

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	SiC-MOSFETを使用した大容量双方向絶縁形DC-DCコンバータの損失低減に関する研究
Title(English)	Study of Power-Loss Reduction in High-Power Bidirectional Isolated DC-DC Converters Using SiC-MOSFETs
著者(和文)	羽根田 峻
Author(English)	Ryo Haneda
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12081号, 授与年月日:2021年9月24日, 学位の種別:課程博士, 審査員:藤田 英明,千葉 明,萩原 誠,竹内 希,清田 恭平,和田 圭二
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12081号, Conferred date:2021/9/24, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名	羽根田 峻	
論文審査 審査員		氏名		職名	氏名	職名
	主査	藤田 英明		教授	清田 恭平	准教授
	審査員	千葉 明		教授	和田 圭二	東京都立大学 教授 (学外審査員)
		萩原 誠		准教授		
竹内 希			准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「SiC-MOSFETを使用した大容量双方向絶縁形 DC-DC コンバータの損失低減に関する研究」と題し、大容量かつ双方向パワーフローを有する絶縁形 DC-DC コンバータとして期待されている Dual Active Bridge (DAB) コンバータを対象として、SiC-MOSFET を適用した際の各部の損失と電力変換効率を定量的に評価し、軽負荷時および昇降圧動作時にスイッチング損失が増大する課題に対して、損失低減する制御法を提案し、SiC-MOSFET を用いて試作した 100 kW DAB コンバータを用いた実験により、その効果を検討したものである。本論文は以下の 6 章で構成されている。

第 1 章「序論」では、再生可能エネルギーの普及や運輸機器の電動化など温室効果ガスの排出削減を図るためには、大容量双方向絶縁形 DC-DC コンバータのさらなる小型・軽量化が必要であるとし、その 1 方式として 2 台のブリッジ変換器を用いた DAB コンバータが最も有望であり、定量的かつ詳細に損失を分析し、さらなる高効率化・小型化を行う必要があるとしている。

第 2 章「DAB コンバータの技術動向」では、代表的な DAB コンバータの回路方式を比較検討して得失を明確にし、単相 DAB コンバータは部品点数が少なく、構造が簡単であり、最も普及が期待できるとした上で、軽負荷時や昇降圧動作時には特にスイッチング損失が増加することは従来から指摘されていたにもかかわらず、未だ理論的な検討や定量的な評価が十分ではないことを指摘し、本論文の位置付けを明確にしている。

第 3 章「スイッチング損失の分離」では、軽負荷時や昇降圧動作時に適用可能な簡便かつ実用的なスイッチング損失の評価方法を提案している。一般に、スイッチング素子の全損失からオン損失を差し引いてスイッチング損失を求める方法が用いられてきたが、DAB コンバータが昇降圧動作を行っている場合、すなわち入力と出力の電圧（電流）が異なる場合には、素子ごとの損失が異なるため適用できない。これに対して、DAB コンバータが零電圧スイッチングを行っている場合のスイッチング損失は、ターンオフする際の電流にのみ依存し、入出力電圧とは独立であることを理論的に導出し、入出力電圧が等しい場合のスイッチング損失を実測して実証している。また、スイッチング素子の温度上昇による間接的な損失測定結果と比較して提案方法の妥当性を実証するとともに、ほぼ同程度の測定精度 (20%) を有することを確認している。したがって、提案法はターンオフ電流を測定するだけでよく、従来の方法に比べて、簡単かつ短時間でスイッチングの評価が可能であると論じている。

第 4 章「軽負荷時の損失低減」では、軽負荷時の損失を低減する間欠運転について、さらなる損失低減を目的とした DAB コンバータの制御法を検討している。従来の間欠運転では、零電圧スイッチング動作が可能な最小電流で電力を伝送し、その後電流零のタイミングでスイッチングを休止し、電力伝送と休止期間の比率により平均電力を制御する。この場合、再びスイッチングを開始する際にスナバコンデンサに蓄積された電荷が損失となる。これに対して、任意の電流が流れている状態でスイッチングを休止し、スイッチング素子と変圧器に電流を循環させる電流連続モード間欠運転を提案している。この場合、スイッチングを開始する際に零電圧スイッチング動作が可能な最小電流以上の電流が循環していれば、スナバコンデンサを短絡することがなく、大幅なスイッチング損失の低減が可能にことを理論的に述べている。試作した 100 kW DAB コンバータを 850 V、16-kHz で動作させ、定格の 2~30% の軽負荷時の損失を約 1/3 に低減できることを実験的に確認している。

第 5 章「昇降圧時の損失低減」では、DAB コンバータを昇降圧で動作した場合、すなわち入出力電圧が異なる場合に、損失が増大する問題に対して、低損失化が可能な制御法を開発している。第 3 章では、損失増加の直接の原因は、入出力電圧の差ではなく、これによって高圧側ブリッジ変換器のターンオフ時の電流が増加することに伴うものであることを明らかにしている。第 3 章の解析結果に基づいて、高圧側ブリッジ変換器の 2 レグのスイッチングタイミングに位相差を設けて一方のレグのターンオフ電流を低減する制御法を導入している。その結果、入力電圧 750 V、出力電圧 850 V の昇降圧動作の場合、定格 100 kW において電力変換効率は 98.96% に到達し、従来制御の 98.80% に比べて、0.16% の向上を達成した。

第 6 章「結論」では、本論文における成果を要約し、今後の展望について言及している。以上を要するに、本論文は、DAB コンバータに生じる損失を詳細に検討し、従来は困難であったスイッチング損失の測定方法を提案すると共に、その入出力電圧・電流に対する特性を理論的に明らかにし、これに基づいて軽負荷時と昇降圧動作時の損失低減可能な制御法を提案して、その妥当性を実験と理論の両面から詳細に検討したものであり、工学および学術上貢献するところが大きい。よって、本論文が博士 (学術) の学位論文として十分に価値あるものと認める。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。