

電力品質ソリューションをリードする当社の パワーエレクトロニクス応用製品

Nissin's Power Electronics Equipment Contributing to Power
Quality Solution

明 石 直 義*
N. Akashi

荻 原 義 也*
Y. Ogihara

概 要

当社の電力品質ソリューションは、電力用コンデンサ応用技術からスタートした。さらに、パワーエレクトロニクス技術と組み合わせることで、お客様にユニークな電力品質改善のための製品をご提供してきた。技術的には、電圧振幅の変化や電圧波形の乱れを抑制する無効電力 (kVar) ・高調波制御から、瞬低や停電を救済する有効電力 (kW) 制御まで、電力品質の改善対象を広げてきた。本稿は、電力品質に関わる当社のパワーエレクトロニクス製品全体の概要を紹介するとともに、後に続く、瞬低停電対策関連の論文への導入とするものである。

Synopsis

NISSIN has been a leading manufacturer of power capacitors in Japan, and its advantages supported our solution business development for power quality(=PQ).

Combination of power electronics and the conventional technology has also contributed to expansion of our original PQ-related products, ranging from reactive power (kVar) compensation to real power (kW) control.

We will describe outline of NISSIN's PQ domain to introduce next two technical materials of "voltage dip compensator" and "uninterruptible power supply system".

1. まえがき

当社は、1945年以来、電力用コンデンサのトップメーカーとして、並列コンデンサ（いわゆるスタコン）による力率改善や電圧維持、直列コンデンサによる電圧変動抑制や電力系統安定度向上といった形で、高圧から超高压系統の電力品質改善に貢献してきた。そのような背景の下、当社のパワーエレクトロニクス事業は、世界に先駆けて1973年に完成させたフリッカ対策用静止型無効電力補償装置（SVC = Static Var Compensator）から始まった。

半導体素子の目覚ましい発展により、家電から電力系統機器まで広くパワーエレクトロニクス技術の適用拡大が進む中、当社もSVCに続き、高周波インバータとコンデ

ンサ回路を組み合わせた高調波抑制用アクティブフィルタ、インバータを用いた自励式SVC、コンデンサをエネルギー貯蔵に用いた瞬低対策装置、蓄電池（レドックスフロー、NaS、鉛）を用いた瞬低停電対策装置など、無効電力制御から有効電力制御に幅を広げてきた。

本稿では、電力品質に関わる当社のパワーエレクトロニクス製品の全体的な紹介を行い、続く2論文で瞬低対策装置および瞬低停電対策装置にポイントを絞った製品・技術紹介を行うものである。

2. 当社の電力品質関連製品の展開

2・1 電力品質

電力品質の評価項目として図1があげられるが、理

*産業・電力システム事業本部

想の姿は

- 停電が無いこと
- 周波数が一定であること
- 電圧振幅が一定であること
- 電圧波形が正弦波であること

である。しかしながら、電力系統には多種多様な負荷がつながっており、送電系統は大自然にさらされているため、過渡的な品質低下（電圧変動や電圧低下、停電）は避けられない。

発電機の出力電圧は一定振幅の正弦波であっても、大容量負荷が投入されると過渡的な電圧低下により誘導機の回転速度が変化する。また、アーク炉のように頻繁な負荷変動が引き起こす電圧変動から照明ちらつき

き（フリッカ）が生じる。整流器負荷が発生する高調波電流で電圧波形が歪んだり、高調波電流が他の機器に流入して過熱問題を引き起こす。これらの品質問題は公害と同じ側面を持っており、発生源側での対策が基本である。

しかしながら、送電線への落雷等により一瞬の電圧低下や停電が発生する現象については、面的に広がった送電網に対する自然現象であることから、被害を受ける側での対策が中心となる。

