



# 用途指向型同期電動機駆動装置の実用的速度制御方法に関する研究 - 弱め界磁制御と始動制御について -

著者	奥山 美弘
発行年	2014-12-25
学位授与番号	17104甲生工第229号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10228/5328">http://hdl.handle.net/10228/5328</a>

氏名・（本籍）	奥山 美弘（大阪府）		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	生工博甲第229号		
学位授与の日付	平成26年12月25日		
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	用途指向型同期電動機駆動装置の実用的速度制御方法に関する研究 —弱め界磁制御と始動制御について—		
論文審査委員会	委員長	教授	篠崎 信也
		〃	石黒 博
		〃	春山 哲也
		〃	鳥井 正史
		〃	内藤 正路

## 学位論文内容の要旨

電動機の可変速運転と制御は、古くから多くの研究・開発・改良が行われている。現在では、産業製品だけでなく、福祉用機器やアミューズメント機器等にも使用されており、日常生活に不可欠な基本技術の一つとなっている。しかしながら、電動機制御手法には、汎用的なものではなく、システムが最高の性能を発揮するように、各々の用途に適した技術開発が必要となっている。例えば、航空機搭載用カーゴ・ドアアクチュエーション・システムでは、「低速／高トルク」と「高速／中トルク」という2つの動作が要求され、また規定された電源変動の影響を受けない実用的な制御手法が要求されている。一方で、ターボ分子ポンプのように慣性が大きく且つ、摩擦が小さいシステムにおいては、始動時の磁極位置を速やかに推定し、逆回転を防ぐ位置センサレス始動制御が望まれている。このような観点から、本論文は、永久磁石同期電動機駆動装置の実用的速度制御についての制御手法を開発することを目的としている。

第1章では、電動機駆動制御の歴史と、本論文で制御対象とした「航空機搭載システムに実用可能な IPMSM (Interior Permanent Magnet Synchronous Motor) の可変速制御手法」及び「ターボ分子ポンプに実用可能な SPMSM (Surface Permanent Magnet Synchronous Motor) のセンサレス始動制御手法」の2つの永久磁石同期電動機アクチュエータでの問題点について言及し、制御手法の開発の必要性を提案している。

第2章では、IPMSM の数式モデルを導出し、最大トルク電流ベクトル軌跡と弱め界磁領域における電流ベクトル軌跡を、適切に切り換え制御することにより、SPMSM では実現できない2つの動作要求を満たすことが可能になることを述べている。また、電圧飽和を防ぎ

且つ、電源変動などの環境変動にも追従できる安定な弱め界磁領域の制御手法が必要であることを明確にしている。次に、中高速回転域でのセンサレス駆動制御及び始動制御に関する従来技術について俯瞰し、逆回転を防ぐセンサレス始動制御が必要であることを述べている。

第3章では、IPMSMの弱め界磁制御手法の課題を解決する手法を提案している。ここでは、弱め界磁領域に動作点を有するシステムにおいてIPMSMへの供給電力が常に飽和しないような電流ベクトル制御手法を行う。提案手法を用いることで、「低速/高トルク」及び「高速/中トルク」の2つの動作が要求されるようなシステムにおいても、トルク軸(q軸)電流を制御することで、電圧飽和を防ぎ且つ、安定な電流ベクトル制御ができることを示している。また、電圧変動や負荷変動など環境擾乱が考えられる航空機搭載アクチュエータにも提案する制御系が有効であることを供試品により検証している。

第4章では、慣性が大きく且つ、摩擦が非常に小さいターボ分子ポンプのセンサレス始動制御について提案している。まず、摩擦を無視した回転子運動方程式の解析解を導出し、誘起電圧の振幅と磁極位置を時間の関数として表せることを示している。そして、この結果に基づくマッピングテーブルを用いた始動制御手法より、逆回転せずに、センサレス運転へ移行できることを検証している。次に、摩擦も考慮した運動方程式に基づく非線形誘起電圧オブザーバによる始動時の磁極位置推定手法を提案している。提案手法を用いれば、誘起電圧推定値は実測値とよく一致し且つ、磁極位置も逐次推定できることを数値計算により検証している。

第5章では、それぞれのシステムに適した実用的な永久磁石型同期電動機の制御手法に関するまとめと今後の展開を述べている。本研究結果より、電動機の変速制御手法が今後も発展を遂げてゆくには、それぞれのシステム用途に要求される最高の性能を電動機システムが満たすように工夫され、展開することが必要となることを述べている。

## 学位論文審査の結果の要旨

本論文は、同期電動機駆動装置の実用的な制御方法の提案であり、電源変動を考慮した「低速/高トルク」と「高速/中トルク」双方が要求される駆動系への適用や、慣性が大きく摩擦の小さい駆動系のセンサレス起動方式など、用途に応じた新しい手法を実現している。そのため、種々な産業装置への貢献が期待でき、既に一部の製品への適用も検討されている。

本論文に関し、調査委員から、用途指向型同期電動機駆動装置の開発経緯、従来法を用いた場合の電圧飽和状態を示している電動機の駆動動作、IPMSM弱め界磁実験に用いた速度検出器の分解能、サンプル周期などのハードウェア仕様や検出結果に含まれるノイズ、などについて質問がなされたが、いずれも著者から満足な回答が得られた。

また、公聴会においても、多数の出席者があり、航空機の電圧変動を模擬した実験結果を実機に適用する際の課題、記載されていない角度での非線形オブザーバを用いた位置推定結果や

推定可能範囲、提案手法を用いた場合のインバータバス電圧低下時の電圧飽和回避の有効性、  
など種々の質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。