

論文内容の要旨

氏名 高橋広樹

地球環境や化石エネルギーの枯渇の問題に対し、世界各国で再生可能エネルギー発電の大量導入が進められている。その中で、今後最も導入量が多くなると予想されている風力発電や、系統安定化装置である UPFC (Unified power flow controller), DVR (Dynamic voltage restorer) などには AC-AC の電力変換器が必要となる。これまで、この AC-AC 変換器には大容量の電解コンデンサを用いた BTB (Back to back) システムが使用されてきたが、大容量電解コンデンサは装置の小型化、高効率化を阻む原因となる。そこで、エネルギーの主経路に電解コンデンサを用いない直接形 AC-AC 変換器マトリックスコンバータの系統連系用途への適用が検討されているが、マトリックスコンバータには長期的な安定運用の観点で問題がある。具体的には、マトリックスコンバータはエネルギーバッファを持たないので、系統事故による瞬時電圧低下の影響を受けてその運転継続が難しくなる。さらに、スイッチング周波数の高調波電流抑制のための LC フィルタによって共振が励起されるとシステムが不安定化してトリップする問題がある。

本論文では、系統連系機器に適用するマトリックスコンバータの安定化を実現するため、フィルタ共振抑制と瞬低に対応する FRT (Fault ride through) というマトリックスコンバータの原理的な課題を解決する安定化制御を提案する。ここでは、マトリックスコンバータの入出力インピーダンスを制御する「アクティブインピーダンス動作」に着目し、これまでの安定化手法では難しかった安定化と入出力電流制御の両立によって高性能な系統連系機器を実現する。この結果、BTB システムに対してマトリックスコンバータが不利とされていた安定性の問題を解決し、小型で高効率な連系用マトリックスコンバータの実用化に向けた一助となる。

第 1 章では、上記のような本研究の背景と連系用マトリックスコンバータへの要求、研究目的を述べ、本論文の意義を明らかにする。

第 2 章では、これまで提案されてきたフィルタ共振抑制技術とマトリックスコンバータの FRT 制御技術について述べ、その特長と問題点を整理する。次に、これらの問題点を解決できるマトリックスコンバータのアクティブインピーダンス動作に着目した新しい安定化制御を提案する。提案する安定化制御は、入出力端子においてマトリックスコンバータを等価的にインピーダンスとして動作させ、その定常値と周波数特性をアクティブに制御することでフィルタ共振抑制と瞬低中の運転継続を可能とし、系統連系用マトリックスコンバータの安定化を実現する。最後に従来の安定化制御と提案法を比較し、本論文の位置づけを示す。

第 3 章から第 5 章では、第 2 章で提案するアクティブインピーダンス動作に対して具体的な制御方式を提案し、特徴および性能を議論する。その制御方式による安定化の効果や従来法に対する優位点については試作器を用いて実験を行い検証する。

第 3 章では、アクティブインピーダンスによるフィルタ共振抑制制御の共振抑制原理やその設計法について述べる。提案する共振抑制制御はマトリックスコンバータの出力電流

制御に統合されたダンピング制御であり，入力アドミタンスの周波数特性で生じる負性抵抗を正の値に変換してフィルタ共振を防ぐ。また，所望のゲイン余裕と出力電流制御性能を両立するため，出力電流制御系の周波数特性に着目したパラメータ設計法を提案する。その後，提案法がフィルタ共振を抑制しつつ，良好な電流制御性能を得ることを実験で確認する。

第4章では，中電圧用途に用いる多重マトリックスコンバータに適したダンピング制御を確立するため，従来の入力電流制御に統合するダンピング制御と3章で提案したダンピング制御を多重マトリックスコンバータに適用し，その優劣を比較する。特に，従来の入力統合型ダンピング制御と提案法を導入した際の負荷電力と電源インピーダンスに対するトランス一次電流ひずみを比較し，それぞれの適用可能範囲から提案法の優位性を実験で明らかにする。

第5章では，アクティブインピーダンスによるFRT制御の具体的な手法について述べる。提案するFRT制御では，瞬低時のマトリックスコンバータを仮想AC-DC-AC変換方式に基づいて電流形整流器と電圧形インバータに分離し，それぞれをキャパシタと抵抗として動作させる。この動作を実現するため，第5章ではキャリア周期中の動作を3つのモードに分けた時分割変調を導入する。さらに，安定な運転継続性能と所望の発電機トルクを得るために専用のフィードバック制御も提案する。その後，提案するFRT制御についてシミュレーションと実験を行い，提案法の有用性を実証する。最後に，検討したFRT制御を中電圧用途向けの多重マトリックスコンバータに展開し，その実験結果を示す。

第6章では，本論文の有用性と各章で提案した回路の総括を述べ，今後の課題についてまとめる。

以上のように，本論文では系統連系に適用するマトリックスコンバータのアクティブインピーダンス動作を提案し，その有用性を確認した。