

高電圧直流給電システムに関する研究

長崎大学大学院生産科学研究科

末富 正之

本論文は病院や店舗、学校等の小中規模な高電圧 (DC350V~400V) 直流給電システムに関するものである。電力変換の基本となる AC-DC コンバータ、DC-DC コンバータおよび接続の開閉に欠かせない DC コンセント、それぞれの装置の試作機を製作し各装置が高電圧直流給電に有効であることを検証したものである。以下に本論文の構成および内容を示す。

第1章 諸論

一般に家庭やビル及び工場の内部の電源は交流で給電される。これは系統から供給される 50/60Hz の交流電源を電圧変換してそのまま家庭/工場内の配電に使用するものである。小型軽量化としては船舶や航空機等では 400Hz を使い若干ではあるが実現されていた。その後スイッチング電源化により小型かつ高効率化がなされてきた。一方、家庭/工場内で使用される機器の多くは直流で動作するものが多い。そこで機器に対し直接直流を供給することによって機器内での変換回数を減らすことができ機器の体積低減と変換ロスを低減することが可能である直流給電システムが非常に注目されている。例えば携帯電話、ゲーム機、ノート型パソコン等の小型機器では、交流から直流に変換する AC アダプタ等が不要となり回路全体の小型化や外付け AC アダプタレスといったスマートな配線となる。また、高電圧直流給電システムではエアコンや電磁調理器などの大電力機器の PFC 回路を省くことができる。さらに直流は蓄電が行いやすいため、電気二重層による瞬時停電対応や蓄電池による電力の平準化に適している。

本研究では直流バス (高圧直流給電の供用部) と系統の間に用いる双方向 AC-DC コンバータを非絶縁型 AC-DC コンバータと絶縁型 DC-DC コンバータで構成し小型化を図り実験を行った。DC 電力の入力部として複数のから電力供給を受けることが出来る多入力コンバータの実験を行った。DC 電力の出力部として制御線の無い DC-DC コンバータと実用的な大きさの DC コンセントの実験を行った。

第2章 FPGA を用いた非絶縁型双方向性 AC-DC コンバータ

独立型ではない直流給電では不足電力を系統から補い、余剰電力を系統に返す為に双方向性 AC-DC コンバータを用いる。本章では直流バスと系統間の電力変換を行う双方向性 AC-DC コンバータに、FPGA を用いたフルデジタル方式の新しい制御の試作機を製作しテストを行った。従来では交流電流波形を制御するにはヒステリシスコンパレータや三角波比較方式を用いた PWM 制御が一般的に知られている。提案する FPGA による誤差追従制御では高速な適応電流の指令値が実現でき高速な過渡応答が実現できる。定格 4 kW の双方向 AC-DC コンバータの試作機を製作し、その動作特性を確かめた結果 1.4 kW 時に 98% 以上の最高効率を測定し、定格時に 97.5% を、定格の 25% で 98.0% の効率を測定し、出力

電力が定格の 20%から定格電力までに力率 0.99 以上を測定したことを示す。

第 3 章 絶縁型双方向性 DC-DC コンバータ

直流バスと系統との絶縁には商用電源周波数帯(50・60Hz)の絶縁トランスを用いることが技術的に容易であるが、低周波用のトランスは形状が大きいため小型化の妨げになる。本章では周波数を数十～数百 kHz に高めることで小型の高周波トランスの使用を可能とし双方向性 DC-DC コンバータの小型化を図り、共振型スイッチング電源方式による双方向回路で高効率化した 2kW の試作機を製作し、その動作特性を確かめた結果 350W 以上の出力に対して 97.5%以上を測定したことを示す。

第 4 章 高効率多入力 DC-DC コンバータ

電圧容量の異なった入力電源を結合しそれらから適切な大きさの電力を取り出し、同時に出力電圧を安定化するためには多入力 DC-DC コンバータが有用である。本章ではスイッチ回路を付加し切り替えオフ側に循環電流が発生しない新しい多入力 DC-DC コンバータを提案し、試作機として 2 入力フェイズ・シフト制御フルブリッジ型 Zero Volt Switching(ZVS)方式 DC-DC コンバータを製作し検討を行った。その結果、提案する回路が 93%の電力変換効率を持ち、出力電圧の安定化に優れていることが確認されたことと、容易にデジタル制御を行うことが可能であることを示す。

第 5 章 フライバックコンバータの一次側制御

直流バスと負荷側の間では絶縁が要求され制御にはフォトカプラ等を使用するが、回路が必要以上に複雑で大きく高価な場合がある。本章では絶縁素子を使用しない新しい出力電圧安定化方法を提案する。また、実験を行いオープンループ時の測定値から制御関数を導き出しデジタル制御を行った結果、低価格の DSC において出力電圧は制御部に絶縁素子を用いずに十分に安定化できたことを示す。

第 6 章 高電圧 DC コンセント

交流では定期的に 0V になる瞬間があるため容易に電流の開閉が出来るが、直流の場合には家庭用に普及が見込まれている DC48V 程度のコンセントでも活電状態ではアークが発生してしまう。そのため現状では外部からアークが見えない構造にするなどの対策を行っている。しかし高電圧の場合には接点部品の損傷も伴う為さらなる対策が必要となる。本章ではマイコン制御による半導体スイッチとリレーを組み合わせたハイブリッド DC コンセントを試作した結果、実用的な大きさに収まりアークの発生しない高電圧・大電流に対応できる DC コンセントを実現できたことを示す。

第 7 章 結論

FPGA を用いた非絶縁型双方向性 AC-DC コンバータの試作機では十分な効率の改善が確認された。絶縁型双方向性 DC-DC コンバータの試作機では高周波絶縁として使える効率が確認された。高効率多入力 DC-DC コンバータの試作機では安定した入出力制御が可能なが確認された。フライバックコンバータの一次側制御の研究ではフォトカプラによる制御線無しで安定した出力制御が行えることが確認された。高電圧 DC コンセントではアークをなくし損失を軽減出来ることが確認された。

以上の研究で得られた成果は高電圧直流給電システムにおいて有効活用できると考える。