

UPSに生きる制御技術

志水 悟

Satoru Shimizu

吹田 宗男

Muneo Suita

1. まえがき

情報通信システムなどの安定稼働を支えている交流の無停電電源装置(以下 UPS という)は、システムの高度化に伴ってますます重要になりつつある。

古くはモータ、発電機、エンジン、そしてフライホイールなどによる「回転形」であった UPS は、電力用の半導体が登場してから半導体の電力変換器とバッテリーを組み合わせた「静止形」に移行した。高性能・高効率・高信頼度と共に、小型・軽量・安価を求めて、また、用途に見合っただけで各種の方式が開発されてきた。

本稿では、その代表的な UPS の方式と制御技術について紹介する。

2. 無停電化の方式と制御

2.1 常時インバータ給電方式

この UPS は、図 1 のような構成で、通常は商用電源を AC/DC 変換器で直流に変換し、さらに DC/AC 変換器で安定した交流に戻して負荷へ給電する。商用停電時には、直流部に接続したバッテリーによって、DC/AC 変換器を動作するように制御する。

商用の停電や変動に対して、完全無停電で常に一定電圧の出力が得られることが特長である。また、変換器の定格を越える過負荷電流が発生した場合や変換器の故障・手入れの場合には、バイパスのスイッチを設けて、商用電源を負荷に直送する。この時、変換器出力とバイパスとの切替を無瞬断にするために、変換器出力を商用電圧波形に合わせる同期追従制御や、スイッチの切替制御を行っている。

この方式は高性能 UPS の代表であって、当社は大容量から小容量までシリーズ化している。

2.2 常時商用給電方式

この UPS は、図 2 のような構成で、通常はバイパスのスイッチを通して商用電源を負荷に供給し、商用が停電するとバッテリーを電源とした DC/AC 変換器の出力に切替えるように制御する。通常は変換器を通さず商用電源を負荷に直送するので、常時インバータ給電のような変換器の電力損失が無く、運転効率が高く省エネになることが特長である。

しかし、商用の停電を検出してから DC/AC 変換器に切替える時に、出力に瞬断が発生する。瞬断の長さは、変換器を運転して待機するホットスタンバイか、停止しておくコールドスタンバイか、また、スイッチが高速半導体か、電磁開閉器か、さらに、停電検出回路の検出速度などで決まる。

高速検出をするには、商用電圧波形(正弦波)の各瞬時値と、あらかじめ設定した制限値とを比較する瞬時検出を用いるが、それでも数 ms の瞬断は避けられない。

従って、この種の UPS は瞬断があっても動作する負荷機器用に限定される。

2.3 パラレルプロセッシング方式

この UPS は図 3 のような構成とする。これは常時商用給電の構成における DC/AC 変換器を、双方向変換器(3.3 項参照)にして、充電器を兼用させたものである。通常は双方向変換器が、バッテリー充電と共に負荷電流の無効分や高調波を吸収するアクティブフィルタとして動作させることが特長である。停電時の出力瞬断については、常時商用給電と似ているが、当社の中容量シリーズでは制御に独自の工夫を加えほぼ無瞬断を達成している(詳細は別稿で紹介されている)。

