

太陽光発電システム —高効率パワーコンディショナの技術—

浦壁隆浩* 西尾直樹†
藤原賢司**
川上知之***

Photovoltaic Power Generation System—Technology of High Efficiency Power Conditioner

Takahiro Urakabe, Kenji Fujiwara, Tomoyuki Kawakami, Naoki Nishio

要旨

地球温暖化防止が喫緊の課題となる中、省エネ法の制定や世界的に広がる新エネルギーの導入増加など、CO₂排出削減のための高効率化が強く求められている。太陽光発電は発電時にCO₂を発生しない発電方式であることから、その市場は欧州を中心とした各国で急速に拡大している⁽¹⁾。太陽光発電システムは、複数枚の太陽電池セルから成るモジュールと、発電された直流電力を交流電力に変換するパワーコンディショナから構成されている。

パワーコンディショナは、最も重要な機能として電力を効率よく直流から交流に変換することが要求される。本稿では、高効率な電力変換を実現する階調制御型パワーコンディショナの技術について述べる。このパワーコンディショナは、チョッパ回路、インバータ、出力フィルタから構成

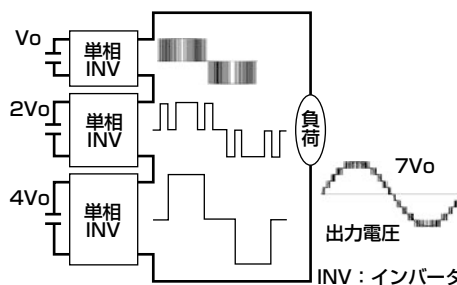
成され、インバータ部は主インバータと二つのサブインバータの直列回路から成る階調制御型インバータの構成となっている。このパワーコンディショナには、階調制御型インバータ技術、専用のMOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) パワーモジュール、主インバータからサブインバータへの電力供給を可能とする技術が適用されている。

これらの技術を適用したパワーコンディショナ“PV-PN40G”は、①業界最高の電力変換効率97.5%^(注1)、②密閉構造なので脱衣室・洗面所への設置が可能、③業界トップクラスの静音性(30dB)といった特長を備えている。

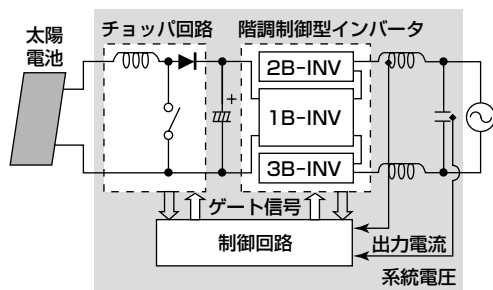
(注1) 2009年2月現在、当社調べ。PV-PN40GのJIS8961で規定する定格負荷効率。国内用パワーコンディショナの電力変換効率において。



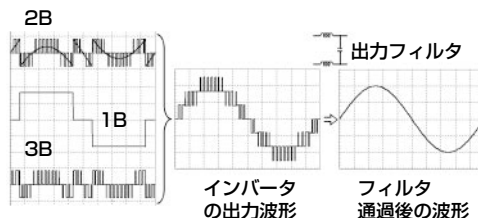
太陽光発電システム



階調制御方式の原理図



階調制御型パワーコンディショナの構成



階調制御型パワーコンディショナの
波形形成方法

太陽光発電システムの高効率パワーコンディショナ

太陽光発電システムは、複数枚の太陽電池セルから成るモジュールと、発電直流電力を交流に変換するパワーコンディショナから構成される。階調制御型パワーコンディショナは、チョッパ回路、階調制御型インバータ、出力フィルタから構成され、階調制御型インバータは、各々電圧の異なる主インバータと二つのサブインバータを直列に接続し、段階的な擬似正弦波を生成する。

1. ま え が き

地球温暖化防止が喫緊の課題となる中、省エネ法の制定や世界的に広がる新エネルギーの導入増加など、CO₂排出削減のための高効率化が強く求められている。太陽光発電は発電時にCO₂を発生しない発電方式であることから、その市場は欧州を中心とした各国で急速に拡大している⁽¹⁾。図1に示すように、一般的な太陽光発電システムは、複数枚の太陽電池セルから成るモジュールと、発電された直流電力を交流電力に変換するパワーコンディショナから構成されている。

パワーコンディショナは、電力を効率よく取り出し有効活用する機能を果たす。パワーコンディショナの基本機能は次のとおりである。

- ①太陽電池の発電電力を無駄なく取り出す(MPPT(Maximum Power Point Tracking)制御^(注2))
- ②直流電力を効率よく交流電力に変換する(インバータ)
- ③電力を系統に送り出す(系統連系)
- ④系統の異常を検出して発電を停止する(系統連系保護)

