

大容量STATCOM(3MVA)の製品化

Commercialization of high-capacity STATCOM (3MVA)

辻本 賢次※
Kenji Tujimoto
五藤 和志※
Kazushi Goto
小池 拓夢※
Takumu Koike

廣瀬 和雅※
Kazumasa Hirose
岡庭 雅幸※
Masayuki Okaniwa
白井 慧太郎※
Keitaro Shirai

1. はじめに

近年、太陽光や風力などの再生可能エネルギーを用いた発電設備が多く導入されている。これら発電設備のうち、太陽光や風力を利用するものは、発電電力が短時間で大きく変動するという特徴がある。その影響により、電力系統の電圧が変動するという問題が発生している。当社は、この問題を解決するため、2016年に単機容量300 kVAの高圧配電線用STATCOM(STATic synchronous COMPensator)を製品化した⁽¹⁾。さらに、2019年にはSTATCOMを改良し、高速応答性、小型化、軽量化したA²(Aichi Advanced)-STATCOMを開発した⁽²⁾。

今回、A²-STATCOMを10台並列集中制御することで、単機容量300 kVAから3 MVAの大容量STATCOMとして製品化した。

本稿では、大容量STATCOM(3 MVA)の仕様と構成、A²-STATCOMを10台並列するために用いた制御技術とその特長、および性能について詳しく紹介する。

2. 大容量STATCOMの構成と仕様

2.1 構成

大容量STATCOMは、高圧配電線の電圧を適正値に維持するため、高圧配電線へ無効電流を供給して電圧を調整する装置である。最大±3 Mvarに相当する無効電流を系統へ注入することが可能である。制御機能として、系統電圧を設定値に維持する機能とフリッカ電圧を抑制する機能を備えている。大容量STATCOMは、集中監視制御盤とA²-STATCOM 10台で構成される。集中監視制御盤は、高圧配電線の電圧を測定し、A²-STATCOMに無効電流指令を送信する役割を果たす。またA²-STATCOMの動作状態を監視する機能も持つ。A²-STATCOMは、それぞれ高圧気中開閉器を介して高圧配電線に接続される。この高圧気中開閉器には、地絡保護リレーと短絡電流遮断用のヒューズが備わっている。A²-STATCOMには、多様な制御技術を使用しており、理想的な無効電流源として動作することが可能である(4章参照)。その結果として、A²-STATCOM 10台を並列運転することが実現できた。図1に大容量STATCOMの構成を示す。