当社は電力品質（PQ = Power Quality）のソリューションプロバイダとして、表1のようなPQ改善ツールをご提供しており、次項から順次概説していく。

表1 当社のPQ対策製品

PQ要素	当社のPQ対策製品	
	従来製品	最近のパワーエレクトロニクス製品
電圧変動	<ul style="list-style-type: none"> ・スタコンの開閉制御 ・シャントリアクトルの開閉制御 ・直列コンデンサ 	<ul style="list-style-type: none"> ・SVC(無効電力を供給) ・自励式SVC(無効電力を供給)
フリッカ	<ul style="list-style-type: none"> ・直列コンデンサ ・相互リアクトル 	<ul style="list-style-type: none"> ・SVC(無効電力を供給) ・自励式SVC(無効電力を供給)
高調波	<ul style="list-style-type: none"> ・高調波フィルタ（コンデンサとリアクトルの組み合わせ） 	<ul style="list-style-type: none"> ・電力用アクティブフィルタ（逆極性の高調波電流を供給）
周波数変動		<ul style="list-style-type: none"> ・電力安定化装置（蓄電池からエネルギー供給）
瞬低（電圧ディップ）		<ul style="list-style-type: none"> ・低圧回路向けユニセーフ（コンデンサからエネルギー供給） ・高圧回路向けメガセーフ（コンデンサからエネルギー供給）
瞬低～停電	<ul style="list-style-type: none"> ・常時インバータ給電式UPS 	<ul style="list-style-type: none"> ・高速限流遮断装置（発電機からエネルギー供給） ・オールセーフ（蓄電池からエネルギー供給） ・パワーセーフ（蓄電池からエネルギー供給）

- ・停電
- ・瞬時電圧低下（電圧ディップ）
- ・周波数変動
- ・電圧変動
- ・フリッカ
（照明ちらつきを引き起こす
高頻度の電圧変動）
- ・三相電圧不平衡
- ・高調波

図1 電力品質の評価項目

2・2 力率改善から電圧変動対策へ

スタコンは、負荷の無効電力に応じて開閉制御することにより受電力率をほぼ1に維持し、電気料金の低減や電力ロス低減に貢献してきた。現在も低ロス、低コスト、コンパクトという特徴から、需要家の受配電設備には不可欠なものとなっている。なお、スタコンには直列リアクトルを設け、投入時の突入電流や5次高調波電流拡大を抑制している。（図2）

電圧変動対策においては、負荷の変動頻度が少なければスタコンやシャントリアクトルの開閉制御で十分である。しかし、アーク炉や電気鉄道のように急峻かつ頻繁な変動には対応できない。このため、当社は1973年にTCR（= Thyristor phase-Controlled Reactor：サイリスタ点弧角制御スイッチとリアクトルの直列接続）を用いたSVC（Static Var Compensator）を開発した。

アーク炉などの負荷から発生する高調波、あるいはTCR部から発生する高調波は、コンデンサとリアクトルから成る高調波フィルタで吸収する。高調波フィルタの持つ進相無効電力とTCR部の可変遅相無効電力を組み合わせ、遅れから進みの無効電力を高速制御する。TCR方式のSVCは応答速度、効率、コストの点で非常に優れるために、現在もフリッカ対策や電圧変動対策の主流となっている（図3）。最大容量として、154kV系、100MVA（図4）の実績がある。

