

# フリッカ抑制機能付き自励式無効電力補償装置の開発

Development of 20-MVA STATCOM for Flicker Suppression

加藤 哲也 Tetsuya Kato

相原 孝志 Takashi Aihara

伊藤 智道 Tomomichi Ito

生田目 覚 Satoru Namatame



図1 北陸電力株式会社伏木変電所納め 20 MVA STATCOMの外観

STATCOM(自励式無効電力補償装置)システムは大きく分けて、系統連系用の変換装置用変圧器(6多重)、自励式変換器、水循環冷却システムによって構成される。変換器は専用建屋内に収納し、変換装置用変圧器、冷却器を屋外設置とした。

## 1.はじめに

近年、電力系統につながる需要家負荷の多様化により、系統の安定および電力品質を保つ取り組みが盛んになってきている。その中でも自励式変換器の高い制御性能を生かし、フリッカ抑制機能を備えたSTATCOM(Static Synchronous Compensator:自励式無効電力補償装置)の導入が進んでいる。日立グループは、これまで大容量のサイリスタ制御式無効電力補償装置を納入し、電力系統の安定に貢献してきたが、このたび高調波フィルタ設備を伴ったアーク炉負荷のフリッカ抑制を目的とした20 MVAのSTATCOMを開発した。

北陸電力株式会社伏木変電所では、負荷にアーク炉を持つ需要家が接続されており、この負荷には瞬時変動および相

間アンバランスが存在し、系統のフリッカ源となっている。発生したフリッカは変電所内母線を経由して、他の一般需要家にフリッカの影響を与える懸念があったことから、フリッカ抑制対策として開発したSTATCOMを設置し、系統試験を経て実運用を開始した(図1参照)。

ここでは、今回開発したSTATCOMの構成とフリッカ抑制機能について述べる。

## 2. STATCOMの仕様

### 2.1 システム仕様

このシステムは、10 MVA 6多重変換装置を2台並列接続して20 MVAを構成している。システムの仕様を表1に示す。

北陸電力株式会社伏木変電所納め 20 MVA 自励式無効電力補償装置 (STATCOM) の系統連系試験を完了し、正規運用を開始した。この装置は通常の無効電力補償機能に加え、フリッカ抑制機能を持たせたものであり、日立独自の新制御法を採用し、所定の性能を実現している。伏木変電所はアーク炉を持つ需要家に給電を行っており、系統のフリッカ源となっている。この無効電力補償装置は、これらを補償し、他の需要家線に対するフリッカ障害を軽減することを目的に設置されたものである。60 MVA の負荷に対し、20 MVA という小容量の変換装置で、高いフリッカ抑制効果をめざした製品である。

表1 STATCOMのシステム仕様

今回開発したSTATCOMのシステム仕様を示す。

項目	仕様
定格容量	20 MVA( 10 MVA × 2 並列 )
定格電圧	66 kV( 三相 )
定格周波数	60 Hz
変換器構成	三相ブリッジ6多重接続
定格直流電圧	1,600 V
主要デバイス	3,300 V, 1,200 A, IGBT
変調方式	9パルスキャリア多重PWM
冷却方式	循環水冷風冷式
高調波フィルタ	不付

注:略語説明 IGBT( Insulated Gate Bipolar Transistor )  
PWM( Pulse Width Modulation )

## 2.2 主回路構成

このシステムの主回路構成を図2に、10 MVA単機構成を図3に、また変換器外観を図4にそれぞれ示す。単機10 MVA変換器は1.67 MVAの三相変圧器6台の交流側を直列に接続し、直流側は三相ブリッジ変換器を6台並列接続した構成としている。6台の変換器のIGBT( Insulated Gate Bipolar Transistor )のスイッチングパルスタイミングを540 Hz( 60 Hz × 9パルス )の $\frac{1}{6}$ 周期ずつずらして図3のように多重接続することによって、交流側に発生する高調波電流を抑制し、高調波フィルタを不要としている。

