

【学位論文審査の要旨】

電動航空機や電気自動車に搭載される電力変換回路の研究開発では、更なる小型化及び低損失化を目指して、SiC-MOSFETを代表とする次世代パワー半導体の適用が加速している。次世代パワー半導体の特徴である高速スイッチングは、電力変換回路の損失を減らす技術として、多くの研究報告がある一方、高速スイッチングに起因する課題も顕在化している。その原因の多くは、配線に存在する寄生インダクタンスである。寄生インダクタンスは、高速にスイッチングするパワーデバイスに流れる電流変化率に起因して誘導起電力を発生させる。この誘導起電力は、パワーデバイスの定格電圧を超える可能性があるため、この課題解決のためにラミネートバスバーが適用されている。ラミネートバスバーは、寄生インダクタンス低減が可能である一方、その構造から寄生キャパシタンスが増加する。この寄生キャパシタンスは、寄生インダクタンスと併せて共振回路を形成し、スイッチング時に大きな電圧・電流の振動を引き起こす。さらに、これらの寄生パラメータが原因となり、複数のキャパシタが接続される場合において、それぞれのキャパシタに流れる電流がアンバランスになるといった問題も報告される。そこで本研究では、高速スイッチング可能なパワーデバイスの回路実装を前提にラミネートバスバーの寄生インダクタンス・キャパシタンス・抵抗・コンダクタンスを考慮した配線構造設計手法を明らかにすることを目的としている。

本論文で得られた成果は以下のとおりである。

(1) ラミネートバスバーに並列接続されたキャパシタに発生する、電流アンバランスの解析を行うために、2端子対回路網を用いた解析手法を提案した。さらに、電流アンバランスの発生要因である、バスバー端子部の穴径に依存した寄生パラメータの算出を行い、電流アンバランスへの影響を定量的に明らかにした。その結果、適切な穴径の設計方法を示すことで、電流アンバランスの課題を解決した。(2) スwitchingに起因して、数MHzから100MHzの振動現象が発生する。その振動現象を解析するために、ラミネートバスバーの導体および絶縁体に起因した寄生抵抗及びコンダクタンスを含めた等価回路を提案した。その等価回路を用いて、時間軸の観点から振動現象を目標値以内に抑えるラミネートバスバー構造の設計方法を示し、振動を抑制するための解決手法を示した。(3) 寄生インダクタンスに起因するサージ電圧と寄生キャパシタンスに起因する振動現象がそれぞれトレードオフの関係であることを明らかにした。そのうえで、すべての要素を同時に解決可能なラミネートバスバー設計手法を明らかにした。提案手法の妥当性を明らかにするために400V, 30Aの降圧チョッパ回路による実験検証を行い、本手法の有効性を明らかにした。以上のように本論文では、パワー半導体デバイス的高速スイッチングに起因する課題に対して回路実装部品の一つであるラミネートバスバーに着目して、その設計手法を提案し有用性を明らかにしたものである。すなわち、この成果はパワーエレクトロニクス機器の構造設計において工学的な面での寄与が認められるだけでなく、高い信頼性が要求される分

野へのパワーエレクトロニクス機器の普及促進に貢献するものと考えられる。以上から、本論文は博士（工学）の学位を授与するに十分価値あるものと認められる。

本学の学位規則に従い、最終試験を行った。公開の席上（オンライン）で論文発表を行い、学内外の多様な出席者を得て質疑応答を行った。また、論文審査委員により本論文及び関連分野に関する試問を行った。これらの結果を総合的に審査した結果、専門科目についても十分な学力があるものと認め、合格と判定した。