

松島 哲郎  
T. Matsushima

野呂 康宏  
Y. Noro

井上 泰典  
Y. Inoue

電力系統に万一重大事故が発生したときに、一部の発電機遮断や負荷制限を行い、事故の波及を防止して全体の系統の安定度維持を図る系統安定化システムは、システムの方式および構成が適用される電力系統に応じて固有のものとなる。このような系統安定化システムの機能検証のためには、適用される電力系統固有の不安定現象をシミュレーションして系統安定化システムの応動を確認することが必要である。また、系統安定化システムの応動により、現実に電力系統が安定化されることを検証することも重要である。

このような検証を目的とした技術として、小型発電機を用いた模擬送電線、アナログ電子回路による電力系統シミュレータ、大型計算機のシミュレーション結果を試験入力として使用する計算機模擬送、などの技術がある。

Power system stability controllers, which shed loads or power sources in the event of a severe fault in order to maintain power system stability, have their own control methods and structures according to the power system to which they are applied. To verify the operation of a stability controller, the equipment should be subjected to simulated unstable phenomena peculiar to the applicable power system and it should be confirmed that the operations of the controller fully ensure power system stability.

Various techniques are used for such verifications, including model power systems using real miniature generators, analog power system simulators, and testing equipment using off-line simulation results.

### 1 まえがき

系統安定化システムは、電力系統に万一の重大事故が発生した場合でも系統全体を安定に維持するために緊急制御を行うものであり、その使命はきわめて重要である。この系統安定化システムの正確な応動を期すためには、その機能検証自体が重要なものとなる。系統安定化システムは一般に広範囲にわたる電力系統の現象を監視し、異常現象が発生して系統安定度を損なうと判断された場合には、発電機遮断や負荷制限などの中から最適と考えられる制御を判断して直ちに実施する。その判断は高度なものであり、システムの検証には同等の高度な技術が要求される。

ここでは、系統安定化システムの機能検証のための技術、および検証用設備について紹介する。

### 2 系統安定化システムの開発と機能検証

系統安定化システムの開発には一般に高度な技術と豊富な経験が要求される。その主な理由は、系統安定化システムがその適用される電力系統の固有の問題点に対する固有の解決策を見いだし、実現していくものだからである。

図1は、系統安定化システムの設計から機能検証までの全

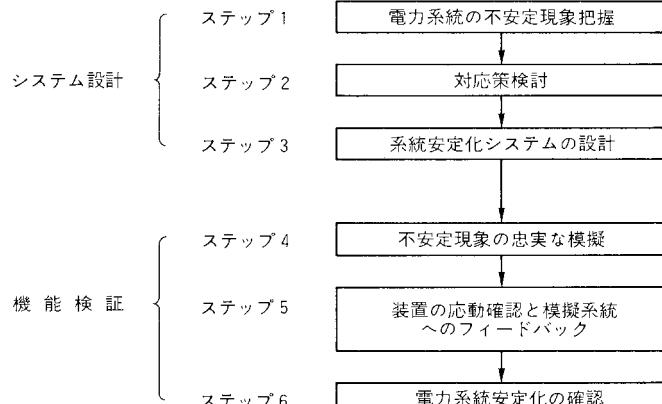


図1. 系統安定化システムの開発ステップ 系統安定化システムの開発は、適用系統固有の不安定現象を把握することから始まる。

Steps in development of power system stability controller

工程の概略を示す。

以下にその各ステップを紹介する。

#### 2.1 システム設計

2.1.1 電力系統の不安定現象把握 電力系統は、電力需要の増加とともににつねに拡大、発展してきた。このように、常時変化・成長を続ける電力系統では、つねに現在または将来の状態において重大事故などの不測の事態が発生した場合

の系統全体の安定度について、確認しておく必要がある。系統安定化システム開発の第一ステップは、全電力系統のあらゆる箇所の事故を想定して、発生する現象をシミュレーションしておき、どのような現象が系統の安定度維持に危険であるかを把握しておくことである。

**2.1.2 対応策検討** 電力系統の不安定現象を把握した次のステップは、その対策を講ずることである。周波数、過渡安定度、動態安定度などに関する不安定対策として、負荷制限、発電機遮断、系統分離などの手段があるが、どのような手段がもっとも効果があるかはそれぞれの系統の条件によって異なる。電力系統に固有で最適な対策を決定するためには、シミュレーションにより十分な検証が行われる。

