電圧安定性オンライン監視システム

解説

正員 鈴木 守 (東京電力(株))

正員 岸田 幸雄 ((株)東芝)

1. まえがき

電力会社における需給制御の最大の目的は、良質な電力を安定に供給することであったが、近年、良質な電力を安定に供給することに加え、電圧の安定性を保ちながら運用することが求められている。

電圧安定性を確保して系統運用するためには、電圧を目標電圧に維持するとともに、常に将来の系統を予測して事前に対策をすることによって予防的に電圧安定性を確保しておく必要があると考え、電圧安定性オンライン監視システムを開発した。

本解説では、電圧安定性オンライン監視システムを開発した背景ならびにその必要性について述べ、システムを実現するための技術として、電圧安定性判定の手法と特長ならびに機能の概要を紹介する。更に、本システムを運用して筆者らが得た成果と課題について述べる。

2. オンライン監視の必要性

電圧安定性を確保しつつ系統運用を行うためには、現在の電圧安定性状況をいかに把握し、その把握した電圧安定度合いから、どのような対策を講じれば良いかを見出すことが大きな課題であった。

一般的には、図1に示すようなPV曲線(負荷端での電力と電圧の関係を表わす)が求まれば、現在需要(P_0)から現在の運用点における電力 P のマージン(ΔP)と電圧 V のマージン(ΔV)によって電圧安定性を判定することができる。

ところが、現状は、あらかじめ定められた運用計画を基本にして、当日の需要予測、電源・系統設備の状態から、その日の電源運用、系統構成、運用目標電圧を定めて、その目標電圧に維持するように、系統の各

図1 PV曲線

所に設けられた Tap や Sc, ShR などの電圧調整機器を制御してきた。

電圧安定性を確保して系統運用するためには、電圧を目標電圧に維持するとともに、常に将来の系統を予測して事前に対策をすることによって予防的に電圧安定性を確保しておく必要がある。そこで、電圧安定性のオンライン監視が必要になってきた。

運用者が日々の運用をするにあたって、予防的に対策するためには、電圧安定性オンライン監視システムに以下の二つの機能が求められた。

(1) 時々刻々変化する系統の電圧安定性確保

現在の系統における電圧安定性だけでなく、近い将来の系統状態を予測して、その時の電圧の余裕や調相設備の余力から電圧安定性を判定して、事前に対策できるように何を制御すればよいかを対策支援する機能。この機能は、比較的短時間で対策できる操作によって電圧安定性を向上させることを目的としている。本機能によって時々刻々変化する系統を安定に保つことができる。

(2) 1日の運用における系統の電圧安定性確保

1日の運用においては、その日最大需要時の系統状態を数時間前に予測して、その時点の電圧安定性を把握しておく必要がある。この機能は、長時間の準備あるいは予告が必要な対策を実施することによって電圧安定性を向上させることを目的としている。

On-Line Voltage Security Monitoring System. By Mamoru Suzuki, Member (Tokyo Electric Power Co.) & Yukio Kishida, Member (Toshiba Corporation)

キーワード：電圧安定性、PV曲線、電圧余裕、電圧調整機器

3. 電圧安定性判定の手法と特長

電圧の安定性を判定する手法としては、これまで様々な方法が提案されている⁽²⁾。そのなかでも代表的な四つの方式についてその特長を表1に示す。

電圧安定性を判定するための指標としては、その特長によって大きく二つに分類することができる。一つは、運転点が安定か否かを判定するもので dV/dQ 、 dV/dE の指標が該当する。ほかは、運転点が安定限界からどれだけ余裕があるかで判定するもので PV 、 $VIPI$ ⁽³⁾ の指標が該当する。

表 1 電圧安定性指標の比較表

	運転点が安定か否か		安定限界からの余裕	
	dV/dQ	dV/dE	PV	$VIPI$
概要	・母線に無効電力を単位量注入したときの各母線の電圧変化量を示す	・発電機の端子電圧を単位量上昇させたときの各母線の電圧変化量を示す	・各母線電圧の安定限界までの距離（電圧余裕）を示す	・潮流多根の近接度を潮流計算における二つの指定値ベクトルの角度で表現
運用者へのわかりやすさと指標の特徴	・安定/不安定は判定できるが、安定余裕の大きさはわからない	同 左	・指標として電圧を直接用いているのでわかりやすいと同時に、安定余裕の大きさもわかりやすい	・系統との物理的状態との関係がわかりづらい。 ・系統全体で一つの指標を用いているため母線ごとに判定できない
計算処理量	・潮流計算 ・ヤコビアン行列を用いたマトリクス計算 ・感度係数の計算が必要で計算量は PV 、 $VIPI$ に比べて少ない	同 左	・潮流計算の繰返しにより高め解、低め解を求めて PV 曲線を作成する。 ・計算量は潮流計算の繰返し回数に左右されるが dV/dQ 、 dV/dE より多い	・潮流計算の繰返しにより高め解、低め解を求めて指定値ベクトルを計算して $VIPI$ を求める ・計算量については PV と同様

