HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	モータ駆動システムのコモンモードノイズを抑制するスイッチング制御に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	埴岡, 翔太
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14728号
Issue Date	2021-09-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/83296
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Shota_Hanioka_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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　埴岡 翔太

審査担当者　主　査　教　授　小笠原 悟司
副　査　教　授　北 裕幸
副　査　教　授　五十嵐 一

学位論文題名

モータ駆動システムのコモンモードノイズを抑制するスイッチング制御に関する研究
（Study of Switching Control to Suppress Common-mode Noise in Motor Drive Systems）

パワーエレクトロニクス技術の発展により, スイッチングインバータによってモータを駆動するモータ駆動システムは, 優れた制御性やエネルギー変換効率を有し, 家電, 産業機器, 自動車, 航空機器といった様々な機器に広く普及している。さらなる高効率化, 高出力密度化の観点から, SiC(Silicon Carbide) や GaN(Gallium Nitride) といった次世代パワーデバイスによるスイッチングの高周波化や高速化が進められている。しかし, この傾向はスイッチングに伴う電磁ノイズを増加させ, 他の機器への電磁障害 (EMI: Electromagnetic Interference) を深刻化させることが懸念されている。インバータから発生する EMI は, 従来は受動素子を組合せたパッシブフィルタや能動回路を用いてノイズをキャンセルするアクティブコモンノイズキャンセラ (ACC) などのノイズ対策用部品を付加して低減することが一般的であった。

本論文では, ノイズ対策用部品を追加することなく, インバータのパルス幅変調 (PWM) の方式改良やスイッチングタイミングの同期化を行うだけで, インバータを用いた交流モータ駆動システムの伝導性 EMI を低減可能な方法について検討している。これにより, 低コストでしかも省スペースのノイズ対策を可能にしている点に特長がある。さらに, 1 モータ駆動システム, 2 モータ駆動システム, 二重巻線モータ駆動システムなど, 様々なアプリケーションに対しても, 提案した方法を適用し, 実験によりその効果を確認している。

第 1 章「序論」では, 本研究の背景と目的について述べ, 第 2 章「モータ駆動システムで生じる電磁ノイズと対策」では, 一般的な 1 インバータ・1 モータ駆動システムを対象に, 電磁ノイズの発生原理を説明している。また, 本論文で提案するスイッチング制御によるノイズ抑制の基本原理について述べている。

第 3 章「1 モータ駆動システムのノイズ抑制制御」では, 1 モータ駆動システムに適用可能なノイズ抑制制御の提案し, その有効性を実験により検証している。三相のうち, 二相間で端子電圧の立ち上がり, 立ち下がりを同期することで, 三相インバータ駆動時のコモンモード電圧を 1/3 に抑制する制御方式を提案している。また, その妥当性有用性を, シミュレーションおよび実験により検証している。さらに, ノイズフィルタのサイズへの影響が特に大きい数 MHz 以下の帯域にて, 大きなノイズ抑制効果が得られることを示し, モータ駆動システムのノイズ抑制法として有用であることを示している。

第 4 章「2 モータ駆動システムのノイズ抑制制御」では, 2 台のインバータで各々のモータを独立に制御する 2 モータ駆動システムを対象として, 2 台のインバータのスイッチングタイミングを制御してノイズを抑制する制御法を提案し, その有効性を実験により検証している。2 台のモータに電力を共有する 2 台のインバータにおいて, 出力端子電圧の立ち上がりと立ち下がりを同期させることで, 電源に伝搬する伝導ノイズを低減する制御手法を提案している。また, 2 台のインバータの全ての相で端子電圧の立ち上がりと立ち下がりを同期するための条件式を, 理論的に明らかにしている。提案手法により, 2 台のインバータに異なる電圧振幅と周波数の電圧指令を与えた場合においても, すべての立ち上がり, 立ち下がりを同期可能であること, 伝導性ノイズを大幅に低減可能であることを実機検証している。

第 5 章「同期補償制御によるノイズ抑制効果の改善」では, 二重三相モータ駆動システムを対象とし, PWM 制御法自体は立ち上がのと立下りを同期する方法を用いている。しかし, ゲートドライブ回路やスイッチングデバイスの特性のばらつきのため, 完全に同期することが難しく, 十分にノイズを低減することが難しかった。本章では, 実際のインバータの端子電圧のスイッチングタイミングを検出し, フィードバック制御によって同期ずれを補償する方式を提案している。検出回路は非常に簡単な構成であるにもかかわらず, 10 ns 以内の精度でスイッチングを同期可能にすることで, 大幅にノイズ低減効果を改善できることを実験により示している。さらに, 同期の精度とノイズ低減の効果の関係についても理論的に明らかにしている。

第 6 章「結論」では, 提案したインバータのスイッチング制御によるノイズ抑制技術に関して, 得られた知見を整理して述べている。また, 提案技術が年々発展するパワーエレクトロニクス技術の進化とともに, 電力変換器の高効率化, 小型・高出力密度化といった高性能化と電磁ノイズ規制の満足とを両立して実現し, モータ駆動システムの発展に貢献できる, と結論付け, 今後の課題と展望を述べている。

これを要するに筆者は, ノイズ対策部品を追加することなく, モータ駆動システムのインバータにおけるスイッチング制御のみで, 電磁ノイズの主原因であるインバータの発生するコモンモード (CM) 電圧を低減する方法を提案しただけでなく, 様々な種類のモータ駆動システムに提案の制御法を適用してその効果を検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。よって筆者は, 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。