なお、リアクトルの代わりに変圧器の漏れインピーダンスを利用したSVCもよく用いられる。

また、インバータを用いた自励式SVCも製品化し、配電系統末端での風力発電機向けの電圧安定化装置として運転されている。

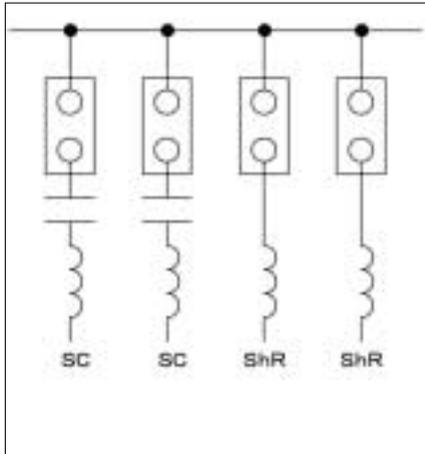


図2 SC (スタコン)、ShR(シャントリアクトル)の開閉制御

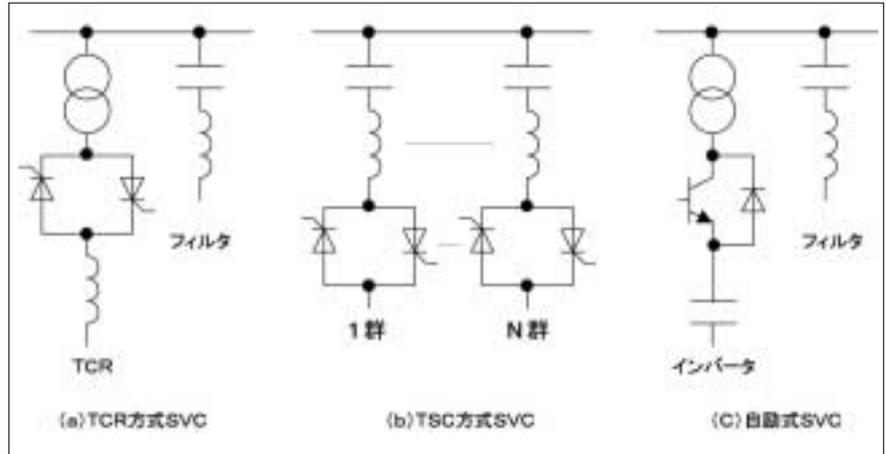


図3 SVCの回路構成



図4 東北電力株式会社殿仙台台港変電所納め SVC



図5 株式会社ユースエナジー宗谷殿宗谷岬ウィンドファーム納め SVC

2・3 電圧安定化から電力安定化へ

最近の大容量風力発電設備の導入増加に伴い、系統に与える電圧変動を抑制するために大容量のSVCが設置される事例が出てきている。図5は宗谷岬ウィンドファームの系統電圧安定化目的で設置されたTCR方式のSVC (22kV系、30MVA)である。

更に、離島などの独立したディーゼル発電機系統では、風力発電機の発電変動に対して、電圧だけではなく系統周波数変動も問題となる場合がある。このため、風発変動に対してエネルギー蓄積要素を備えた電力安定化装置が必要となる(図6)。図7は、強風で風発自身の保護機能により出力が急激にゼロに絞られた場合の、電力安定化装置の補償動作波形である。鉛電池を有しているために電力変動分を高速補償しており、ディーゼル発電機のガバナ応答が追いつくまでの系統周波数変動の抑制が可能となっている。

