



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	次世代パワー半導体デバイスの適用を考慮した高周波PWMインバータのひずみ・ノイズ低減に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	小川, 将司
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11765号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58921
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Masashi_Ogawa_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 小川 将司

審査担当者 主 査 教 授 小笠原 悟司

副 査 教 授 北 裕幸

副 査 准教授 竹本 真紹

学位論文題名

次世代パワー半導体デバイスの適用を考慮した高周波 PWM インバータのひずみ・ノイズ低減に関する研究

(Study of Reducing Distortion and Noise of High-Frequency PWM Inverters Applying Next-Generation Power Semiconductor Devices)

近年, 化石燃料の枯渇, 環境問題, CO₂ 削減などへの関心が高まるにつれて, クリーンな電気エネルギーへのシフトやその効率的な利用 (省エネルギー) への気運が高まっている。パワー半導体デバイスのスイッチング動作を基本とするパワーエレクトロニクス技術は, 電気エネルギーの形態 (電圧, 電流, 周波数, 相数) を高い効率でしかも高速高精度に変換・制御することのできることから, 省エネルギーのキーテクノロジーとなっている。このパワーエレクトロニクス技術は, パワー半導体デバイスの高性能化とともに大きく発展を遂げてきた。

近年研究が進められている SiC や GaN などのワイドバンドギャップ半導体を用いた次世代パワー半導体デバイスは, 従来の Si の IGBT と比較して 10 倍程度の高速スイッチング特性を有していることが報告されている。次世代パワー半導体デバイスをインバータに適用することで, キャリア周波数を現在の 10 倍程度に高周波化することが可能になり, インバータ出力電流のリプル電流の低減による負荷の高調波損失の低減, 電流制御の応答性の向上, さらにフィルタの小型化などを実現することが期待されている。

しかし, キャリア周波数を高周波化した高周波 PWM インバータは, デッドタイムの挿入に起因する出力電圧ひずみの増大, コモンモード電圧に起因した電磁妨害 (EMI: electromagnetic interference) の増大が懸念されている。デッドタイムの挿入により出力電圧のパルスの幅が電流極性に依存して変化し, 出力電圧誤差が発生するため, 結果として出力電圧のひずみを発生する。従来のフィードフォワード型デッドタイム補償を行うことにより, ひずみを補償することができるが, 出力電圧の理論最大値に近づくとパルスの欠落に伴う電圧ひずみが発生するため, ひずみ無く出力可能な電圧の範囲が制限されるという問題点があった。一方, インバータが発生するコモンモード電圧は, 負荷の対地寄生容量を介して接地に高周波漏れ電流を発生し, EMI の原因となる。このコモンモード電流は, 電源を共有する周辺の機器に流入した場合には伝導性 EMI を, 電磁波を発生して他の機器に影響を与えた場合には放射性 EMI を引き起こす恐れがある。

本論文では, 高周波 PWM インバータの上記の二つの問題点の解決する方法について検討している。出力電圧のひずみの問題に対しては, 新しいフィードバック型デッドタイム補償法を提案している。コモンモード電圧の問題に対しては, 1997 年に提案されたアクティブコモンノイズキャンセラ (ACC) を高周波 PWM インバータに適用することで ACC を大幅に小型化できることを指摘す

るとともに、現在広く用いられている空間ベクトルパルス幅変調 (SVPWM) インバータに適用可能な新しい ACC の回路構成を提案している

第 2 章では、PWM インバータの高周波化の利点を示した後、デッドタイムとコモンモード電圧の問題について詳細に説明している。さらに、これまでの研究例を示し、本研究の位置づけを明らかにしている。

第 3 章では、高応答かつ高精度な補償が可能な新しいフィードバック型デッドタイム補償法を提案している。提案する手法は、PWM インバータの出力電圧のパルスの幅のみをフィードバックし、入力された PWM 信号のパルスと比較して補償量を決定する。この補償の結果、入力信号と出力信号のパルス幅が一致し、出力電圧誤差を完全に除去できる。また、PWM インバータが出力できない細い入力信号のパルスに対しては、キャリア周波数の数周期に一度、平均出力電圧が等しくなるようなパルスを出力する。この動作により、出力電圧の理論限界までひずみの無い出力電圧を生成することが可能になっている。提案する手法は、インバータの THD(Total Harmonics Distortion) を 1 パーセント以下にまで低減できることを実験により示している。

第 4 章では、コモンモードノイズの原因であるコモンモード電圧を除去する ACC の小型化と回路構成について検討している。ACC に用いられるコモンモードトランスのコアのサイズは、キャリア周波数の増加とともに小型化が可能となる。100 kHz PWM インバータ用に設計・製作したコモンモードトランスのコアの重量は、10 kHz 用の約 16 パーセントにまで低減している。さらに、従来の ACC では適用が困難であった SVPWM インバータに適用可能な高周波補償形 ACC を新たに提案している。高周波補償形 ACC は、SVPWM インバータが発生するコモンモード電圧の高周波成分のみを除去し、低周波成分は補償しない点に特徴がある。

これを要するに、本論文は次世代パワー半導体デバイスが PWM インバータに適用され、キャリア周波数が高周波化された場合を想定し、デッドタイムによる電圧ひずみとコモンモード電圧による高周波漏れ電流の問題を解決することを目的に、新しいフィードバック型デッドタイム補償法と ACC の回路構成を提案し、さらにそれを実証して新しい知見を得たものであり、電気工学ならびにパワーエレクトロニクス分野に対して貢献するところ大なるものがある。よって、著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。