

# 今までの流れを変えるパワーシステム技術

## 進歩するUPSの電力変換技術

柳沢 実

Minoru Yanagisawa

### 1. まえがき

当社におけるパワーシステム技術とは、当社製品である無停電電源装置(以下 UPS という)、太陽光発電システム用パワーコンディショナにおける、直流電力を交流電力に、あるいは交流電力を直流電力に変換する電力変換技術であり、エンジン発電装置などの交流電力を生成する技術である。

UPS とパワーコンディショナの電力変換技術は、半導体を使った静止形と呼ばれるものであり、エンジン発電機は回転型と呼ばれている。

ここでは静止形の電力変換技術について、主回路、制御回路などに分類し、また、当社製品の UPS について、流れを変える技術について紹介する。

### 2. 主回路技術と電力半導体

AC/DC 変換回路、DC/AC 変換回路の主スイッチング素子として技術的に大きな流れがある。

古くはサイリスタを使用していたが、時代につれ、ゲート・ターンオフ・サイリスタ(以下 GTO という)、トランジスタ、絶縁ゲート・バイポーラトランジスタ(以下 IGBT という)と新しい半導体実用化され、これに合わせて変換回路が大きく変わっていった。

#### 2.1 サイリスタを使用した電力変換回路

サイリスタは自己消弧能力が無く、外部回路にてサイリスタを消弧させる消弧回路が必要である。さらに、スイッチング回数を大きくすることができないため、DC/AC 変換では多重方式を採用せざるを得なかった。

図1にサイリスタを使用した電力変換回路の一例を示す。

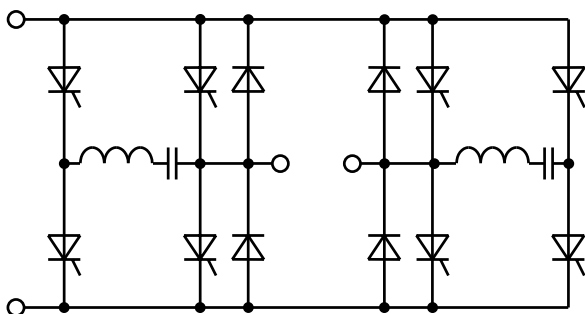


図1 サイリスタ電力変換回路

この回路では、大きな値のリアクトル、コンデンサを変換器の出力と並列に接続し、サイリスタの消弧を行っている。このようにサイリスタ変換回路は、消弧回路が大きくなり、かつ、多重方式のため特性も劣っていた。

#### 2.2 GTO を使用した電力変換回路

自己消弧能力を持つ GTO の実用化で、電力変換回路は消弧回路が不要となり、外形寸法が飛躍的に小さくなった。ただし、スイッチング回数を大きくすることはできず、変換方式は多重方式で変わらず、特性面の改善は無かった。

図2に GTO を使用した変換回路を示す。

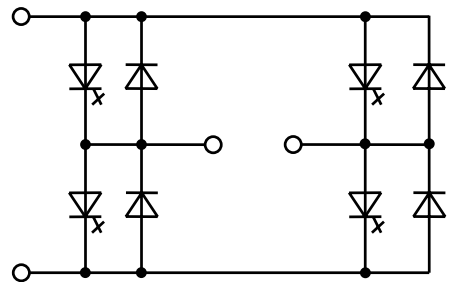


図2 GTO 電力変換回路

#### 2.3 トランジスタを使用した電力変換回路

トランジスタは自己消弧能力を持ち、かつスイッチング損失が小さいためスイッチング回数を大きくすることができる。スイッチング回数が大きくできるため、変換方式は多重方式より PWM(パルス幅変調)方式へと移行した。

ここで、特性面で大きな改善が見られた。

今までの多重方式では負荷が非線形負荷の場合、歪電流の補償能力が小さく非線形負荷を定格まで接続することはできなかった。PWM 方式を採用することで、装置の定格まで非線形負荷を接続することができるようになり、装置の使用率が向上した。

