

広い容量帯に対応する無効電力補償装置（SVC）の開発

🔗 無効電力補償装置，電圧安定化

* 植田喜延 Yoshinobu Ueda

** 杉山 孝 Takashi Sugiyama

*** 材津 寛 Hiroshi Zaitu

** 八ツ橋洋祐 Yosuke Yatsuhashi

概 要

負荷変動などに起因する電圧変動への対策として、無効電力補償装置が広く用いられている。特に配電システムの末端のような電源システムの弱い地域においてその要求が強い。

しかしながら、無効電力補償装置の必要容量は、系統インピーダンスと負荷変動の大きさによって様々であり、容量系列の設定が難しい。

そこで、高速な無効電力指令演算装置を製作し、当社の持つ多機能アクティブフィルタと組み合わせることで、幅広い容量に対応できる無効電力補償装置を開発した。



1MVA SVC装置

1. ま え が き

モータ起動などの負荷変動が発生すると、系統インピーダンスと負荷電流の作用によって電圧変動が発生する。過度の電圧変動は電灯のちらつきや設備の誤動作などの原因となるため、対策が必要とされる。特に配電システムの末端のように電源システムの弱い地域においてその要求が強い。さらに最近では、太陽光発電・風力発電などの普及が急速に進んでいる。このような分散型電源は、気象条件の変化によって出力が変動し、電圧変動の要因となるため、その対策が新たな課題となっている。

電圧変動を抑制するためには、系統の強化（系統インピーダンスの低減）や負荷変動の抑制（インバータを用いた誘導電動機の可変速駆動の採用、太陽光発電や風力発電への蓄電池併設など）といった直接的な対策も可能であるが、無効電力補

償装置（SVC：Static Var Compensator）による対策も広く用いられる。

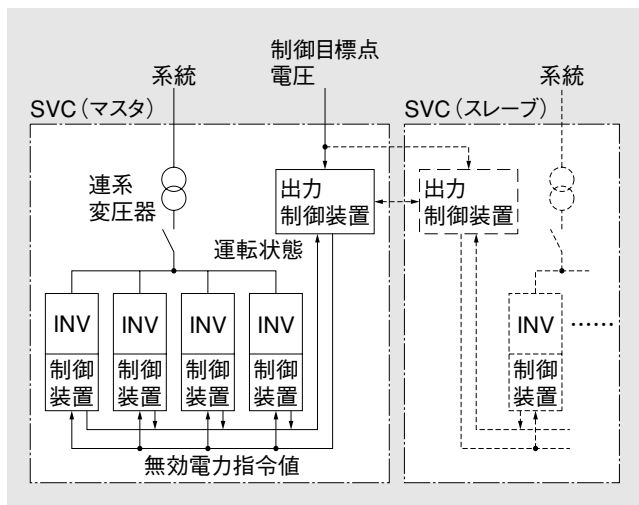
しかしながら、無効電力補償装置の必要容量は、系統インピーダンスと負荷変動の大きさによって様々であり、製品の開発に際してどのような容量系列を設定するかが課題であった。

そこで、既に製品化している多機能アクティブフィルタ（AF）が無効電力出力機能を有していることから、SVCに要求される高速な無効電力指令演算装置のみを新たに開発し、AFと組み合わせることで、幅広い容量に対応できる無効電力補償装置を製品化したので、本稿で紹介する。

2. SVC の 構 成

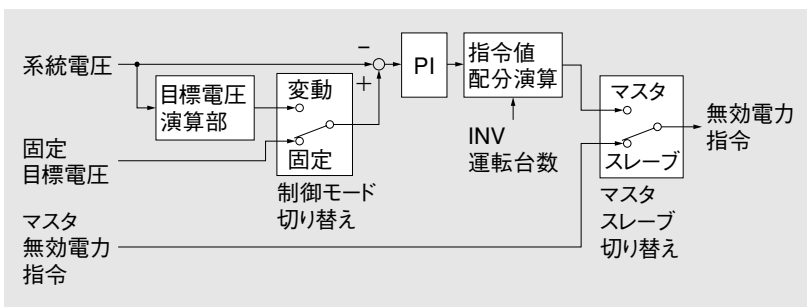
SVCは無効電力出力指令を演算する出力制御装置（無効電力指令演算装置）と、出力制御装置からの指令を受けて無効電力を発生する個別の制御