表 2 電圧安定性状況

		調相設備余力		
		あ　　り	事故時不足	な　　し
電 圧 余 裕	あり	安定状態	緊急状態	非常状態 Ⅰ
	余裕小	要調整状態		
	不安定	非常状態 Ⅱ		

ところで、系統の電圧安定状態は、電圧余裕の大きさによって電圧安定性の度合いが分類でき、そのレベルによって対策が異なってくる。また、使用可能な調相設備量と事故が発生したときにも電圧安定性を回復するために必要な調相設備量の差分の大きさによって調相設備余力の度合いが分類できる。このレベルによっても対策が異なってくる。

従って、電圧余裕のレベルと調相設備余力のレベルの組み合わせで系統の電圧安定状態が決まる。本システムでは、表2のように系統状態を五つの状態に分類した。

安定状態は、電圧余裕、調相設備余力ともに十分にあり、単一事故時にも安定なケースである。一方、非常状態IIは、系統が既に不安定状態にある場合であり、最も緊急な制御を行うべき状態である。これらの各状態において適切な対策をとることを考えた。

電圧安定性の度合いによって対策の内容が異なることから、本システムでは安定/不安定の判定だけでなく、運転点が安定限界からどれだけ余裕があるかで判定する方式が必要になってくる。従って、安定限界からの余裕がわかる指標が必要になる。また、電圧安定性の度合いは運転員に通知する必要があることから、指標としては物理的にわかりやすい必要がある。その意味では、 PV の指標が $VIPI$ の指標に比べて優れていると考えられる。以上の比較検討の結果、電圧安定性を判定する指標としては PV の指標を用いることとした。

4. オンライン監視技術の開発

本システムの全体機能の概要を図2に示す。

本システムは、東京電力中央給電指令所に設置された「TOSBAC」G 8050 に組み込まれており、電圧安定性の判定結果は系統給電指令所にも伝送されている。

4.1 オンライン定周期監視機能

時々刻々と変動する電力系統の現在と先々の予測した時点の状態における電圧安定性を監視し、電圧セキュリティを確保するものである。

電圧安定性を判定するために、本システムでは1分周期でオンラインデータを基に PV 曲線を作成して、 PV 曲線の先端の安定限界点の電圧と現在系統における電圧を比較して電圧余裕を算出している。また同時に、10分先の系統状態を予測して、そのときの PV 曲線を求めて、安定限界点の電圧と予測系統における電圧を比較して電圧余裕を算出している。この電圧余裕の大きさによって電圧安定性の度合いを

図 2 システム機能の全体処理の流れ

決めている。

求められた電圧安定性の度合い，ならびに使用可能な調相設備量の度合いによって，表 2 のフェーズに分類して，該当する状態における電圧安定性向上のための対策とその効果量を計算して運用者に表示している。

本機能の監視周期は，急激な系統状態の変化のときにも電圧安定度の度合いを連続的に把握できる間隔であること，そして監視に要する諸々の計算に要する演算時間の長さから判断して 1 分とした。

また，本機能は，近い将来の需要と電圧の変化，電圧調整機器の応動を予測し，将来の系統において，線路開放などの事故が発生しても安定運用が可能ないように事前に安定化対策を準備する，いわゆる予防制御の機能ももっている。ここで，予測する時間は，需要の変化や電圧調整機器の応動が実用上十分な精度で予測できる時間幅と，予測される不安定状態に対する諸々の安定化対策が間に合う時間が必要になることから，10 分先を予測することとした。

開発にあたっては，1 分周期で処理を実行するために，潮流計算の高速化のための種々の工夫，低め解を確実に求める手法，将来の予測のための種々の工夫（需要予測，VQC 応動など）を実施した。

4.2 ピーク負荷時の安定度判定機能

電圧安定性が厳しくなるピーク負荷時の系統状態において，想定される線路開放や発電機停止などが発生

図 3 想定事故計算時の PV 曲線

しても，電圧安定性が維持できるか否か判定し，不安定と予測される場合には，必要な安定化対策を準備することが必要である。安定化対策には，予定していた系統構成の変更や線路開放を中止するなど長時間の準備あるいは予告が必要になるものがあり，午前中早期の時間に判断して緊急避難的な行動を指示する必要がある。