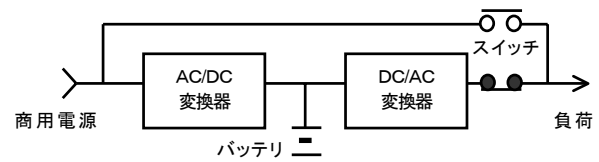


図 1 常時インバータ給電の構成

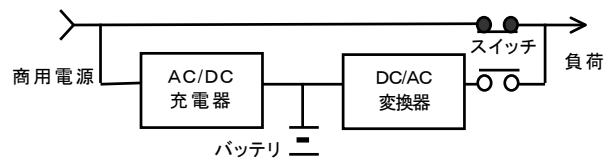


図 2 常時商用給電の構成

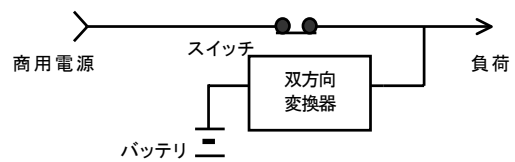


図 3 パラレルプロセッシングの構成

3. 電力変換器の構成と制御

3.1 逆変換器

直流を交流に逆変換するインバータ回路は、ブリッジ形に構成した主半導体 (IGBT や MOSFET が主流) をスイッチングさせて交流電圧 (方形波) を得る。さらにこの電圧を正弦波にする AC フィルタを設けるのが一般的な逆変換器の構成 (図 4) である。

インバータの出力電圧は、高さ一定の方形波になるので高調波を含んでいるが、この高調波成分を少なくすると正弦波に近づき、AC フィルタは小型にできる。

そのひとつの方法に、スイッチングポイントをずらせた複数のインバータを出力端で接続した多重インバータ方式がある。得られる電圧は、図 5 のような階段波となって低次の高調波が除かれる。多数のインバータを用いて段数を増すとさらに正弦波に近くなる。しかし、この方式はインバータ主回路が多くなり、制御性も良くないので、現在では特殊な大型機に使われる程度となっている。

現在一般的に使われるのは、PWM (パルス幅変調) 形のスイッチング制御方式である。これは図 6 のように、得たい正弦波を時間的に多数に分割してパルス (方形波) 列を作り、各々のパルスの幅をそのポイントの正弦波の高さ (振幅) に比例させると、パルス列の面積が正弦波に近似し、低次の高調波が除かれるもので、三角波のキャリア信号と正弦波の制御信号との交点でパルスを発生させることで得られる。

キャリア信号の周波数を高くするとパルス数が増えて正弦波に近づくが、パルス毎にスイッチングするインバータの電力損失 (スイッチングロス) が増加するため、一般には AC フィルタの騒音対策を兼ねた可聴周波の限界程度が選ばれる。

また、出力電圧の大きさは制御信号の大きさに比例するので、出力電圧を検出して、基準波 (別に作った準正弦波信号) との差電圧を制御信号にすると、瞬時制御された一定電圧の出力が得られる。さらに、前記の商用への同期追従制御、過電流制御など制御は多岐にわたるが、マイコンや DSP を使ったデジタル的な制御に移行して省スペースと品質向上を図っている。

3.2 順変換器

交流から直流への順変換は、ダイオードブリッジの全波整流器が最もシンプルであるが、交流入力力の率改善や電流の高調波対策、直流出力の定電圧化などから、高効率コンバータ (PFC) 回路が一般に用いられる。

代表的な基本回路として、小容量に多く使われる図 7 の 1 石昇圧チョップパ形と、三相用にも展開できる図 8 のフルブリッジ形を示す。図 7 の制御は交流電圧を整流器 R_f とリアクトル

L を通して半導体スイッチ Q でクランプし、クランプを開放した時に L に蓄積したエネルギーがダイオード D を通して直流へ出力する。半導体 Q は PWM インバータと同様に高周波でスイッチングし、この時入力電流が正弦波になるように、さらに直流電圧が一定になるように制御している。

図 8 では、ブリッジ回路 (半導体スイッチと逆並列ダイオード) の $Q1 \sim 4$ を、順次 PWM スwitching 制御させることによって、図 7 と同様の昇圧チョップパ動作になる。