変換器は主変換デバイスとしてIGBTを適用し、IGBTユニットは低インダクタンスのラミネート基板を使用して直流コンデ

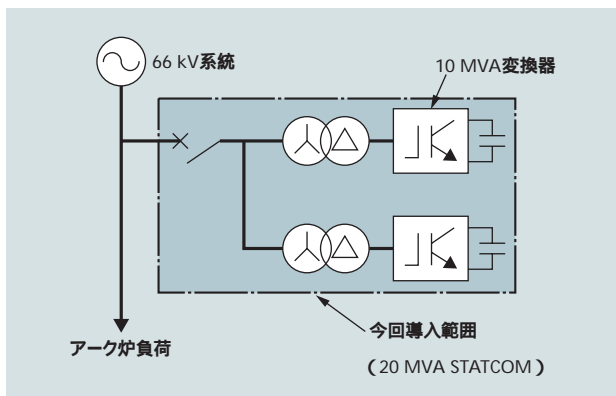
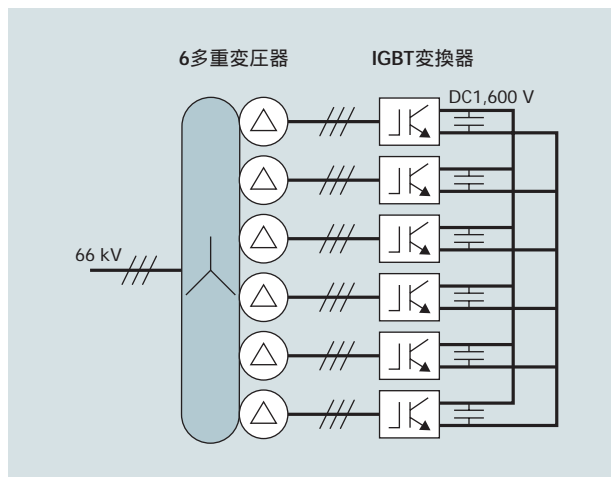


図2 STATCOMの主回路構成

10 MVAの変換装置2台を並列接続して構成している。



注:略語説明 DC( Direct Current )

図3 10 MVA STATCOMの単機構成

三相変換装置用変圧器6台の交流側を直列に接続し、直流側は三相ブリッジ変換器を6台並列接続した構成としている。



図4 10 MVAのIGBT変換器外観

変換器制御盤(左端)と主回路をコンパクトな筐体(きょうたい)に収納し、1列盤構成とした。

ンサを各IGBTの直近に分散配置したスナバレス方式とし、低損失化を図った。

IGBTの冷却には循環水冷却方式を採用し、IGBTから発生する熱は水を介して屋外に設置した風冷冷却器で放出することによって、変換器の大容量化を実現している。

### 3.フリッカ抑制制御

#### 3.1 フリッカ発生原理

フリッカ発生源は、前述のように需要家設備内のアーク炉である。

アーク炉とは工業炉の一種で、原料を電力によって溶融し、目的とする製品を生産する設備であり、製鉄や焼却灰の溶融などにも用いられる汎用性の高い工業炉である。

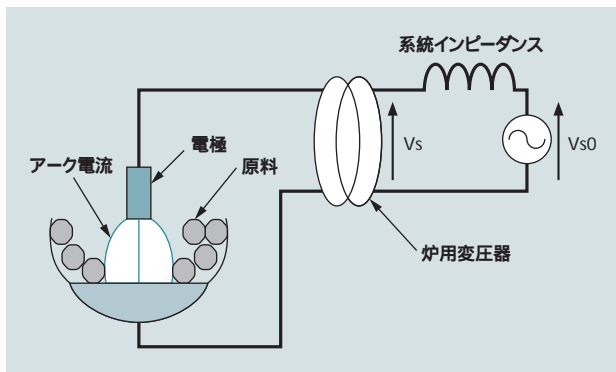
アーク炉の概略構成を図5に、等価回路を図6に示す。炉用変圧器で交流電圧を調整し、アーク電流で原料を溶融する。

鉄を溶融する際、原料が電極付近に落下すると電極が原料を介して短絡する。このとき、図6に示すアーク炉の電極間インピーダンス (Rload) が急激に小さくなり、系統から大きな無効電流が流れ込む。この無効電流が系統電圧 (Vs) の変動 (フリッカ) を引き起こす原因である。

開発したフリッカ抑制用STATCOMは、需要家に流れ込む無効電流の変動成分を検出し、それをキャンセルする無効電流を系統に出力することによってフリッカを抑制する。

#### 3.2 系統構成図

フリッカ抑制用STATCOMが設置される系統の構成を図7に示す。STATCOMはアーク炉を持つ需要家Aと共通の母線に接続される。



注:略語説明 Vs(系統電圧)