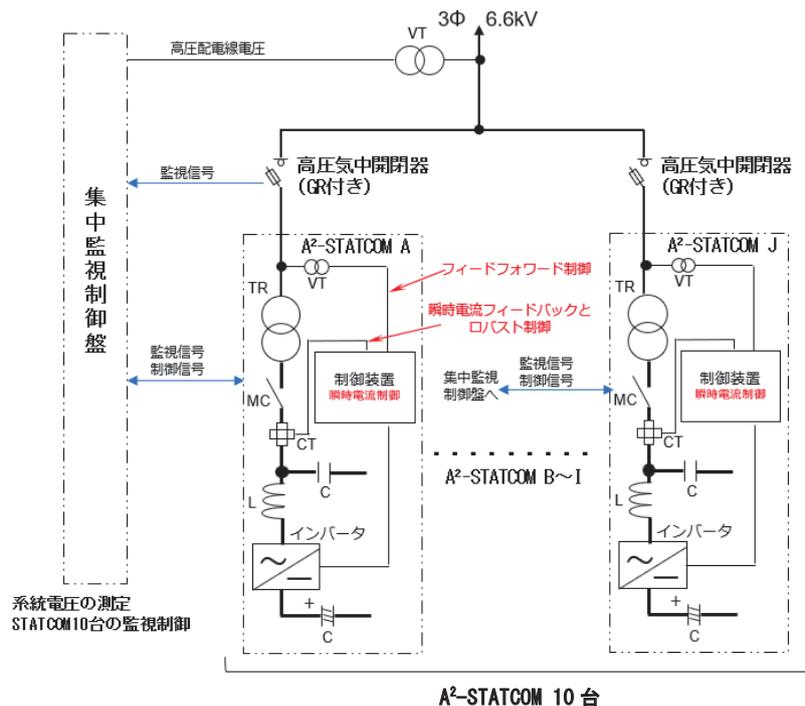


図1 大容量STATCOM(3MVA)の構成

※電力カンパニー システム開発センター パワエレ開発グループ

2.2 仕様

(1) 集中監視制御盤

集中監視制御盤は、10台のA²-STATCOMが出力する無効電流を制御し、高圧配電線の電圧を調整する役割を持つ。高圧配電線の電圧制御方式には、電圧一定制御とフリッカ対策用制御があり、ユーザーはどちらか一方を選択することができる。集中監視制御盤は、高圧配電線の電圧を測定し、電圧調整に必要な無効電流を演算する。その後、A²-STATCOMに均等に分配した無効電流指令値を送信する。各A²-STATCOMは、この指令値に基づいて無効電流を出力し、電圧調整を行う。また、集中監視制御盤は、各A²-STATCOMの動作状態を常時監視し、いずれかのA²-STATCOMの異常が発生した場合には、該当する機器を運転から切り離し、残りの機器で運転を継続する(縮退運転)。

集中監視制御盤の仕様は表1、機能の特長と性能は表2、外観は図2に示す。



図2 集中監視制御盤の外観

表1 集中監視制御盤の仕様

項目	内容	
A ² -STATCOM 制御台数	最大10台 注：いずれかのA ² -STATCOMに異常が発生した場合は、当該機を除いた台数で運転を継続する(縮退運転)。	
操作モード	直接/遠方	
制御モード	電圧一定制御/フリッカ対策用制御	
制御範囲	無効電力	0 ~ ±3 Mvar(10台運転時)
	高圧配電線電圧	5,600 ~ 6,900 V

表2 集中監視制御盤機能の特長と性能

機能	特長と性能
電圧一定制御	【特長】 1. 制御モード 高圧配電線電圧を設定値と一致させる制御モード 2. 過渡電圧変動に対する動作 高圧配電線電圧を一定にするため無効電流を流し続けるので、現在、流している電流の向きと同じ電圧変動に対しては、調整容量が制限される。 3. 系統基準電圧に対する動作 高圧配電線電圧を設定値と一致させるのでSVR等の電圧調整機能を兼ねることが可能。 【性能】 出力電圧精度 ±1.0%以内(三相平均値) 応答時間：30ms以内(80%補償時間) 設定範囲：6,200V ~ 6,750V(分解能：10V)
	【特長】 1. 制御モード 電圧の過渡変動(フリッカ等)をゼロにする制御モード 2. 過渡電圧変動に対する動作 電圧の過渡変動時のみ無効電流を流すため、過渡的な電圧変動に対してのみ定格容量を出力する。 3. 基準電圧に対する動作 電圧の平均値制御は行なわない。フリッカなど過渡的な電圧変動に定格容量まで出力できるが、LRT・SVR等の低速電圧調整器が必要。 【性能】 6Hzフリッカ抑圧率：-6.9dB(45%)以下 瞬時電圧変動応答時間：30ms以下

(2) A²-STATCOM

STATCOMは、自励式SVCともよばれ、インバータによって無効電力を連続的かつ高速に制御する装置である(図3参照)。無効電力を利用して配電線の電圧を調整する。この装置は、SVRのような機械接点による電圧調整ではなく、半導体を用いた調整を行うため、機械的摩擦が発生せず、メンテナンス周期を延長できる。また、TVR(Thyristor-type step Voltage Regulator)で使用されるサイリスタよりも高速なスイッチング動作が可能な半導体(トランジスタ)を採用しているため、TVRより迅速な応答が可能である。さらに、SVRやTVRがタップ切換えによる段階的な電圧調整を行うのに対し、インバータ制御による無段階の電圧調整を実現している。また、A²-STATCOMは高速動作が可能な半導体(SiC-FET)を使用したインバータ構成により、さらに早い応答を可能としている。A²-STATCOMは瞬時電流制御を採用しており、理想的な電流源として機能する。大容量STATCOM(3 MVA)では、単機300 kVAのA²-STATCOMを10台並列接続して運転を行う。A²-STATCOMの仕様を表3に、回路構成を図3に示す。

表3 A²-STATCOMの仕様

項目	定格・仕様	
定格電圧	6600 V	
定格容量	300 kVA	
無効電力発生量	±300 kvar	
総合電流歪率	3%以下(定格出力時)	
冷却方式	電力変換器：強制風冷、変圧器：油入自冷	
寸法・質量	1840 mm(W) 2555 mm(H) 1490 mm(D)	2630 kg
設置場所	屋外	

