

マトリクスコンバータの実用化に関する研究

生産科学研究科 システム科学専攻

原 英則

本論文では、全世界で広く使用されている PWM インバータに変わる次世代電力変換装置として、市場から高い注目を受けているマトリクスコンバータに関して、その動作特性や回路構成において実用化の課題となる点に焦点をあて、それらを解決するために技術課題を整理・解析し、その対策や改善を行うマトリクスコンバータの実用化に関する研究を行った。

本論文の第二章では、マトリクスコンバータの基本原理と題し、現在の制御方法や回路構成を紹介している。特にマトリクスコンバータ特有の技術であり、かつ実用化技術の大きな鍵となる転流シーケンスに関して詳細に説明を行った。

第三章では、マトリクスコンバータの実用化技術について検証を行った。3.1 では、半導体素子の電流定格を決定する発生損失について詳細に解析を実施した。これによりパワー半導体の容量選定が容易に行える。3.2 では、電源の瞬時停電時の挙動と対策について検討と評価を実施し、瞬時停電後に脱調や過電流等の異常状態が発生しないことを確認した。3.3 では、今後の諸評価を実験以前に事前検証する手段として、実験機と同じ回路構成と制御ソフトが使用可能な回路シミュレータ「Simplorer」を用いてモデリングを実施し、実機の評価結果との比較によりその動作検証を行った。結果、マトリクスコンバータ固有の複雑なスイッチングシーケンスを考慮した動作解析が実行可能となり、新しく提案する方式の事前検討等をスムーズに行うことを可能とした。

第四章では、特性改善として現在の制御方式の問題点を整理し、実用化に対して問題となる項目に対して改善を行った。4.1 では、入力電源電圧不平衡時の入力電流制御方式について提案し、シミュレーションと実験結果により検証を実施した。本方式を用いることにより、マトリクスコンバータの実使用条件下において想定されうる電源歪みが発生した場合でも、理想どおりの入力電流品位を実現できることが確認された。4.2 ではスナバエネルギーの電源への回生と、回生エネルギーによる入力電流改善について回路構成を含めた提案を実施し、シミュレーションと実験結果により検証を実施した。これにより、スナバ電圧の抑制と入力電流歪みの更なる改善が可能となった。4.3 では、三章で紹介したシミュレ

ーションモデルを用いて、転流シーケンスの影響により悪化する電圧精度の影響分析を行った。また、転流誤差を事前に演算して補正する方式を提案し、トルクリップルを抑制できることを実験機により確認した。4.4では、特に低速度領域における電圧精度劣化の対策として三相変調方式を提案し、シミュレーションモデルを用いてその改善効果を確認した。4.5では、三相変調導入に伴う発生損失の増加という課題に対し、発生損失を低減可能な低損失三相変調方式の提案し、シミュレーションと実機評価により、その動作検証を実施した。4.6では、入力電圧に対して86.6%以上の電圧を出力する高電圧出力時に発生するPWMの飽和とその影響に対する出力特性と入力電流ひずみに関する検証を行い、またその改善方策として台形波出力による飽和抑制方式を提案し、シミュレータと実機により動作検証を行った。4.7では、これまで述べたPWM方式によるコモンモード電圧特性を解析し、同時にPWMインバータとの比較を実施し、マトリクスコンバータの有用性を紹介する。

第五章では、マトリクスコンバータの応用事例に関して提案を行った。5.1では、PWM方式にソフトスイッチング技術を導入したARCPマトリクスコンバータについて、その動作原理を紹介し、評価を行うための評価機のパラメータ設計を行うための手法について紹介する。次に設計評価方法として回路シミュレータを用いて動作確認とパラメータの妥当性について検証した。また、従来のハードスイッチングマトリクスコンバータとのコモンモード特性を比較し、PWMのソフトスイッチング化に伴う発生ノイズ抑制効果について確認を行った。5.2では、マトリクスコンバータに各種フィルタを適用し、入出力電流電圧をすべて正弦波とした入出力正弦波コンバータを提案し、各種フィルタの個別特性と、入出力正弦波という究極の電力変換装置として、その特性評価を実施した。

本研究は、その制御原理が1980年に発表され、その後世界各国で研究・開発が行われているにも関わらず、未だ一部の特定用途にしか使用されていないマトリクスコンバータの実用化に関してなされたものである。本論文中で明らかにした技術課題とその対策を実行していくことにより、元来PWMインバータより優れた特性を持つマトリクスコンバータの市場有用性を高め、よって環境調和時代に相応しい次世代電力変換装置として世界中で使用されていくことを目的とする。