

論文審査の結果の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 森 雄生

(1,500字程度とし、1行43文字で記入)

本論文は「鉄道車両用補助電源装置に関する研究」と題して鉄道車両で使用される補助電源装置（APS）について論じている。

現在のAPSでは、架線からの直流電力を三相交流電力に変換するインバータと直流側・交流側のLCフィルタ、絶縁用の変圧器による直接変換・商用周波絶縁方式と呼ばれる構成が主に用いられている。直接変換方式は回路構成がシンプルであるが、架線電圧が直接印加されることから、架線電圧変動の最大値を考慮した高耐圧素子の使用が必須である。高耐圧素子は一般的に低耐圧素子と比べて損失が大きい傾向にあるため、冷却器の大型化につながるほか、スイッチング周波数も高く取れないという欠点がある。また、現行のAPSではインバータの後段に変圧器を設ける構成となっており、商用周波数が変圧器に印加されることから、体積・質量が増大するといった課題がある。一般に、変圧器は使用周波数が高いほど小型・軽量化できるため、高周波インバータと整流器と組み合わせた高周波絶縁形DC-DCコンバータを用いる手法が従来から検討されてきた。

本論文では、直並列連続切替チョップ（以下、直並列チョップ）と高周波絶縁DC-DCコンバータを適用した新しいAPSの構成法を提案している。提案法では、架線に直接接続されている変換器の素子耐圧が架線電圧変動の最大値に依存するという問題点に対し、直並列チョップを適用することで、素子耐圧を架線電圧ではなく変換器の出力電圧に依存させることが可能となった。その結果、架線に直接接続されている変換器においても低耐圧素子を適用可能となる上、高周波絶縁を実現する後段の変換器の電圧利用率を向上できる点で有用性が高く、工学的に有意義な研究だと評価することができる。

論文は6章で構成されている。第1章では、本研究の背景と目的について述べている。第2章では、APSの従来構成と近年提案されている構成法についてまとめている。第3章では提案する直並列チョップについて、回路構成と制御手法・実機試験について基礎検討を行っている。第4章では、直並列チョップを適用した高周波絶縁APSについて、低床型路面電車を想定した100kVAの実規模の実機を製作し各種特性を評価している。第5章では、より高電圧架線への適用を考慮したフライングキャパシタ方式によりマルチレベル化を図った直並列チョップについて検討している。

本研究において得られた成果を総括すると以下ようになる。

- (1) 直並列チョップに対し、理論的な解析と実験検証を行い、大幅な入力電圧変動に対してもシンプルなフィードフォワード制御のみで一定の出力電圧が得られることを確認した。

さらに、APSで想定される定電力負荷に対しインダクタ電流のうち高調波成分をフィードバックする振動抑制制御を適用することで、過渡変動時においても出力電圧・インダクタ電流が発散しないことを検証した。

- (2) 直並列チョッパと高周波絶縁方式を適用した100kVAのAPSを製作し、実規模実証を行った。その結果、入出力間で96.6%の最高効率を得て、かつ入力電圧変動に対しても効率の変動は0.5%以内となり、実規模レベルによる直並列チョッパによる最適化の有効性を実証した。
- (3) マルチレベル化により、フライングキャパシタ電圧を一定に保つことで、各スイッチに対して更に低耐圧の素子を適用できることを提案した。また、各レグの搬送波に位相差を設けることで、インダクタ電流リップル振幅の最大値は1/4、入力電流は1/16となることを検証した。

本論文については、令和元年8月2日に陽東キャンパス322番教室にて、審査委員全員および学内外の関連研究者等の出席のもとに公聴会が開催され、研究内容に関する発表および質疑応答が行われた。その後、学位審査委員会が開催され、本論文の内容を詳細に検討した結果、鉄道車両用補助電源装置に関する分野において新しい知見が得られたと認め、本論文は工学的に価値のあるもので、論文内容の学術レベル、研究内容の独創性と有用性に優れていると判断した。したがって、本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認める。