

# Study on High Performance PWM Inverter with Digital Control Strategy

長崎大学大学院生産科学研究科  
廣瀬 俊郎

近年における化石燃料枯渇問題や地球環境問題により、風力や太陽光などの自然エネルギーを活用した発電システムの研究が各国で盛んに行われている。発電システムの形態には、系統連系型と独立型(非系統連系型)がある。自然エネルギーを活用する際は、いずれの形態でも発電出力電力を安定化させるために、補完効果のある複数の自然エネルギー源を組み合わせたたり、蓄電池を併設する場合が多い。蓄電池を併設する場合、蓄電池の電力を双方向に制御する DC-DC コンバータが必要になる。

発電システムのバス電圧は、パワーデバイスの高性能化の進展によって電力変換効率向上の目的で高電圧化している。しかしながら、リチウムイオン電池や電気二重層コンデンサに代表される蓄電デバイスは高電圧化が進んでいない。このため、異電圧間の電力を双方向に制御する高効率電力変換器が必要である。従来方式には、大電力用途に適した絶縁型の Dual active bridge dc-dc converter (以下 DAB コンバータ) が知られている。しかし、DAB コンバータでは、パワーデバイスの定格電流値は低電圧側コンバータの電流、また、パワーデバイスの定格電圧値は高電圧側コンバータの電圧によって決定される。したがって、DAB コンバータは大電流・大電圧仕様となり、DC-DC コンバータの大型化・高価格化は避けられない。

この問題を解決すべく、新方式の Superposed dual active bridge dc-dc converter (以下 SDAB コンバータ) を提案した。この DC-DC コンバータでは、低電圧側コンバータと高電圧側コンバータを縦列接続して構成しているので、2つのコンバータで高電圧側の電圧及び低電圧側の電流を分け合うことが可能である。したがって、DAB コンバータと比較して、パワーデバイスの定格値を下げるができる。また、トランスの扱う電力が半分になる。その結果、DC-DC コンバータの小型・低価格化・高効率化を図ることができる。本研究内容は、低電圧側定格電圧 160V、高電圧側定格電圧 320V、定格出力 1 kW の SDAB コンバータを試作し、動作実験と解析により性能を明らかにしたものである。スイッチング素子には IGBT と同期整流効果が期待できる FET の 2 通りを使用した。そして、それぞれの回路動作モードの解析、等価回路の導出及び静特性と過渡特性の実験によりその優れた性能を解明することができた。なお、実験に当たっては、DSP を使用したデジタル制御を適用した。

次に、蓄電地を制御する SDAB コンバータに DC-AC インバータを接続して交流出力を可能とする電力変換システムを構築した。そして、この電力変換システムを自然エネルギー利用の発電システムに組み合わせて、独立型ハイブリッド発電システムを構築した。自然エネルギーの発電電力のうち、余剰電力は蓄電地の充電電力として自然エネルギーの発電電力のうち、余剰電力は蓄電地の充電電力として有効利用される。複数の発電システムを組合せたハイブリッド発電システムにおいて、各発電システム及び蓄電地を一箇所に集めて設置する集中設置型は、蓄電地の充電電力情報が各発電システム間に容易に伝達することができるので余剰電力の制御が可能である。しかしながら、より良い発電条件を求めるために広範囲に亘る分散配置を可能とした分散配置型は、ダンブ負荷の投入及び解列によって余剰電力の制御を行うことが一般的であり、きめ細かい充電電力の制御が不可能となる。したがって、蓄電地を適切な充電状態に保つことが困難である。この問題を解決するため、新しいデジタル制御型 PLL 回路及びダンブ負荷に頼らない余剰電力制御の研究を行った。

本論文は、全 6 章で構成されており、その内容は以下のとおりである。

第 1 章は緒論であり、本研究を実施するに至った背景及び研究概要について述べた。

第 2 章では、スイッチング素子に IGBT を使用した SDAB コンバータの優れた特長及び動作原理を述べた。また、比較的負荷が大きい場合、すべてのスイッチング素子のターンオンはソフトスイッチングになる原理を明らかにした。

第 3 章では、スイッチング素子に FET を使用した SDAB コンバータの動作原理について示し、同期整流動作を行うパワーフローを明らかにした。

第 4 章では、SDAB コンバータの等価回路の解析結果について述べた。そして、その結果を基にトランスの 1 次側電流波形をシミュレーションし、等価回路の妥当性について述べた。また、SDAB コンバータの性能(変換効率特性、ソフトスイッチング特性及び過渡特性等)をデジタル制御による動作実験によって明らかにした。

第 5 章では、提案するハイブリッド発電システムの概要及び動作原理について述べた。また、実験結果と併せ、主要な制御技術である有効・無効電力制御、PLL 制御及び余剰電力制御の原理について述べた。なお、これらの制御はすべてデジタル制御で行っており、特に PLL 制御においては、デジタル制御による同期合わせの手順を詳細に述べた。

この新しい PLL 制御は、従来のゼロクロス方式に比べて、同期対象波形が高調波を含んでいても必ず同期可能となる優れた特長を持つことが可能となった。また、新しい余剰電力制御は、電力線を利用して蓄電地の充電電力の情報を伝送する。したがって、ハイブリッド発電システム全体でフィードバック系を構築することができ、ダンブ負荷が不要となった。結果として、発電システムのコストダウンを図ることができた。

第 6 章では、以上を総括した結論を述べた。