**2.1.3 系統安定化システムの設計** 不安定現象への対策が決定されると、系統安定化システムの具体的な設計が行われる。電力系統から観測すべき情報を定め、必要に応じてデータ伝送装置を設ける。系統安定化のために最適な制御手段、制御量を求めるためのアルゴリズムを決定し、それを実行するための演算装置を設計する。不要な制御を防ぐためのフェールセーフ機能も重要な設計項目である。

## 2.2 システム機能検証

系統安定化システムの検証技術の特色は、装置が設計どおりに製作されたことだけでなく、固有の対策が系統安定化のために現実に有効であることを検証する点にある。このためには、適用電力系統の固有の現象を模擬して検証に用いる必要がある。機能検証のステップは次のとおりである。

**2.2.1 不安定現象の忠実な模擬** 広大な広がりをもつ電力系統の現象を忠実に模擬することは大変難しい技術であるが、近年のシミュレーション技術の進歩によりそれが可能となっている。また、実系統で得られた観測結果とシミュレーション結果との比較からも、高精度な系統現象模擬ができていることが実証されている。系統安定化システムの試験としては、必ずしもつねに全体の広大な電力系統を模擬する必要はない。小規模で単純化された系統の典型的な現象が機能検証に有効な場合もある。

## 2.2.2 装置の応動確認と模擬系統へのフィードバック

不安定現象に対する系統安定化システムの応動を確認することにより装置の機能が検証されるが、装置の応動を模擬電力系統へフィードバックすることも重要なステップである。系統現象模擬がリアルタイムで行われていればフィードバックは容易であるが、オフラインのシミュレーション結果を用いている場合、装置の応動結果の模擬系統へのフィードバックが検証技術としての難点となる。

**2.2.3 電力系統安定化の確認** 系統安定化システムの検証においては、装置の応動検証と同様に、その応動により実際に電力系統が安定化できるという確認が重要である。システム設計で検討された系統安定化への対応策は、設計段階でシミュレーションなどにより、その妥当性が確認されるが、

システムの機能検証の段階でもシステムの応動の結果として実際に系統が安定化されることを検証すべきである。

## 3 検証用設備の実際

系統安定化システムの機能検証用として、当社で保有し実際に使っている各種設備を以下に説明する。

### 3.1 小型発電機と模擬送電線

電力系統の安定度に関しては、系統事故に対する発電機の応動が重要な役割を果たす。発電機の応動を正確に模擬するものとして、実際に回転する小型の発電機を用いて、これを模擬送電線と組み合わせて系統安定化システムの検証を行う方法が従来から採用されている。小型とは言いながら、実際の回転機を用いて模擬系統を構成することが特長であり、発電機の応動については現実に近い現象を再現することができる。このため、机上で設計された系統安定化システムが方式面で盲点のないことを確認する目的に適している。反面、発電機台数に制約があるため、あまり大規模な電力系統を構成できないことが短所となる。当社では、3,000 V 定格の発電機 4 台をもつ模擬送電線設備を保有している。

### 3.2 計算機模擬送

複数の電力会社にまたがるような大規模電力系統の現象を模擬する場合には、大型計算機によりオフラインで系統現象を模擬し、その結果を系統安定化システムの機能検証に用いる方法がある。大型計算機による模擬演算結果を 3 相各相の瞬時値データに変換し、さらに数値データを D/A 変換器によりアナログ信号に変換して、增幅器を介してから系統安定化システムの各装置へ入力する。このような計算機模擬送の構成例を図 2 に示す。

