

リアルタイム形過渡安定度維持システム

Transient Stability Control System Based on Real-Time Calculation

松沢 邦夫
K. Matsuzawa

竹内 純
A. Takeuchi

中村 正
T. Nakamura

西谷 泰周
Y. Nishitani

電力系統の大規模化に伴い、電源と負荷の偏在による長距離重潮流送電はますます増えつつある。このような長距離送電線で重大な系統事故が発生すると、発電機群が一群となって加速脱調する過渡安定度の問題が発生する。この問題を解決するため、発電所近傍のローカルな電圧・電流情報をオンラインに計測し、系統事故時の安定度を発電機の位相角動揺としてリアルタイムに把握して、将来の発電機脱調を予測し最適量の発電機遮断を行う安定化方式を適用してきた。

ここでは、東京電力㈱で大電源系統に適用したリアルタイム形過渡安定度維持システムの安定化方式と構成、および実系統での応動実績について紹介する。

Power systems have grown larger in scale and the number of long and heavily loaded transmission lines has increased. When a severe fault occurs in a transmission line, the generators accelerate and simultaneously go out of step. Toshiba has developed a stabilizing control system that measures voltage and current, calculates the change of phase angles of the generators, predicts any loss of synchronism, and decides the minimum amount of shedding required to stabilize the system.

This paper presents a stabilizing control system that was applied to the power system of The Tokyo Electric Power Co., Inc. and operated successfully when a severe fault occurred.

1 まえがき

電力系統の大容量・複雑化とともに、系統の安定度は系統運用のうえで、ますます重要な問題となってきている。特に、重負荷地帯から遠方に大容量発電機群が設置され、長距離重潮流送電を行っている場合は、重潮流送電線で重故障が発生すると、発電機群が一群となって主系統から加速脱調していく。このような過渡安定度の問題は、単に大電源が脱落するだけでなく、残された系統にも動搖が波及する可能性があり、系統運用の面からも重要な課題である。

この対策として、主系統と発電機群系統が連系する重潮流送電線事故時に、高速に最適量の発電機遮断を実施し、大電源系統の脱調を未然に防止するリアルタイム形過渡安定度維持システムを適用した。

ここでは、このシステムの安定化方式と構成、および1992年に過酷な送電線事故で安定化システムが動作し、系統の安定化に成功した結果について紹介する。

2 安定化方式

図1に示すように系統を簡易モデル化する。ここで、Gは対象の発電機群を等価一機で表したもの、Gsは主系統側の多

数の発電機群を等価一機で表したものである。図1の簡易モデルを用いて以下の演算を行う。

事故が発生する前の定常状態で、式(1)を用いて V_R , I_R , jX_G , jX_s から G と Gs の内部電圧を計算し、G と Gs の初期相対位相角差 (δ_{GS0}) を求めておく。

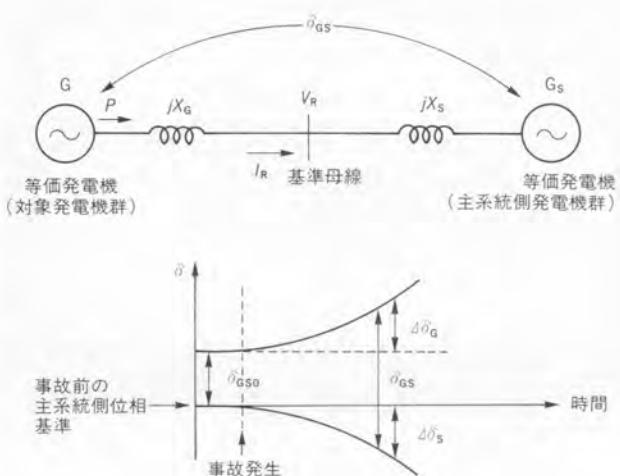


図1. 系統の簡易モデル 対象発電機群と主系統側発電機群をそれぞれ等価発電機として構成する。

Simplified power system model

$$\left. \begin{array}{l} G の内部電圧 = V_R + jX_G \cdot I_R \\ G_s の内部電圧 = V_R - jX_S \cdot I_R \end{array} \right\} \quad (1)$$

事故発生後は事故発生前からの位相角増加量を次のようにして計算する。まず、各発電機の出力総和（有効電力 P ）と式(2)の電力動搖方程式を用いて、事故発生後の発電機群の角速度増加量 ($\Delta \omega_G$) および位相角増加量 ($\Delta \delta_G$) を計算する。

$$\left. \begin{array}{l} \Delta \delta_G = \int \Delta \omega_G dt \\ \Delta \omega_G = \int (P - P_0) / M dt \end{array} \right\} \quad (2)$$

