

最近の自端判定型系統安定化システム

小和田靖之* 坂口広二**
西野 宏* 押田秀治***
佐々木孝志*

Recent Wide Area Special Protection Scheme without Telecommunication

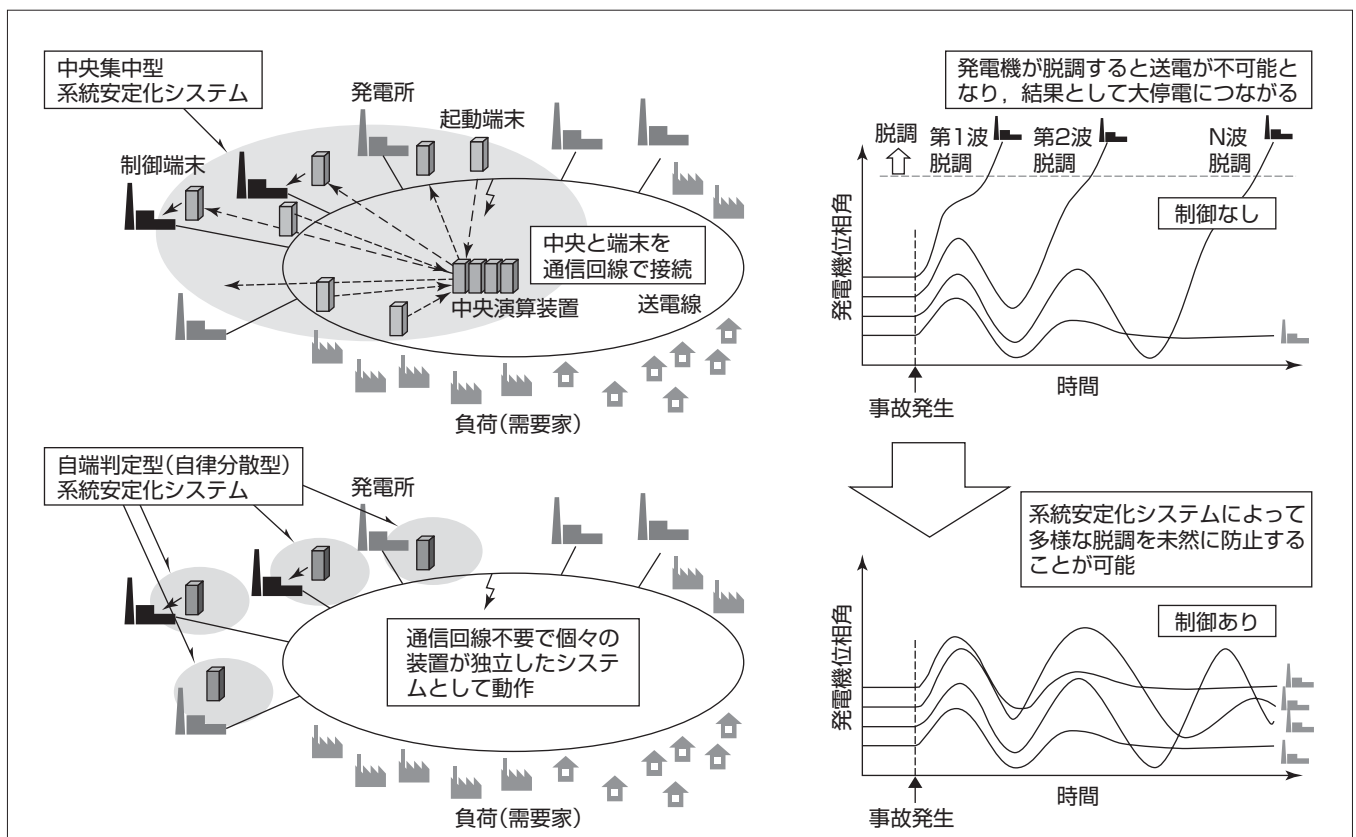
Yasuyuki Kowada, Hiroshi Nishino, Takashi Sasaki, Koji Sakaguchi, Hideharu Oshida

要 旨

落雷や暴風雪によって電力系統で線路が短絡する等の事故が生じた場合、保護リレー動作によって電力系統から事故区間を高速に除去することで、電力系統への影響を最低限に抑えている。しかし、過酷事故が生じた場合には、その影響が電力系統全体に波及することで、大規模停電にいたる可能性がある。このような事故波及の未然防止を目的とした系統安定化システムは、国内では1970年頃から開発・導入が進められてきており、現在では高品質な電力流通を支えるための最重要システムの1つとなっている。三菱電機では、黎明(れいめい)期から系統安定化システムの開発を推進しており、国内外の電力会社向けに数多くの製作・納入実績がある⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