この方式では、模擬電力系統の規模の面での制約がほとんどないことが特長である。しかし反面、系統現象模擬がオフ

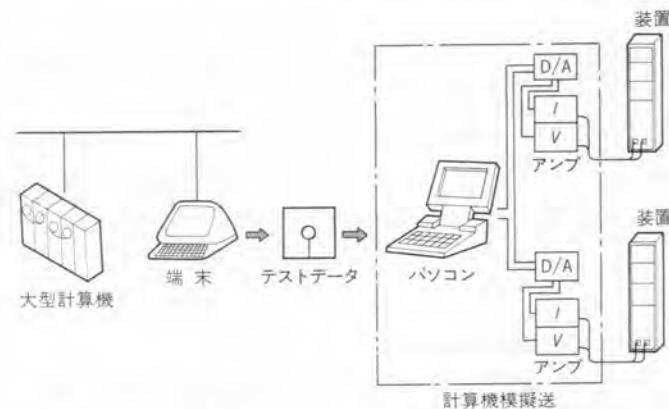


図 2. 計算機模擬送の構成 大型計算機を用いてオフラインで計算したシミュレーション結果を系統安定化システムの検証用入力として使用する。

Testing equipment using off-line simulation results

ラインで行われるため、系統安定化システムの応動を系統現象へ直接フィードバックして系統が安定化する効果を確認できないことが欠点となる。装置の応動をオフラインで大型計算機にフィードバックして、その効果を確認することは可能であるが、手間と時間のかかる作業となる。

### 3.3 電力系統シミュレータ

電力系統の現象をリアルタイムで模擬するシミュレータが近年発達している。このようなシミュレータを用いれば、電力系統の動搖や不安定現象を3相の瞬時値で模擬でき、また系統安定化システムの応動結果を直接フィードバックし、その効果を確認することが可能である。電力系統シミュレータでは、発電機、送電線などのモデルの数によって模擬可能な系統規模が決定されるが、通常は電力会社の全系を縮約した規模のモデルについて系統現象模擬が行われる。当社では発電機4台、送電線モデル40回線の規模の電力系統シミュレータを設備し、系統安定化システムの機能検証に活用している。その外観を図3に示す。



図3. 電力系統シミュレータ 電力系統の現象を忠実に模擬する電力系統シミュレータは、系統安定化システムの検証に威力を発揮する。

Power system simulator

従来の電力系統シミュレータでは、系統を模擬する主回路部はアナログ回路により構成されている。しかし、近年マイコンの高速・並列演算を使ってリアルタイムで系統現象を模擬するディジタル形シミュレータが出現している。現状では模擬系統規模の面で制約があるが、将来においてはディジタル形シミュレータが系統安定化システムの検証ツールとして適用拡大すると考えられる。

### 3.4 各検証用設備の比較

以上に述べた系統安定化システムの機能検証用設備については、それぞれが特長をもっている。それらを比較したもの

表1. 系統安定化システム検証用設備の比較

Comparison of testing equipment

装置	比較項目	模擬系統規模	装置応動のフィードバック	特長
小型発電機と模擬送電線		小規模 発電機4台の規模	可能	発電機の応動に関して、数学的モデルとは異なった実現象が模擬可能
計算機模擬送		大規模の詳細モデルでの模擬が可能	オフラインだけ 可能	大規模系統モデルで実系統に即した現象が模擬可能
電力系統シミュレータ	アナログ形	縮約した中規模系統での模擬が可能	可能	高周波から系統動揺まで、時間領域で広範囲な現象を高精度に模擬可能
	デジタル形	現状では小規模	可能	同上。検証装置自体が小型で操作性に優れる

を表1に示す。実際の系統安定化システムの機能検証にあたっては、システムの機能、規模、検証目的などに応じて最適な設備や技術を選んで用いることが必要である。

## 4 あとがき

系統安定化システムは、電力系統の安定度維持を図るために重要な役割を果たすが、その役割を背後から支えているのが機能検証技術である。検証技術は、大規模でかつ多岐多様にわたる電力系統の現象を忠実に模擬する点で、難度の高い技術である。系統安定化システム自体の進歩と相まって、検証技術についても今後とも進歩、発展させていく所存である。

## 文 献

- (1) 荒井純一, 他: 電力系統シミュレータ用遮断器モデルおよび誘導機モデルの開発, 電気学会論文誌B(1992)



松島 哲郎 Tetsuo Matsushima

1971年入社。保護リレー装置、系統安定化システムの開発設計に従事。現在、府中工場電力システム制御部主幹。  
Fuchu Works



野呂 康宏 Yasuhiro Noro

1982年入社。直流送電システムの解析およびシミュレータの開発に従事。現在、重電技術研究所システム技術開発部主務。  
Heavy Apparatus Engineering Lab.



井上 泰典 Yasunori Inoue

1989年入社。系統安定化システムの開発設計に従事。現在、府中工場電力システム制御部。  
Fuchu Works