図2にパワーコンディショナの構成を示す。太陽電池の電力はチョッパ回路部に入力され、太陽電池の電力を効率よく取り出すと同時にインバータに必要な電圧に変換する。インバータ部では、入力された直流電力を交流電力に変換する。系統連系インバータではインバータの出力電流が所

(注2) 太陽電池の最大電力点を追従する制御



図1. 太陽光発電システム

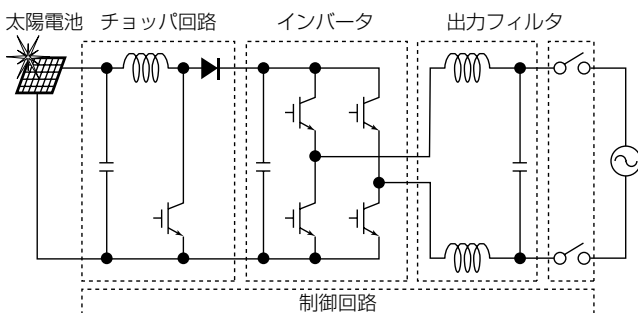


図2. パワーコンディショナの構成

望の波形となるように電流制御する。インバータの出力はパルス状の波形をしているため、コイル及びコンデンサで構成される出力フィルタで滑らかな正弦波に変換する。出力フィルタと系統との間には、必要に応じて系統とインバータを接続する連系開閉器を装備している。また制御回路によって各部をコントロールする。

本稿では、直流電力を効率よく交流電力に変換するインバータ技術としての階調制御方式について述べ、その技術を適用した階調制御型パワーコンディショナについて述べる。また、この技術を適用したパワーコンディショナ“PV-PN40G”が、業界最高の電力変換効率97.5%と、業界トップクラスの静音性を実現したことについても述べる。

2. 階調制御型インバータ技術

階調制御型インバータは、電圧の異なる複数のインバータを直列に接続し、それらの出力を組み合わせることで擬似正弦波電圧を得る方式である。これら複数のインバータはサブインバータと呼ばれ、各サブインバータの電圧は、2進数、又は3進数などの関係となっている。階調制御型インバータの出力波形は階段状であり、それらの各レベルを階調と呼んでいる。例えば2進数3ビットの階調制御型インバータの場合は両極15階調、また3進数3ビットの場合は両極27階調の出力を得ることができる⁽²⁾(図3)。

階調制御型インバータの特長は、①スイッチング周波数を大幅に低減できることから、低損失・低ノイズであること、②電圧振幅が小さいことから、出力フィルタを小さく設計でき小型化できること、③各インバータが発生する電圧の総和で出力電圧が得られることから、入力される電圧よりも高い交流電圧を発生できることである。また③の特長から、直流母線電圧を従来方式よりも低く設定でき、インバータ前段のチョッパ回路の損失低減効果もある。

