

生産設備分野に適した無停電電源装置「SANUPS E」

奥井 芳明

Yoshiaki Okui

1. まえがき

無停電電源装置 (Uninterruptible Power Systems 以下、UPS という) は、商用電源にトラブルがあると社会的に混乱を招く通信分野や電源の変動に弱いとされるコンピュータ分野などでは広く普及してきた。一方、生産設備の分野でも商用電源トラブルによって歩留まりの低下を招き、今日のような厳しい生産計画に大きな影響を及ぼしかねない事態が予想される。場合によっては、停電により100億円を超える損失を被った製造業も報告されている。そのようなことから、商用電源トラブルを対策する装置の導入が検討されている。この生産設備分野における商用電源トラブル対策としては、UPS のほかに瞬時電圧低下対策装置などの導入例がある。この瞬時電圧低下対策装置は、UPS とは特性が異なってくる。瞬時電圧低下対策装置は、商用電源トラブルの一つである「瞬時電圧低下」という短時間の電圧低下現象のみの補償に特化したものである。瞬時電圧低下だけでなく停電も含め、それ以外の商用電源トラブルにも対応したものが UPS であるといえる。それぞれ一長一短があり、生産設備分野ではそれぞれ導入されているのが現状である。

本稿では、停電や瞬時電圧低下の実態について触れ、瞬時電圧低下対策装置およびUPSの動向について述べる。その中で、設備用電源に適していると考えられる新方式の平行プロセッシング方式UPSについて紹介する。

2. 停電と瞬時電圧低下の実態

瞬時電圧低下の定義に、「電力系統を構成する送電線などへの落雷などにより故障が発生した場合、故障点を保護リレーで検出し、遮断器でそれを電力系統から除去するまでの間、故障点を中心に電圧が低下する現象」とされている⁽¹⁾。また、パーソナルコンピュータの瞬時電圧低下対策に関する規格では、「機器およびそのシステムに供給される商用交流電力の電圧が、一時的に低下あるいは遮断され、その時間が数ミリ秒から2秒までの場合をいう。」となっている⁽²⁾。

2.1 経緯

瞬時電圧低下に関する問題は古くから検討されており、資源エネルギー庁長官の私的諮問機関として設置された「電力利用基盤強化懇談会」で審議され、昭和62年5月に答申が打ち出された。この「懇談会」では、瞬時電圧低下は物理

的に不可避な現象であり、これの影響を防止するためには負荷機器側あるいは需要家端での対策が合理的であり、今後、電力供給者、機器メーカ、行政が一体となって技術的検討を行っていくのが肝要であると答申がなされた。その後、瞬時電圧低下に関する調査が行われ、その発生メカニズムや原因、さらには波及範囲や平均的な年間の瞬時電圧低下回数などが明らかとなっている⁽³⁾。

2.2 発生メカニズム

電力系統を構成する送電線などへの落雷などにより故障(落雷による逆せん絡に起因するものが多数)が発生した場合、電力系統の安全性を維持するために、故障点を送電線など設備ごとに設置した保護リレーで高速に検出し電力系統から遮断機によって切り離している。図1に故障点除去時の影響について示す。故障が発生すると需要家A、需要家Bとも保護リレーが動作するまで瞬時電圧低下が発生する。この時間は故障が発生した送電線の電圧階級によって異なるが、0.07~0.3秒程度で故障点は除去される。このとき、故障回線以外から受電している需要家Bでもこの期間、瞬時電圧低下は発生し、故障点が除去できた時点で正常に戻る。この瞬時電圧低下の広がり、電圧階級の高い上位系統ほど影響は広範囲となり、数県にまたがることもある。また、需要家Aは、故障回線が切り離されたことにより停電となるが、1~2分程度で故障送電線を自動再送電させている。このような停電が発生すると瞬時電圧低下対策装置では対応できなくなるため、UPSによる対策が必要となる。

