



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	内部永久磁石同期モータの位置センサレス駆動システムの高性能化に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	顧, 明磊
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11312号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55765
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Minglei_Gu_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 顧 明磊

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

副 査 准教授 竹本 真紹

学位論文題名

内部永久磁石同期モータの位置センサレス駆動システムの高性能化に関する研究
(Study on High-Performance Position-Sensorless Drive Systems for Interior Permanent Magnet
Synchronous Machines)

エネルギー問題や地球温暖化の問題を解決するために、パワーエレクトロニクス技術は重要な役割を果たしている。中でも発電電力の半分程度を消費していると言われているモータの省エネルギーは、特に重要な項目としてあげられる。中小容量のモータに関しては、内部永久磁石同期モータ (IPMSM) が、小型、軽量、構造が簡単、高効率、制御性がよいなどの特徴から、インバータエアコンなどの家電品、電気自動車 (EV) やハイブリッド自動車 (HEV) などの移動体の駆動や風力発電などの様々な分野にその応用が広がっている。IPMSM は回転子の内部に永久磁石を埋め込んだ同期機であるため、IPMSM の発生瞬時トルクを制御するためには回転子の位置に応じて固定子 (電機子) 巻線に流れる電流の振幅と位相を制御する必要があった。したがって、これを達成するために位置センサを回転子軸に取り付け、回転子の位置情報を制御回路に与える必要があった。しかし、位置センサを取り付けるためのスペースが必要、位置センサの信号線断線などによる信頼性の悪化、位置センサの耐環境性能 (温度、湿度、粉塵) によるモータ使用環境の制限などの問題があった。本論文では、マルチ空間ベクトル変調 (MSVPWM) を三相電圧形インバータに適用し、インバータが発生する日調波電流から IPMSM の空間的なインダクタンスを演算し、その突極性から回転子位置を推定して、回転子軸に位置センサを取付なくても IPMSM の瞬時トルクを制御可能な「位置センサレス駆動システム」の高性能化について研究を行っている。本論文で取扱っているのは、位置推定精度が比較的低い、磁極判別が原理的に難しい、推定のために比較的大きな高調波電流を流す必要があるという、従来発表されている方式の実用化を妨げていた問題であり、この観点からも本研究からも独創的・実用的な研究であると言える。

第 4 章では、IGBT やダイオードなどのパワー半導体デバイスの電圧降下、インバータのデッドタイムならびにスイッチング信号を与えてから実際にスイッチングが行われるまでの遅延時間などが位置推定結果にどのような影響を与えるかを理論的にかつ詳細に解析している。さらにその解析結果から、推定誤差を低減する補償法を提案し、すべてのトルク条件で 2.5° (電気角) 以内の推定精度を達成している。この推定精度は実験に使用した 6 極のモータでは 400 P/R のエンコーダの精度に匹敵し、センサレス駆動システムを簡易サーボシステムとして使用できる可能性を示している。

第 5 章では、提案している位置推定法と誤差の補償法を適用することにより、IPMSM の回転子位置を推定できるだけでなく、d 軸と q 軸インダクタンスを相対誤差で 0.5% 以下に推定できることを明

らかにしている。このように低い相対精度で推定できることを利用して、小さな d 軸電流を流すだけで、モータ鉄心の磁気特性を利用して磁極判定が行えることを実証している。これまでに発表されている磁極判別方の多くが定格電流程度の d 軸電流を流さなければならなかったのに対して、定格の 5% 程度の d 軸電流でも確実に磁極鑑別が可能であることを実証している。

第 6 章では、電流リップルを低減可能な新しいマルチ空間ベクトル変調法について論じている。本論文で採用している MSVPWM 法は、従来の空間ベクトル変調 (SVPWM) に冗長な電圧ベクトルを追加して位置推定の不能となる領域が発生することを防止している。しかし、PWM 周期内で出力する電圧ベクトルの順番はインダクタンス推定と位置推定には影響しないという性質を原理的に有している。この特性を利用して、出力電圧の位相角に応じて電流リップルが最小となる順番の MSVPWM パターンを生成する新しい MSVPWM 法を提案し、実験によりその効果を検証している。その結果、従来の MSVPWM の場合に比べて、インダクタンスと位置の推定精度を維持したまま、高調波銅損を最大で 30% 低減できることを実験により明らかにした。

これを要するに、著者は、従来の IPMSM の位置センサレス駆動システムの問題点であった、位置推定精度、磁極判定、高調波電流の 3 つの問題を同時に解決する新しい IPMSM の位置センサレスシステムを開発し、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。