3. 階調制御型パワーコンディショナ

3.1 階調制御型パワーコンディショナ

階調制御型パワーコンディショナの回路構成を図4に、

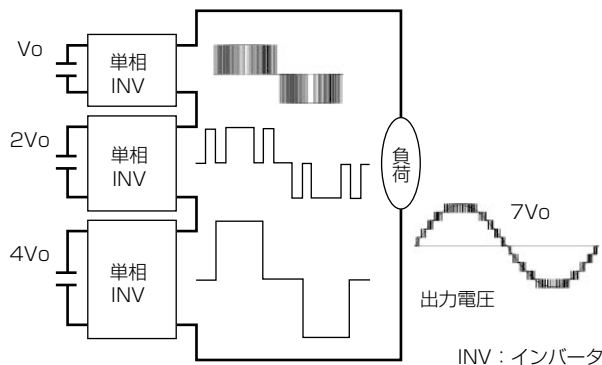


図3. 階調制御型インバータの原理

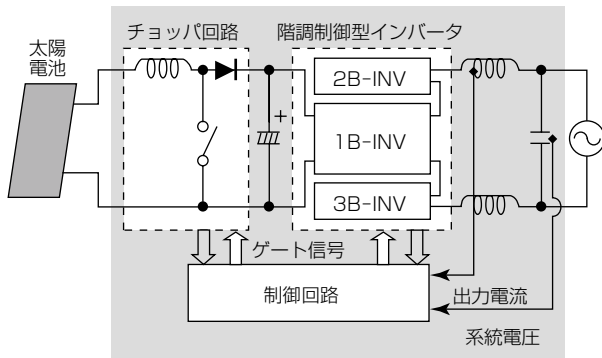


図4. 階調制御型パワーコンディショナの回路構成

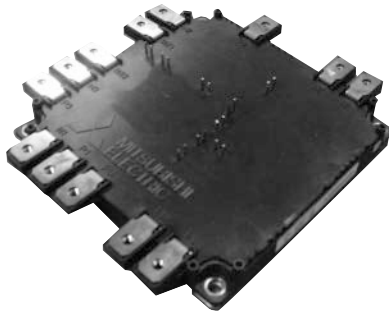


図5. 専用のMOSFETパワーモジュール

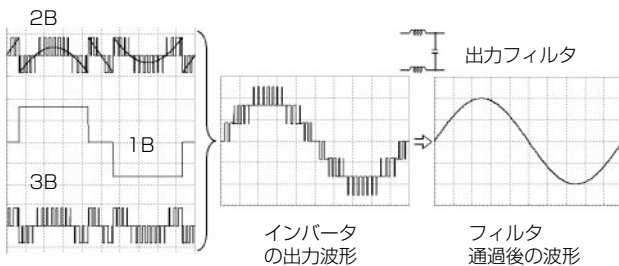


図6. 階調制御型パワーコンディショナの波形形成方法

新たに専用に開発したパワーモジュールを図5に示す。インバータ部は異なる3台のインバータで構成し、入力される直流電圧をスイッチングする主インバータ(1B)と、それに直列に接続したサブインバータ(2B, 3B)で構成している。一般に、太陽電池で発電した直流電力をパワーコンディショナのインバータ部で交流電力に変換する際、電力損失が発生する。従来のインバータは、1台のインバータを使って矩形(くけい)波を生成し、フィルタ回路を通過させて正弦波に整えていたが、階調制御型インバータ方式は、電圧の異なる3台のインバータを組み合わせることで、段階的な擬似正弦波を生成する(図6)。これによって、フィルタ回路の小型化を実現し、電力変換時の損失を大幅に低減することが可能となる。

3.2 サブインバータへの電力供給方法

階調制御型パワーコンディショナは、3台のインバータを直列に接続している。太陽電池から得られた電力は、入力電圧が最大である主インバータ1B-INVへ送られるが、その他のサブインバータ2B-INV, 3B-INVへは別途電力

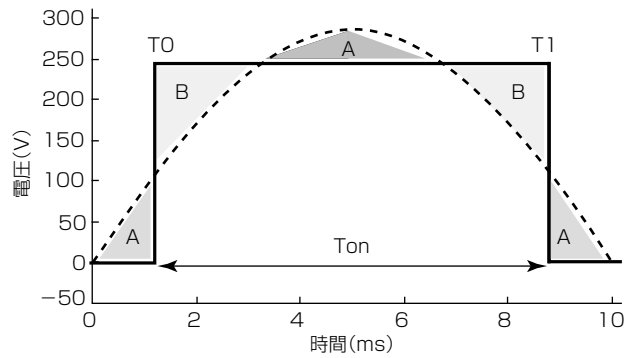


図7. 目標の出力電圧と1B-INVの出力電圧波形

供給が必要となる。ここでは、サブインバータへの電力供給方法について述べる。

1B-INVの出力電圧波形は、図7に示すように正弦波の半周期に一度出力する1パルス波形である。一方、2B-INVと3B-INVの出力電圧は等しく、目標の出力電圧と1B-INVの出力電圧との差分を補うようにPWM(Pulse Width Modulation)制御によって出力している。

各インバータ1B-INV, 2B-INV, 3B-INVが扱う電力を $P1B$, $P2B$, $P3B$, 出力有効電力 Po , 各インバータの入力電圧 $Vc1$, $Vc2$, $Vc3$, 出力正弦波電流のピーク値 Im , 交流電圧の周波数 fs とすると、各電力は次式のように表せる。パワーコンディショナに接続される負荷には、正弦波で力率1の電流が流れている場合を想定している。

$$P1B = 4 \times \int_{T0}^{1/4 fs} Vc1 Im \sin(2\pi fst) dt \times fs$$

$$= 4 \times Vc1 \times Im \times \cos(2\pi fs T0) / 2\pi \dots \dots \dots (1)$$

$$P2B = P3B = (Po - P1B) / 2 \dots \dots \dots (2)$$

また、1B-INVは電圧指令値 $Vref$ の絶対値が閾値(しきいち)電圧 Vth よりも大きい場合に電圧を出力し、その立ち上がり時間 To は次式の条件から決定する。 ΔV は電圧変動分を表している。

$$|Vref| > Vth = Vc1 - (Vc2 + Vc3) + \Delta V \dots \dots \dots (3)$$

$$To = \sin^{-1}(Vth/Vm) / (2\pi fs) \dots \dots \dots (4)$$

(2)式からわかるように、1B-INVが扱う電力 $P1B$ が出力電力 Po と等しければ、2B-INV, 3B-INVの総合電力量は0となる。したがって、1B-INVの出力パルス幅を増減することによって、2B-INV, 3B-INVの総変動電力量を制御できる。