従来、広域系統の安定度維持を実現するためには、多数の端末を系統に配置し、これらの端末から専用通信回線を介して収集した情報に基づき制御を実施する中央集中型の大規模システムの導入が必要であった。これに対して最近では、演算論理の高度化によって、装置間通信を行わない自端判定型系統安定化システムでも広域系統の安定度維持が可能となりつつある。

最近の自端判定型系統安定化システムの開発事例として、東京電力(株)向け統合型PSO(Preventive Step Out relay system)、及び中部電力(株)向けASC(Autonomous Stabilizing Controller)がある。



系統安定化システムの構成及び制御イメージ

系統安定化システムは、その構成によって中央集中型と自端判定型(自律分散型)に大別できる。ここでは、電力系統事故時の発電機脱調対策を例に、両タイプのシステム構成例を示す。中央集中型では、事故発生を起動端末で検出し、中央演算装置で制御要否を判断し、制御端末で制御を実施する。自端判定型では、全ての演算を自端で実施する。このようなシステムを導入することによって、図の右上に示すような脱調現象を未然に防ぐことが可能となる。

*三菱電機(株) 系統変電システム製作所 **メルコ・パワー・システムズ(株)
***三菱電機(株) 系統変電システム製作所(工博)

1. ま え が き

系統安定化システムとは、電力系統で過酷事故が生じた場合に、その影響によって発電機脱調や周波数大幅変動といった大規模停電の要因となる事象に発展するのを未然に防止するための、発電機遮断(電制)や負荷制限(負制)等の制御を緊急に実施するシステムである。国内電力会社には既に様々な系統安定化システムが導入されており、現在の高品質な電力流通を支えるための最重要システムの1つとなっている。

従来、広域系統の安定度維持には、中央演算装置と多数の端末装置で構成される中央集中型の大規模システムの導入が必要であった。これに対して、対象系統を計測情報に基づき簡易な系統にモデル化する手法(図1)が開発されたため、装置間通信を行わない自端判定型系統安定化システムでも広域系統の安定度維持が可能となりつつある。

本稿では、最近の自端判定型系統安定化システムの開発事例として、東京電力(株)向け統合型PSO、及び中部電力(株)向けASCを取り上げ、導入背景や特長、制御論理等について述べる。

2. 東京電力(株)向け統合型PSO

2.1 開発の背景

東京電力(株)は、揚水機高稼働断面における基幹系統での過酷事故によって揚水発電機群が一斉に減速脱調(第1波脱調)にいたる可能性があることから、約30年前から順次PSOを導入している。一方、系統構成の変遷(電源の増設、潮流の増加等)に伴い、PSO導入時の想定に比べて、より多様かつ過酷な不安定現象(第2波脱調、N波脱調、弱制動現象(持続振動現象))が生じ得ることが確認された。

そこで、今回のPSOの更新に当たり、これらの不安定現象に対応した制御機能を追加することになった。また、本来の安定化制御のほかに、周波数低下対策機能、周波数上昇対策機能、脱調分離機能を統合することから、新システムは統合型PSOと称されている。この統合型PSOは、2014年11月から順次納入が進められている。次に、システムの特長と構成及び制御論理について述べる。

2.2 システムの特長及び構成

統合型PSOは、次の特長を持つ。

- (1) 現在の系統状況で発生し得る様々な不安定現象に対して、それぞれに即した論理を実装することで適切な制御を実現する。
- (2) 多段階制御の導入によって、自端情報だけにに基づく制御であるにも関わらず、十分な適応性を確保するとともに、不安定現象の確実な抑制を可能とする。
- (3) 通信機能が不要であり、各システムは独立して動作可能であることから、導入や更新が容易である。