送電線での故障の多くは、落雷など自然現象によるものがほとんどである。送電線への落雷の多くは電力線への直撃雷ではなく架空地線への落雷であり、架空地線から鉄塔を

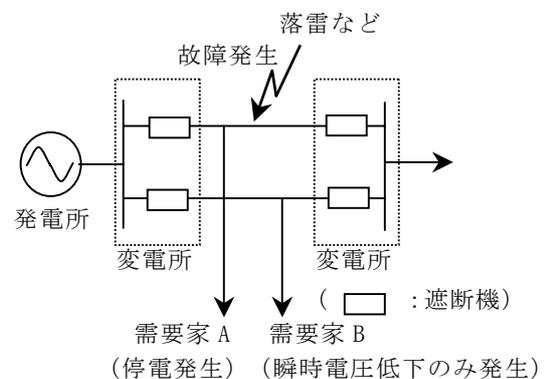


図1 故障点除去時の影響

通して大地へ大電流が流れる。このとき、大電流が鉄塔へ流れるため鉄塔電位が上昇し、電力線との間で絶縁破壊が発生する。これが逆せん絡という現象である⁽⁴⁾。そのため、電力線が地絡した状態となるため瞬時電圧低下が発生する。

2.3 年間の瞬時電圧低下の回数

図2に平均的な瞬時電圧低下の推定実績を示す。瞬時電圧低下の回数については、地域や月別によって異なってくる。瞬時電圧低下の発生原因の過半数以上は雷故障であり、一般的には多雷地域ほど頻度は高くなる。また、月別発生回数は夏季発雷期に集中し、日本海側の冬季雷地域では冬季の回数も増えると推測される。年間の需要家1軒あたりの瞬時電圧低下回数(10%以上の低下数)は、12回/年(全国平均)程度となっている。多雷地域では2倍、少雷地域では半分程度となる。また、停電の全国平均レベルは、0.5回/年である。

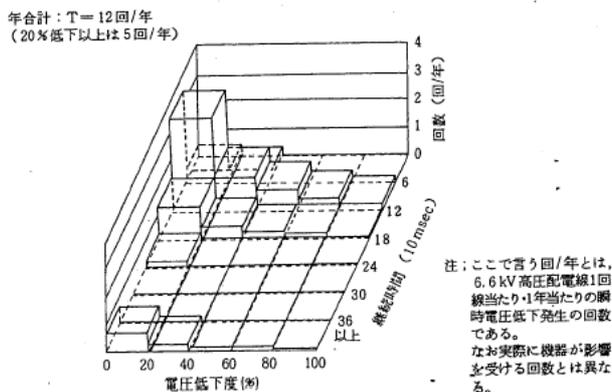


図2 一需要家あたりの瞬時電圧低下実績 (全国平均)

3. UPSと瞬時電圧低下対策装置

3.1 UPSの種類と回路方式

UPSと瞬時電圧低下対策装置を比較する上でポイントとなるのは、回路方式、バックアップ時間、保守性であり、その費用対効果である。回路方式については、UPSおよび瞬時電圧低下対策装置とも様々な回路方式が提案されている。UPSとしては、基本回路構成により大別すると図3に示したように常時インバータ給電方式と常時商用給電方式に分類される。常時商用給電方式は、電力変換器が一つであるため小型で低コストなUPSであり、常時は商用から電力を供給するため通常運転時の電力損失を抑えることができる。しかしながら、停電などの電源異常時に、異常検出してからバックアップ動作をさせるので出力に瞬断をともなう。そのため、負荷システムによっては使用が制限されることがある。一方、常時

