

Title	双方向絶縁型DC/DCコンバータの低損失回路技術に関する研究
Author(s)	近藤, 亮太
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/92950
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (近藤 亮太)

論文題名

双方向絶縁型DC/DCコンバータの低損失回路技術に関する研究

論文内容の要旨

カーボンニュートラル実現を背景にバッテリーを動力源とした電気自動車(BEV)が普及している。BEVの付加価値を高めるため、BEV駐車中に車載/地上のバッテリー充放電器を介してBEVと電力系統を連系して充放電動作を行うことで、電力系統の需給量の平準化や非常時の電源供給を実現するシステムが提案されている。この場合、バッテリー充放電器には、バッテリーと商用系統の間の絶縁を確保しながら、双方向の電力伝送とバッテリー電圧によらない昇圧・降圧動作が求められ、双方向絶縁型DC/DCコンバータがキーコンポーネントとなる。また、バッテリー充放電器には高効率動作と搭載性を高める小型化が継続的に求められ、低損失化が共通して要求される。低損失化の効果を高めるためには、(1)損失に寄与する動作パラメータや設計パラメータを改善する低損失回路駆動技術と、(2)より多くの設計パラメータを考慮した高精度な損失試算モデルを用いて、(3)設計パラメータを調整してより低損失な設計条件を探索する、3つのアプローチを実行する必要がある。

そこで本研究では、双方向絶縁型DC/DCコンバータの低損失回路技術として、低損失回路駆動技術の確立と、低損失設計手法として回路損失を低減する設計パラメータの調整手法と、回路損失を広範囲かつ高精度に試算する損失モデリング手法、の3つのアプローチを個別に確立した。低損失回路駆動技術については、1つの制御変数で低損失な3レベル駆動方式を実現し、かつ軽負荷時の無効電力を抑制することで軽負荷時の更なる高効率化を実現する回路駆動技術を確認した。設計パラメータの調整手法については、回路定数設計から部品設計まで連成させた自動設計ツールを確認した。回路損失を広範囲かつ高精度に試算する損失モデリング手法については、実測や近似式を適用して対応する解析パラメータとパラメータの可変幅を拡大したパワー半導体とリアクトルの損失モデリング手法を確認した。

本論文は、双方向絶縁型DC/DCコンバータの低損失化に関する成果を纏めたものであり、全5章から構成される。

1章では、世界的に普及が拡大しているBEVのバッテリー充放電器のキーコンポーネントである双方向絶縁型DC/DCコンバータを研究対象に定め、充放電時間短縮と小型化のための低損失化を技術課題に設定した。そして、低損失化の要素技術である(1)回路駆動技術と、低損失設計手法として(2)発生損失を最小化する設計パラメータの調整手法と(3)発生損失を広範囲かつ高精度に試算する損失モデリング手法を確認する本研究の位置づけを示した。

2章では、双方向絶縁型DC/DCコンバータの低損失回路駆動技術を確認した。低損失な3レベル駆動方式のDAB(Dual-Active Bridge)コンバータを起点に、制御変数を2レベル駆動方式のDABと同じ1変数に削減し、ZVS(Zero-Voltage Switching)動作を取り込み、更に整流側インバータのダイオード整流モードと伝送側インバータと整流側インバータの同期位相シフトモードによる軽負荷動作時の無効電流を抑制する制御方式を提案し、400V-3.5 kW実験システムにて定常充放電動作と、シームレスな充放電の切り替え動作と、軽負荷時の損失低減効果を実証した。

3章では、双方向絶縁型DC/DCコンバータの発生損失を低減する設計パラメータの調整手法を検討した。双方向絶縁型DC/DCコンバータを構成する回路設計、半導体損失試算、絶縁トランスの設計、ACリアクトルの設計をモデル式を用いて自動設計するツールを構築し、自動設計ツールを用いて算出される複数の設計条件から損失目標値(240 W)と目標合計部品体積(0.3 dm³)を満たす設計条件を探索し、選択した設計条件に基づいて400 V - 6.6 kWの試作機を設計・試作した結果、合計部品体積は0.255 dm³、実測した回路損失は236 Wとなり、目標値を満たすことを実証した。