装置を有した変換装置 (INV) と、連系変圧器から構成される。第 1 図にSVCの構成図を示す。INV



第 1 図 SVC構成図

SVCは無効電力出力指令値を演算する出力制御装置、個別制御装置を持つINV 1~4台、連系変圧器から構成される。SVC 2台をマスタスレーブ運転することも可能である。

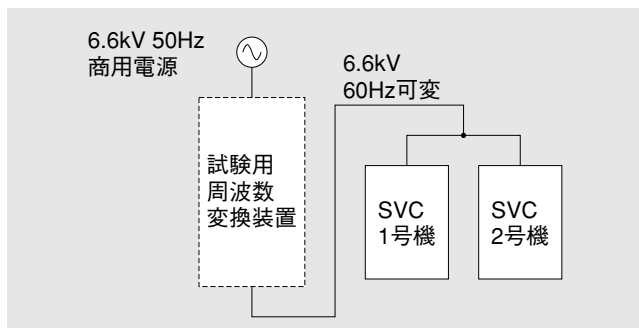


第 2 図 SVC制御ブロック

マスタ運転時は、系統 (制御目標点) 電圧を目標電圧と一致するようにPI制御で無効電力指令を演算し、スレーブ運転時はマスタからの指令に従って無効電力を出力する。

第 1 表 定格表

項目	仕様
定格容量	2MVA
定格電圧	6.6kV
定格周波数	60Hz
台数	2台



第 3 図 SVC試験回路図

周波数変換装置を60Hz可変電源として、SVC 2台を接続した。

及び連系変圧器は、AF用に設計したものを転用した。INV単機としては50kVAから最大750kVAまで容量系列があり、一つの連系変圧器には最大4つのINVを接続することができる (最大3MVA)。さらに大容量のSVCが必要な場合には、SVCを2台組み合わせてマスタスレーブ運転を行うことにより、最大6MVAまで出力可能である。出力制御装置を個別制御装置と別置きにしたことによって、将来AFのINV単機容量系列を拡張した場合には、出力制御装置のパラメータ変更のみでSVCの容量系列を拡張できるという特長がある。

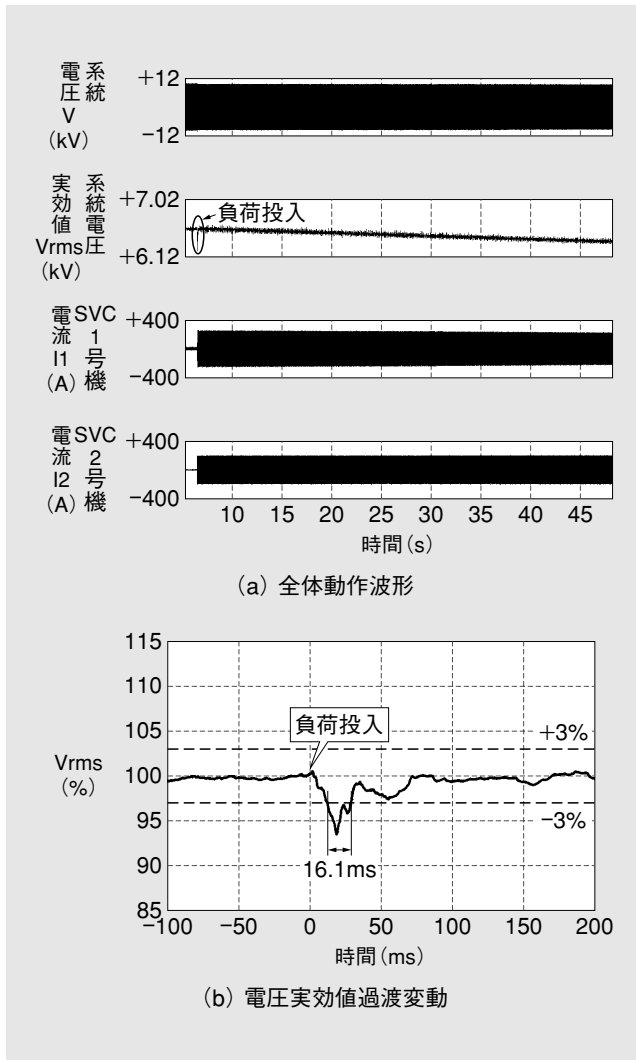
第 2 図に出力制御装置の制御ブロックを示す。出力制御装置は、内部で保持する目標電圧と系統 (制御目標点) の電圧が一致するように、比例積分 (PI) 制御を用いて無効電力指令を調整することによって電圧を制御する。電圧制御モードには、目標電圧として固定の設定値を用いる目標電圧一定モードと、系統電圧の緩やかな変動に応じて目標電圧を変更し、急峻な電圧変動のみを補償する目標電圧変動モードを選択することができる。

