

自励式変換器の電力系統への適用技術

自励式変換器の電力系統への適用技術調査専門委員会編

目		次	
はじめに	3	3.2 FACTS	28
1. 総論	3	3.3 回転機への応用	41
1.1 調査検討項目	3	3.4 小容量機器	46
1.2 調査結果の概要	3	4. 新たな変換器構成技術・電力機器	59
2. 自己消弧形デバイスの開発状況	5	おわりに	63
2.1 自己消弧形デバイスの適用状況	5	付録	64
2.2 自己消弧形デバイスの開発状況	6	付.1 主回路方式	64
3. 自己消弧形デバイスを用いた変換器による		付.2 変換器制御方式	65
電力用機器	12	付.3 有効電力制御	66
3.1 直流送電	12	付.4 無効電力制御	67

自励式変換器の電力系統への適用技術調査専門委員会

委員長 酒井 祐之(東京電力)
 委員 小長井山 治(資源エネルギー庁)
 横山 明彦(東京大学)
 佐々木 博司(広島大学)
 岩本 伸一(早稲田大学)
 舟木 剛(大阪大学)
 木村 紀之(大阪工業大学)
 近藤 潤次(産業技術総合研究所)
 高崎 昌洋(電力中央研究所)
 吉田 暁二(北海道電力)
 石岡 修(東北電力)
 小辻 昭広(北陸電力)
 江本 邦夫(中部電力)
 島戸 俊明(関西電力)
 田中 久夫(中国電力)
 川原 央(四国電力)
 能見 和司(九州電力)
 三瓶 雅俊(電源開発)
 色川 彰一(東芝)
 江口 吉雄(日立製作所)
 樗木 博一(三菱電機)
 江口 直也(富士電機総合研究所)
 大西 一彦(日新電機)
 原田 真(住友電気工業)
 丸山 悟(古河電気工業)
 久保田 美英(東電設計)
 幹事 中田 安彦(東京電力)
 佐藤 正(関西電力)
 畑野 雅幸(電源開発)
 藤岡 慎太郎(東京電力)

途中退任委員長 関 昇(東京電力)
 委員 広瀬 俊一(日立製作所)
 佐々木 暁(中国電力)
 鈴木 謙司(北海道電力)
 森 憲三(四国電力)
 堀内 進(東電設計)
 堂谷 芳範(北陸電力)
 中島 正夫(四国電力)
 木村 貢(北海道電力)
 藤岡 清人(中国電力)
 長谷川 豊(中部電力)
 相澤 英俊(日立製作所)
 幹事 米沢比呂司(関西電力)
 鈴木 宏和(東京電力)
 幹事補佐 菅野 純弥(東京電力)
 石川 鉄郎(東京大学)
 宣保 直樹(電力中央研究所)
 木元 伸一(北海道電力)
 稲村 聡(東北電力)
 山岸 良雄(北陸電力)
 劉 伸行(東京電力)
 小木 曾慶治(中部電力)
 松下 義尚(関西電力)
 高田 輝和(中国電力)
 尾崎 和弘(中国電力)
 森田 倫弘(四国電力)
 植原 宣和(四国電力)
 野見山 史敏(九州電力)
 堀内 恒郎(東芝)
 酒井 洋満(日立製作所)
 篠原 博(富士電機総合研究所)
 高瀬 英和(東電設計)

はじめに

サイリスタデバイスの開発、実用化は、産業分野のみならず電力分野での他励式変換器を用いたパワーエレクトロニクス技術の利用を急速に拡大させた。発電機励磁装置の静止形化、周波数変換や直流送電による電力系統の非同期運転、ならびに静止形無効電力補償装置(SVC)や可変速揚水発電などによる系統安定化技術が実用化されている。

一方、自己消弧形デバイスについてはGTO (Gate Turn-Off Thyristor) や IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), SI (Static Induction)サイリスタなどの開発、実用化が進展し、さらには新しいデバイスの開発が進められている。(自己消弧形デバイスという用語の他にオンオフ制御 (パルプ) デバイス等の表記方法もあるが、本技術報告では前者を採用した。)

