図１７ａ、図１７ｂ、図１７ｃを用いてその概念と、対策すべき理由を説明しておく。

【０２１５】

図１７ａは、図５ａに対応する $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線を示す図であるが、図５ａでは何らの制約がない場合に電圧安定度曲線がＬのように描かれることを示している。これに対し図１

20

【０２１６】

図１７ｂは、想定される制約のうち、発電機の無効電力出力制約ＬＬ１が存在する場合の電圧安定度曲線Ｌと発電機の無効電力出力制約ＬＬ１の関係を表している。「餘利野他：「制約切替点の逐次計算に基づく連続的潮流計算法」、電気学会論文誌Ｂ、Ｖｏｌ．１１９、Ｎｏ．２、１９９９」、「片岡他：「発電機の無効電力出力制約を考慮した電力系統の電圧安定限界」、電気学会論文誌Ｂ、Ｖｏｌ．１２３、Ｎｏ．６、２００３」には、電圧安定度曲線Ｌと発電機の無効電力出力制約ＬＬ１の関係が詳細に記述されている。電圧安定度計算において、発電機の無効電力制約にかかると、これらの文献に記載されているように、図１７ｂに示すように、最大負荷点が制約なしの場合と比較して手前に推定さ

30

【０２１７】

処理ステップＳ４３と処理ステップＳ４４では、補正データＤ６と制約データＤ７を用いて、この点の対応を実施する。具体的にはまず、処理ステップＳ４３において、処理ステップＳ４２で決定した $^{(k)}\alpha$ の補正が必要かどうかを判断するための制御余裕度の計算を行う。

【０２１８】

処理ステップＳ４３では、(４３)式で各発電機の無効電力出力が制約値 $Q_{gi\max}$ に達するまでの制御余裕度 ΔQ_{gi} を算出する。なお、補正データＤ６でひもづけられる制御余裕度は、複数の発電機 ΔQ_{gi} の中の最大値であってもよいし、複数の発電機 ΔQ_{gi} それぞれに対して設定されてもよいし、複数の発電機 ΔQ_{gi} の総和であってもよい。

40

【０２１９】

【数４３】

$$\left({}^{(n)}\lambda, \sum {}^{(n)}V_i \right) = \left[\left({}^{(k-1)}\lambda + {}^{(k)}\lambda \right) / 2, \left(\sum {}^{(k-1)}V_i + \sum {}^{(k)}V_i \right) / 2 \right] \quad (43)$$

【０２２０】

処理ステップＳ４４では、この制御余裕度 ΔQ_{gi} と、制約ありのＭＬＰからの近さを考慮して $^{(k)}\alpha$ を補正する係数をあらかじめ保存した補正データＤ６を用いて、 $^{(k)}$

50

α を補正する。これにより、制約ありのMLPを超えるような $^{(k)}\alpha$ がステップS42で決定されていても補正できる。上記で算出した制御余裕度 ΔQ_{gi} と、補正データD6で選択された補正係数Cを用いて、 $^{(k)}\alpha'$ は(44)式で補正されて求めることができる。

【0221】

【数44】

$$^{(k)}\alpha = \left(\sum ^{(n)}V_i - \sum ^{(k)}V_i \right) / \left(^{(n)}\lambda - ^{(k)}\lambda \right) \quad (44)$$

【0222】

図16において、処理ステップS51以降は、実施例1と同様である。ここで、処理ステップS44の算出イメージを図17Cに示す。補正前を示す図5bの $^{(k)}\alpha$ と補正後を示す図17cの $^{(k)}\alpha'$ を比較して明らかなように、 $^{(k)}\alpha$ が $^{(k)}\alpha'$ と補正され、小さくなっていることがわかる。この補正により、制約ありMLPを考慮した計算が可能となり、収束性の向上や、計算時間の縮小が図れる効果がある。

【0223】

また、図には記載していないが、制約ありの場合の計算不可に備え、実施例1の制約なしの電圧安定度曲線計算を実施したり、各制約を緩和することで電圧安定度曲線を実施したりする、バックアップ計算機能を備えてもよい。このバックアップ計算機能により、計算した電圧安定度余裕計算結果は、精度が下がるが、運用者にとって計算結果がでないという最も避けたい状況を避ける効果がある。また、精度は悪いということを表示する機能をもってもよい。これにより、運用者が、精度が悪いということを確認し、マージンをもった判断が可能となる。