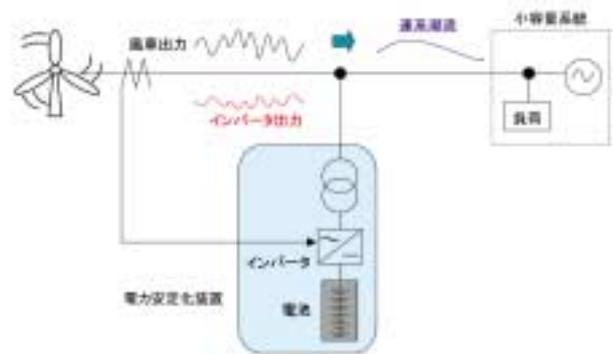


図6 風力発電機向け電力安定化装置

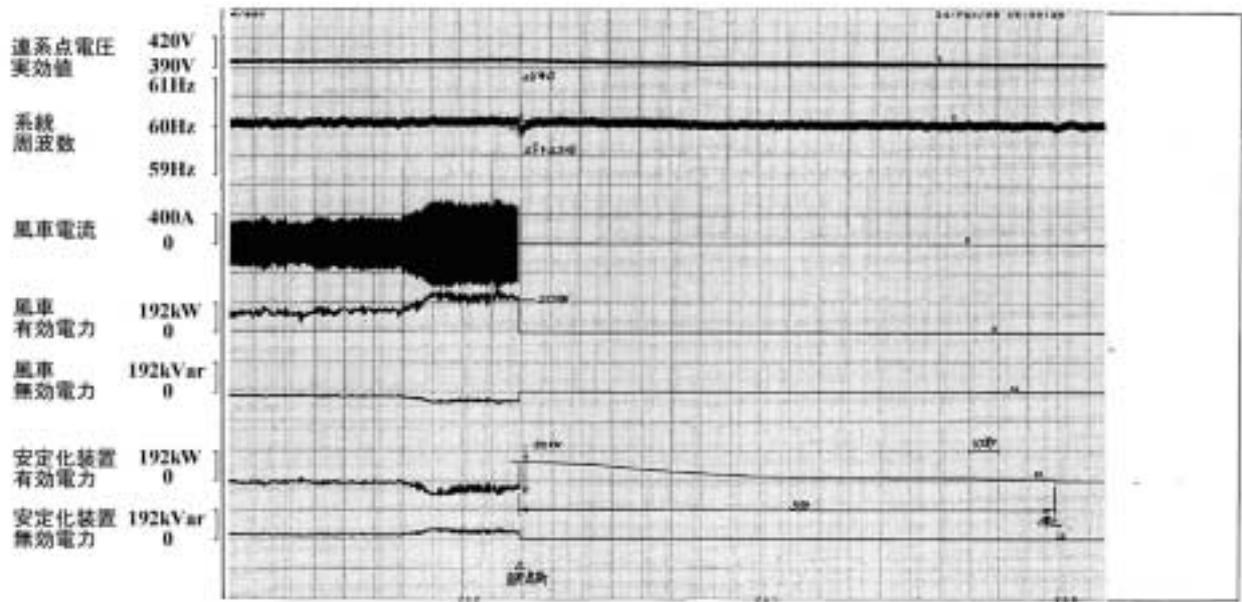


図7 風発向け電力安定化装置の補償動作例

2・4 瞬低対策専用から瞬低停電対策へ

日本の電力系統において停電は極めて少なく、殆どが送電系統への雷撃による瞬時電圧低下（瞬低）と呼ばれる現象である。当社はこの点に着目して、1986年に非常にユニークな瞬低対策専用装置を完成させ、多くのお客様のご支持を得てきた。その後、自家用発電機的能力を最大限に引き出す高速限流遮断装置や、短時間停電に対しても電力供給が可能なオールセーフ、パワーセーフと呼ばれる常時商用給電式の瞬低・停電対策装置を製品化してきた。

3章でそれらの概要を紹介させていただく。なお、詳細は本稿に続く「瞬時電圧低下対策装置」「高圧・大容量瞬低停電対策装置」各稿を参照いただきたい。

3. 瞬低・停電対策のご提案

3・1 瞬低とは

前述のように、送電線への落雷による地絡・短絡故障は、系統の高速保護装置によって除去されるが、それまでの一瞬（一般に0.1～0.3秒程度）の間、瞬時電圧低下（瞬低）が発生する。

社会の高度化、製品生産ラインの高精度制御化にともない、いたるところに電子機器が導入されて瞬低に敏感な負荷が増えていると考えられる。このため、一瞬の電圧低下といえども、高度化された生産設備の停止・誤作動により、製品ロスや生産再開に時間がかかるなどの被害が発生する。

しかしながら、日本の電力系統は、多回線、複数ル

ート送電などにより供給信頼度が高いため、自然災害や人為的災害でも停電に至る確率は低く、ほとんどが瞬低と呼ばれる現象である。このため、短時間のエネルギー蓄積能力を持つ装置（コンデンサ）とパワエレ技術により、殆どの瞬低問題は解決できると考えられる。

3・2 瞬低対策装置

(1) ユニセーフから新型ユニセーフへ

当社は、直流コンデンサに電気エネルギーを蓄えておく、直列補償方式（不足電圧補償方式）の瞬低対策専用装置（ユニセーフ）を中部電力株式会社殿と1986年に共同開発した（図8）。常時商用給電方式で、瞬低発生時には商用系統に直列に挿入したインバータから、電圧低下分を供給する。エネルギー源にコンデンサを使ったこと、直列補償方式であることが非常にユニークであり、電圧低下幅の小さい故障は長引く傾向にある系統特性とも補償能力はよくマッチしている。

本装置は、瞬低救済実績、高効率、コンパクトの点でお客様の強い支持を得てきたが、今回、設置面積を更に従来品の1/2と大幅にコンパクト化した新型ユニセーフを開発した（図9）。スペースの制約が厳しい現場や装置更新予定のお客様にも最適と考え、ご採用をお薦めしている。

