



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_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 小川 将司

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、化石燃料の枯渇や環境汚染などの問題から世界的に CO₂ 削減への関心が高まっており、これを実現するために省エネルギー(省エネ)の推進への気運が高まっている。この省エネへのキーテクノロジーとして、パワーエレクトロニクス技術による電力変換器が注目されている。インバータに代表される電力変換器は、パワー半導体デバイスの高速なスイッチングに基いて電力を変換している。そのため、パワーエレクトロニクスは、パワー半導体デバイスの高性能化とともに発展してきた。

近年研究が行われている SiC や GaN といった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 と比較し約 10 倍の速度でスイッチング可能であ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、従来の PWM インバータに比べ高効率化や高周波化が可能となる。キャリア周波数が引き上げられた高周波 PWM インバータは、リップル電流の低減や電流制御の応答性の向上が期待されている。またキャリア周波数の高周波化によりフィルタの小型化が可能になるため、インバータシステムの小型化が実現できる。

しかし、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と、コモンモード電圧に起因する電磁妨害 (EMI: electromagnetic interference) が増大する恐れがある。デッドタイムは、デバイスの遅れ時間により回路の直流短絡を防止するため挿入される時間である。デッドタイムの挿入により、出力電圧のパルスの幅が変化しその結果出力電圧誤差が発生する。この出力電圧誤差は、出力電圧のひずみとして現れる。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、ひずみな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。コモンモード電圧は、負荷の寄生容量を介してインバータ、負荷、グラウンド線、電源で構成されるループを流れるコモンモード電流を発生させる。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伝導性 EMI を引き起こす恐れがある。また高周波のコモンモード電流が流れることで、電磁波が放射され放射性 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問題点の解決法を検討する。出力電圧ひずみの対策として、新しいフィードバック型デッドタイム補償法を提案する。コモンモー

ド電圧の対策には、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) を採用し、ACC の小型化や新しい回路構成の提案を行う。デッドタイム補償と ACC の二つを組み合わせることで、低ひずみかつ低ノイズの高周波 PWM インバータの実現を目指す。

第 2 章では、PWM インバータの高周波化の利点と問題点を詳細に示した後、デッドタイムとコモンモード電圧の影響について説明する。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する。

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する。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を行い、補償量を決定する。補償の結果、入力信号と出力信号のパルス幅が一致し、出力電圧誤差が発生しなくなる。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、その周期の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、入力信号と出力信号のパルスの数は異なっても平均出力電圧が等しくなり出力電圧ひずみが発生しなくなる。実験結果から、提案する手法は電流フィードバックを用いずに THD(Total Harmonics Distortion) を 1 パーセント以下にまで低減できることを確認する。

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の改良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、キャリア周波数を増加させることで小型化が可能となる。10 kHz PWM インバータ用に設計・製作されたコモンモードトランスのコアの重量は 516 g であるのに対し、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 86 g と約 16 パーセントにまで低減した。試作した 100 kHz PWM インバータ用の ACC は、10 kHz PWM インバータ用の ACC と同等の性能を持つことを示す。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 を新たに提案する。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。しかも、高周波補償形 ACC は従来の ACC とくらべて小型化が可能であることを示す。

本論文で提案する新しいフィードバック型デッドタイム補償法と高周波補償形 ACC を組み合わせることで、低ひずみ・低ノイズの高周波 PWM インバータを実現することが可能である。