これらのデバイスを適用した自励式変換器は、電力分野では電圧維持機能の優れたSTATCOM (自励式SVC)の開発や、可変速揚水発電機への適用、さらには自励式直流送電の研究が進められている。

また、米国電力研究所(EPRI)が提案し、開発が進められているFACTS (Flexible AC Transmission Systems)が、複雑化する電力系統の潮流制御、系統安定化を可能とし、電力系統の高機能化を図る方策として注目されている。

このFACTS機器をより高機能化し、適用範囲を拡大する方式として自励式変換器が期待されている。

このような状況を踏まえ、内外の様々な系統条件下での自励式変換器適用に際する検討事例、問題点、適用技術等を体系的に調査し、今後、自励式変換器を電力系統に適用する際に資することを目的として、平成11年4月から3年間、「自励式変換器の電力系統への適用技術調査専門委員会」が設置された。

本報告書は、同委員会の調査検討結果を取りまとめたものである。

1. 総論

1.1 調査検討項目

電力系統に連系される自励式変換器について、以下の項目について調査検討した。

- (i) 自己消弧形デバイスの開発状況：現在実用もしくは開発が進む、GTO系、IGBT系などのデバイスの適用ならびに開発状況を調査するとともに、将来期待されているSiC (シリコンカーバイド)の研究開発の動向をレビューした。
- (ii) 自励式変換器による電力用機器：自励式変換器の適用形態(直流送電、FACTS、回転機への適用、小容量機器)ごとに詳細な事例調査を行い、事例ごとの検討課題、問題点、適用技術を体系的にレビューした。
- (iii) 新たな変換器構成技術・電力機器：実適用例はないが、

論文などでコンセプトが提案されている機器をレビューした。

(iv) 自励式変換器に関連する主な技術用語についても調査した。

1.2 調査結果の概要

詳細は次章以下で記述するが、調査結果の概要は以下のとおりである。

(第2章) 自励式変換器の心臓部となる自己消弧形デバイスの適用ならびに開発動向について調査した。

主たる自己消弧形デバイスの開発ならびに適用状況を俯瞰している。いかなる用途にどのような自己消弧形デバイスが適用されているかレビューするとともに、今後の開発への期待を述べている。

各々の自己消弧形デバイスについて、開発ならびに適用状況を報告している。GTO系のデバイスでは、6kV-6kA,500Hz級のGTOデバイスが開発され、新信濃変電所における直流3端子実系統連系試験に適用されたのをはじめ、同定格のGCT(Gate Commutated turn-off Thyristor)の開発、実用化が進んでいる。IGBT系のデバイスでは、3.3kV-1.2kA,2kHz級のIGBTが開発、実適用されており、さらに6kV-1.5kA,2kHz級のIEGT(Injection Enhanced Gate Transistor)の開発も進んでいる。

次世代デバイスとして注目されるSiCは、機能試作の段階ではあるが、耐圧5.5kVのデバイスが試作され、今後の電流量の増大が期待される。

(第3章) 自励式変換器の電力機器への適用状況を、設備形態別に、直流送電、FACTS、回転機への応用、小容量機器について調査した。

(直流送電) 自励式変換器を直流送電に適用した場合、短絡容量など系統の条件にかかわらず安定な運転が可能で、高い制御性能を有するため、従来の他励式直流送電を導入するに当たっての電圧維持対策を不要とし、調相設備や交流フィルタが削減できることから、変換所の機能を維持しつつコストを低減することが期待される。

このような理由から、電力9社、電源開発と電力中央研究所の共同研究「連系強化技術開発」(資源エネルギー庁補助事業)において、直流多端子送電、自励式変換器開発が進められたが、これらの成果概要を述べている。さらに国外における事例として、実用化されている自励式直流送電について紹介している。

(FACTS) 交流系統の送電能力を向上させるためにも、系統条件に依存せずに、潮流、無効電力を制御できる自励式変換器技術は有効であると考えられる。

このように自励式変換器は系統外乱に対する電圧維持能力が高いことから、これを用いたSTATCOMなどの開発が進められ、国内外で実用化の段階となっている。

一方、米国においては、ループ系統の潮流制御や系統安定化を目指した電力機器として、UPFC (Unified Power Flow Controller), STATCOMなどの開発ならびに適用が進められ