【実施例3】

【0224】

実施例3では、実施例1や実施例2において、複数の各計算条件で実施例1や実施例2の各計算を並列計算することで、運用者のニーズに合わせた電圧安定度監視を可能とする電圧安定度監視装置の例を説明する。なお、複数の各計算条件を並列計算せずに直列計算する場合も考えられるが、並列計算の例を示す。

【0225】

ここで各計算条件とは、電圧安定限界予測計算処理ステップS3、電圧安定度計算条件決定処理ステップS4、電圧安定度曲線計算処理ステップS5における計算パラメータや計算アルゴリズムや実施例2に示した前記各種制約、の1つまたは複数である。

【0226】

具体的に述べると、計算パラメータとは、例えば $^{(0)}\sigma$ や $\Delta\alpha_1$ の値、などである。計算アルゴリズムとは、実施例1に示した各電圧安定限界予測計算の方法や各電圧安定度曲線計算の方法、などのことである。

【0227】

これらの演算では、一方において長所を有する反面、演算実行上では短所となる点もある。例えば、L-A法を用いると高速だが精度が低くなる。潮流計算の繰り返し計算ならば、高速だが収束難のケースがある。連続型潮流計算のCPF法ならば、収束性高いが、計算速度が遅くなる。連続型潮流計算における幾何学的パラメータ化技法ならば最適な α の場合、高速かつ収束性が高くなる。OPFの繰り返し計算ならば、複数制約を考慮して目的関数を最適化することが可能であるが、計算量が多く、速度が遅くなる。

【0228】

また、実施例2に示した各種制約は、発電機の無効電力出力制約や負荷の電圧特性制約や連系線の有効電力制約などの1つまたは複数の制約があげられる。なお、上記負荷の電圧特性制約は、再エネ導入量や出力状態によって負荷特性は変化することになるので、幅を持って設定できるようにすることで、運用者は、再エネ導入量や出力状態に応じた評価も可能となる効果がある。

【0229】

電圧安定度監視業務を担当する運用者としては、計算精度や計算の高速性や収束性に対するニーズが異なる。そこで、以下を実施することで、これらのニーズに柔軟に対応可能となる。

【0230】

複数の各計算条件で並列計算すると、例えば、精度が悪いが高速に計算できる計算条件の結果の電圧安定度曲線や電圧安定度余裕などをはじめに表示することができる。次に、精度が良いが遅い計算結果が得られる度に、電圧安定度曲線や電圧安定度余裕などを更新する。このとき、現在表示されている電圧安定度曲線や電圧安定度余裕などの計算精度などを同時に表示することで、運用者が現在の電圧安定度を評価する際に、どれだけ信頼してよいか、どれだけそれに対してマージンをとればよいか考慮しやすくなるという効果がある。

10

【0231】

また、精度は良いが遅い計算結果が、計算完了するまであとどれだけかかるかという時間や、次の計測周期までの時間や、次の計測周期のはじめの計算完了までの時間、の1つ以上を表示してもよい。これにより、運用者が次の計測周期間で、どの計算条件の完了までまつか判断することが容易となる効果がある。

【0232】

また、上記複数の各計算条件の1つ以上を選択設定可能してもよい。これにより、運用者のカスタマイズ性を向上することができる。

20

【実施例4】

【0233】

実施例4では、電圧安定度曲線が $\lambda - P_a$ （電力系統全体の有効電力損失）曲線である場合の最大負荷点探索の考え方について、簡便に説明しておく。この場合に採用する設備や手順などは他の実施例で説明したものと基本的に同じであるが、図13に示す特性が最大負荷点を有するとはしながらも、 $\lambda - \Sigma V_i$ 曲線や $\lambda - \theta$ （電圧位相角）曲線などと相違する形状をしていることから補足的に説明したものである。