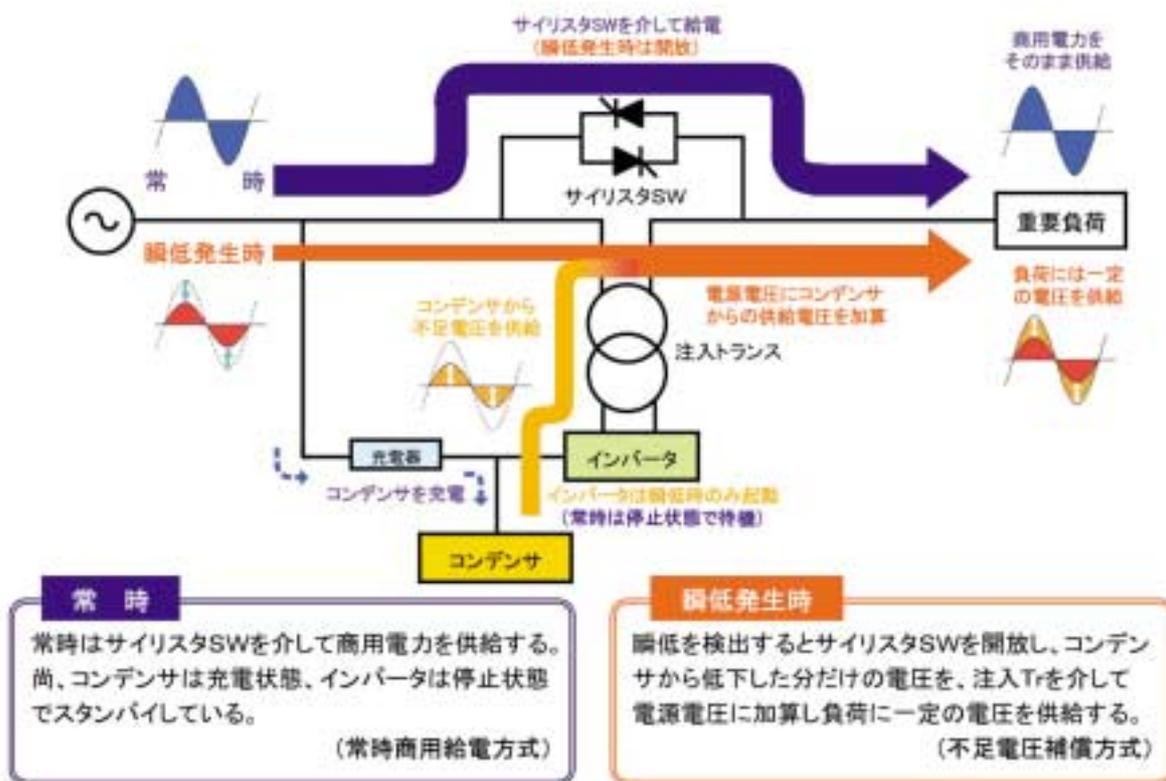


図8 瞬低対策装置（ユニセーフ）の動作概要

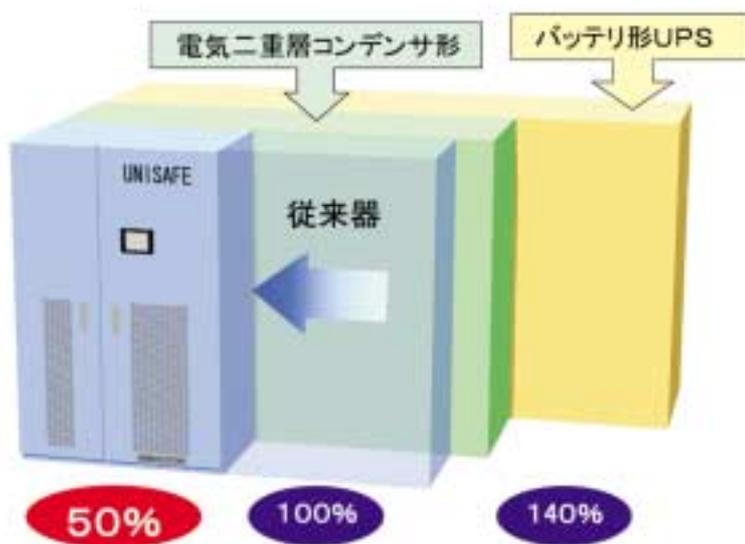


図9 新型ユニセーフ（3 3W210V 200kVA定格）と従来器の外形比較

(2) ユニセーフからメガセーフへ

更に、低圧フィーダ対応ではなく、工場の高圧フィーダ単位で瞬低による被害を一括救済したいというお客様のご要望にお答えして、高圧大容量の瞬低対策装置（メガセーフ）を関西電力株式会社殿と2001年に共同開発した。99%以上の運転効率、コンパクト設計思想により、最近の省エネ、あるいは省資源の要請にも十分お応えできる製品である（図10）。

(3) 瞬低補償特性

20年にわたる瞬低救済実績から、当社は以下の設計コンセプトの妥当性が証明されたと考えている。

- ・ 損失の小さなサイリスタスイッチを通して常時商用給電する
- ・ 瞬低発生時はインバータから交流電源に直列に不足電圧分を補償する
- ・ 三相電圧低下幅60%に対して補償時間0.35秒のエネルギーを蓄えておく
- ・ 直流コンデンサとしてエネルギー密度の大きな電解コンデンサを使用する
（常時はリプル電流が流れないため、電解コン