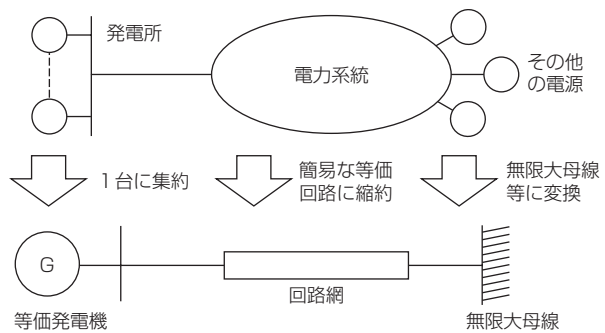


図1. 系統のモデル化

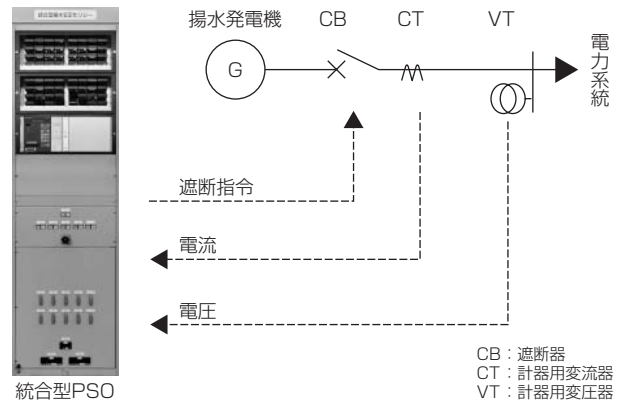


図2. 統合型PSOのシステム構成

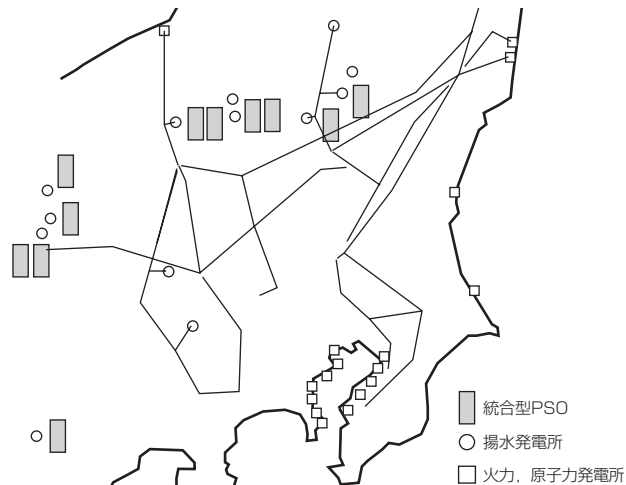


図3. 統合型PSOの設置箇所

- (4) 等面積法を適用しているため、安定度判別に係る整定項目は原則不要であり、運用側の負担を軽減する。
- (5) 最新の高性能デジタルリレーを使用している。

統合型PSOは、東京電力(株)系統内の各揚水発電所に設置され、それぞれの発電所の電圧、電流を取り込んで制御演算を実施し、必要に応じて揚水発電機を遮断することで系統全体の安定化を図っている。統合型PSOのシステム構成を図2に、設置箇所を図3に示す。

2.3 制御論理

統合型PSOが対象とする現象、及び対応する機能名称、基本技術を表1に示す。次に、これらの各機能について述べる。

2.3.1 第1波対応制御

自端で、事故発生から事故除去後一定時間までの発電機有効電力(PE)を計測し、これを基に各要素のデータ(δ 等)を算出する。これらの値を用いて、事故除去後の電力相差角曲線(P- δ 曲線)を推定し、等面積法によって安定度判別を行う(図4)。不安定(脱調)と判断した場合には、安定化のために必要な揚水発電機の遮断台数を算出し、必要台数分の揚水発電機を遮断する。

2.3.2 第2波対応制御

第2波対応制御では、第1波対応制御と同様に、動揺第2波の自端計測情報から算出したデータを用いて推定した電力相差角曲線に基づいて等面積法による安定度判別を行い、必要遮断台数の算出、及び必要台数分の揚水発電機遮断を行う。

2.3.3 N波対応制御

自端計測情報を基に、対象システムを2機系統にオンラインでモデル化し、このモデルを用いた安定度計算によって今後の発電所の有効電力・位相角を推測する。この推測結果から発電機脱調と判断される場合には、揚水発電機を遮断することで脱調を防止する。

2.3.4 弱制動対応制御

弱制動対応制御は、計測情報に基づき算出した位相角(δ)の振幅値(A_1, A_2, A_3)(図5)から制動係数を算出し(動揺波形分析)、この係数の値と振幅条件等から弱制動現象の検出を行う。弱制動検出時は、揚水発電機の遮断によって

弱制動傾向の解消を図る。なお、弱制動傾向の検出には第3波以上の電力動揺が必要となるため、弱制動対応制御はN波対応制御と並列に動作する。

3. 中部電力(株)向けASC

3.1 開発の背景

中部電力(株)では、系統事故時の安定度維持対策として様々な系統安定化システムを導入してきている。従来、これらのシステムは主保護リレーによる事故除去を前提としており、後備保護リレー動作時の安定度問題は、主保護リレーの2系列化によって回避するのが基本であった。