【0234】

図18aは、 $\lambda - P_a$ 曲線を示す座標平面であり、図18aにおいて、 $\lambda - P_a$ 曲線をLPとする。

30

【0235】

図4の処理ステップS31における電圧安定限界（図18aのM点）の予測計算では、例えば原点Oを起点とした初期潮流計算を行い、初期潮流計算結果点N1（ $(^0)\lambda$, $(^0)V_i$ ）を定める。次に図4の処理ステップS32からS34における修正子計算では、N2（ $(^1)\lambda$, $(^1)V_i$ ）、N3（ $(^2)\lambda$, $(^2)V_i$ ）を定め、さらに図4の処理ステップS41におけるL-A法などの計算により最大負荷点Mを仮決める。ここで求められた最大負荷点Mは、仮MLP点である。なお、図18aでは、原点Oを起点として仮MLP点を推定したが、これは、 P_a 軸上のD点を起点として行うことも可能である。

【0236】

40

図18bは、仮MLP点の近傍において詳細探索を行うために、傾き $^k\alpha$ を定めて順次実行したことを表しており、最大負荷点Mを超えてしまい、収束しなくなった状態をもって終了（最大負荷点決定）とする。具体的には、傾き $(^k)\alpha$ を $(^{k+1})\alpha$, $(^{k+2})\alpha$, $(^{k+3})\alpha$ のように順次傾きを変更して演算を実行した結果として、傾き $(^{k+1})\alpha$, $(^{k+2})\alpha$ では収束したが、傾き $(^{k+3})\alpha$ で初めて収束しなかったという場合には、傾き $(^{k+2})\alpha$ を用いてMLP点に決定する。

【0237】

なお、各実施例において適用可能であるが、代表として図4のS34やS51の修正子計算が収束しない場合に有効な変形代案のフローチャートについて図20に示す。図20は、図4のフローに処理ステップS60の収束判定を加えたうえで、処理ステップS5

50

5 から処理ステップ S 5 9 のフローを追加することで、さらに M L P の計算精度を向上させたものである。

【0 2 3 8】

図 4 との相違点を主体に説明を行う。まず処理ステップ S 5 5 では、M P ポイントを計算する。M P (M i d d l e P o i n t) ポイントは最後に収束 k 点とその一つ前に収束した k - 1 点の間を (4 5) 式を用いて計算する。

【0 2 3 9】

【数 4 5】

$$G(x, \lambda) = 0 \quad (45) \quad 10$$

【0 2 4 0】

これにより求めた M P 点を、O 点の代わりにすることで、処理ステップ S 5 6 にて傾き $^{(k)}\alpha$ を (4 6) 式を用いて再計算する。

【0 2 4 1】

【数 4 6】

$$R(V, \lambda, \alpha) = \alpha(\lambda - ^{(n)}\lambda) - \left(\sum V_i - \sum ^{(n)}V_i \right) = 0 \quad (46)$$

【0 2 4 2】

次に、処理ステップ S 5 7 にて、 $^{(k+1)}\alpha$ の傾きを求め、処理ステップ S 5 8 で (4 7) (4 8) 式を用いて修正子計算を行う、これを処理ステップ S 5 9 の判定と処理ステップ S 6 1 の k の増加で繰り返し計算することにより、M L P を求めることができる。

【0 2 4 3】

【数 4 7】

$$^{(k)}\Delta s = \Delta s_{MLPtemp} \times rate \quad (47) \quad 20$$

【0 2 4 4】

【数 4 8】

$$\Delta s_{MLPtemp}^2 = \sum_{i=1}^n \left\{ \left(^{MLPtemp}x_i - ^{(k)}x_i \right)^2 \right\} + \left(^{MLPtemp}\lambda_i - ^{(k)}\lambda_i \right)^2 \quad (48) \quad 30$$

【0 2 4 5】

以上、本発明の実施例 4 について説明したが、実施例 4 の手法は、各実施例 1, 2, 3 において、M L P が求めたのちに、さらに厳密に M L P を求めたいときにも、同様の考えで適用可能である。適用するかどうかについては、M L P と 1 点前または後に求めた点の λ や $\sum V_i$ の差を出して、予め設定した閾値より大きい場合には、計算が荒いと判断し、M P ポイントの計算に移行することで、無駄な計算を避けることができる。