デンサにとって楽な使い方である）

なお、お客様のニーズの多様化に合わせて、電気二重層コンデンサを用いた装置も準備しており、2006年度内に販売開始予定である。

3・3 瞬低停電対策装置

(1) 自家用発電機の能力を生かす高速限流遮断装置

一般に、コジェネレーションシステムや自家用発電機は常時、商用系統と連系しているが、瞬低（系統側で地絡・短絡故障）が発生すると故障点に向かって電流を供給し、過電流あるいは軸トルク過大によって発電機故障停止となる恐れがある。

当社の高速限流遮断装置は、サイリスタスイッチ（混合ブリッジ回路）と直流リアクトルから構成されている。直流リアクトルで故障点への電流供給を抑制しながら、サイリスタスイッチへのOFF指令により、3/4サイクル以内に発電機を系統から切り離す。直流リアクトルの働きにより、発電機の過電流抑制だけではなく負荷母線電圧の維持（瞬低対策）にも貢献している（図11）。すなわち、負荷にとって発電機の能力を100%生かすための装置である。



図10 高圧・大容量瞬低対策装置メガセーフ(2000kVA定格)

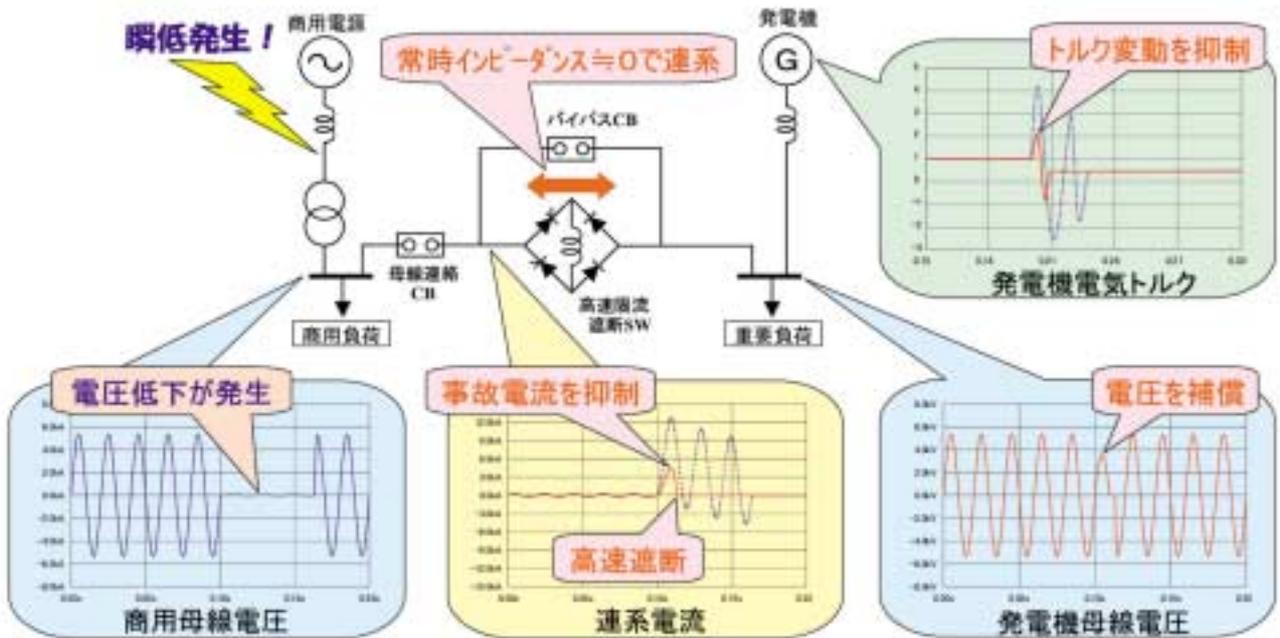


図11 高速限流遮断装置の動作概要

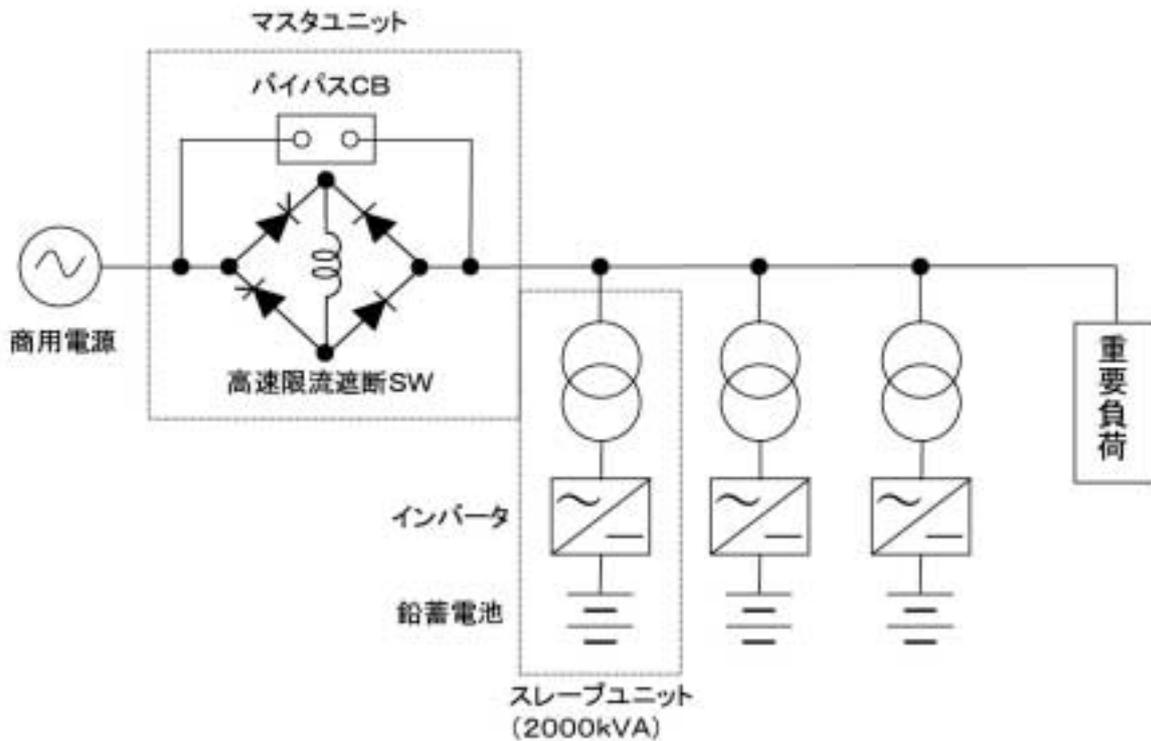


図12 オールセーフ (6.6kV、6000kVA) の回路構成

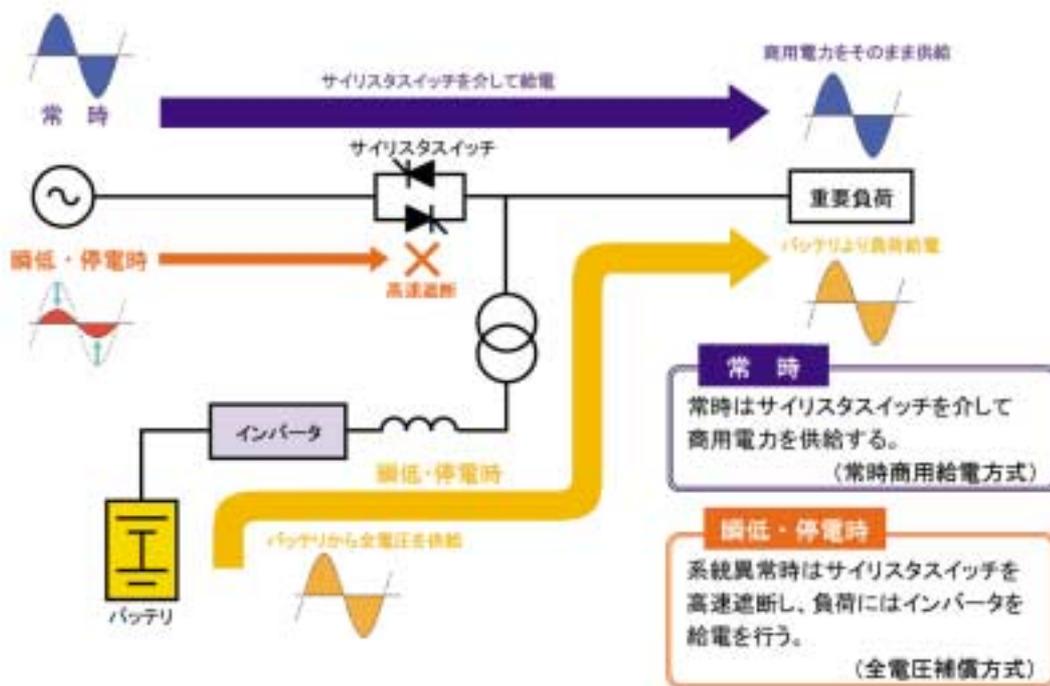


図13 パワーセーフの動作概要

(2) 高速限流遮断装置とインバータを組み合わせたオールセーフ

オールセーフは、高速限流遮断装置を用いた発電機連系システムにおいて発電機を常時商用給電の蓄電池式UPS（無停電電源装置）に置き換えたものと考えることができる。

