

論文内容の要旨

氏 名 LE HOAI NAM

地球環境問題や化石エネルギーの枯渇問題の解決に向け、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おり、特に太陽光発電システムは今後最も導入量が多くなることが予想されている。太陽光発電システムに使用されるパワーコンディショナは、昇圧チョッパと系統連系インバータから構成されており、パワーコンディショナ内でリアクトルの体積が大きな割合を占める。リアクトルを小型化する方法の一つとして、スイッチング周波数を高周波化する方法があるが、スイッチング損失の増加により冷却装置の体積が大きくなる。

一方、大きな電流リップルを許容することでリアクトルを小型化する方法がある。この方法では、電流連続モード(以下、「CCM」)と電流不連続モード(以下、「DCM」)を切り替えて電流制御を行う。軽負荷では不連続に、重負荷では連続に電流を流す電流連続/不連続モード混在制御方式は、CCM だけを用いる制御方式と比較して、広い負荷範囲で高効率を得られる。しかしながら、従来の電流連続/不連続モード混在制御方式では、昇圧リアクトルのインダクタンスより電流モードを判別し、動作モードを切り替えるため、インダクタンスの公差が大きい際、所望の性能が得られない。

本論文では、太陽光発電用途で用いる昇圧チョッパと系統連系インバータのリアクトル小型化及び電力変換効率の改善を目的とし、CCM に非線形項を補償することでリアクトルに不感な DCM 制御法を提案する。提案手法を適用することで、新たな制御器の設計を行うことなく、装置の大型化、低効率化の原因となるリアクトルを小型化することが可能であることを検討する。

第 1 章では、上記に記した本研究の背景と太陽光発電システムにおける電力変換器への要求、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電流連続/不連続モード混在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リアクトルに不感な電流連続/不連続モード混在制御法を提案する。提案するリアクトルに不感な電流連続/不連続モード混在制御法は、1 サンプル前のデューティを利用して DCM における非線形性を打ち消し、CCM と DCM のデューティの関係を電流モード判別に利用する。これにより、インダクタンスの公差が大きい場合でも、安定した電流モードの切り替えを実現する。最後に従来の電流連続/不連続モード混在制御と提案法を比較し、提案方式の有用性を示す。

第 3 章では、昇圧チョッパに適用する電流不連続モード制御の提案法について述べる。提案する電流不連続モード制御は、DCM 時の 1 サンプル前のデューティを利用することで DCM に起因した非線形性を打ち消すことで、CCM 制御系と同等の制御応答を実現する。本章では、試作機により CCM 時と DCM 時の電流応答を比較することで、提案制御法の有用性を確認する。加えて、DCM 時の効率を改善するため、DCM の同期整流法を提案する。同期整流では、順方向電圧によって導通損失が発生するダイオードではなく、小さいオン抵抗をもつ MOSFET に電流を流すため、導通損失の低減が期待できる。同期整流法の有

用性を検証するため CCM と DCM における昇圧チョッパの効率を測定し、DCM の同期整流による効率改善効果を検証する。

第 4 章では、単相系統連系インバータに適用する電流連続/不連続モード混在制御の提案法について述べる。提案する電流連続/不連続モード混在制御は、第 3 章で提案した電流不連続モード制御系に基づき、CCM と DCM のデューティの関係を電流モード判別に利用し、インダクタンスの公差が大きい場合でも、安定した電流モードの切り替えを実現する。実験により所望の動作を確認し、インバータの定格インピーダンスに対して 0.5% の容量をもつ連系リアクトルを用いて、系統電流のひずみ率を 5% 以下に抑制可能であることを検証する。加えて、連系リアクトルの体積は従来の電流連続モードの制御系を用いた方式に対して小型化することで、本論文の提案手法が電力変換器のリアクトル小型化及び電力変換効率の改善に有用であることを確認する。

第 5 章では、三相系統連系インバータに適用する電流不連続モード制御法について述べる。提案する電流不連続モード制御は、タイムシェアリング技術を利用して各相の電流制御の干渉を打ち消し、各相で独立な電流不連続モード制御を実現する。実験により出力電流ひずみ率を 5% 以下に低減できることを検証する。

第 6 章では、昇圧チョッパのリアクトル小型化と広い負荷範囲での高効率化を両立するため、電流不連続モードと三角波電流モード(以下、「TCM」)を組み合わせたハイブリッド電流不連続モードを提案する。ハイブリッド電流不連続モードでは、DCM のゼロ電流期間中に TCM を適用することでゼロ電圧スイッチングを達成しながら、軽負荷時の電流リップルを低減する。ここでは、実機によるハイブリッド電流不連続モードの動作と効率改善効果の検討を行う。

第 7 章では、本論文の有用性と各章での提案法の総括を述べ、今後の課題についてまとめる。提案法は、太陽光発電システム用の電力変換器における小型化や高効率化手法を確立し、さらなる応用範囲の拡大に大きく貢献している。