P_0 ：事故前の P （機械入力相当）

M ：発電機の慣性定数総和

一方、式(1)を用いて事故除去後の V_R , I_R および jX_S から事故除去後の G_s の内部電圧を計算することにより、事故除去後の主系統側の位相角増加量 ($\Delta \delta_s$) を求める。結局、事故発生後の発電機群と主系統との相対位相角差 (δ_{GS}) は $\delta_{GS} = \delta_{GS0} + \Delta \delta_G - \Delta \delta_s$ として求められる。

さらに $\Delta \omega_G$, $\Delta \delta_G$ および $\Delta \delta_s$ の時間的な2次式外挿により、240 ms, 260 ms 先の発電機群と主系統との相対位相角差

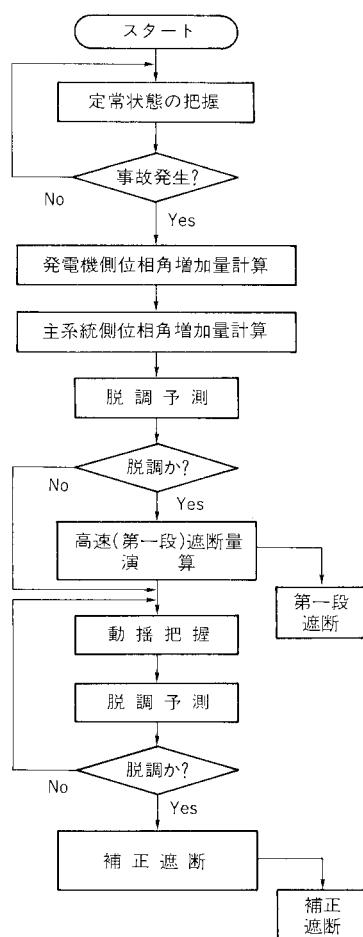


図2. 安定化演算の流れ 定常状態からの位相角増加量を求ることにより、脱調予測時、最適な発電機遮断量を演算する。

Flowchart of stabilizing procedure

(δ_{GS}) を予測する。この位相角予測値が発散傾向で、かつあらかじめ系統シミュレーションで求められた脱調判定しきい値を超える場合、発電機脱調と予測する。発電機脱調予測時は、位相角予測値が脱調判定しきい値以下となるように発電機遮断量を决定し、系統の安定化を図る。

全体の安定化演算の流れを図2に示す。

3 システムの特長

このシステムの主な特長は次のとおりである。

- (1) 送電線重大事故時に、主系統に対して発電機群が一群となって加速脱調するような系統に汎(はん)用的に適用できる。
- (2) 対象発電機群の近傍で計測された情報（ローカル情報）だけでシステムを構築できる。
- (3) 事故種別や事故情報（リレー動作情報や遮断器情報など）を導入する必要がなく、対象事故モードを限定しない。
- (4) 事故発生前、事故中、事故除去後の電圧・電流情報をオンラインに計測し、発電機の位相角動搖をリアルタイムに把握することにより、事故の厳しさ（事故中、事故除去後の様相）が反映できる。
- (5) 短時間先の位相角動搖を予測することにより、将来の発電機の脱調を予測し、系統安定化に必要な最適な発電機遮断量を決定できる。

4 システム構成

このシステムは東京電力(株)の大電源系統に適用された。図3に対象系統と全体システム構成を示す。対象系統は大容量A発電所と中容量B発電所がC変電所を介して長距離送電線で主系統と接続されている。A発電所、B発電所、C変電所にはおのおの端末装置が設置され、伝送速度54 Kbpsのサンプ

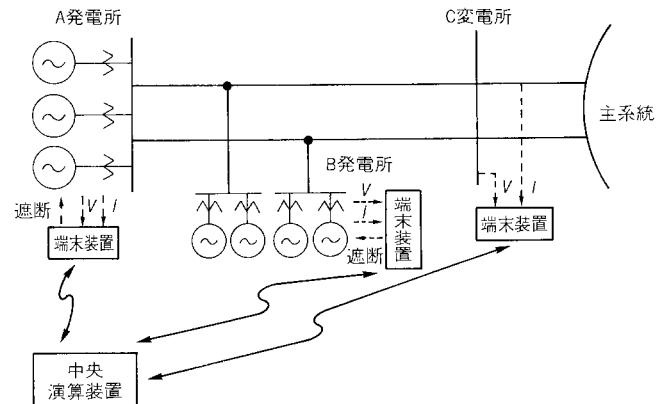


図3. 全体システムの構成 対象系統の各電気所に設置された端末装置が中央演算装置と伝送系で接続される。

Configuration of stabilizing control system

リング同期のとれたマイクロ伝送系を介して、A発電所に設置された中央演算装置と結合されている。

A発電所およびB発電所の端末装置は、各発電機の電圧、電流を600Hzでサンプリングして、発電機出力(有効電力)と運転状態を計測し、中央演算装置に伝送するとともに、中央演算装置からの発電機遮断指令と自装置内のフェールセーフリレー(電力変化幅リレー)とのアンド条件で発電機ごとに遮断を実施する。また、C変電所の端末装置は主系統と連系する送電線の電圧および電流を600Hzでサンプリングし、瞬時値データを中央演算装置に伝送する。