図3に変換回路と PWM の波形を示す。

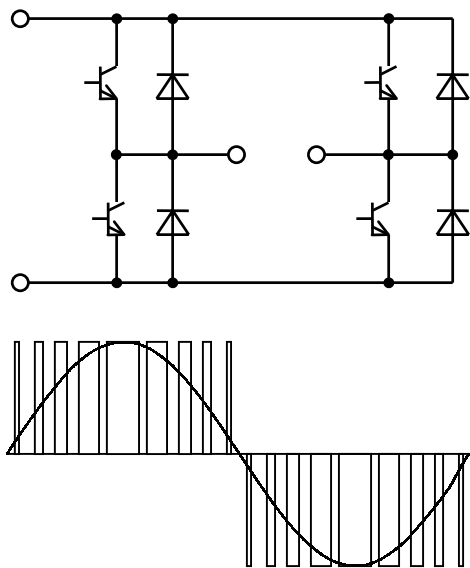


図3 トランジスタ電力変換回路とPWM波形

## 2.4 IGBTを使用した電力変換回路

IGBTはトランジスタに比べ1桁以上スイッチング性能が向上した電力半導体であり、現時点では最新の素子である。

スイッチング特性が大きく向上したことで、PWMの変換周波数を高くすることができる。これにより、PWMの波形を平滑する交流フィルタが小さくなり、小型、経済化が達成できる。さらに、スイッチング周波数を人間の可聴周波数より高くすることで、騒音を小さくすることができる。

## 2.5 主回路技術と電力半導体の今後

IGBTの次の電力半導体として有望なものは、炭化シリコン(SiC)を材料とした電力半導体がある。

SiCは絶縁破壊電界と熱伝導率が大きく、この特性を生かし、高温で動作する低損失の半導体素子が実現する。この半導体の実用化すれば、電力変換回路の効率が格段と向上し、また、冷却構造も小さくなり装置の小型化が可能となる。

また、半導体のスイッチングスピードが上がるにつれ、ノイズエミッションレベルも増大する。これからの主回路技術は、電力半導体の進歩と合せ半導体より発生するノイズを経済的に抑える技術が必要となる。

## 3. 制御回路技術の流れ

### 3.1 シーケンス制御技術

電力変換回路を使用した装置の運転・停止、事故処理等の動作をつかさどるシーケンス制御においては、古くはリレーを使用していた。次の世代においては、ロジックICを使用したデジタル処理のシーケンス回路となり、現在は、MPUを使用した回路が主流となっている。

MPUを使用することにより、より複雑な動作が可能となり、かつ、装置の使い方によって動作を変えることが容易となった。

### 3.2 電力変換部制御技術

電力変換部の制御技術の流れは、2項の主回路方式に合わせた制御技術が大きな流れであり、現在ではPWMの制御技術が中心となっている。

その中で技術の流れとしては、使用デバイスの発展に伴うものと、制御回路技術そのものの発展がある。

使用デバイスの発展に伴うもので大きく流れを変えるものは、DSP(デジタル・シグナル・プロセッサ)があった。今までのアナログ制御をデジタル処理化しDSPに収めることで、部品点数が減り、小型、経済化が図れ、信頼性の面でも向上した。

デバイスとしては高速演算処理が可能なMPUが発売されてきている。今後の流れとしては、このようなMPUを使用することで、3.1項のシーケンス制御とPWM制御を1つのデバイスに組み込むことが可能となり、更なる小型、経済化が進む。

次に制御回路そのものの発展がある。中でも、DC/AC変換回路の並列運転の制御技術においては、いろいろな技術が提案されている。当社でも独自の個別制御方式を開発し、大きく流れを変えようと考えられるので、ここで紹介する。

DC/AC変換回路の出力の並列運転における共通制御部を少なくすることは、昔からの課題であった。一般的な技術としては、並列運転時の横流をセンシングして、この横流の有効成分、無効成分を抽出し、出力交流波形の位相制御と振幅制御を行うものだった。しかしこの回路は複雑なものとなり、制御を安定化させるには複雑な調整が必要となっていた。

ところで、二つの電圧源を抵抗を介して並列に接続した場合、電圧源間の電流は抵抗により抑えられバランスする。この抵抗性分を制御で同等の効果をもたせる技術を見つけ出し、簡単に並列運転を可能にしたのが、当社独自の個別並列制御である。この技術により横流およびその成分を検出する必要がなく、自己の出力電流を制御に取り込むだけで複雑な回路を必要とせず並列制御の個別化が可能となった。

