

学位論文及び審査結果の要旨

氏 名 細山田 悠

学位の種類 博士(工学)

学位記番号 理工博甲第11号

学位授与年月日 令和3年3月25日

学位授与の根拠 学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項

学府・専攻名 理工学府・数物・電子情報理工学専攻

学位論文題目 高速High/Lowパルス動作を実現する3相インターリーブDC/DCコンバータの制御手法の検討
(英訳) On control method three-phase interleaved buck DC/DC converters for high-speed high/low pulse operation

論文審査委員 主査 横浜国立大学 教授 藤本 康孝
横浜国立大学 教授 大山 力
横浜国立大学 教授 赤津 観
横浜国立大学 准教授 辻 隆男
横浜国立大学 准教授 下野 誠通

論文及び審査結果の要旨

プラズマ応用分野において、液晶パネルや太陽光パネル、半導体素子等の製造工程に高周波電源であるRF(Radio Frequency)電源が使用されている。近年、製造装置における高精度化や高機能化が進み、さまざまな研究・開発が進められている。その一例として、High/Lowパルス運転がある。この運転モードは、高周波出力において薄膜生成に必要なHigh側電力と、プラズマ放電を維持し続けるためのLow側電力を高速に切り替え動作することで、プラズマの消弧を防ぎ、高品質な成膜プロセスの実現に有効とされている。

RF電源において、このHigh/Lowパルス運転を実現する方法として、RF部のゲートを制御することによりHigh/Lowパルス運転を実現する方法があるが、出力RF周波数の高周波化が進むにつれて制御が複雑となる。それに対し、RFインバータの入力電圧である直流電圧を2つのレベルに制御することにより、RF部の周波数には関係なくHigh/Lowパルス運転を実現できる。このとき、High/Lowパルス運転のパルス周波数はDC/DCコンバータの応答速度に依存するため、高速なHigh/Lowパルス運転を実現するためには、高速な応答速度を実現するDC/DCコンバータが必要となる。本論文は、そのための高速制御法を提

案するものである。

第1章では、研究の背景と関連研究および本研究の位置づけについて述べている。降圧コンバータを制御する方法として、PI制御やヒステリシス制御、モデル予測制御等あるが、本研究では出力デッドビート制御を用いることで、高速かつ高精度な電圧遷移を実現する。第2章では、3相インターリーブDC/DCコンバータに対して基準相のDutyを位相シフトさせることで動作させる一括型のデッドビート制御を提案している。また、スイッチング周波数の高周波化に伴い、制御演算やセンサの遅延時間が無視できなくなるため、これを考慮したデッドビート制御則を導出している。第3章では、2章の手法をより精緻化し、各相のDutyを相毎にデッドビート制御する個別制御方式を提案している。併せて、高速検出が可能なコンデンサ電流フィードバックを用いた高速な電圧遷移により、High/Lowパルス運転を高速化し、実験においてスイッチング周波数800kHz、パルス周波数10kHz、280V/70VのHigh/Lowパルス運転を実現し、LowからHighへの電圧遷移時間 $6.7\mu\text{s}$ を達成した。第4章では、インターリーブ各相の電流バランスおよびオーバーシュートについて考察を行っている。第5章では、本研究の総括を行っている。本論文では、プラズマ応用分野におけるHigh/Lowパルス運転のための3相インターリーブDC/DCコンバータの極めて高速な電圧遷移時間を実現するデッドビート制御を提案し、その有効性を検証実験により実証した、と結論付けている。

以上より、DC/DCコンバータの新しい制御方式の提案と検証を試みた本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められた。