

# 電荷蓄積層形トレンチゲートバイポーラトランジスタを用いた小容量インバータの放射ノイズの低減に関する研究

只熊, 利弥

<https://hdl.handle.net/2324/4496077>

---

出版情報 : Kyushu University, 2021, 博士 (工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名 : 只熊 利弥

論 文 名 : 電荷蓄積層形トレンチゲートバイポーラトランジスタを用いた  
小容量インバータの放射ノイズの低減に関する研究

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

地球規模の気候変動の要因である温室効果ガスの削減目標が各国から提示され、実行に移す段階にある。生活の利便性を確保しながら温室効果ガスの削減を進めるにはエネルギーの効率的な生成および利用が求められる。効率の向上にはパワーエレクトロニクスの技術が必要不可欠であり、パワーデバイスはそのハードウェアの中でキーデバイスとなる。19世紀後半から現在に至る電力変換器・パワーデバイスの変遷において、高効率化するために行われた導通損失とスイッチング損失の低減は、材料開発と構造開発の歴史でもある。しかし一方、パワーデバイスがスイッチングする際の電流や電圧の急峻な時間変化に起因する「電磁ノイズ」が問題となることも多く、その低減は、パワーデバイスの損失低減と両立させることが難しく、近年の大きな課題となっている。

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) は現在、パワーデバイスとして広く用いられているが、IGBTの黎明期から約40年を経て、電荷蓄積層形トレンチゲートバイポーラトランジスタ(CSTBT: Carrier Stored Trench gate Bipolar Transistor) が申請者らにより新しく提案された。本論文は、このCSTBTに加え、還流動作に必要なPiNダイオード、IGBTの駆動回路と保護回路が統合された、モータ駆動用低容量インバータ向けの超小型DIIPM (Dual Inline Package Intelligent Power Module) を研究対象にし、構造、損失、ノイズの各観点から詳細に検討しているもので、以下の七章で構成されている。

第一章では、近年の地球規模の問題である気候変動の状況を整理し、パワーエレクトロニクスの技術の要素であるパワーデバイスとノイズ対策部品の両方の市場について紹介し、本研究目的について説明している。

第二章では、パワーデバイスの構造とその変遷、関連する放射および伝導ノイズの規格についてまとめている。そして、インバータシステムにおける電源からモータまでの経路におけるインピーダンスのモデルとパワーデバイスの動作にもとづくノイズモデルの作成方法、パワーデバイスに着目した放射ノイズの評価手法について、研究対象である三菱電機製の超小型DIIPMを例にとり紹介している。

第三章では、放射および伝導ノイズの測定環境および評価方法を示し、超小型DIIPMに搭載される素子の構造による放射および伝導ノイズの違いを調べている。また、三次元電磁界可視化装置により放射ノイズの発生源を特定し、さらにモータ駆動中に放射ノイズを同時に測定することで、スイッチング動作における放射ノイズの発生タイミングを特定している。また、簡易電波暗室にてダブルパルス試験をすることで、放射ノイズをスイッチング特性の一つとして考慮する拡張ダブルパルス試験を提案している。

第四章では、提案する拡張ダブルパルス試験をもとに、T(Trench gate)IGBTとCSTBTの比較によ

り、ターンオン動作における放射ノイズの発生タイミングが異なる点を説明し、要因が電荷蓄積層 (Carrier Stored layer、CS 層)の有無か、その濃度に依存するかに関して、濃度を振り分けて検証を行っている。そして、ウェーブレット変換および電磁ポテンシャルを適用することで電流の滑らかさに関係することを示し、それがCS 層濃度に依存することをCSTBTの等価回路モデルを提案して説明している。また、ターンオンとターンオフの放射ノイズを任意に定めた区間でフーリエ変換することで放射ノイズの電流依存性を検討し、適したCS 層濃度を静特性とスイッチング損失の電流依存性を取得した結果踏まえて提案している。

第五章では、第四章において作成した等価回路モデルを用いてCS 層濃度に応じたSPICEモデルを作成し、各モデルを用いた放射ノイズのシミュレーションによる結果と実測結果との比較を行うことでモデルの妥当性を示している。また、電源からモータまでの伝導ノイズのシミュレーションを行いCS 層の濃度に応じたスイッチング速度の速さにより10MHz以上にて有意差が発生することが確認でき、また、シミュレーション結果と実測結果の比較によりそれぞれCS 層濃度の違いによる有意差が確認できたが、スイッチング速度が実際のデバイスではより高速になっている領域があると推察され、検証は今後の課題としている。

第六章では、一般的なプレーナゲート型のSiC MOSFETとCSTBTを基本構造としたSi RC (Reverse-Conducting) -IGBT素子を利用して第四章における評価手法を利用して放射ノイズの発生について検討し、構造とその電流の滑らかさが重要であること説明している。さらに、放射ノイズに関する拡張ダブルパルス試験での実験結果とモータを駆動した際の実験結果を比較検討している。

第七章では、第三章から第六章までの内容を総括し、今後の課題に関して述べている。