図5 アーク炉の概略構成

原料の溶融により、電極間のインピーダンス (Rload) が絶えず変動する。

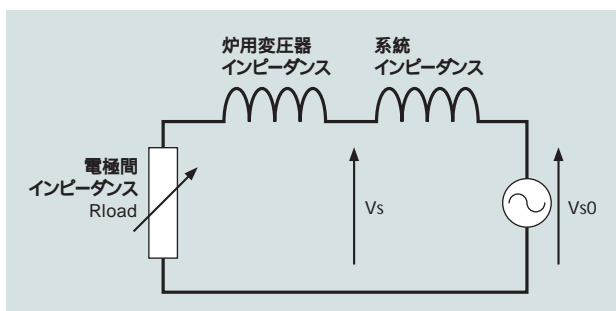
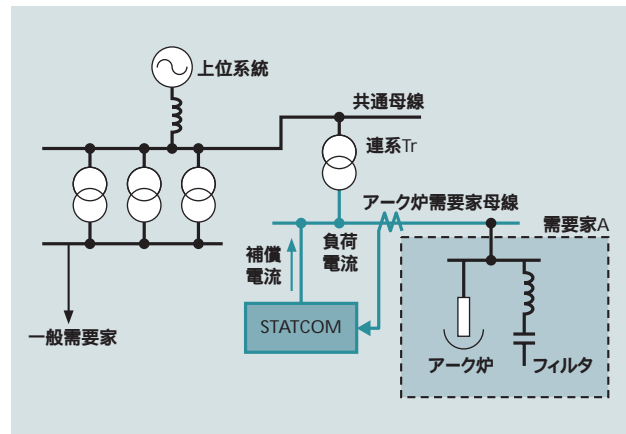


図6 アーク炉の等価回路

アーク炉電極間のインピーダンスの変動を可変抵抗にて模擬する。



注:略語説明 Tr(Transformer)

図7 系統構成

アーク炉負荷を持つ需要家Aと共通の母線にSTATCOMを接続しフリッカを抑制する。

STATCOMがない場合、需要家Aで発生する変動無効電力によって共通母線にフリッカが発生し、一般需要家に供給する電圧が変動する。

フリッカに対する法的規制はないが、電気協同研究第20巻8号<sup>1)</sup>では規制値を  $V10^{>} 0.45 V$ としており、一般需要家に供給する電圧で上記規制を守るためには需要家Aの発生するフリッカを67%以上抑制することが必要となった。

#### 3.3 フリッカ抑制制御

フリッカ抑制用STATCOMは需要家Aに流入する負荷電流を検出し、その無効電流の変動成分に対して逆位相の無効電流を出力する。

しかし、需要家Aに流れ込む負荷電流にはアーク炉電流のほかに、高調波フィルタに流れ込む電流が含まれる。

フィルタに流れ込む電流と逆位相の電流をSTATCOMから流そうとすると、フィルタとSTATCOMの間に共振電流が発生する可能性がある。そこでフィルタとの共振抑制技術の開発が必要となった。

共振抑制のため、以下の技術を開発し、フリッカ抑制と共振抑制の両立を実現した。

- (1) 負荷電流の基本波成分を分離し、その変動分を抽出する「基本波変動抽出演算」
- (2) フィルタとの共振を起こす周波数成分を電流指令値から除去する「特定周波数除去演算」
- (3) 変動する電流指令値に追従する「電流制御演算」