高速限流遮断装置は瞬低発生時の負荷母線電圧低下を抑制するとともに、急速起動するインバータの系統側への電流流出も抑制する機能を持っている。従来の常時商用給電方式では、インバータ給電に切り替わるのに数msec 必要で、その間は一瞬電力供給が止まる。半導体製造装置で、事例は少ないがわずかな瞬断でも影響を受けるものがあるため、商用給電からインバータ給電切り替え時の電圧ディップを1msec以下にまで短縮した瞬低停電対策装置（オールセーフ）を北陸電力株式会社殿、某半導体メーカー殿と共同開発し、半導体工場に適用した。

オールセーフは蓄電池のエネルギーを活用しており、図12は2000kVAを単位とするスレーブユニット3台の組み合わせによる6000kVA、補償時間10秒（周囲5 において）の装置回路図である。なお、インバータは充電・放電という双方向の電力フローを制御して

いるため双方向コンバータと呼ぶべきであるが、図12（あるいは図13）においてはインバータという名称に統一している。

(3) 高効率を実現したパワーセーフ

オールセーフまでの無瞬断切り替え性能は不要であるが運転効率・スペースを優先されるというお客様に対しては、系統連系点にサイリスタスイッチのみを有する瞬低停電対策装置（パワーセーフ）をご提案している（図13）。常時商用給電で、負荷に直列に入るのがサイリスタスイッチだけであるため、常時の運転効率は99%以上となっている。瞬低発生時は、サイリスタスイッチを瞬時にOFFさせて系統から負荷を切り離し、インバータから正常な負荷電圧を供給する必要がある。自然消弧特性のサイリスタスイッチに対して、ユニセーフやメガセーフで確立した当社独自の高速消弧制御方式を採用している。

