T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	パワーデバイスモデルと電気・熱連成解析を適用した電力変換器の高信頼性化に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	堀口剛司
Author(English)	Takeshi Horiguchi
出典(和文)	学位:博士（工学）, 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9630号, 授与年月日:2014年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:赤木　泰文,安岡　康一,高橋　宏治,藤田　英明,竹内　希
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9630号, Conferred date:2014/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

（博士課程）

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第　　号	学位申請者氏名	堀口 剛司

		氏　名	職　名		氏　名	職　名
論文審査 審 査 員	主査	赤木　泰文	教授	審査員	竹内　希	講師
	審査員	安岡　康一	教授			
		高橋　宏治	准教授			
		藤田　英明	准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は，「パワーデバイスモデルと電気・熱連成解析を適用した電力変換器の高信頼性化に関する研究」と題し，パワーデバイスモデルと電気・熱連成解析を用いて，電力変換器の高信頼性化について，特に短絡動作に対する高速保護回路と電力変換器の動作中におけるパワーデバイス温度のリアルタイム評価法を提案し，その有効性を実験によって検証したもので，以下の 8 章から構成されている。

第 1 章「序論」では，電力変換器の高信頼性化実現における電気・熱連成解析技術の重要性を概説している。特に，パワーデバイスの高電流密度化に伴う高速短絡保護の必要性，電力変換器の小型化のためのパワーデバイス温度の予測と実験的評価の重要性を指摘している。

第 2 章「関連技術動向」では，国内外の多数の文献を引用しながら，パワーデバイス物理モデルの発展経緯を概説している。さらに，主たる研究対象である短絡保護回路および電力変換器の長期的信頼性に関わる寿命予測方法について，先行研究とその課題並びに本研究の位置付けを明確化している。

第 3 章「パワーデバイスモデルの構築」では，両極性拡散方程式に基づいた pin ダイオードおよび IGBT の物理モデルについて，モデル構成とパラメータ抽出法について論じている。実際に構築した IGBT 物理モデルでは，出力特性とスイッチング損失について，それぞれ 7%，18%以内の誤差率で実験結果を再現している。

第 4 章「パワーデバイスモデルを用いた並列接続動作解析」では，パワーデバイス物理モデルを用いたシミュレーションにより，pin ダイオードおよび IGBT を並列接続した際のスイッチング動作時の電流波形を，パワーデバイス内部（ドリフト層）における過剰キャリアの挙動に基づいて説明している。並列接続したパワーデバイス間で発生する過渡的な電流アンバランスの理論的解釈を行った。

第 5 章「IGBT 物理モデルを用いた電気・熱連成解析」では，IGBT を並列接続した際の各 IGBT の接合温度を電気・熱連成解析を用いて定量的に評価した。特に，配線インダクタンス差と接合温度差の相関関係を明らかにし，電力変換器の主回路やパワーモジュール内部の配線構造の設計指針を容易に決定することができる。また，短絡動作時における接合温度を評価した。短絡動作時のデバイス温度は実験的評価が困難であるため，IGBT 物理モデルを用いた電気・熱連成解析を用いて評価することは，短絡保護回路の設計に対して極めて有効である。このように，高精度な IGBT 物理モデルを用いた電気・熱連成解析技術が，電力変換器の高信頼性設計に対して有効であることを示した。

第 6 章「IGBT 物理モデルを用いた短絡保護回路開発」では，パワーデバイスモデルを用いたシミュレーションにより高速短絡保護を提案・設計し，実験により妥当性を検証した。短絡検出手段としてゲート電荷特性を利用しており，アーム短絡，負荷短絡ともに適用可能である。その結果，1μs 以下でのアーム短絡検出を実現し，負荷短絡についても実用的に十分高速に短絡保護を実現した。さらに，従来手法であるコレクタ電圧検出方式やコレクタ電流検出方式と比較して，高価な検出器や検出タイミング期間の設定が不要であり，安価でシンプルな回路設計となる極めて有効な保護回路方式である。

第 7 章「電気・熱連成解析技術のリアルタイム化」では，パワーデバイス温度の評価方法について，電気・熱連成解析技術とリアルタイムコンピューティング技術を組み合わせたリアルタイム電気・熱連成解析システムを提案・開発した。電力変換器を用いてモータを実際に駆動した際のパワーデバイス温度の評価結果は，赤外線カメラを用いた実験結果と比較して 4%の誤差で一致した。リアルタイム電気・熱連成解析システムの妥当性を検証し，長期的信頼性評価に対する有効性を示した。

第 8 章「結論」では，本研究の知見・成果を要約し，今後の課題を言及している。

以上を要するに，本論文は電力変換器の高信頼性化について，パワーデバイスモデルと電気・熱連成解析を適用することにより，電力変換器の配線構造の設計指針に対する有効性を示し，実用的に十分高速な短絡保護回路としてゲート電荷特性を利用した保護回路を提案・設計し，実験検証を行い，電気・熱連成解析技術とリアルタイムコンピューティング技術を組み合わせることにより，実動作中におけるパワーデバイス温度をリアルタイムに評価する技術を提案し，設計・製作と実験検証を行ったもので，工学および学術上貢献するところが大きい。よって，本論文が博士(工学)の学位論文として十分に価値あるものと認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。