一方、近年の電源集中化によって、低位系での後備保護リレー動作時に基幹系統の電源が不安定となる事象が顕在化してきた。このような事象に対しても、主保護リレーの2系列化で対処するのはコスト面等で課題があることから、新たな系統安定化システム導入によって対処している。

ASCは、その系統安定化システムによる対策の1つとして、中部電力(株)と共同で開発したものであり、2009年から2システムが運用を開始している。次に、システムの特長と構成及び制御論理について述べる。

3.2 システムの構成と特長

図6に示すとおり、ASCは自端で計測可能な情報である電源送電線の電流、及び発電所母線の電圧を用いて、制御演算(起動判定、安定度判別、電制機選択)を実施する。このシステムの主な特長を次に挙げる。

- (1) 自端計測情報だけによって安定度判別を実施するため、通信回線を必要とせず、低コストで実現できる。
- (2) 等面積法に基づく逐次演算方式を用いるため、様々な故障様相に対して柔軟な制御が可能である。
- (3) 事故中のデータを用いて制御演算を実施するため、事故除去までの制御実施が可能である。

図7に、中部電力(株)系統内で運用中のASCの外観を示す。

3.3 制御論理

3.3.1 起動判定機能

自端計測情報から算出した電気量(有効電力、無効電力、電圧)の変化に基づき事故発生を検出し、起動判定を行う。この際、事故除去が早期に検出された場合は、主保護リレーによる事故除去であるとして起動をロックしている。このほかにも、幾つかのロック条件を設けることによって、対象とする事象以外での起動をロックし、確実な起動判定を行っている。

3.3.2 安定度判別機能

ASCでは、等面積法に基づき安定度判別機能を構築している。等面積法を採用する系統安定化システムは、先に述べた統合型PSOを含めて幾つか存在するが、このシステムでは、事故中のデータを用いて制御演算を実施し、事故除去を待たずに制御を実施する点が他と大きく異なっている。

表1. 対象現象と対応する機能

対象現象	第1波脱調	第2波脱調	第3波脱調～	持続振動
機能名称	第1波対応制御	第2波対応制御	N波対応制御	弱制動対応制御
基本技術	等面積法	等面積法	安定度計算	動揺波形分析