詳しくは当社テクニカルレポート10号”ライン抵抗の影響を考慮したUPSの並列運転の解析”を参照されたい。

## 4. UPS としてのパワーシステム技術

3項までは、電力変換部の主要半導体、主要変換回路、制御技術などの流れを紹介した。ここでは、電力変換技術を活用した当社の主要製品であるUPSについて、UPSシステム技術について紹介する。

### 4.1 常時 INV 給電方式 UPS と常時商用給電方式 UPS

一般的には、交流を直流に変換する電力変換回路 (CONV) と、直流を交流に変換する電力変換回路 (INV) の2つの変換回路を使用した、ダブルコンバージョン方式で常時は INV より電力を供給する UPS が主流である。

他には、通常時は商用より電力を供給し、停電時に INV より電力を供給する常時商用給電方式の UPS も製品化されている。これは、通常は商用より電力を供給するため、効率が良い装置となるが、停電時は INV からの給電に切り換えるため、この切換時間が存在し、負荷を限定する必要があった。

近年、ダブルコンバージョン方式の常時 INV 給電方式と、常時商用給電方式のメリットを生かした技術が多く開発され、ユーザーの選択範囲が広がっている。

また、UPS の高信頼化においても並列冗長方式あるいは共通予備方式が一般的だが、これについても新しい技術が開発されている。

以下に UPS の流れを変えた技術を紹介する。

### 4.2 パラレルプロセッシング方式 UPS

パラレルプロセッシング方式 UPS は、商用と常に並列運転し、停電時には商用を INV から切り離し無瞬断で INV 給電に移行する方式の UPS である。停電時、無瞬断化の達成により負荷を限定せず使用することができ、さらに、商用より電力を供給するため、高効率な装置が達成できた。また、負荷が非線形の場合に発生する高調波電流を商用電源側に流出させないアクティブフィルタ機能を有している。図4に基本回路のブロック図を示す。

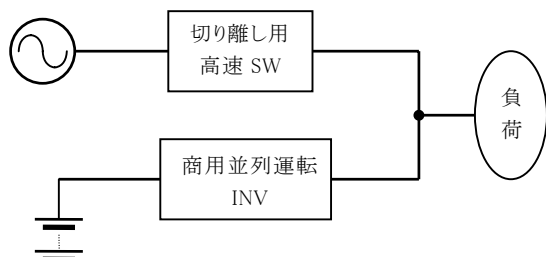


図4 パラレルプロセッシング方式 UPS のブロック図

当社では 20kVA から 200kVA の中容量機種を製品化している。詳細は当社テクニカルレポート 14 号の“中容量 UPS「SANUPS E」の開発”を参照されたい。

### 4.3 入出力共通回路を持つ常時 INV 給電方式 UPS

AC/DC 変換回路と、DC/AC 変換回路を持つが、入力1線用の変換部と出力1線用の変換部を共通の回路とした、常時 INV 給電方式の UPS 技術がある。入出力共通回路とすることで経済的になるだけでなく、次の特長がある。

この方式は、入力電圧と出力電圧の位相が合う時、共通回路に流れる電流は負荷の高調波電流のみとなり、半導体素子に流れる電流が少なくなる。また、直流の電圧を低く設定することができ、半導体素子のスイッチング損失が抑えられる。この2つの効果より、一般的な常時 INV 給電方式 UPS より、効率が格段と上昇した。