【0 2 4 6】

上記説明の本発明において、電圧安定度余裕計算部で計算する電圧安定度余裕とは、電圧安定度曲線の計算結果において計算された曲線を用いて、定めた基準点や初期収束点や運転点から電圧安定限界点や最大負荷点やサドルノード分岐点や即時不安定点までの偏差または、偏差を定めた基準点や初期収束点や運転点に関する値で割った値のことであり、例えば、 $\Delta \lambda_{MLP} = (\lambda_{MLP} - ^{(0)}\lambda)$ や (4 1) 式の $\Delta \lambda_{MLP} = (\lambda_{MLP} - ^{(0)}\lambda) / ^{(0)}\lambda$ や、 $\Delta P_{MLP} = (P_{MLP} - ^{(0)}P)$ や (4 2) 式の $\Delta P_{MLP} = (P_{MLP} - ^{(0)}P) / ^{(0)}P$ や、 $\Delta \sum V_{MLP}$ を意味している。

【0 2 4 7】

また本発明において幾何学的パラメータ値とは、実施例の PCPF の場合には直線の傾き α であるが、CPF の場合にはアークレングス Δs のことになる。なお PCPF で直線の傾き α を幾

何学的パラメータとして記述したが、曲線の幾何学的パラメータとして $x=a(x-b)^2+c$ の a , b , c の係数を使ってもよい。また、CPFで円（：アークレンクス）の半径 Δs を幾何学的パラメータとした場合には、より多くの場合で収束点が得られることになる。

【0248】

また本発明において、電圧安定度曲線を表す座標上の定めた基準点を通る直線や曲線の幾何学的パラメータを順次変更して設定し、各幾何学的パラメータ時の電圧安定度曲線上の収束点を計算し、直線や曲線と電圧安定度曲線の交点となる収束点を求めるに際し、図面上では交点となるが、これを求めるには収束計算が必要となる。推定は計算の一部であるが、収束計算を実施する。実際の点と収束点を比較すると、収束点は推定点といえるが、明細書において推定の意味で使っているのはMLPtempの計算だけである。

10

【符号の説明】

【0249】

10：電圧安定度監視装置

11：表示部

12：入力部

13：通信部

14：CPU

15：メモリ

DB1：系統計測データベース

DB2：系統設備データベース

DB3：計算設定データベース

DB5：プログラムデータベース

DBI：入力データベース

DB4：計算結果データベース

31：電圧安定限界予測部

32：電圧安定度計算条件決定部

33：電圧安定度曲線計算部

34：電圧安定度余裕計算部

43：バス線

44：計測装置

D1：系統計測データ

100：電力系統

110：電源

120a、120b、121a、121b：母線

130a、130b：変圧器

140a、140b、141a、141b：線路

150：負荷

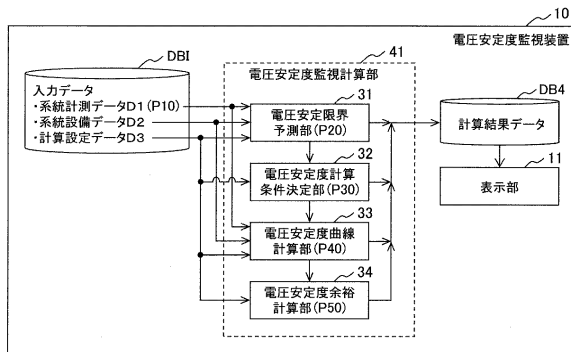
300：通信ネットワーク

20

30

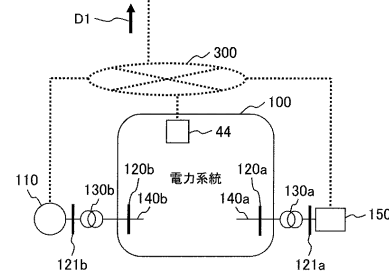
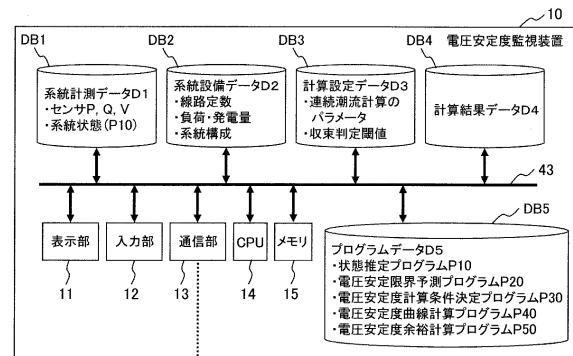
【図 1】