また，ピーク負荷時の系統状態において，想定事故が発生した場合に電圧安定性が確保できるか計算できる。想定事故は，15 ケース登録でき，そのうち 5 ケースを選択して計算している。事故が発生した後，対策した補正系統で電圧が回復できるかも計算している。この計算で，事故が発生したときにも電圧安定性を回復するために必要な調相設備量が決定される。

図 3 の C_1 が予測したピーク時の PV 曲線を示し，

表 3 系統規模一覧表

ノード数	704	負荷数	84
ブランチ数	741	変圧器台数	228
発電機台数	109	VQC 装置台数	81

表 4 計算機能別実行時間(定周期監視)

計算機能	時間(s)	潮流計算回数
系統モデル作成	1.39	—
状態推定	6.22	—
現在系統 PV 曲線算出	12.1	11
将来系統 PV 曲線算出	16.9	15
負荷遮断量算出	3.39	3
調相発電効果量算出	3.84	4
負荷遮断効果量算出	7.96	10
負荷増加時電圧低下量	7.12	10
合 計	36.3	35

表 5 計算機能別実行時間(ピーク時監視)

計算機能	時間(s)	潮流計算回数
系統モデル作成	1.40	—
平常系統状態予測	0.90	1
平常系統 PV 曲線算出	14.1	13
事故系統状態予測	6.90	5
事故系統 PV 曲線算出	50.3	48
VQ 補正系統 PV 曲線算出	46.2	44
合 計	63.8	111

C_2 が想定事故後の系統における PV 曲線を示し、 C_3 が補正系統における PV 曲線を示す。

5. 成果と課題

本システムは、東京電力の 66 kV～500 kV の範囲の基幹系統を対象にしている。扱える系統規模を表 3 に示す。この系統において定周期電圧安定性監視の 1 回あたりの計算時間は、表 4 に示すとおり約 36 秒である。

ピーク時電圧安定性監視の 1 回あたりの計算時間を表 5 に示す。この計算には、5 ケースの想定事故計算も含まれており、70 秒弱ですべての計算を行っている。

実現したシステムの CRT 表示例を図 4 と図 5 に示す。図 4 は、前回計算時、現在時点および 10 分先の計 3 本の PV 曲線に加えて、P 余裕と V 余裕を同時に表示する画面の例である。図 5 は、ピーク時の PV 曲線と想定事故を 5 ケース実施したときの PV 曲線を表示した画面例である。ほかにも、各種の制御量算出結果を表示する画面が用意されており、電圧安定性状況に応じた適切な画面が、システムにより自動的に選択表示される手段を備えている。

本システムは既に運用に入っており、日々の運用によって本システムの有効性についてめぼしをつけている。更に、本システムを充実させるためには、負荷の予測、特に負荷の無効電力の予測の精度を向上させることが今後の課題と考えられる。これについては、定

図 4 PV カーブの CRT 画面例

図 5 想定事故計算時の PV 曲線 CRT 画面例

式化することができないため、現在負荷解析を実施することにより負荷の特性を把握している。

6. まとめ

電圧安定性オンライン監視システムの必要性、機能の概要、成果について解説した。本システムは、電圧安定性を確保しつつ目標電圧に保つ制御を支援するために開発され、1990年2月から実際の運用に使用されており、日々の運用によって本システムの有効性についてめぼしをつけている。しかし、負荷の予測、特に負荷の無効電力の予測などは、理論的に数式化することができないため、実用化するにあたって過去のデータから簡易的に推測しているにすぎない。本システムの精度を向上させるためには、負荷の予測をいかに精度良く求めるかが課題となる。現在、負荷の特性分析を実施しており、これによって負荷の特性が把握できれば、電圧安定性の精度は更に向上すると思われる

(平成3年1月24日受付)

文 献

- (1) 関根, 他: 「電力系統の電圧安定度に関する基礎検討」 電気学会電力技術研究会資料 PE-88-115 (昭63)
- (2) 坂本, 他: 「電力系統の電圧安定性問題に対する問題母線の同定と同定指標」 同上 PE-88-122 (昭63)
- (3) 田村: 「電圧不安定現象について」 昭63電気学会全大 No. 979

鈴木 守 (正 員)

昭和24年5月12日生。49年慶応義塾大学工学部計測工学科修士課程終了。同年東京電力(株)入社、現在同社系統運用部制御技術課課長。

主に系統保護リレー、電力系統監視制御システムの開発に従事。

岸田 幸雄 (正 員)

昭和20年8月22日生。46年室蘭工業大学工学部電気工学科修士課程終了。同年(株)東芝入社、現在電力系統技術部系統技術第一グループ

主査。主に電力系統監視制御システムの立案・開発に従事。