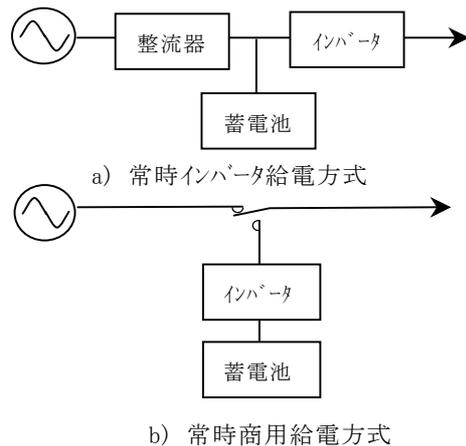


図3 UPSの種類

インバータ給電方式UPSは、通常時に商用電力を整流器・インバータの二つの電力変換器を介して変換しているため、電源異常時でも出力に瞬断をともなわず常に高品質な電力を供給できる。しかし、二つの電力変換器を介しているため電力損失が大きくなる。現在、通信・コンピュータ分野において、常時インバータ給電方式UPSが主流であるが、近年の市場ニーズにおいては、環境対策の観点より高効率(省エネルギー)であり、また初期投資の抑制が求められている。そのため、最近ではこれらの中間的な位置付けとなるパラレルプロセッシング方式⁽⁵⁾やラインインタラクティブ方式⁽⁶⁾なども提案されている。当社においても、後述する無瞬断切替えできるパラレルプロセッシング方式UPS「SANUPS E」をリリースしている⁽⁷⁾。10kVA以下の小さい容量のUPSの主流は、ラインインタラクティブタイプとなっており、中・大容量UPSの分野でもパラレルプロセッシング方式、常時商用給電方式、ラインインタラクティブ方式などが増えつつある。

3.2 瞬時電圧低下対策装置の種類と特徴

一方、瞬時電圧低下対策装置の回路構成では、図4に示したように直列補償方式、トランスによるタップ切替え方式、常時商用給電方式などがある。また、蓄電素子としてはコンデンサを使用しているものが多い。直列補償方式は、瞬時電圧低下発生時に低下した電圧相当分をインバータで発生させ、低下した電源電圧に直列で加算して負荷への供給電圧を一定にするものである。インバータの電源としては、コンデンサに蓄積したエネルギーを用いているため短時間の補償となる。トランスタップ切替え方式は、電圧低下に応じてトランス二次側タップを高速に切替えるものであり、原理上、蓄電素子は不要であるが、電圧低下度60%程度が限界となる。つまり、これら直列補償方式やトランスタップ切替え方式は、電源開放の場合(100%電圧低下)には対応できなくなる。常時商用給電方式については、蓄電素子を除いて回路構成はUPSと同様である。この場合は電源開放にも対応できるが、短時間の補償に特化しているため停電には対応できない。