図 1



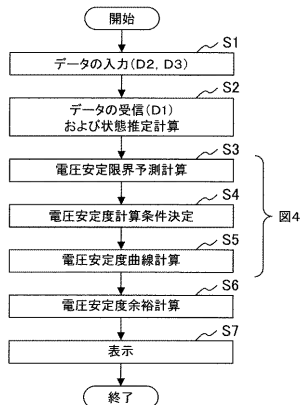
【図 2】

図 2



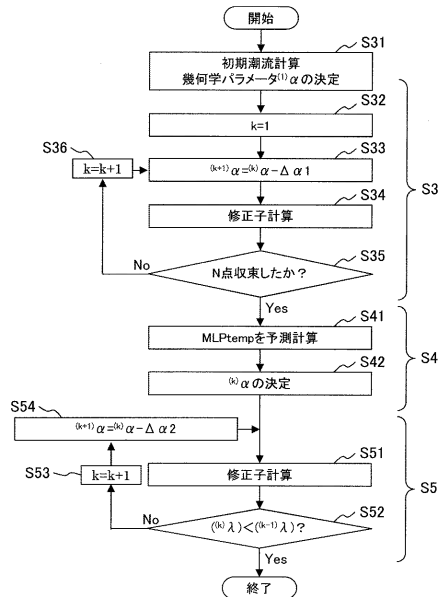
【図 3】

図 3

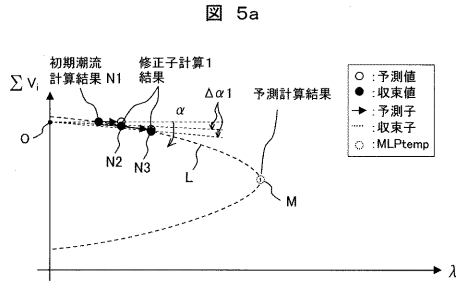


【図 4】

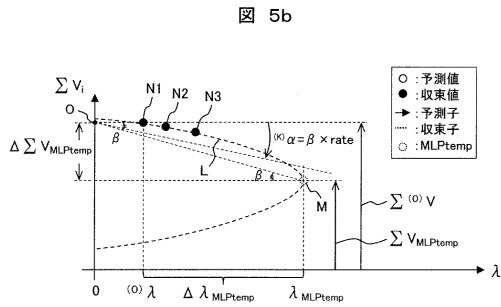
図 4



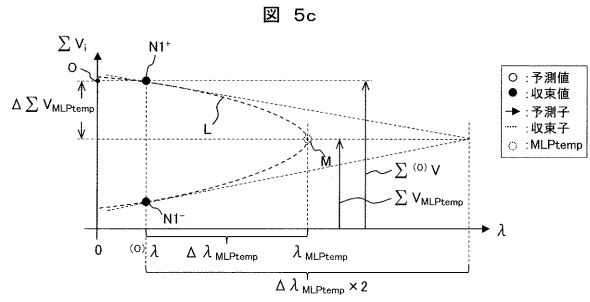
【図 5 a】



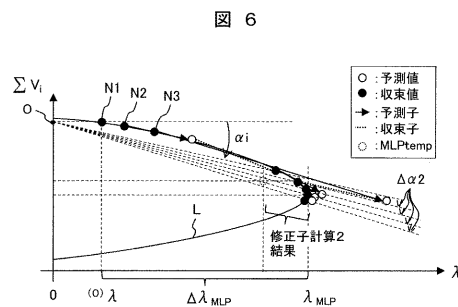
【図 5 b】



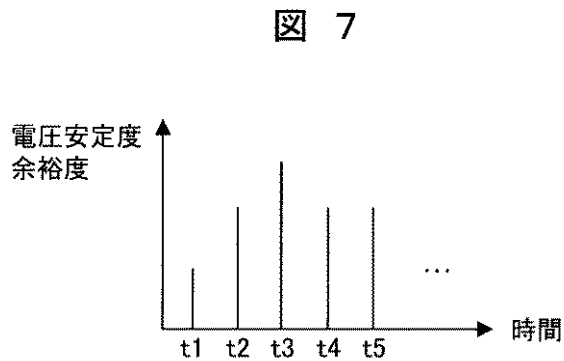
【図 5 c】