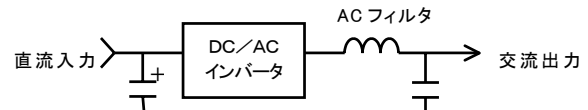


図 4 逆変換器の構成

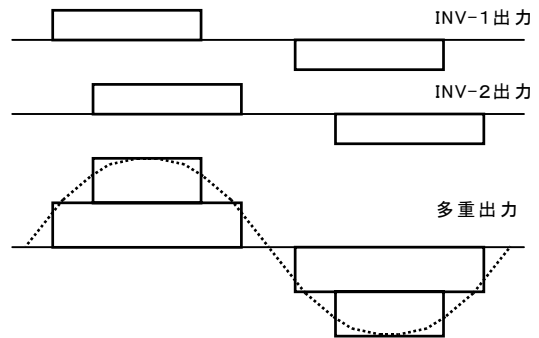


図 5 多重インバータ波形

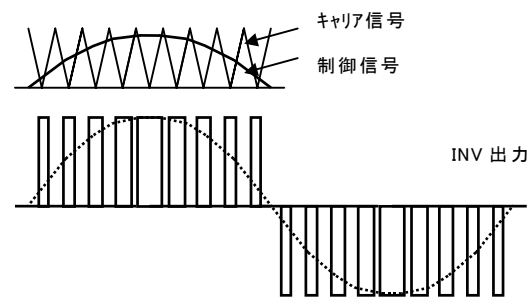


図 6 PWM インバータ波形

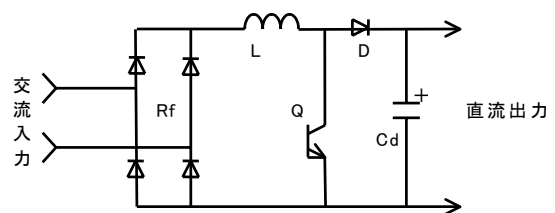


図 7 1 石昇圧チョップパ形 順変換器回路

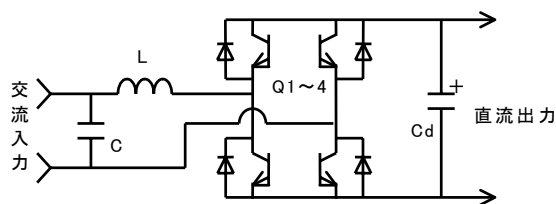


図 8 フルブリッジ形 順変換器回路

3.3 双方向変換器

前項のフルブリッジ形の順変換器回路(図 8)は、直流側を入力に見ると、逆変換器(図 5)と同一の構成(半導体ブリッジ+リアクトル+コンデンサ)であり、入出力に可逆性がある。従って、制御モードを切替えることによって、順変換器と逆変換器とに使い分ける双方向変換器にすることができる(順変換=交流電流と直流電圧を制御、逆変換=交流電圧を制御)。当社では、この制御技術を UPS に活用している(2.3 項、4.2 項)。

このほか変換器には、入力/出力間を絶縁する場合に用いられる、高周波リンク方式や半導体絶縁コンバータ方式があるがここでは省略する。

4. 高信頼度システムの構成と制御

UPS をより高信頼度にするには、複数台構成のシステムや負荷のコンピュータ機器との一体管理システムなどがある。

4.1 現用予備システム

同一の UPS 2 台を現用・予備に切替えて使用するもので、予備機は現用機に同期追従して待機運転し、現用機のトラブルや手入れの時には予備器へ無瞬断切替するように制御する。各 UPS は常時インバータ方式を用いるのが一般的で、また、2 台ともトラブルの時にバイパス回路へ無瞬断切替するシステムもある。

4.2 双方向予備システム

双方向変換器の技術を用いて、予備機を簡略にしながら現用予備システムと同様の信頼度を確保するものである。

図 9 の構成において、順変換器または、逆変換器にトラブルがあった場合は、その変換器を双方向変換器にスイッチ切替すると共に、双方向変換器を順変換器または、逆変換器として制御すると、この間無瞬断で引き続き出力供給できる。当社はこのシステムをいち早く開発し中容量シリーズを製品化している。

4.3 並列冗長システム

複数台の UPS 出力を並列に接続すると、台数分の出力容量にする増容量(N 方式)や、1 台を予備とする高信頼度(N+1 方式)のシステムができる。

交流の並列運転は、図 11 の等価回路に示すように、各々の電圧値に差があると、相互間に電流(横流)が流れてバランスを崩す。横流は、その時の電圧差が、位相差か振幅差かによって、電圧に対する横流のベクトル方向が約 90 度異なる。各 UPS には、負荷電流と横流の合成が流れ、この複雑な電流をバランスさせる制御は特に重要である。

