

論文内容の要旨

氏名 中田 祐樹

パワーエレクトロニクス技術は、半導体スイッチを用いた電力変換回路を用いて電気の波形や周波数を利用形態に適した形に変換する技術である。冷蔵庫やエアコン、テレビなどの家電製品、電気自動車(EV)や新幹線、電車などの交通機関、工作機械などの産業機器、周波数変換所や新エネルギー発電などの電源部門まで、電気を用いているところにはほぼパワーエレクトロニクス技術が用いられている。パワーエレクトロニクス技術の発展は、パワー半導体スイッチ（デバイス）の進歩とともに進んできた。

近年では、GaN や SiC などの次世代半導体の登場により、高周波化の動きは加速してきている。高周波に変換された電力を系統に連系する際に、高周波から系統周波数の低周波に変換する交流-交流コンバータが必要となる。このコンバータとして整流器での整流後平滑し、そのあとインバータにより系統に連系するシステムが考えられる。このシステムでは、変換器が 2 つ必要となるため効率が低下する問題がある。このため高周波リンクを有する系統連系用コンバータのトランス 2 次側コンバータの効率が重要となる。高周波でのスイッチングを行うと一般にはスイッチング損失が増加する。このため、コンバータの高周波化による高性能化と高効率化を両立することは非常に難しい。

その他、高周波での非接触電力伝送技術の進展により、非接触給電により送電された高周波の電力を低周波に変換するコンバータが必要であり、このコンバータの効率が電力伝送システム全体の効率に影響を大きく与える。

本研究では、非接触電力伝送システムの受電側変換器のような高周波交流を入力とする高周波単相-低周波三相マトリックスコンバータの高性能化を目的としている。具体的に、高性能化とは低損失化の検討および波形改善法についての検討を行っている。

高周波単相-低周波三相マトリックスコンバータにおいて、出力電圧周波数に対して入力電圧周波数が十分大きいことに着目して、入力電圧の半周期を制御の最小単位として扱い、三相を一括して制御できる空間ベクトルに基づくパルス密度変調を提案した。この制御方式により、高い分解能を維持しながらゼロ電圧スイッチングが実現でき、従来方式よりも入力電圧周波数の高い領域において、より低ひずみ率と高効率を実現できることを理論と実験により明らかにしている。

まず、インダイレクト形高周波単相-低周波三相マトリックスコンバータのインバータ部の高効率化を目指して、デルタ-シグマ変調を用いたパルス密度変調(PDM)制御を適用している。PDM 制御によりインバータのスイッチング損失低減が可能となる。しかし、出力波形には出力電圧指令値の極性と異なる極性の電圧パルスと波形の一定電圧へのクランプ現象が発生し、損失が増加する一因となる。これは各相を独立に変調し、他の相の位相と関係なくパルスを出力してしまうために発生している。そこで、さらなる出力波形の改善手法として空間ベクトル変調(SVM)を基にした PDM 信号生成法を提案している。三相を一括に制御できる SVM を基にスイッチングパターンを生成することにより、出力電流と電圧の位相を最小にすることができ、出力波形にクランプ現象をなくすことができる。そ

ここで、インダイレクト形高周波単相-低周波三相マトリックスコンバータにおいて、デルタ-シグマ変調を用いた制御方式と提案する SVM を基にした制御方式を比較検討し、提案法の有用性を示す。

次に、インダイレクト形回路はモータなどの低力率の負荷では直流リンク部の電流の逆流により出力電圧にクランプ現象が発生し、波形が大きくひずむ問題について検討している。ダイレクト形高周波単相-低周波三相マトリックスコンバータでは低力率負荷でも電流の電源側への回生動作が可能のためクランプ現象が生じない。そこでダイレクト形高周波単相-低周波三相マトリックスコンバータへの PDM 制御の適用について検討を行った。ここでは、制御法として、インダイレクト形回路の実験で提案した空間ベクトル変調を基にした PDM 制御をダイレクト形高周波単相-低周波三相マトリックスコンバータに適用し、その基本動作を確認している。

最後に、インダイレクト形回路の実験で提案した SVM を基にした PDM 制御においてキャリア周波数が高いときや変調率が低いときに、発生する量子化誤差による出力波形ひずみの改善法の検討を行った。改善法として SVM とデルタ-シグマ変調をベースとして量子化の際に誤差が最小となる出力ベクトルを選択する制御法を提案し、ダイレクト形高周波単相-低周波三相マトリックスコンバータにおいて、SVM を基にした制御方式と SVM とデルタ-シグマ変調を組み合わせた方式を、試作機を用いた実験により比較検討し、提案方式の有用性を示している。