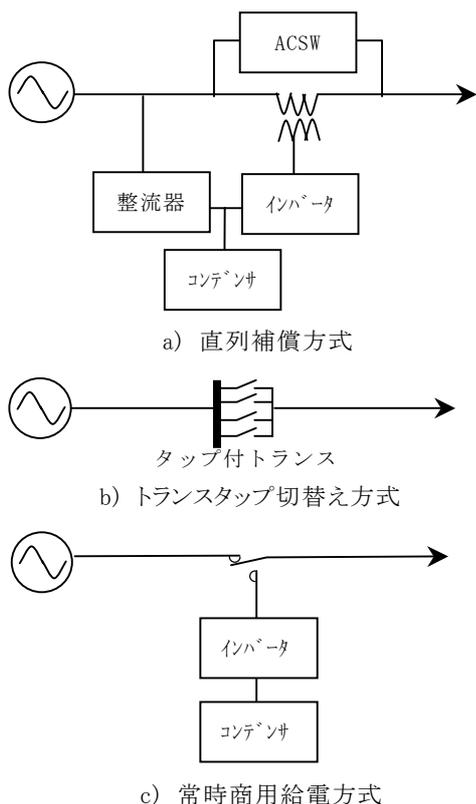


図4 瞬時電圧低下対策装置の種類

これら瞬時電圧低下対策装置は、費用対効果を追求しており、小型化、さらには効率重視の考えから回路は簡素化され、通常運転時も商用電源を基調としている。蓄電素子についても保守性および設置スペースを重視し、前章で述べた瞬時電圧低下の補償に限定し、短時間バックアップ(0.01~2秒)を目的としたものが多い。生産現場では、採算性を重視するニーズであり、相対的に発生確率の低い停電による障害は割り切り、対策コストを下げたほうが良いといった背景があるためである。また、保守による生産ライン停止を回避するためにも無保守が望まれる。このようなことから、瞬時電圧低下対策装置としては、瞬時電圧低下を補償する必要最小限の回路および構成となっている。そのため、常時インバータ給電方式や鉛蓄電池などは瞬時電圧低下対策装置としてはあまり適さないが、常時商用給電方式とコンデンサの組み合わせはそのニーズを満たすことができる。この場合、UPSと瞬時電圧低下対策装置の回路構成には差がなくなり、蓄電素子の差となってくる。一般的に、UPSで使用される蓄電素子の主流は鉛蓄電池である。鉛蓄電池は、電解コンデンサと比較してエネルギー密度が100倍程度と高いため長時間バックアップに適している。しかし、汎用品においては寿命が比較的短い(約5年)ため保守性が悪い。そのようなことから、生産現場では保守性や設置スペースを重視し、コンデンサを用いた瞬時電圧低下対策装置を採用する傾向にある。最近では、エネルギー密度の高い電気二重層コンデンサ(電解コンデンサの20~30倍程度)が採用されるケースも増えてきた。しか

し、鉛蓄電池は各分野で普及している蓄電素子であるため、現状の電気二重層コンデンサより安価である。また、これら最新の蓄電素子を使用するにあたっては注意が必要となる。コンデンサは10年間、無保守といったイメージもあるが、コンデンサも使用環境で左右される寿命部品であるため、その選定を間違えると保守部品にもなりかねない。逆に、鉛蓄電池は、寿命が短いイメージがあるが長寿命品(公称13~15年)もある。ただし、UPSで使用される蓄電池は高率放電となるため公称寿命より短くなる(制御弁式据置鉛蓄電池では2C放電で9~12年とされている)。そのため、設置スペースが確保できれば、常時商用給電方式と長寿命鉛蓄電池の組み合わせでも約10年間、無保守とすることもできる。この場合、経済性でも電気二重層コンデンサを使用するより鉛蓄電池を使用したほうが有利となり、さらには瞬時電圧低下だけでなく停電にまで対応できることになるので割り切りの必要はなくなる。第2章でも述べたように停電は発生する可能性は十分あり、費用対効果を考えると停電まで対応するのが望ましい。今後、市場のニーズにこたえていくためには蓄電素子の技術動向によるところが大きく、また重要である。電気二重層コンデンサについては、重金属を用いていない点は魅力であり、今後更なるエネルギー密度の向上、コスト面などが改善されていけば、期待できる素子のひとつである。また、鉛蓄電池を含む二次電池についても同様であり、保守性やコスト、また更なるエネルギー密度や出力密度の向上に期待をしたい。以上、蓄電素子についてまとめると表1のようになる。

表1 蓄電素子の比較

	バックアップ時間	保守性	設置スペース	価格
電解コンデンサ	△ (瞬低のみ)	○	○	○
電気二重層コンデンサ	△ (瞬低のみ)	○	◎	×
鉛蓄電池	◎	△ (5年寿命)	×	◎
鉛蓄電池 (長寿命品)	◎	○	×	○

注)コンデンサは1秒、蓄電池は5分バックアップで比較した場合

その他、蓄電素子としてフライホイール方式による瞬時電圧低下対策装置もある。これら瞬時電圧低下対策装置の主回路構成は、常時商用給電方式が多いようである。

4. パラレルプロセッシング方式UPSの特性

当社では、上述したように常時商用給電方式と同じような回路構成で、常時商用給電方式より高性能なパラレルプロセッシング方式UPS「SANUPS E」(当社では、無瞬断ハイブリッド型UPS「SANUPS E」として販売)が開発されている。本章では、本UPSの特長について述べ、生産設備用電源に適している点を紹介する。

4.1 基本構成

パラレルプロセッシング方式 UPS とは、アクティブフィルタ、充電器およびインバータの機能をひとつの電力変換器で実現させたシンプルな構成のハイブリッド型 UPS である。