中央演算装置ではA発電所、B発電所から伝送されてきた事故発生前、事故中、事故除去後の発電機の出力総和と運転状態から、発電機群の位相角($\Delta\delta_G$)を演算する。また、C変電所から伝送されてきた主系統連系点の電圧・電流から事故除去後の主系統の位相角($\Delta\delta_S$)を演算する。これらの位相角を用いて、短時間先の位相角値を予測、系統の安定化に必要な最適発電機遮断量を演算し、A発電所、B発電所の端末装置に必要な発電機遮断指令を送出する。

システムは伝送系を含めて2系列化されており、常用/待機運用により、動作信頼度の向上を図っている。また、制御は主保護事故(70ms)の場合、系統事故発生から発電機遮断まで250msの高速で完了する。

5 実系統での応動実績

このシステムは1992年の過酷な実事故で正応動し、系統の安定化が図れた。以下にその内容を紹介する。

5.1 系統事故とシステムの応動

- (1) 発電機運用状態 A発電所3台(1,090MW, 1,068MW, 1,070MW), B発電所1台(148MW)運転(図4)。
- (2) 事故発生日時 1992年5月27日 14:28
- (3) 事故点 図4に示す。
- (4) 事故様相 2回線にまたがる多重事故
(1号機a・b相2線地絡、2号機a相1線地絡)

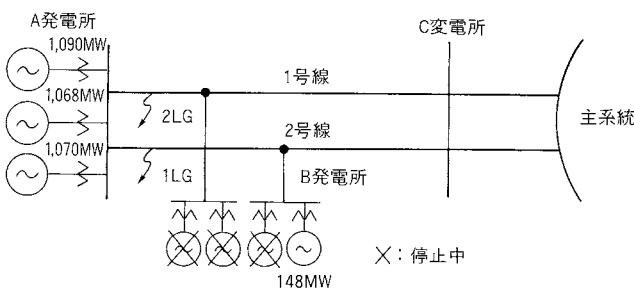


図4. 1992年5月27日の系統状態と事故様相 安定化システムが動作したときの潮流と送電線事故の様相を示している。

Simplified configuration of power system on May 27, 1992

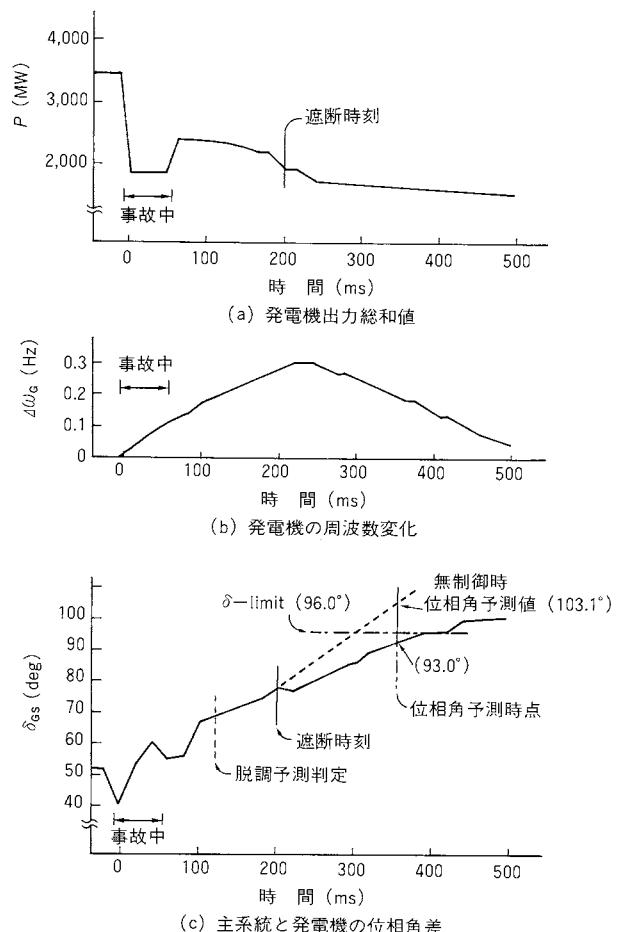


図5. 安定化システム動作時の計測および演算結果 安定化システムが入力データにより演算した発電機群と主系統の位相角差を示し、発電機遮断により安定化している。

Measuring and calculation results of stabilizing control system

事故継続時間は57ms

- (5) システムの応動 事故発生後、約200msで発電機遮断を実施：A発電所1台(1,068MW), B発電所1台(148MW)

