

新電力機器を含む電力系統の 過渡現象とその解析手法

新電力機器を含む過渡現象解析手法調査専門委員会編

目次	
1. はじめに	3
2. 新電力機器の現状と課題	3
2.1 FACTS 関連機器	3
2.2 風力発電機器	7
2.3 太陽光発電機器	14
2.4 電力貯蔵システム	18
2.5 その他の新電力機器	26
3. 新電力機器で考慮すべき過渡現象と その対策	32
3.1 新電力機器で考慮すべき過渡現象	32
3.2 内部過電圧	33
3.3 外部過電圧	38
3.4 接地にかかわる過電圧	44
3.5 高調波	47
4. 新電力機器を含む電力系統の過電圧 解析手法	50
4.1 デジタル解析手法	50
4.2 その他のデジタル解析手法	60
4.3 アナログ解析手法	72
5. まとめ—今後の課題—	79

新電力機器を含む過渡現象解析手法 調査専門委員会委員

委員長 原 武 久(関 西 大 学)
幹 事 下 村 哲 朗(三 菱 電 機)
本 山 英 器(電力中央研究所)
幹事補佐 安 田 陽(関 西 大 学)
委 員 雨 谷 昭 弘(同 志 社 大 学)
石 井 勝(東 京 大 学)
今 泉 高 宏(電 源 開 発)
伊与田 功(ティーエム・ティ
アンドティ)
植 田 俊 明(中 部 電 力)
尾 野 孝 夫(中 電 工)
加 藤 正 平(東 洋 大 学)
河 村 達 雄(芝 浦 工 業 大 学)
小 島 宗 次(工 学 院 大 学)
小 村 広 司(関 西 電 力)
中 原 洋 一(九 州 電 力)
中 山 寿 也(高 岳 製 作 所)
成 田 知 巳(東 京 電 力)

委 員 西 村 誠 介(横 浜 国 立 大 学)
野 嶋 健 一(ティーエム・ティ
アンドティ)
舟 橋 俊 久(明 電 舎)
松 尾 尚 英(日 立 製 作 所)
松 原 一 郎(大 阪 大 学)
松 原 廣 治(電力中央研究所)
丸 山 義 雄(古 河 電 気 工 業)
劉 伸 行(東 京 電 力)
岡 部 孝 継(電 源 開 発)
小 坂 洋 隆(電 源 開 発)
興 水 源 太 郎(電 源 開 発)
園 田 敏 雄(関 西 電 力)
高 尾 宣 行(富士電機総合研究所)
中 村 俊 公(九 州 電 力)
橋 本 洋 介(九 州 電 力)
山 田 剛 史(東 京 電 力)

途中退任
委員

1. はじめに

21世紀の電力系統や配電系統(以下、電力系統と呼称)の絶縁設計・保守を考える場合、①高度情報化社会、②半導体技術、③新電力機器の三つの新しい技術に関して十分な対応をとる必要がある。

まず、高度情報化社会であるが、コンピュータ、LAN(Local Area Network)などの電子・情報機器の急激な発展は、従来形の産業・社会構造を変革し、21世紀に向けた新しい産業・社会構造＝高度情報化社会を実現しようとしている。一方、この高度情報化社会では、エネルギー供給を電力に多く依存するために、電力系統に発生する雷などの外乱や遮断器や断路器の動作などの内乱で発生する異常現象にきわめて脆弱であることが指摘されており、まだ十分な検討・対策が行われていない。

また、半導体技術の高度化は、NAS(Na-S)電池やSMES(Superconducting Magnetic Energy Storage)などの電力貯蔵機器の開発、SVC(Static Var Compensator)などの交流新技術の開発、BTB(Back To Back)システムなどの直流新技術の開発、さらには、太陽電池や燃料電池などの分散形電源の開発を可能とした。これらの新電力機器は、半導体素子による交直変換技術を駆使したものであり、従来の電力系統ではみられなかった直流と交流を同時に利用する点で画期的な技術である。これらの機器を多用することで、従来とは異なる新しい電力系統構成を創出する可能性が指摘されている。一方、これらの新電力機器では、個々の機器に対する絶縁特性や動作特性について多くの検討が行われているが、電力系統を含めた絶縁特性や動作特性についてはまだ十分な検討が行われていない。