本装置の基本構成を図 5 に示す。同図のように電力変換器は、商用電源と並列(パラレル)に接続されており、通常時は商用電源から負荷へ給電をしながら電力変換器をアクティブフィルタ機能で負荷の発生する高調波電流を抑制し、充電器機能で蓄電池の充電を同時(パラレル)に処理(プロセッシング)している。負荷への給電形式は「電力は商用電源から、品質はインバータから」の状態です。通常運転中は「品質」の分しか電力変換器を介さないで、常時インバータ給電方式と比較すると電力損失が飛躍的に少なく、高効率で負荷へ電力供給できる。

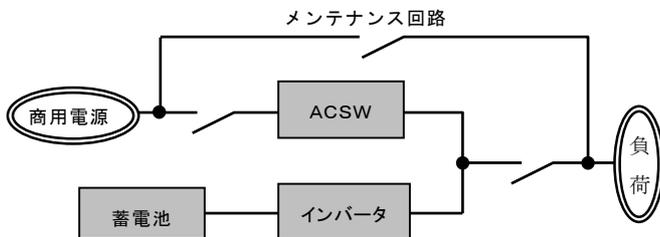


図 5 パラレルプロセッシング方式 UPS の基本構成

また、商用電源が異常の場合、ただちに商用電源を切離し、電力変換器をインバータ動作させて負荷への給電を無瞬断で供給できる信頼性の高いUPSである⁽⁸⁾。

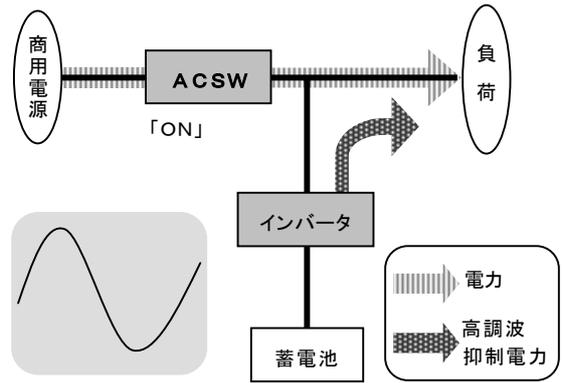
以下、基本的な動作について説明する。

4.2 基本動作

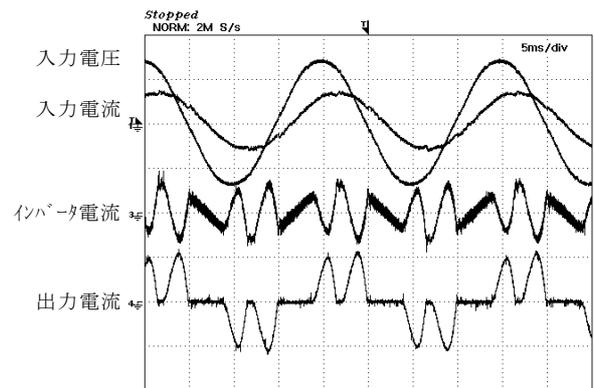
(1) 通常運転時(商用並列給電時)

通常運転時は図 6(a)に示すように、商用電源より ACSW を介して負荷へ電力を供給しながら、電力変換器はアクティブフィルタおよび充電器として動作する。そのため、負荷機器から発生する高調波電流の抑制と無効電力の補償が行われ、入力電流が正弦波かつ力率がほぼ1となるように制御される。

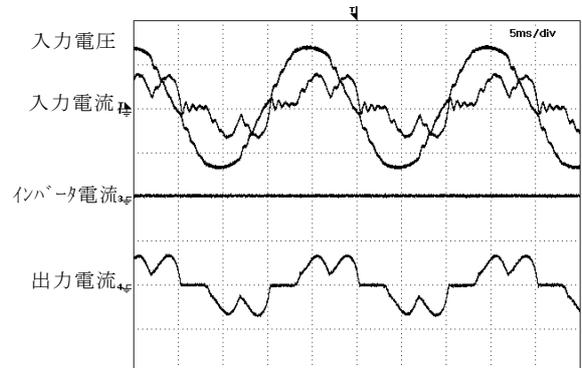
このときの入出力波形を図 6(b)に示す。また、アクティブフィルタ機能を OFF としたときの波形を図 6(c)に示す。