5.2 系統の安定化

系統事故時の発電機群出力総和、発電機群の周波数偏差、発電機群と主系統との相対位相角差を図5に示す。

- (1) 発電機群の角速度増加量($\Delta\omega_G$)は、事故発生後220msまで増大し、最大0.30Hzに達し、その後減少して事故発生後580ms時点での定格を下回った。
- (2) 発電機群の位相角増加量($\Delta\delta_G$)は、事故発生後560ms時点での34.3度になり、その後小さくなかった。
- (3) 発電機群と主系統との相対位相角差(δ_{GS})は事故発生後620msで102度に増大し、その後小さくなかった。
これらは残された発電機群が安定になったことを示している。

5.3 脱調予測結果

- (1) 事故発生後123ms時点での予測した240ms先、260ms

先の位相角差は、103.1度と106.4度であった。これらの値はあらかじめオフラインシミュレーションで求められた脱調判定のしきい値 δ -limit (96.0度) を超えていたため、無制御では発電機群は脱調すると判断した(図5)。

(2) B発電所1台とA発電所3台中1台の発電機遮断により、予測時点の位相角差が94.0度に回復し、 δ -limit以下となるため、制御により系統安定化ができると判断した。

(3) 発電機遮断後の予測時点における位相角実測値は93.0度となった。これは予測した位相角値94.0度とはほぼ一致しており、安定化システムの予測の正しさを示している。

5.4 シミュレーション結果

図6のシミュレーション結果は、安定化システムが発電機遮断を実施しなかった場合、A発電所の3台の発電機とB発電所の1台の発電機が一群となり主系統に対し、加速脱調することを示している。

シミュレーション結果からも、この安定化システムの動作により、系統の安定度が維持されたことがわかる。

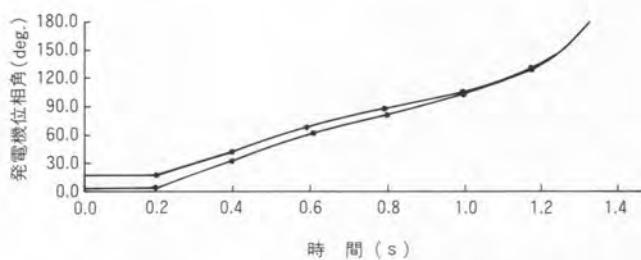


図6. 安定化システム不動作と仮定した場合のシミュレーション 安定化システムが動作しなければ、運転中の全発電機(4台)が一群となり加速脱調したであろうことを示している。

Simulation result assuming that no generator shed by stabilizing control system

6 あとがき

長距離重潮流送電線に重大な系統事故が発生したとき、発

電機群が一群となって主系統に対して加速脱調する過渡安定度対策として、リアルタイムに脱調を予測し、高速な最適発電機遮断で系統の安定化を図るシステムを紹介した。

このシステムは、1992年に発生した2回線同名相にまたがる安定度的に非常に厳しい送電線事故に対しても、的確に脱調予測と最適発電機遮断を行い、系統の安定化を行うことができた。この系統安定化システムの貴重な応動実績をふまえて、今後とも系統安定化システムの適用拡大と技術開発を進めていく所存である。

文 献

- (1) 大浦好文, 他: 系統安定化装置の開発と実用化, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 36 (1991)
- (2) 大浦好文, 他: 電源系統の事故波及防止システムの方式と構成, 電気学会論文誌B, 112, 7, pp.593-601 (1992)
- (3) 大浦好文, 他: 脱調予測型系統安定化装置の動作実績報告, 電気学会全国大会, 1514 (1993)
- (4) K. Matsuzawa, et al: Stabilizing Control System Preventing Loss of Synchronism from Extension and Its Actual Operating Experience, IEEE WM, 183-3 PWRS (1995)

松沢 邦夫 Kunio Matsuzawa



1972年東京電力㈱入社。系統運用業務、保護制御の技術開発に従事。現在、東京電力㈱系統運用部副部長。
The Tokyo Electric Power Co., Inc.

竹内 純 Atsushi Takeuchi



1980年入社。系統保護制御の技術開発に従事。現在、電力系統技術部主査。
Power Systems Div.

中村 正 Tadashi Nakamura



1982年入社。保護継電装置の開発・設計に従事。現在、府中工場電力システム制御部主査。
Fuchu Works

西谷 泰周 Yasuchika Nishitani



1984年入社。保護継電器の開発・設計に従事。現在、府中工場電力システム制御部主務。
Fuchu Works