

(様式)

論文内容の要旨

氏名 宮脇 慧

近年、需要が大きく増加している絶縁形 DC-DC コンバータのアプリケーションとして、ハイエンドサーバなどのパソコンや基幹系通信基地局に用いられる通信機器用の電源システムがある。また、再生可能エネルギーによるスマートグリッドシステムが震災以降急速にその需要が増加している。スマートグリッドシステムやハイブリッド自動車などにおいては、バッテリーと直流バスを連系した電源システムが用いられ、これらの連系に絶縁形 DC-DC コンバータが必要となる。

これらの絶縁形 DC-DC コンバータに対しては、動作時間の大部分で高効率を得られること、広い電圧制御範囲を持つこと、アプリケーションに合わせた設計法が確立されていることなどが求められている。これらの要求を満たすため、本論文では直列補償方式を適用した絶縁形 DC-DC コンバータを提案し、その有用性を明らかにする。提案方式では、共振形コンバータの高効率を維持したまま出力電圧を制御でき、広い電圧制御範囲で高効率を得られる利点がある。さらに、提案方式は入力電圧の変動幅が小さい領域で補助回路の変換容量が小さくなるため、動作時間の大部分において高効率を得ることができる。その結果、コンバータで発生する損失を大きく低減することができる。

第1章では、進化を続ける IT 化社会により今後も需要が増加するとみられる基幹系通信用電源システムと、これからの電力需要を満たす再生可能エネルギーによる電源システムの概要を示し、これらに必須な絶縁形 DC-DC コンバータの重要性について述べる。また、これらのシステムに適用される絶縁形 DC-DC コンバータの満たすべき要求について明らかにし、研究目的とそれを達成する手順について述べる。

第2章では、これまでに提案されてきた絶縁形 DC-DC コンバータの回路方式について説明し、それらの問題点を示す。その問題点を解決する方法として直列電圧補償を用いた絶縁形 DC-DC コンバータを提案する。直列補償の原理を適用し、電圧変動に着目することで、動作時間の大部分を占める基準電圧付近で高効率を得ることができれば、コンバータの損失や体積を大きく低減できる可能性がある。直列補償の原理は交流電力系統では古くから用いられてきた方法であり、非絶縁形 DC-DC コンバータに適用された例はあるが、絶縁形 DC-DC コンバータに適用された例は著者の知る限りない。これらの回路方式の概要を示し、直列補償の利点、絶縁形 DC-DC コンバータへ直列補償を適用する方法を述べた後、本論文で提案する回路方式の位置づけを示す。

第3章では、提案回路において主電力を伝送するメイン回路である直列共振形ハーフブリッジコンバータについて、損失解析をベースとして要求された効率を満たす回路パラメータの設計法を明らかにする。これは、提案する直列補償を用いた絶縁形 DC-DC コンバータにおいて高効率を得るためには、主電力を伝送する回路の効率が重要となるためである。最初に直列共振形ハーフブリッジコンバータで発生する損失要素を明らかにしてその損失を定式化

し、計算式から回路で発生する損失を求める。次に、試作器による実機実験を行い、式から算出した計算結果と実験結果が一致することを確認する。これより、損失解析をベースにした設計が可能であることが確認できる。最後に、仕様により設定された効率特性を満たす設計指針をフローチャートによりまとめる。

第4章と第5章では通信機器用電源システムをターゲットとして絶縁形 DC-DC コンバータの回路方式を提案し、その有用性を検証する。

第4章では、高効率な共振形コンバータに対して入力側から補助回路により入力電圧の変動分のみを直列補償することで出力電圧を制御する絶縁形 DC-DC コンバータを提案する。提案回路では共振形コンバータの高効率を維持したまま出力電圧を制御できる利点がある。提案回路の簡易等価回路を用いてモード解析を行い、提案回路の安定動作条件を明確にすることで最適設計の指針を明らかにする。最後に、試作器を用いた実験結果を示す。

第5章では、共振形コンバータに対して出力側から補助回路により直列補償を行う回路構成を提案する。この方式は、降圧形のコンバータを構成する場合において補助回路の損失を低減できる。入力側から補償する方式と同様に簡易等価回路によるモード解析を行い、安定動作条件を明確にすることで最適設計の指針を明らかにする。最後に、試作器を用いた実験結果を示す。

第6章では、スマートグリッドシステムをターゲットとして双方向絶縁形 DC-DC コンバータの回路方式を提案する。直列補償方式を双方向絶縁形 DC-DC コンバータに適用した場合において、補助回路の回路方式とその接続方法 4 パターンについて損失計算をベースとして比較検討を行う。回路で発生する損失の理論式を導出し、1kW の双方向絶縁形 DC-DC コンバータを想定して理論式をベースとした損失計算を行う。これにより、要求仕様に応じて、高効率を実現できる補助回路の構成について明らかにする。試作器を作成して実機実験を行い、提案方式の有用性を検証する。

第7章では、本論文の有用性と各提案回路の総括を述べ、今後の課題についてまとめる。

以上より、提案する直列補償方式を用いた絶縁形 DC-DC コンバータでは高効率と広い電圧制御範囲を両立でき、その有用性を確認した。また、損失解析をベースとして適用するアプリケーションに合わせた設計が可能である。