バランスの制御方法としては、自号機と他号機の電流を比較して、差の原因となる位相または振幅を補正する横流補償や、共通の制御信号を各機に分配する共通制御、マスタ機の制御信号を各機に分配するマスタ・スレーブ制御などがある。前者は相互の制御や信号線が複雑で、後者は共通制御信号あるいはマスタ機の信頼度に左右される。

当社の小容量 UPS には、自号機だけの電流を見てバランス方向に制御する個別制御の方法を取り入れて、他号機との信号線を極力少なくした高信頼度システムがある。

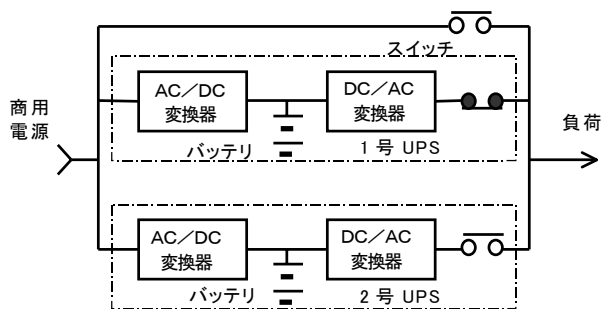


図 9 現用予備システムの構成

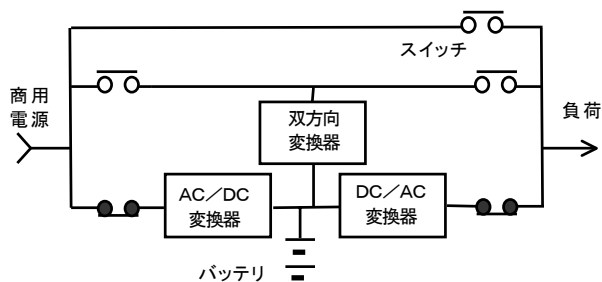


図 10 双方向予備システムの構成

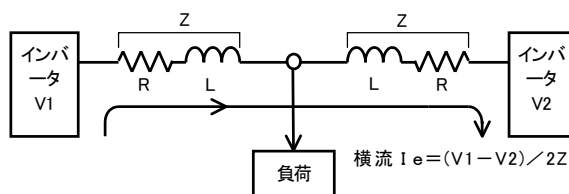


図 11 2 台並列の等価回路

4.4 UPS 管理システム

UPS 管理ソフトを用いたコンピュータ機器とのインタフェースによって、UPS をコンピュータシステムの中に含めて各種の管理ができる。

当社では、インタフェースに接点信号を用いて、停電などに対してシステムを正常にシャットダウンする簡単なものや、LAN インタフェースを用いて、ネットワーク上でのスケジュール運転や各種の制御・情報を交換によって、ネットワークシステム管理者の負担を軽減するものなどがある。ネットワーク環境は、ますます多岐に拡大・進歩しており、これらに対応する多種多彩な管理ソフトを開発して拡大を図っている。



志水 悟

1990年入社

パワーシステム事業部 設計第2部
静止型電源装置の開発、設計に従事。



吹田 宗男

1961年入社

パワーシステム事業部 設計第2部
静止型電源装置の開発、設計に従事。

5. むすび

当社の UPS が静止形になった当初には、出力容量 1kVA でも立派な扉付の自立キュービクル構造(今の製品では数 10kVA 相当)であったが、現在ではひとりで持てる程度に小さくなり、機能・性能も数段に向上している。この進歩は半導体、IC、マイコンなどに優れたデバイスが次々登場したことと、それらを活用する制御技術の開発によるところが大きい。

しかし、コンピュータ分野はもちろん、同じ電源の分野でもスイッチングレギュレータに代表される直流電源装置などの進歩はめざましいものがある。UPS においても、さらにユーザのニーズと地球環境を考慮した製品の開発を続けていく所存である。