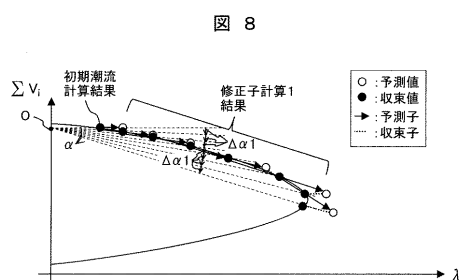
【図 6】



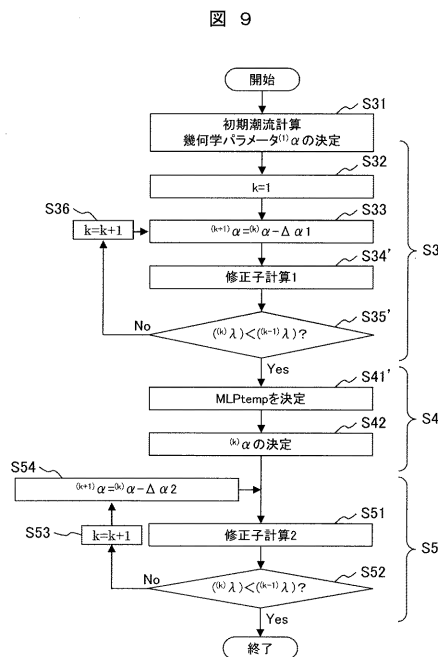
【図 7】



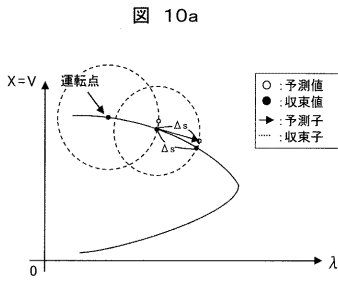
【図 8】



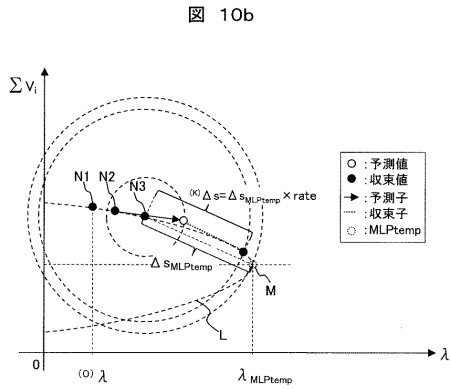
【図 9】



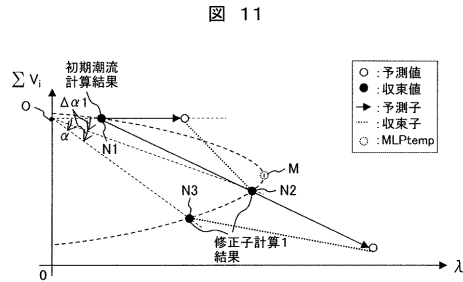
【図 10 a】



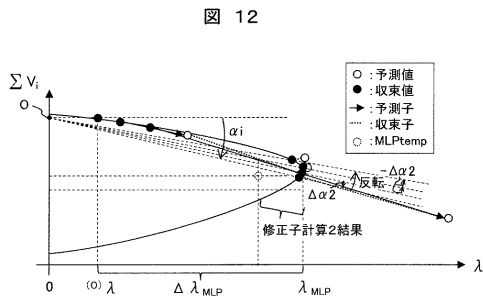
【図 10 b】



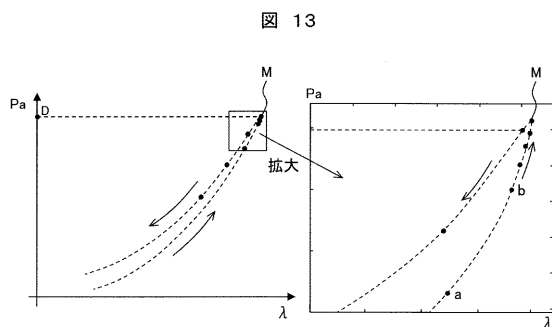
【図 11】



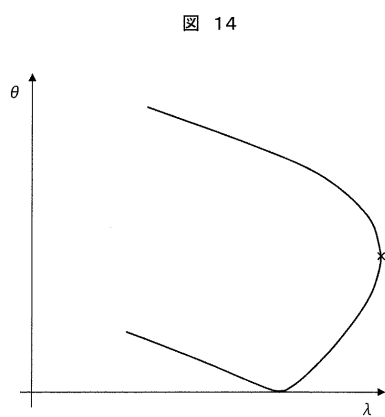
【図 12】