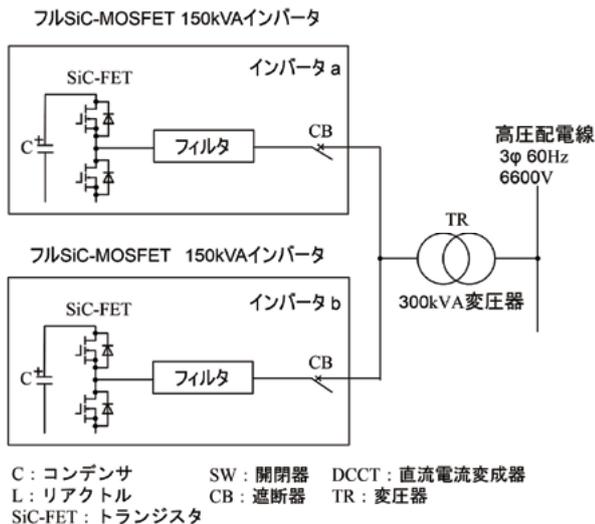


図3 A²-STATCOMの回路構成⁽²⁾

3. 大容量STATCOMの制御技術

3.1 A²-STATCOMを並列する制御技術

10台のA²-STATCOMは、それぞれが集中監視制御盤からの無効電流指令に従い、正確に無効電流を系統に注入する性能を持つことが求められる。多数の装置を並列に運転する場合、各装置が行う制御が干渉し、指令通りに動作しないことがある。その結果、単機で動作する場合と比較して性能が低下する可能性がある。当社では、A²-STATCOMの無効電流制御に電圧フィードフォワードを用いた高速制御を採用し、このような制御干渉を防いでいる⁽³⁾。図4にA²-STATCOMの無効電流制御のブロック図を示す。また、電圧フィードフォワードに加え、2自由度ロバスト制御を併用することで、制御性能をさらに向上させている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

A²-STATCOMを10台並列し、3 Mvar相当の進み無効電流を出力している際の各A²-STATCOM電流波形を図5に示す。図5から電流波形の大きさは10台とも一致していることが確認された。10台の出力電流を合算した総合電流歪率は、単機で稼働した場合と同程度であり、干渉による性能の低下は認められなかった。この結果から、各A²-STATCOMが、理想的な無効電流源として機能していることが分かる。

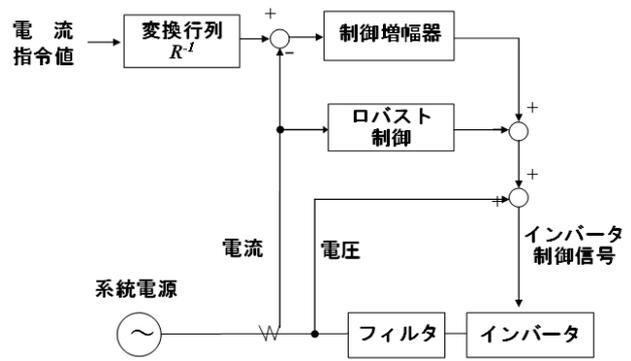


図4 A²-STATCOMの無効電流制御ブロック図⁽³⁾

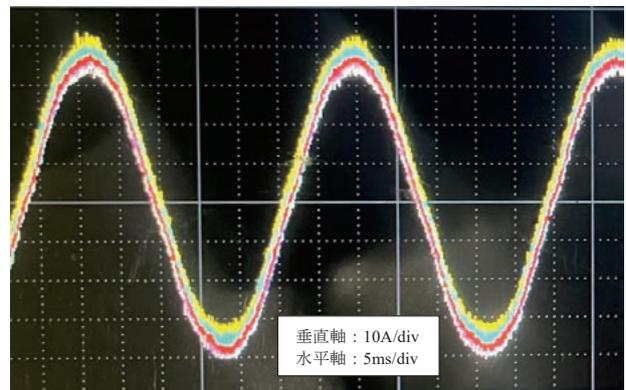
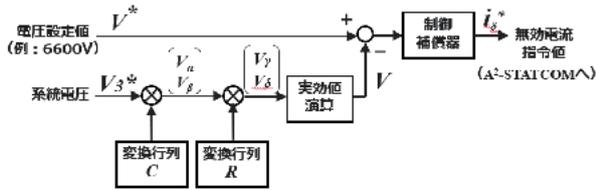


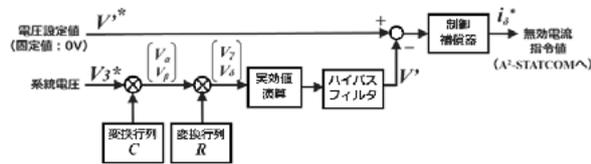
図5 10台並列時の各A²-STATCOMの出力電流波形

3.2 高圧配電線の電圧制御

集中監視制御盤は、高圧配電線電圧の変動を抑制するための制御を行う。その制御には、電圧一定制御とフリッカ対策用制御の2種類がある。電圧一定制御は、高圧配電線の電圧を設定値と一致するように調整する機能である。一方、フリッカ対策用制御は、電圧の過渡変動(フリッカ等)をゼロに抑える制御を行う。いずれの制御においても、座標変換を用いた電圧実効値の高速演算を実施している。これにより、迅速かつ正確な電圧調整が可能となる。電圧一定制御とフリッカ対策用制御の制御ブロック図を図6に示す。



