



| | |
|---------------------|---|
| Title | 高周波出力マトリックスコンバータを用いた絶縁型AC-DC変換器に関する研究 [論文内容及び審査の要旨] |
| Author(s) | 小高, 渉 |
| Degree Grantor | 北海道大学 |
| Degree Name | 博士(工学) |
| Dissertation Number | 甲第15082号 |
| Issue Date | 2022-03-24 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/85457 |
| Rights(URL) | https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ |
| Type | doctoral thesis |
| File Information | Wataru_KODAKA_review.pdf, 審査の要旨 |



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 小高 渉

審査担当者 主査教授 小笠原 悟司

副査教授 五十嵐 一

副査教授 北 裕幸

学位論文題名

高周波出力マトリックスコンバータを用いた絶縁型 AC-DC 変換器に関する研究

(A Study on Isolated AC-DC Converters Using High-Frequency Output Matrix Converters)

バッテリー充電器やコンピュータの電源、太陽光発電システムなど、様々な電気機器において系統交流電力と DC 電力を絶縁して接続するために、絶縁型 AC-DC 変換器が広く用いられている。一般的に用いられる絶縁型 AC-DC 変換器は PFC (Power Factor Collection) 回路と絶縁型 DC-DC 変換器を接続した 2 段構成である。PFC 回路は系統交流を高電源力率に制御する回路であり、絶縁型 DC-DC 変換器は系統交流電力と DC 電力を絶縁するとともに、出力 DC 電力の制御を行う。このような絶縁型 AC-DC 変換器は 2 段の電力変換器それぞれで損失が発生するため、効率が低い。また、PFC 回路と絶縁型 DC-DC 変換器の間の DC リンクには、大容量の電解コンデンサが必要である。この電解コンデンサは大型で寿命が短いため、大容量の電解コンデンサを使用しない絶縁型 AC-DC 変換器が求められている。

大容量の電解コンデンサを使用しない絶縁型 AC-DC 変換器として、マトリックスコンバータ (MC: Matrix Converter) を用いた絶縁型 AC-DC 変換器が注目されている。MC は AC-AC 直接変換器であり、PFC 回路と絶縁型 DC-DC 変換器の双方の機能を 1 つの変換器で実現する。よって MC を用いた絶縁型 AC-DC 変換器は、従来の絶縁型 AC-DC 変換器と比較して、変換段数が少なく高効率となる。さらに、DC リンクがないため、大容量の電解コンデンサを必要とせず、小型・長寿命な絶縁型 AC-DC 変換器を実現可能である。しかし、これまで提案されている MC 制御法の多くは MC 出力周波数が低く、絶縁変圧器が大型となるばかりでなく、スイッチング損失が大きい問題があった。

本研究は、高効率・高入出力力率・小型・長寿命な三相・単相入力絶縁型 AC-DC 変換器に用いる MC の制御法を開発することを目的とする。開発する MC 制御法は、スイッチング周波数と同じ MC 出力周波数、全てのスイッチングが低損失のソフトスイッチング、高入出力力率、三相電源と単相電源の二電源に対応可能である特長を有する。

本論文では、はじめにスイッチング周波数と同じ MC 出力周波数となる高周波出力 MC の制御法を検討している。絶縁型 AC-DC 変換器に用いられる絶縁変圧器の体積は印加される電圧の周波数に反比例する。数理モデル (制御方程式) を用いて検討したスイッチングパターンを用いた場合に、固定 MC 出力周波数として、任意の電源力率の正弦波 MC 入力電流と出力 DC 電圧を実現することが可能である。スイッチング周波数と同じ出力周波数 MC 制御法の有効性・妥当性をシミュレーションにより確認している。

次に MC のスイッチング損失を抑制するために、スイッチング損失を理論上ゼロにできる LC 共振回路を用いたソフトスイッチング技術を適用している。MC のパワー半導体スイッチにスナバ

コンデンサを追加し, MC の全てのスイッチングをソフトスイッチングとする MC 出力電圧・電流条件を明らかにするとともに, 任意の電源力率の正弦波 MC 入力電流と出力 DC 電圧を実現している。

ソフトスイッチングのためには, MC 出力力率を減少させる必要があり, 固定 MC 出力周波数制御法では, MC 入力電圧の位相によっては過剰に MC 出力力率を低下させる。そこで LC 共振回路の特性を利用して MC 出力周波数を可変させることで, MC 出力力率を制御して, ソフトスイッチングを達成した上で, MC 出力力率を最大化させることが可能である。提案する可変 MC 出力周波数制御法により, MC 出力力率最大のソフトスイッチングと, 任意の電源力率の正弦波 MC 入力電流, 指令値に追従する出力 DC 電圧を実現している。さらに, 出力 DC 電圧フィードバックと, ダイオード整流器の非線形特性を考慮した解析法を MC 制御法に適用し, 高効率・高入出力力率・小型・長寿命な三相入力絶縁型 AC-DC 変換器とすることが可能とした。試作機を用いた実験により, 開発した MC 制御法の妥当性・有用性を確認している。

さらに三相入力絶縁型 AC-DC 変換器とまったく同じ回路構成を用いて単相電源で動作可能な MC 制御法を開発している。単相電源に接続する場合, 電源電力が電源周波数の 2 倍の周波数で脈動するため, この脈動を抑制する MC 入力フィルタを用いたアクティブパワーデカップリング技術を MC 制御法に適用している。提案した制御法を用いることにより, 三相電源で動作する絶縁型 AC-DC 変換器を, 三相電源がない場合においても単相電源で駆動させることを可能としている。シミュレーションや試作機を用いた実験により, パワーデカップリング制御を追加した MC 制御法の妥当性・有用性を確認している。

これを要するに筆者は, AC-AC 直接変換が可能なマトリックスコンバータ (MC) に対して, スイッチング周波数と同じ出力周波数, 力率 1 の正弦波入力電流, ソフトスイッチングによる高効率を実現しただけでなく, 三相交流のみならず単相交流入力にも対応可能なスイッチング制御法を提案し, 実験によりその効果を検証して新しい知見を得たものであり, 電気工学ならびにパワーエレクトロニクス分野に対して貢献するところ大なるものがある。よって筆者は, 北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。