これらの技術の拡大は、単に電圧階級の上昇を中心とした従来技術とは異なる視点からの電力系統の絶縁設計・保守を強く求めるものである。すなわち、新しい技術の適用により、情報伝達の高速化による制御技術の高速化、半導体技術の適用による機器のコンパクト化、電力系統での高調波成分の上昇、直流-交流混在系統の出現など、種々の新しい設計条件を加味したうえで、高い運転信頼性を確保しつつ、技術的・経済的に合理的な絶縁設計を行わなければならない。さらに、その保守にあたっては、発生した問題を的確に把握し、即時に問題を除去する必要がある。これらの課題を実現するためには、電力系統に発生する過電圧を精度よく予測し、絶縁設計や保守に適用する必要がある。

これまで電力系統のサージ解析関係の調査専門委員会では、66～1,100kV 系統の雷サージ解析を行うための解析モデルの開発、解析手法の適用法の提案を行ってきた。これらの成果は、試験電圧決定のための雷サージ解析手法に採用されるとともに、広く一般の電力系統の絶縁設計に適用されている。

これまでの活動経緯と成果を勘案し、本調査専門委員会〔調査期間：平成12(2000)年10月～平成15(2003)年9月〕で

は、従来の電力系統や今後予測される新しい電力系統で発生する過渡現象を予測するための手法、各種現象のモデリング手法、分散形電源、SVC、BTB、NAS 電池や SMES など半導体技術適用による各種新電力機器のモデリング手法を調査するとともに、広く一般に適用可能な過渡現象解析のための解析モデル、解析手法について次に示す観点から広く内外の文献を調査した。

- (i) 新電力機器の内部から発生する過電圧
- (ii) 新電力機器の外部から侵入する過電圧
- (iii) 新電力機器の接地および絶縁に関する諸問題
- (iv) 新電力機器から発生する高調波に関する諸問題

これらの調査により、広く一般に適用可能な過電圧評価手法を確立できるとともに、新しい概念に基づく経済的、技術的に合理的な絶縁設計手法の確立に資することができると期待できる。本報告書が、今後のさらなる技術進歩に貢献することを期待するものである。

2. 新電力機器の現状と課題

2.1 FACTS 関連機器

2.1.1 FACTS 機器とはなにか

1980年代、環境上の制約や自由化に伴う投資抑制などから新しい送電線建設がむずかしくなってきた。これに対して、アメリカの Hingorani が「パワーエレクトロニクス技術などに基づいた静止形の系統制御機器を用いて(系統)制御機能や送電容量を向上させる交流送電システム」を提唱し、FACTS(Flexible AC Transmission System)と名づけた⁽¹⁾⁽²⁾。

交流系統の送電容量限界は、送電線の熱容量による最大電流制約だけでなく、安定度、ループ潮流、電圧など種々の要因で制限されている。FACTS 機器は、パワーエレクトロニクス機器がもっている、高速応答性、連続制御性などを活用して、これらの送電容量限界制約を解決する装置である。

安定度とは、電力系統の運転が安定して継続できるかどうかを示す指標で、定態安定度と過渡安定度に大別される⁽³⁾。定態安定度とは、所定の運転状態が回路理論上、または制御理論上存在できるかどうかを示す指標である。回路理論上というのは、たとえば、ある送電線の両端の端子電圧を固定した場合、電気回路理論上、その送電線で送電できる電力は送電線のリアクタンスで決まるある値以上にはならない。電力系統の状態がそのような回路理論上の最大点に近ければ、なんらな微小な変動でその点を超え電力系統が崩壊する可能性がある。このような観点の指標を固有定態安定度と呼んでいる。また、制御理論上というのは、電力系統の動的な応答特性を示す特性方程式の根のなかに、複素平面の右半面(不安定領域)に存在する根があると、安定な動作点として存在できないということである。この指標は、動的定態安定度または動的安定度と呼ばれている。