入出力単相の場合は3アーム方式とも呼ばれている。図5に単相3アーム方式の回路を示す。

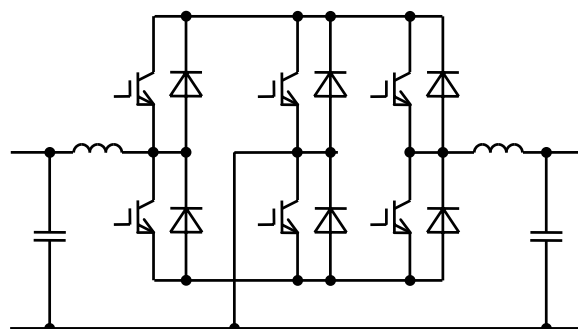


図5 単相3アーム方式の回路

当社では、1kVA 単相入出力の機種を製品化している。詳細は当社テクニカルレポート 12 号“小容量 UPS「SANUPS ASE」の開発”を参照されたい。

### 4.4 デルタコンバージョン方式 UPS

デルタコンバージョン方式の UPS は、DC/AC 変換回路を1つ持ち、その回路と商用電源の間に入力電圧と出力電圧の差の電圧を補償する変換回路を挿入した方式の UPS である。図6に基本回路のブロック図を示す。電圧を補償している変換回路の容量は小さくて済み、そこでの損失も小さくなる。この技術により、小型、経済化、高効率の装置が達成できる。

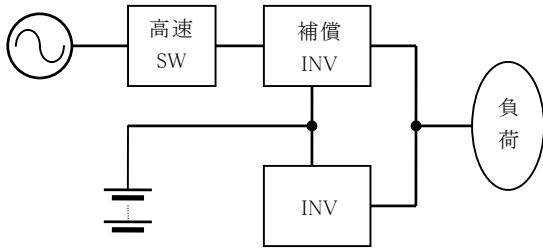


図 6 デルタコンバージョン方式 UPS のブロック図

#### 4.5 ユニット共通予備方式 UPS

高信頼化での新しい技術として、ユニット共通予備方式 UPS がある。これは、AC/DC 変換回路 (CONV ユニット) と DC/AC 変換回路 (INV ユニット) と AC/DC・DC/AC の双方向に電力を変換する予備の変換回路 (予備ユニット) を有した、常時 INV 方式 UPS である。

今まで高信頼化は、装置をそれぞれ2台置き、一方の装置が故障した場合は残りの装置で INV 給電を継続し、INV 給電の信頼度を上げる方式であった。

ここで、装置の故障率は変換回路とその制御回路の故障率が多くを占めるため、この変換回路だけを2重化し、かつ、AC/DC 変換回路と DC/AC 変換回路を兼用すれば、小型で経済的な高信頼型の UPS が達成する。図7に基本回路のブロック図を示す。

INV が故障した場合、またはこれを保守する場合は、予備ユニットを DC/AC 変換させ無瞬断で INV ユニットから切り換え、INV 給電を継続する。また、CONV が故障した場合、またはこれを保守する場合は、予備ユニットを AC/DC 変換させ、蓄電池運転をすること無しに INV 給電を継続する。

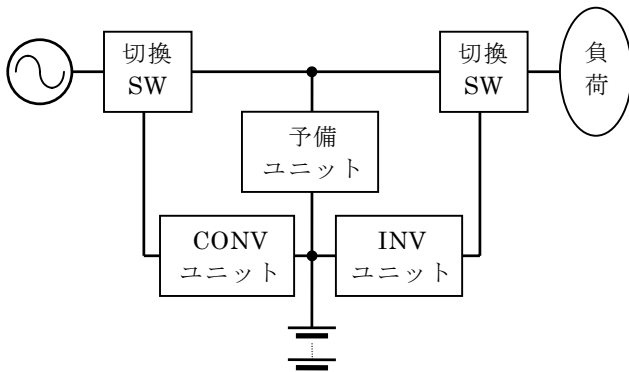


図 7 ユニット共通予備方式 UPS のブロック図

## 5. むすび

パワーシステム技術の流れを変えるものは、電力半導体、IC、マイコン等優れたデバイスの登場と、それを活用する技術の開発がある。また、電力変換回路技術の流れにおいて、電力変換回路の基本技術は古くに提案されている場合が多く、これについては基本技術をどのように製品に生かすかの活用技術の開発によるものが大きい。UPS のパワーシステム技術は、上記デバイス、回路技術の進歩のほか、電力変換回路をどのように使うかの構成技術の進歩も含まれる。

本稿では、それぞれの項目で流れを変える技術を紹介したが、パワーシステム技術は多義にわたるものであり、ここでの紹介はその中の一例である。

技術進歩は年々速くなってきており、パワーシステム技術の流れの変化も速くなっている。この流れの先を読みながら、流れの先端の技術開発を行っていくよう、努力していく所存である。



柳沢 実

1980年入社

パワーシステム事業部 設計第一部

静止型電源装置の開発、設計に従事。