ALCA-Next

「半導体」領域

2024 年度 年次報告書

2023 年度採択

[研究開発代表者名:伊東 淳一]

[長岡技術科学大学工学研究院 教授]

[研究開発課題名:高信頼・高パワー密度電力変換に向けた超広帯域仮想インピーダンス回路の創成]

主たる共同研究者:

なし

実施期間 : 2024 年 4 月 1 日～2025 年 3 月 31 日

§1. 研究開発成果の概要

本研究開発では交直電力変換回路をはじめとしたあらゆる電力変換回路の高パワー密度化、高信頼化を実現する、超広帯域仮想インピーダンス回路の創出を目指す。従来の電力変換器の設計では要求される回路仕様や制御性能を満たすために大容量かつ大型な受動部品が必要となる。これに対し、超広帯域仮想インピーダンス回路は微小なインダクタンスやキャパシタンスを、スイッチング制御を用いることで制御的に大容量化し、幅広い要求仕様を超広帯域仮想インピーダンス回路一つで実現できる。さらには動的にパラメータを調整できる特徴を生かすことで、フィルタのカットオフ周波数の動的な調整などによる幅広い周波数帯域での電源高調波低減機能や、単相交流で発生する電力脈動の平滑化、電圧、電流フィードバック制御の広帯域化など、これまでの単一受動部品では成しえなかった様々な機能を交直電力変換回路に付与することが可能となる。以下に 2024 年度の成果の概要を示す。

【開発テーマ1】 超広帯域仮想インピーダンス回路の基盤技術開発

2024 年度は仮想インピーダンス回路の理論検討および原理検証を行った。電圧電流方程式に基づいた仮想インピーダンス制御の制御方法についてシミュレーションにより検証を行った。シミュレーション結果より、H ブリッジ型の仮想インピーダンス回路により仮想キャパシタ、仮想インダクタ動作が可能であることを確認した。

また仮想インピーダンス回路の回路トポロジーおよびその制御法の開発を行った。2024 年度は系統連系インバータに用いる連系インダクタを対象に適用する仮想インピーダンス回路について検討を行った。連系インダクタに対して直列に接続する直列型仮想インピーダンス回路と、並列に接続する並列型仮想インピーダンス回路について検討を行った。直列型、並列型の両方において仮想インピーダンス制御が可能であることが確認できたが、直列型は主回路の全電流が仮想インピーダンス回路に流入するため、損失の観点で並列型に対して不利であることが明らかとなった。そのため仮想インピーダンス回路の主回路構成としては並列型の H ブリッジ構成を検討することに決定した。

並列型仮想インピーダンス回路の体積について理論検討を行った。スイッチング周波数に着目し、エリアプロダクト法によるインダクタの体積の評価を行った。結果より、動作周波数を高周波化することでインダクタ体積を小型化できることが明らかとなった。

並列型仮想インピーダンス回路について実験を行った。実験結果より、3mH のインダクタンスで 12mH 相当のインダクタ使用時の特性を模擬でき、仮想インピーダンス回路による受動素子の小容量化の基礎検証が完了した。

【開発テーマ2】 超広帯域仮想インピーダンス回路の超帯域制御技術開発

仮想インピーダンス回路の広帯域に向けた、高周波スイッチング制御技術について検討した。制御の広帯域化にはスイッチング周波数の高周波化が重要である。しかし高いスイッチング周波数は電力変換損失の増加を招く。そこで 2024 年度は電流三角波モードによる仮想インピーダンスのソフトスイッチング手法について検討した。また MHz での駆動を想定し、シャント抵抗を用いない電流制御手法の開発に取り組んだ。実験結果より、出力電流を正弦波状に制御できており、またゼロ電圧スイッチングによるソフトスイッチングが達成できていることを確認した。

また仮想インピーダンス回路における、インピーダンス模擬精度とスイッチング周波数の関係性について検討した。離散モデルを基に仮想インピーダンス回路の電流制御系を設計し、ボード線図によりその特性を評価した。結果より、模擬するインピーダンスの誤差率は電流制御系の周波数特性に依存し、模擬精度 50%においてはスイッチング周波数と帯域の比が 0.04 倍となることが明らかとなった。

【代表的な原著論文情報】

なし