(a) 給電状態



(b) アクティブフィルタ動作時の入出力波形



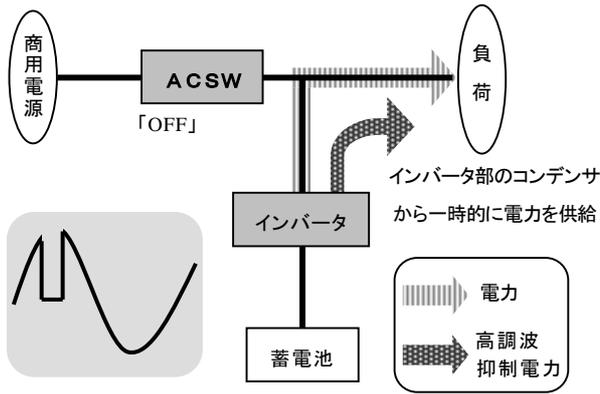
(c) アクティブフィルタ非動作時の入出力波形

図 6 商用並列給電時の動作および波形

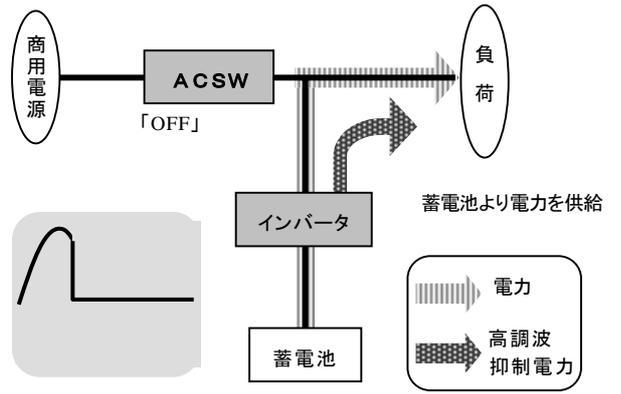
アクティブフィルタが機能していないと入力される商用電源を歪ませていることがわかる。常時商用給電方式では、この機能がないため同じ系統に接続される他の機器へ影響する場合もある。

(2) 交流入力異常時

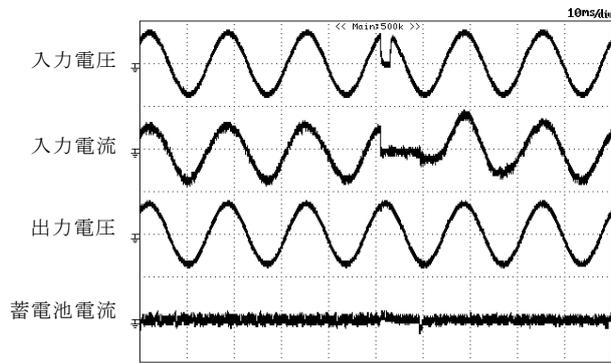
交流入力の変動が発生した場合、図 7(a)に示すように ACSW を直ちに OFF し、無瞬断でインバータ内部の電解コンデンサにより負荷へ一時的に電力を供給する。異常時間が短ければ、直ちに ACSW を ON するため図 7(b)に示すように



