



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_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 小高 渉

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る。

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持つ。

本論文では、はじめに高周波出力 MC の制御法を検討する。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。よってスイッチング周波数と同じ MC 出力周波数となる 6 つの MC のスイッチングパターンを検討する。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 MC のパワー半導体スイッチの ON 時間比率得るための数理モデル (制御方程式) を構築する。提案する制御方程式は、MC 出力電流を制御周期内で一定と近似することで、単純な線形方程式として表される。スイッチング周波数と同じ MC 出力周波数となる MC のスイッチングパターンと線形な制御方程式による 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する。

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とする LC 共振回路を用いたソフトスイッチング技術を、MC を用いた絶縁型 AC-DC 変換器に適用する。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て、MC の転流原理とスナバコンデンサの充放

電の関係を検討することで、スイッチング周波数と同じ MC 出力周波数とするスイッチングパターンに対して、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。絶縁変圧器後段を線形負荷に近似して、MC 出力電流が LC 共振回路により正弦波状の波形となることを考慮した固定 MC 出力周波数の制御方程式を用いることで、ソフトスイッチングを達成するとともに、任意の電源力率の正弦波 MC 入力電流と出力 DC 電圧を実現する。提案する制御方程式を用いた場合のスイッチング周波数と同じ MC 出力周波数とする 6 つのスイッチングパターンを比較して、最大の出力 DC 電圧・低 MC 出力電圧ひずみとするスイッチングパターンを検討する。提案する固定 MC 出力周波数の制御法の有効性・妥当性をシミュレーションにより確認する。

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。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 電圧を実現する。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 制御法に適用する。提案する MC 制御法を用いることで、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なる。試作機を用いた実験により、開発した三相入力の MC 制御法の電源力率・出力 DC 電圧と MC の効率を評価することで、開発した MC 制御法の妥当性・有用性を確認する。

また三相入力絶縁型 AC-DC 変換器に対して、同じ回路構成を用いて単相電源で動作可能な MC 制御法を開発する。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 制御法に適用する。アクティブパワーデカップリングを実現するとともに、MC 出力力率最大のソフトスイッチング、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 電圧を実現する MC 制御法を検討する。三相電源駆動と単相電源駆動を両立する MC 入力フィルタのパラメータの条件を明らかにする。この制御法を用いることにより、基本的に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も、単相電源で駆動させることが可能となる。シミュレーションや試作機を用いた実験により、開発した単相入力の MC 制御法の電源力率・出力 DC 電圧と MC の効率を評価することで、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・有用性を確認する。