上記技術を組み込んだSTATCOM制御ブロックを図8に示す。

V10:日本電熱協会(当時)アーク炉委員会の開発したフリッカの尺度。100 V系統における1分間当たりの電圧変動の実効値に視感度係数を反映したものの。

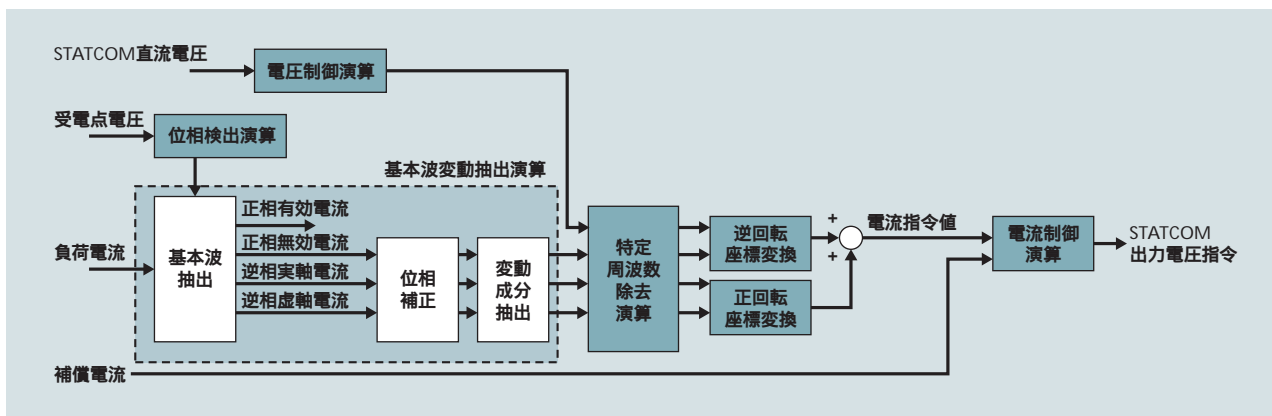


図8 STATCOM制御ブロック

負荷電流検出値に基本波抽出、位相補正、変動成分抽出演算を施して基本波変動成分を抽出し、特定周波数除去演算で共振成分を除去した値を電流指令値として電流制御を実施する。

### 3.4 フリッカ抑制効果

STATCOMの導入によるフリッカ抑制効果を図9に示す。STATCOMの導入によって需要家Aから発生するフリッカを67%以上抑制することを確認した。

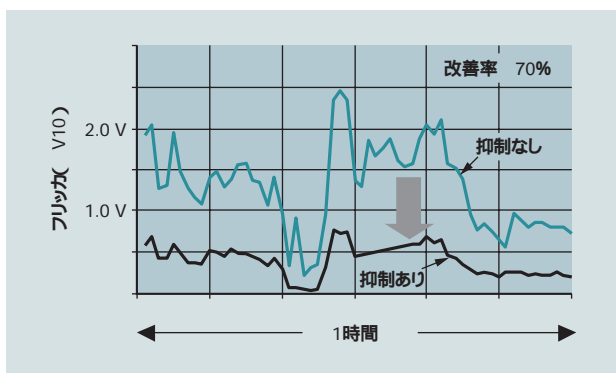


図9 アーク炉需要家母線 V10

STATCOMでのフリッカ抑制後の実測値は、推定した抑制なし時のフリッカ値に対して約70%の低減結果となった。

#### 執筆者紹介



**加藤 哲也**  
1989年日立製作所入社、情報・通信グループ 情報制御システム事業部 パワーエレクトロニクス設計部 所属  
現在、変電用変換器の開発に従事  
電気学会会員



**相原 孝志**  
1992年日立製作所入社、情報・通信グループ 情報制御システム事業部 送変電システム設計部 所属  
現在、電力系統の解析業務および制御システムの開発に従事  
電気学会会員



**伊藤 智道**  
2000年日立製作所入社、日立研究所 インバーティノベーションセンタ 所属  
現在、半導体電力変換装置の研究開発に従事  
電気学会会員、IEEE会員



**生田目 覚**  
1982年日立ニュークリアエンジニアリング株式会社(現株式会社日立情報制御ソリューションズ)入社、電力システム本部 電力電機プラント制御部 所属  
現在、電力系統の解析業務および制御システムの開発に従事

### 4. おわりに

ここでは、新たに開発し北陸電力株式会社伏木変電所に納入したフリッカ抑制機能付き20 MVA STATCOM( 自励式無効電力補償装置 )について、その構成と制御性能を述べた。

日立グループは、今後ともパワーエレクトロニクスシステムの提案、導入を通して、電力系統の安定運用に貢献していく所存である。

終わりに、今回のSTATCOMの開発にあたっては、北陸電力株式会社から多くのご指導・ご協力をいただいた。ここに深く感謝する次第である。

#### 参考文献

- 1) 電気協同研究, 第20巻, 8号(1964)