マスタ側の出力制御装置は、運転中のINV台数を考慮して各INVに対する無効電力指令を出力する。スレーブ側の出力制御装置は、マスタからの無効電力指令を受信し、自身の各INVに出力する。スレーブ機は、装置起動時にマスタが既に存在すればスレーブに、存在しなければ自身がマスタとなる自動切り替え機能を有しているため、点検による停止中など、SVC 1台のみ運転する場合でも設定変更を行う必要がない。

制御目標点の電圧検出は、交流瞬時電圧波形を用いて出力制御装置内で高速に実効値に変換し、出力制御装置間及び出力制御装置と各INV間の無効電力指令値の授受も高速のトランスデューサによって行うことで、制御の高速化を図っている。

3. 工場試験結果

この度、開発製品の工場試験を実施し、良好な動作結果が得られたので紹介する。第 1 表に開発製品の定格を、第 3 図に試験回路図を示す。通常、試験用周波数変換装置は60Hz向けの機器試験に使

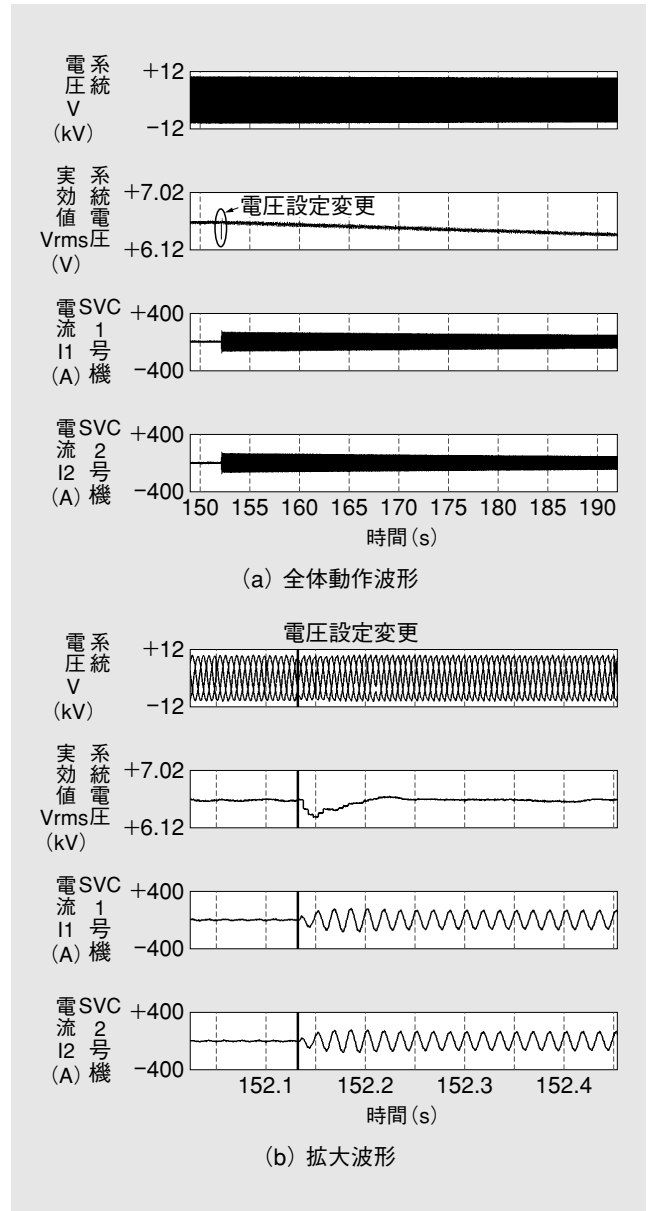


第4図 SVC単機応答試験結果

SVC 1号機単体の負荷変動に対する動作試験結果を示す。(a)は全体動作波形を、(b)は負荷変動発生時の電圧実効値過渡変動を示す。

用し、その出力電圧は自動電圧調整機能 (AVR) によって一定に保たれるが、SVCの試験では、配電システムの末端のようなSVCが適用される条件を模擬するために、AVRを無効にして負荷変動に従って電圧が変動するようにした。

まずSVC 1台の応答性の検証として、SVC 2号機を模擬負荷とし、無効電力を手動で変更した際に発生する電圧低下を目標電圧変動モードで運転するSVC 1号機が補償した結果を第4図に示す。第4図(a)は試験全体を示しており、上から2段目が系統電圧の実効値である。SVC 2号機が無効電力を出力(上から4段目、リアクトル負荷として動作)した際に、一瞬電圧が低下しているが、瞬時にSVC 1号機が出力(上から3段目)することで元の電圧に回復し、その後SVC 1号機の出力が徐々に絞られ、それに対応して電圧も低下していく。



第5図 マスタスレーブ動作試験結果

マスタスレーブ運転時の電源電圧変動に対する動作試験結果を示す。(a)は全体動作波形を、(b)は電源電圧変動発生時の拡大波形を示す。

