

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 石川 裕記

本論文は「新しい部分共振回路方式を適用した制御の簡単な高効率ソフトスイッチングインバータに関する研究」と題し、ソフトスイッチングの実現の目的のみに取り付けられる電流や電圧センサなどの検出回路を除去し、制御の簡潔化、高効率化を目的とした、新しい部分共振回路を用いたソフトスイッチングインバータを提案し、ソフトスイッチング動作を含めた回路動作を理論解析により明らかにするとともに、理論解析に基づいた出力制御方式、回路素子定数の設計法を示し、実機実験によりその有効性を明らかにしたもので、全6章より構成される。

第1章（緒言）では、従来の研究の問題点を明らかにし、本研究の位置付けを行っている。従来のソフトスイッチングインバータは、スイッチング素子のオン・オフ切り替えタイミングを検出するために電流センサもしくは電圧センサなどの検出回路が必要で、制御が複雑になること、スイッチング損失が低減しても、共振回路での損失により、かえって効率が低下することを問題点として指摘している。

第2章（リアクトルとコンデンサによる部分共振を利用したソフトスイッチングの原理と基本回路構成）では、本論文で提案するソフトスイッチングインバータに共通する提案である、スイッチング切り替えタイミング検出のセンサレス化を実現する基本共振回路の構成とソフトスイッチング動作の概要について述べている。さらに、スイッチング素子の電圧ストレスを抑制するため、高周波トランスを用いた共振コンデンサの過充電防止回路を提案し、その回路動作についても論じている。

第3章（電圧形インバータのソフトスイッチング化）では、共振回路を全て受動素子のみで構成したソフトスイッチング電圧形インバータを提案している。共振回路を全て受動素子のみで構成することで、スイッチング切り替えタイミング検出センサレス化を実現するだけでなく、共振回路の制御信号を不要としている。これにより、出力制御のためのPWM信号のみでソフトスイッチングを達成している。さらに、自動的にデッドタイム補償の機能を持たせうるので、スイッチングパターンにデッドタイム補償のための付加的变化を施す必要がなく、特に低周波数出力での電流歪み抑制を実現している。本章では、回路動作モードの理論的解析を行い、動作モードに基づいて回路定数の設計指針、デッドタイム自動補償機能の基本原理を明らかにするとともに、実験によりこれらの有効性を明らかにしている。

第4章(電流形インバータのソフトスイッチング化(大容量化・高効率化))では、直流リアクトル(DCL)の小型化によって大容量化を実現できる、ソフトスイッチング電流形インバータを提案している。DCLの小型化は、銅損および鉄損の低減、装置の小型軽量化だけでなく、直流リンク電流を大きくしてもDCL鉄心の磁気飽和が起きにくいため、出力の大容量化を実現できる。さらに、共振回路の改良により損失を低減し、効率向上を実現している。本章でも、回路構成および動作原理の理論解析を行い、回路定数の設計指針を明らかにするとともに、実験によりこれらの有効性を明らかにしている。

第5章(電流形インバータのソフトスイッチング化(高出力電圧化))では、直流リンク電流制御による高出力電圧化を実現するソフトスイッチング電流形インバータを提案している。直流リアクトル電流を増大させることにより、電流形インバータの特長の一つである昇圧機能を積極的に利用することができ、高出力電圧化を実現している。本章において、回路構成および動作原理を理論的に明らかにし、回路定数の設計指針を示すとともに、実験によりこれらの有効性を明らかにしている。

第6章(結言)では、本論文のまとめとして、いずれのソフトスイッチングインバータも、ソフトスイッチングのためだけのセンサ類を不要とし、複雑な制御を施すことなくソフトスイッチング動作を実現し、その結果として効率の向上を達成したことが本論文における成果であると結論付けている。さらに、今後の展望として、「ワイドギャップ半導体」を適用した次世代ソフトスイッチング電力変換回路の特長や課題について述べている。

以上これを要するに、本論文は、ソフトスイッチングインバータにおいて、スイッチング切り替えタイミング検出のためのセンサレス化、制御の簡潔化、高効率化を同時に実現する新しい部分共振回路を適用した、極めて斬新な回路方式を提案し、回路動作、出力および共振回路の制御手法、回路定数設計法を理論的に導くとともに、実機実験によって有効性を検証し、ソフトスイッチングインバータの回路設計に新しい知見のみならず将来の方向性をも与えたものであって、電気工学上貢献するところが少なくない。よって、本論文は、博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。