(a) 電圧一定制御の制御ブロック図



(b) フリッカ対策用制御の制御ブロック図

C : $\alpha\beta$ 変換行列 R : $\gamma\delta$ 変換行列
 V_s : 実効電圧 (V_{uv}, V_{vw}, V_{wu}) V_α, V_β : $\alpha\beta$ 空間の電圧
 V_γ, V_δ : $\gamma\delta$ 空間の電圧 v^* : 電圧設定値
 v : 電圧実効値 v' : v のフリッカ成分実効値
 i_δ^* : $\gamma\delta$ 空間の無効電流指令値

図6 電圧制御の制御ブロック図

電圧一定制御において、配電線電圧が急変した場合の大容量STATCOMの動作シミュレーション結果を図7に、試験結果を図8に示す。

シミュレーションでは、配電線電圧を6600Vから6250Vに急変させた場合を想定し、無効電力(進み)を配電線に注入して、14msで電圧降下を補正することを確認した。ほぼ同様の条件で試験を実施した結果、シミュレーションと同一の結果が得られた。

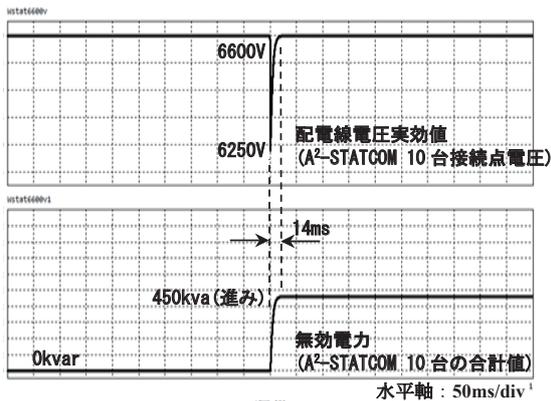


図7 電圧急変時のシミュレーション結果

A²-STATCOMが単機で稼働する場合、13msで電圧を補正する性能を持つ。一方、大容量STATCOM(A²-STATCOM 10台並列)では、シミュレーションおよび試験結果の双方において、14msで電圧補正を行うことが確認されている。

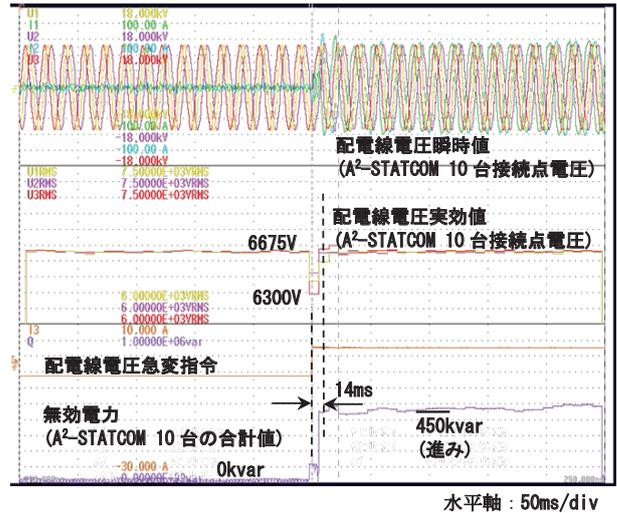


図8 電圧急変時の試験結果

5. あとがき

近年問題となっている再生可能エネルギーを利用した発電設備による配電線の電圧変動に対応するため、A²-STATCOMの大容量化を実現した。これにより、今後さらに拡大が予想される配電線の電圧変動にも柔軟に対応できるようになった。

当社は、今後も電圧調整器のトップランナーとしてさらなる製品開発を推進し、電力品質の向上に貢献していく方針である。

参考文献

- (1)「高圧配電線用 STATCOM の開発」愛知電機技報 No.37(2017)
- (2)「高圧配電線用 A²-STATCOM の開発」愛知電機技報 No.40(2019)
- (3)「瞬時複素交流理論(アイデア理論)によるベクトル制御の考察」愛知電機技報 No.36(2015)
- (4)「ロバスト電流制御を用いた PV インバータ」平成 5 年電気学会全国大会 No.534(1993)
- (5)「10kW PV インバータの開発」愛知電機技報 No.17(1996)