これはSVCが目標電圧変動モードになっているためである。第4図(b)に負荷変動(SVC 2号機の出力変動)の瞬間を拡大した電圧実効値波形を示す。ここでは、変動前の電圧を基準として、±3%の範囲を逸脱してから範囲内に復帰するまでの時間を動作時間として評価した。その結果、動作時間16.1msと目標とした32msに対して十分なマージンを持っていることが確認できた。

次に、マスタスレーブ運転の動作を検証するために、周波数変換装置の出力電圧設定値を10%急変させ、それに対する2台のSVCによる補償動作を評価した。第5図にSVC 1号機をマスタ、2号機を

スレーブにした時の試験結果を示す。第5図 (a) は試験全体を示しており、周波数変換装置の出力電圧設定値を急変させた瞬間に電圧実効値が低下するが、すぐにSVC 1, 2号機が無効電力を出力して元の電圧に回復し、その後SVC 2台の出力が徐々に絞られ、それに対応して電圧も低下していく。

第5図 (b) に電圧変動 (周波数変換装置の出力電圧設定値変更) の瞬間を拡大した波形を示す。スレーブであるSVC 2号機が、マスタの1号機にほぼ遅れなく無効電力補償を開始していることが確認できる。電圧変動の発生条件が異なるので単機動作と単純な比較はできないが、マスタスレーブ運転においても、動作時間8.0msと、十分なマージンを持って目標である32msをクリアできることが確認できた。

4. む す び

既存のAFと新規開発した出力制御装置を組み合わせることにより、50kVAから6MVAまでの幅広い容量帯に適用可能で高性能なSVCを開発することができた。既に2MVA×2台システムと1MVA単機システムを製作し、出荷した。

今後、特に配電システムの電圧対策装置として販売していく。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



植田喜延 Yoshinobu Ueda
電力品質ソリューションの開発・企画に従事



杉山 孝 Takashi Sugiyama
電力変換装置の電気設計業務に従事



材津 寛 Hiroshi Zaitu
電力変換装置の開発業務に従事



八ツ橋洋祐 Yosuke Yatsunashi
電力変換装置の試験業務に従事