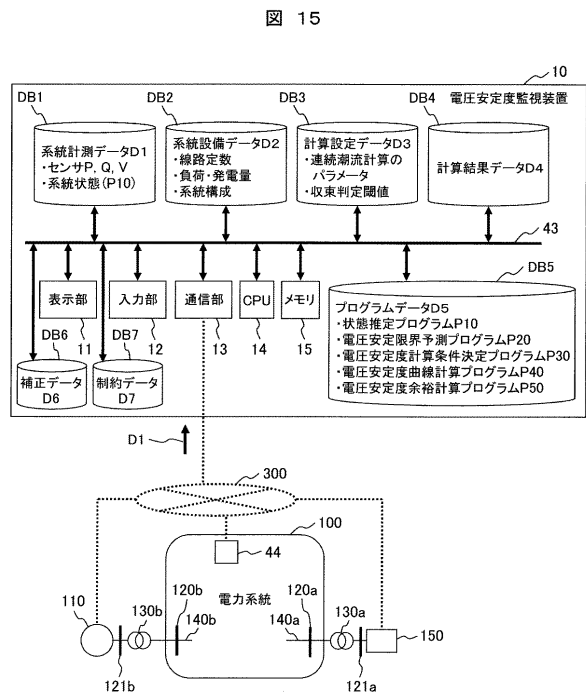
【図 13】



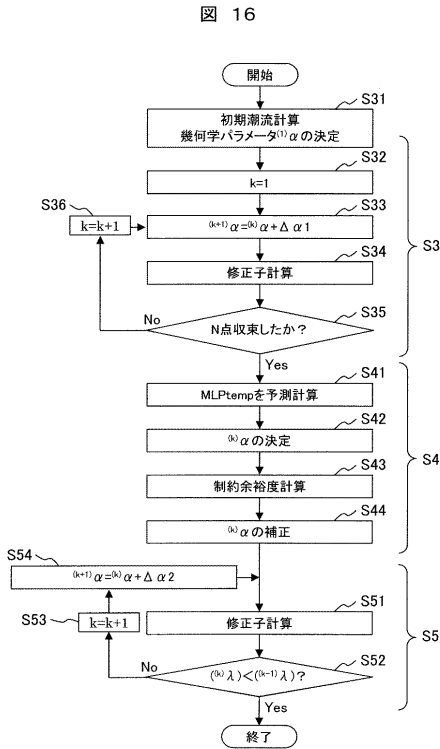
【図 14】



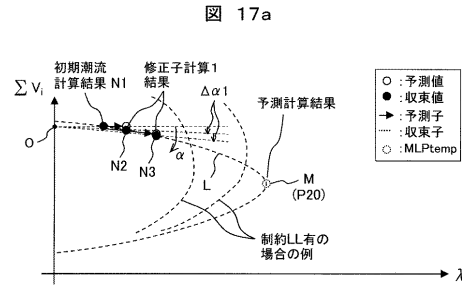
【図 15】



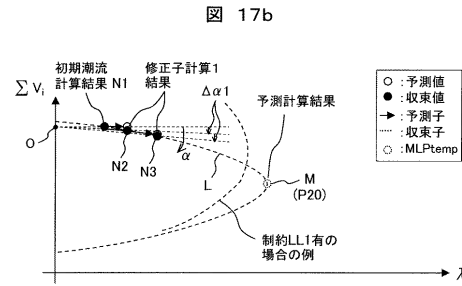
【図 16】



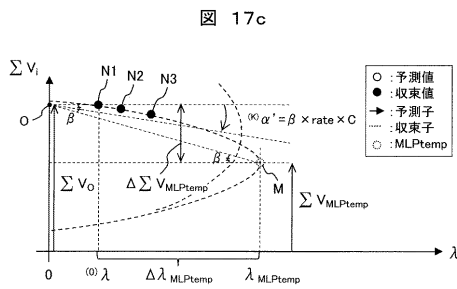
【図 17 a】



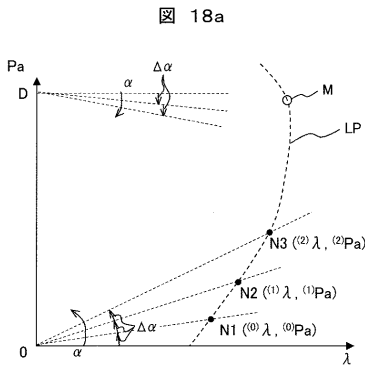
【図 17 b】



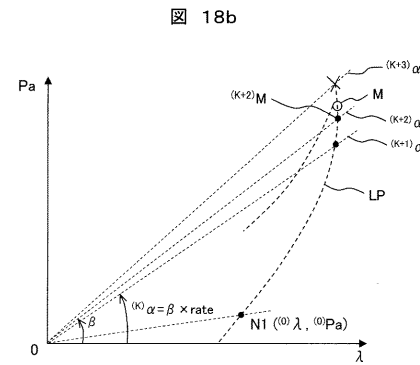
【図 17 c】



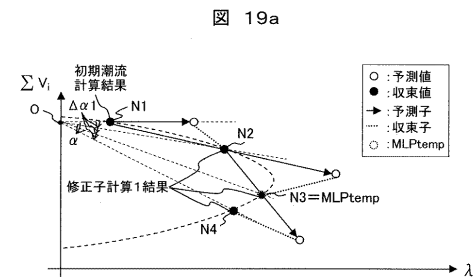