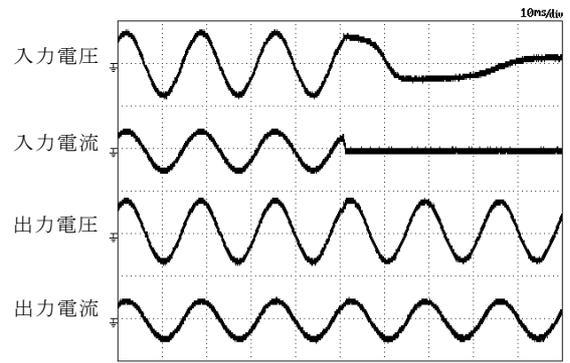
(a) 給電状態



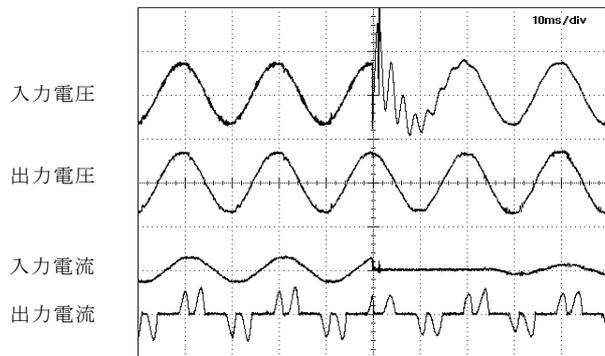
(a) 給電状態



(b) 入出力波形



(b) 入出力波形



(c) サージ印加時の波形

図 7 コンデンサー時給電時の動作および波形

蓄電池からの放電はない。また、図 7(c)に示したようなサージ(リングウェーブ)が発生しても、同様に蓄電池の放電はせず、出力に接続される負荷をサージから保護できる。

さらに、交流入力異常が継続すると図 8(a),(b)に示したように電力変換器はインバータ機能として動作し、蓄電池からインバータを介して負荷へ電力を供給する。

図 8 蓄電池給電時の動作および波形

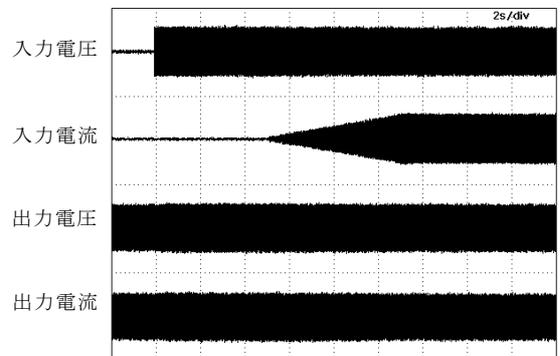


図 9 復電時の波形波形

(3) 復電時

蓄電池運転から通常運転に戻るときの波形を図 9 に示す。同図に示したように入力電流はウォークイン機能により、入力電源から見ると過渡変動を生じない。従って、エンジン発電機がある場合、不必要に大きな容量選定をしなくて良い。

4.3 「SANUPS E」の特長

(1) 高効率

常時インバータ給電方式と比較して装置内部で発生する電力ロスが少ないため、常時インバータ給電方式の最大効率 87%に対して 97%と高効率である(当社比)。

(2) 無瞬断

商用電源とインバータは常に並列運転しており、商用電源異常時は商用電源を高速で切り離し、負荷への給電を無瞬断で継続できる。また、サージ発生時などでも保護ができ、この時、不必要な蓄電池放電を防止している。(常時商用給電方式の場合、2 ミリ秒～半サイクル程度の瞬断を伴う。)

(3) アクティブフィルタ機能

アクティブフィルタ機能により負荷機器から発生する高調波電流の抑制と無効電力の補償が行われ、入力電流が正弦波かつ力率がほぼ1となるように制御される。そのため、入力電源に高調波障害を発生させない。

(4) 動力用途向け

通常運転時の主な電力は、インバータからではなく商用電源から供給されるため、過負荷耐量は $800\% \cdot 0.5$ 秒となっており、当社従来機 ($800\% \cdot 2$ サイクル)と比較して大きくなっている。これにより、負荷側の始動電流などの大きな過電流が発生した場合でも対応でき、動力負荷にも適している。

(5) 小型・高信頼・経済的

電力変換器が一つで構成されているため、回路構成が簡素化され部品点数が減少できる。そのため、小型、低コストとすることができる。また、部品点数が少ないため平均故障間隔時間 (MTBF) も長くなり、給電の信頼性が向上する。

(6) 蓄電池チェック機能

蓄電池は定期的な診断をすることが好ましい。本 UPS では、蓄電池チェック時に給電状態を変えないため安心であり、また自動で定期的に蓄電池をチェックできる機能が搭載されている。

(7) ネットワーク対応

最近のUPSは、ネットワーク接続に対応しており、停電時のオートシャットダウンをはじめスケジュール運転、運転状態、計測値表示などの機能が使用できるようになる。

本UPSは、以上のような特長を有しており、特に高効率であり、高過負荷耐量ということから生産現場で使用される動力負荷用バックアップ電源に最適である。応用例として、クリーンルーム内に設置した例について紹介する。