4章では、双方向絶縁型DC/DCコンバータの主要な損失源であるパワー半導体とリアクトルの発生損失を実測や近似式を適用して対応する解析パラメータとパラメータの可変幅を拡大する損失モデリング手法を確認した。そして、400 V実機検証システムを構築し、回路パラメータであるインダクタンス値、動作パラメータであるスイッチング周波数、駆動パラメータであるゲート抵抗の3つの解析パラメータを可変にして回路損失を実測し、損失モデリング手法から算出した回路損失値の精度を検証した。

5章では、第1章から第4章までの結論を纏めて本論文を総括し、今後の展望を示した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (近藤 亮太)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	舟木 剛
	副 査	教授	牛尾 知雄
	副 査	教授	高井 重昌

論文審査の結果の要旨

本論文は、双方向絶縁型 DC/DC コンバータの低損失化に関する成果を纏めたものであり、全 5 章から構成される。

1 章では、世界的に普及が拡大している BEV のバッテリー充放電器のキーコンポーネントである双方向絶縁型 DC/DC コンバータを研究対象に定め、充放電時間短縮と小型化のための低損失化を技術課題に設定した。そして、低損失化の要素技術である (1) 回路駆動技術と、低損失設計手法として (2) 発生損失を最小化する設計パラメータの調整手法と (3) 発生損失を広範囲かつ高精度に試算する損失モデリング手法を確立する本研究の位置づけを示している。

2 章では、双方向絶縁型 DC/DC コンバータの低損失回路駆動技術を確立した。低損失な 3 レベル駆動方式の DAB (Dual-Active Bridge) コンバータを起点に、制御変数を 2 レベル駆動方式の DAB と同じ 1 変数に削減し、ZVS (Zero-Voltage Switching) 動作を取り込み、更に整流側インバータのダイオード整流モードと伝送側インバータと整流側インバータの同期位相シフトモードによる軽負荷動作時の無効電流を抑制する制御方式を提案し、400V-3.5 kW 実験システムにて定常充放電動作と、シームレスな充放電の切り替え動作と、軽負荷時の損失低減効果を実証している。

3 章では、双方向絶縁型 DC/DC コンバータの発生損失を低減する設計パラメータの調整手法を検討した。双方向絶縁型 DC/DC コンバータを構成する回路設計、半導体損失試算、絶縁トランスの設計、AC リアクトルの設計をモデル式を用いて自動設計するツールを構築し、自動設計ツールを用いて算出される複数の設計条件から損失目標値 (240 W) と目標合計部品体積 (0.3 dm³) を満たす設計条件を探索し、選択した設計条件に基づいて 400 V - 6.6 kW の試作機を設計・試作した結果、合計部品体積は 0.255 dm³、実測した回路損失は 236 W となり、目標値を満たすことを実証している。

4 章では、双方向絶縁型 DC/DC コンバータの主要な損失源であるパワー半導体とリアクトルの発生損失を実測や近似式を適用して対応する解析パラメータとパラメータの可変幅を拡大する損失モデリング手法を確立した。そして、400 V 実機検証システムを構築し、回路パラメータであるインダクタンス値、動作パラメータであるスイッチング周波数、駆動パラメータであるゲート抵抗の 3 つの解析パラメータを可変にして回路損失を実測し、損失モデリング手法から算出した回路損失値の精度を検証している。

5 章では、第 1 章から第 4 章までの結論を纏めて本論文を総括し、今後の展望を示している。

以上のように、本論文は双方向絶縁型 DC/DC コンバータの低損失化に関する技術を開発しており、今後の高信頼・高効率な電力変換器の発展を支える基盤技術に相当する結果となっている。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。