ここでは、各サブインバータへの電力伝送手段としてトランスを用いないため、漏れインダクタンスや励磁インダクタンスによる効率低下を抑えることができ、効率の高い電力供給を実現している。

4. 階調制御型パワーコンディショナの特長

3章で述べた技術を適用した階調制御型パワーコンディショナPV-PN40Gの特長について述べる。このパワーコ

ンディショナは、電力変換時の損失を従来比44%低減、業界最高の電力変換効率97.5%を達成した。また、広範囲な出力電力域で、定格効率よりもさらに高変換効率（97.5%以上）を実現し（図8）、太陽電池で発電した直流電力を有効に利用できる。

電力変換時の損失によって発生する熱が大幅に低減したことで、放熱用の空気流入口が不要となり、密閉度が高まった。これによって、耐湿性能が大幅に向上し、従来設置できなかった脱衣室・洗面所への設置が可能となった。また、電圧振幅の低減で、フィルタ回路のコイルから発生する音も抑制され、実運転状態で業界トップクラスとなる低騒音30dBを実現している。

さらに、入力電圧範囲は従来のDC115~380VからDC50~380Vに拡大したことによって、従来マルチアレーコンバータ（昇圧機能内蔵接続箱）が必要であった3~6枚のモジュール直列配置も、昇圧機能のない標準接続箱で対応可能となり、配置設計が容易になるとともにシステム価格の低減が可能となった。表1に、階調制御型パワーコンディショナPV-PN40Gの製品仕様を示す。

5. む す び

太陽光発電用階調制御型パワーコンディショナに適用した階調制御方式、サブインバータへの電力供給方法について述べた。また、この技術を適用した階調制御型パワーコンディショナPV-PN40Gの特長についても述べた。この製品は業界トップレベルの効率と静音性を実現している。効率の良い大きな出力電力と高信頼性の太陽光発電システムの提供によって、太陽光発電の普及拡大に努めていきたい。

参 考 文 献

- (1) 黒川浩助：太陽光発電に関する最近の状況と展望，電気学会論文誌(B)，128，No.7，904~907（2008）
- (2) 岩田明彦，ほか：階調制御型インバータとその応用，三菱電機技報，79，No.7，439~442（2005）

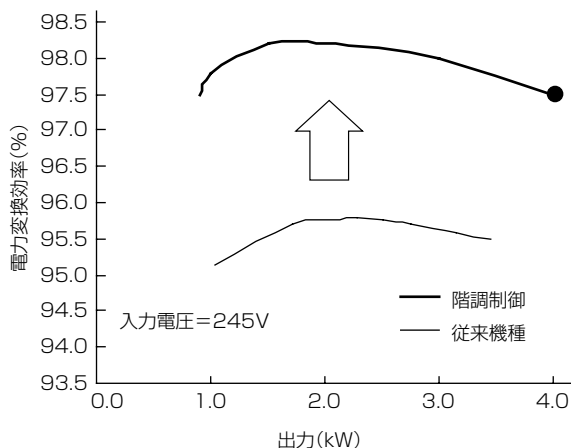


図8. パワーコンディショナの電力変換効率

表1. PV-PN40Gの製品仕様

| | | |
|-------------|-----------------|----------------|
| 設置場所 | 屋内 | |
| 使用環境条件 | 0~40℃ | |
| 入力回路数 | 1回路 | |
| 定格入力電圧 | DC245V | |
| 入力電圧範囲 | DC50~380V | |
| 定格出力電圧, 周波数 | AC202V, 50/60Hz | |
| 定格出力電力 | 4.0kVA | |
| 電力変換効率 | 97.5% | |
| 出力基本波力率 | 0.95以上 | |
| 高調波歪(ひず)み率 | 総合5%以下, 各次3%以下 | |
| 運転時騒音値 | 30dB | |
| 回路方式 | インバータ方式 | 階調制御インバータ方式 |
| | スイッチング方式 | 正弦波PWM方式 |
| | 絶縁方式 | トランスレス方式 |
| | 電気方式 | 単相2線式 |
| 保護 | 連系保護 | OV, UV, OF, UF |
| | 単独運転検出 | 受動的方式, 能動的方式 |
| 質量 | 14.7kg | |
| 外形寸法(W×D×H) | 460×140×240(mm) | |