【図 18 a】



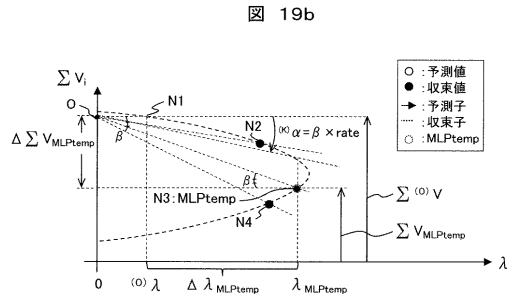
【図 18 b】



【図 19 a】

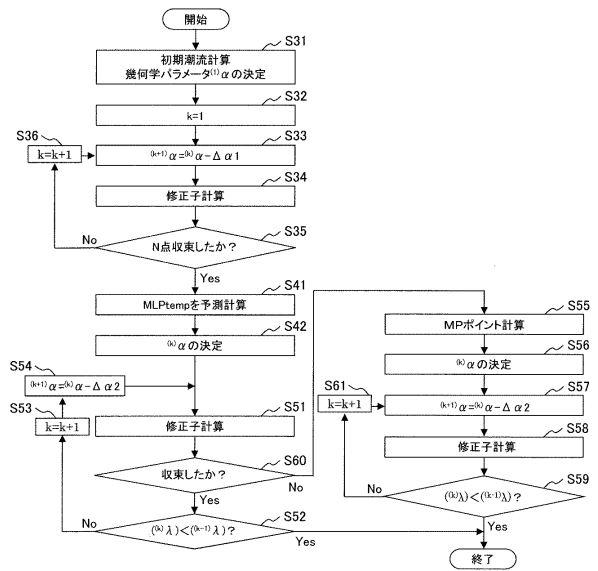


【図 19 b】



【図 20】

図 20



フロントページの続き

審査官 坂東 博司

(56)参考文献 国際公開第2015/163121 (WO, A1)

特開2015-211512 (JP, A)

特開2005-012930 (JP, A)

特開平06-113465 (JP, A)

特開2001-25168 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02J 3/00

H02J 3/24

H02J 13/00