4.4 「SANUPS E」のクリーンルーム用としての応用例

動力負荷は電力も大きくなることから比較的大きな容量のUPSが必要である。また従来のUPSでは発生熱量も大きいのでクリーンルーム内に設置するのは不利であった。そのためクリーンルーム外の電気室に設置する場合があるが、このように電気室で一括バックアップをすると、万が一UPSが故障してしまった場合、すべてに影響を及ぼす可能性がある。このようなリスクを回避する一つの手段として、クリーンルーム内に分散的にUPSを配置することで、そのようなリスクを小さくすることができる。また、分散設置した場合、本UPSではアクティブフィルタ機能がついているため、UPSの入力電流は正弦波化され、力率もほぼ 1 となり、受電端から装置までの長い配線の線径も細くすることもできる。

クリーンルーム内では、高度な温湿度管理が要求されるため、UPSから発生する熱、排風方向が重要である。従来のUPS であると、排風方向は上面方向か裏面方向である。従って、上部から下部へ気流管理されているクリーンルーム内では問題を生じることになる。本 UPS は、発生熱量が少ないため装置から発生する熱の排風方向を容易に変えることができ、下部排風とすることもできる。下部排風としてグレーチングを通して熱を逃がすことにより、温湿度管理を簡単化できる。図 10 にクリーンルーム用として製作された 100kVA のダクト付パラレルプロセッシング方式UPSの外観を示す。標準機は上部排風であるが、発生熱量が少ないため簡単なダクト構造で下部排風とすることができる。



図 10 ダクト付パラレルプロセッシングUPSの概観

5. むすび

従来、設備用バックアップ電源として UPS を導入する際、工作機械を管理するコンピュータのみをバックアップするケースが多かった。一方、動力負荷へは瞬時電圧低下対策装置による対策が多かった。しかし、中・大型UPSも小型・軽量化・低コスト化が進み、さらに動力負荷のバックアップに適したUPSの出現により、費用対効果を考えると瞬時電圧低下だけでなく停電まで対策できるUPSによって動力系機器の損傷を抑えることが可能となった。本稿で紹介したパラレルプロセッシング方式 UPS「SANUPS E」は、その特長から生産設備分野に適しており、費用対効果の高いシステム提案ができるためお客様のビジネスを成功させるものと信じる。最後に、本 UPS は生産設備だけでなく通信・コンピュータ分野にも適応できる UPS であることも付け加えておく。今後、さらにお客様にご満足いただけるバックアップ電源を開発していく所存である。

文献

- (1)瞬時電圧低下対策専門委員会:「瞬時電圧低下対策」, 電気共同研究会第 46 巻第 3 号, pp.15-16(1990).
- (2)低周波 EMC 専門委員会,情報処理標準化運営委員会:「パーソナルコンピュータの瞬時電圧低下対策」, 電子情報技術産業協会規格 JEITA IT-3002, p.2(2003).
- (3)瞬時電圧低下対策専門委員会:「瞬時電圧低下対策」, 電気共同研究会第 46 巻第 3, pp.15-40(1990).
- (4)九州電力:「瞬時電圧低下による影響とその対策について」, パンフレット, p.5(2003).
- (5)PWM インバータの制御法とその評価法調査専門委員会:「PWM インバータの制御方式の最新技術動向」電気学会技術報告第 635 号, pp.68-72 (1997).
- (6)日本電機工業会:「情報化社会に安心を与えるUPS(無停電電源装置)」, パンフレット 2003 年版, pp.1-6(2003)
- (7)平田, 奥井, 太田, 金子, 中村:「中容量 UPS「SANUPS E」の開発」, 山洋電気テクニカルレポート No.14, pp.24-27(2002).
- (8)Y.Okui, S.ohta, N Nakamura, H.Hirata and M. Yanagisawa "Development of Line Interactive type UPS using a Novel Control System", Proceedings of IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC'03), pp.796-801, 2003.



奥井 芳明

1992年入社

パワーシステム事業部 設計第一部

無停電電源装置の開発, 設計に従事。工学博士。