

永久磁石同期電動機の半径方向電磁加振力の モデル化及びその制御法に関する研究

学生証番号 47-126069 氏名 兼松 正人
(指導教員 堀 洋一 教授)

Key Words : Radial electromagnetic force, harmonic current control, flux distribution, flux linkage

1. 研究背景

埋込磁石同期モータ (Interior Permanent Magnet Synchronous Motor : IPMSM) は、エアコンのコンプレッサや掃除機、電気自動車など身近な場面で使われており、IPMSM が持つトルクリプルや半径方向電磁加振力 (Radial Electromagnetic Force : ラジアル力) による音振動が問題となっている。そこで IPMSM の低振動・静音化手法が強く求められている。電磁加振力による振動の解析技術は盛んに研究されている。解析技術の発達とともに、ラジアル力を抑制する設計法が先行研究により提案されている。しかし、構造的アプローチは設計、製造コスト増加の問題がある。そこで筆者らは制御によるラジアル力抑制手法に注目している。先行研究としては、屋代らの研究 などがあるが、特定駆動条件において多項式近似を用いて電流とラジアル力の関係をモデル化しているため、駆動条件が変わると適用できないなどの問題がある。

IPMSM では、時間次数として電気角 2 次と電気角 6 次のラジアル力が音振動に寄与する加振力になりやすいことが知られている。本稿では、電気角 2 次と電気角 6 次のラジアル力を電磁気学に基づきモデル化を行い、電流制御による抑制手法を提案、シミュレーション及び実験による検証を行っている。

2. 電気角 2 次ラジアル力のモデル化及びその制御手法の提案

電気角 2 次のラジアル力は永久磁石基本波磁束から生じるラジアル力の主成分である。そこで、本研究では空隙に生じる空間磁束分布に着目せず、永久磁石と電流による空間磁束分布をモータ構造に着目して方形波で近似する。近似した空間磁束分布に基づき、マクスウェル応力によりラジアル力を計算し、1 ティース全体に働くラジアル力を数式により記述する。ラジアル力のモデルに基づき最適な d 軸電流指令値を導出し、最適な d 軸基本波電流を用いることで 2 次ラジアル力を大幅に低減でき、解析及び実験により効果を確認した。

3. 電気角 6 次ラジアル力のモデル化及びその制御手法の提案

電気角 6 次のラジアル力は永久磁石高調波磁束及び高調波インダクタンスにより生じるラジアル力であり、空間磁束分布に着目すると非常に見通しが悪く、正確にとらえることが難しい。そこで、研究では高調波成分に関しては鎖交磁束に着目し簡単な仮定をおくことで高調波電流からラジアル力までの関係を数式で記述する。本モデルを用いて d 軸高調波電流及び q 軸高調波電流によるラジアル力制御を提案し、シミュレーション及び実験において検証した。

4. 結論

本研究では、今までほとんど研究されてこなかったラジアル力をモデル化及び電流によって制御するという研究分野に関して、包括的に研究を行った一例となる。より産業価値を高めた次世代のモータドライブ及びモータ設計指針のために本研究が貢献するであろう。