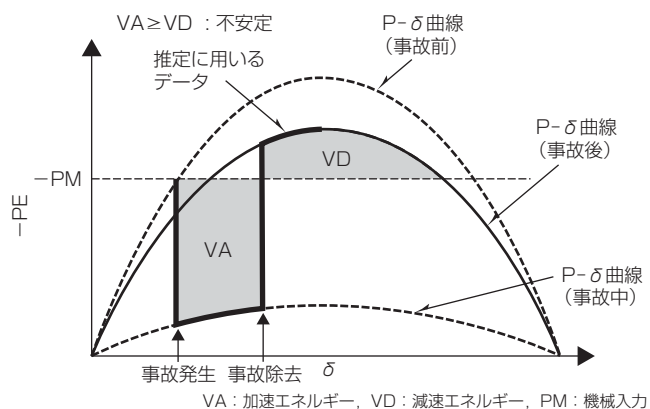


図4. 等面積法による安定度判別

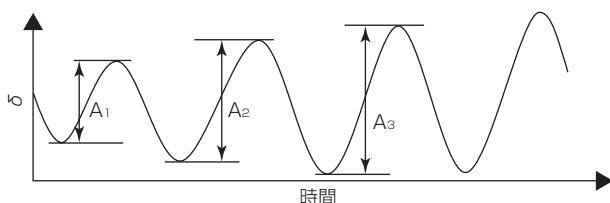


図5. 弱制動現象の検出

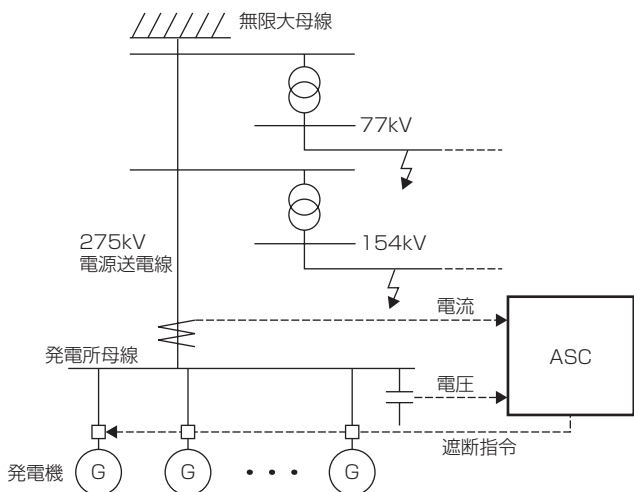


図 6. ASCのシステム構成



図 7. 運用中のASC

制御対象となる発電機の出力 (PE) は計測情報から直接求め、また位相角偏差 ($\Delta \delta$) は計測情報の積分計算によって求めることができる。これらの状態量の事故後における変化を電力相差角平面上の軌跡として描くと、図 8 の太線部分となる。この軌跡を基に、事故中の電力相差角曲線を推定する。一方、事故除去後の曲線については、初期運転点を通過するように事故中の曲線を平行移動することで算出する。これらの曲線を用いて、図 9 に示すとおり、加速エネルギー (VA) 及び減速エネルギー (VD) の算出を行い、安定度判別を行う。

この安定度判別は、起動判定後8.3msごとに繰り返し実施する。この逐次演算方式の適用によって、安定度判別中の故障除去等の系統変化にも柔軟に対応でき、確実な安定化が可能となる。

3.3.3 電制機選択機能

安定度判別機能で不安定と判定された場合は、複数ある発電機の中から電制機を選択を行う。選択に際しては、電制台数の極小化、及び電制後における復旧の容易性を考慮する。すなわち、電制効果が大きい発電機からの選択を基本としつつ、可能な限り、事前設定した複数のグループから1台ずつ選択するものとし、またグループ内発電機の全台選択は極力避けるよう考慮する。

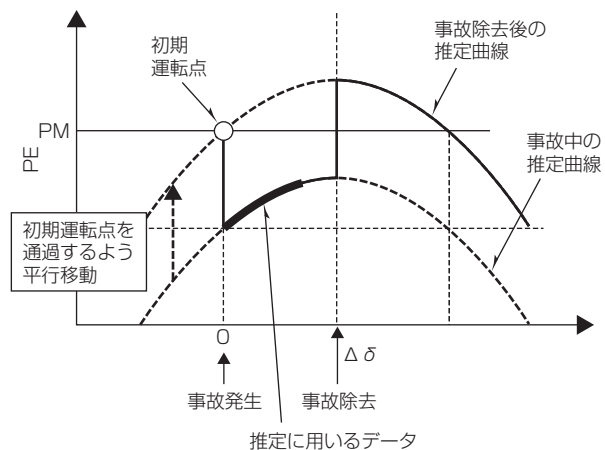


図 8. 電力相差角曲線の推定

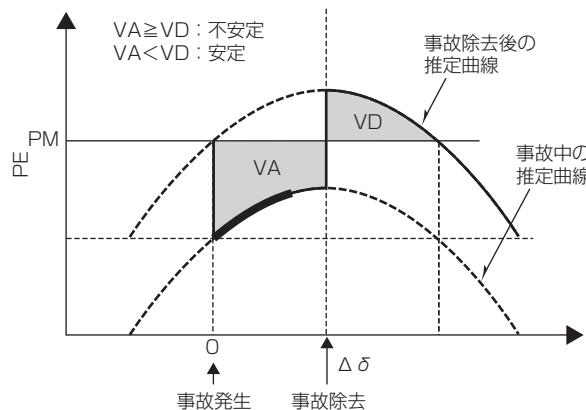


図 9. 等面積法による安定度判別

4. むすび

三菱電機で製作を担当した自端判定型系統安定化システムについて、導入背景や特長、制御論理等について述べた。

電力流通システムの変化が進むにつれ、簡易な構成であるにも関わらず幅広い不安定事象や多様な不確定要因にも十分に対応可能な自端判定型系統安定化システムは、今後更にニーズが高まると考えられる。

長年培った系統安定化技術を駆使して、これからも様々なニーズに応える系統安定化システムを提供し、電力流通の高信頼度維持に寄与していく。

参考文献

- (1) 押田秀治, ほか: 大規模系統安定化システム, 三菱電機技報, 86, No. 9, 484~489 (2012)
- (2) 平井勝志, ほか: 統合型揚水安定化リレーシステムの開発, 平成26年電気学会保護リレーシステム研究会資料, PPR-14-24 (2014)
- (3) 小林亮治, ほか: 負荷系統の後備保護動作時における過渡安定度維持を目的とした逐次演算方式による自端検出型系統安定化装置の開発, 電気学会論文誌B, 130, No. 2, 165~174 (2010)