パワーセーフも蓄電池のエネルギーを活用しており、パワーセーフ定格容量は主に2000kVAを単位とするスレーブユニットのユニット数で調整している。また、標準補償時間は60秒（周囲25 において）でのご提案となる。

瞬低・停電対策装置の開発検証にあたっては、発電機を使った6.6kV模擬電力システムを構成して実際に2線短絡故障や3線短絡故障を起こしている。その負荷側に置かれた本装置が、誤動作・不動作を起こさず確実に補償性能を発揮できることを確認することで、信頼性の高い装置を実現している。

5. あとがき

以上、電力品質を改善する当社パワーエレクトロニクス製品について概説した。瞬低あるいは停電対策装置の詳細については本稿に続く各稿をご覧ください。当社はコンデンサ技術を核として、高電圧大電流遮断技術、スイッチギヤ、変圧器、保護制御、更にはそれらを融合

したシステム設計技術へと裾野を広げ、電力品質改善ノウハウを蓄積し、パワーエレクトロニクス技術導入によって、よりユニークな製品づくりを進めてきた。

一方で、京都議定書の発効を契機として、地球温暖化防止対策、更にはエネルギー資源の枯渇対策を着実に進める必要がある。この動きの中で、自然エネルギー（太陽光、風力、小水力）や燃料電池発電（バイオマス活用）を始めとする小規模の分散電源がマイクログリッドを構成しつつ配電システムに連系される時代が来ると考えられ、電力品質や保安面の課題が指摘されている。

これまで培った系統解析技術、パワーエレクトロニクス技術、システム設計技術をコアとして、地球環境問題解決にも貢献していきたいと考えている。

執筆者紹介



明石直義 Naoyoshi Akashi
産業・電力システム事業本部
システム機器事業部
事業部長



荻原義也 Yoshiya Ogiwara
産業・電力システム事業本部
システム機器事業部
技師長