

論文内容の要旨

氏名 長野 剛

近年の経済成長や人口増加とともに世界のエネルギー消費量は増加し続けており、エネルギー大量消費による地球温暖化などの問題から世界的にも省エネルギー化が急務である。電動機が用いられる分野は家電や鉄道、産業分野など多岐に渡る。電動機で消費される国内の消費電力は57%を占め、全体の効率を1%改善するだけでも数億kWhの消費電力量を削減できる。したがって、電動機およびそれを駆動する半導体電力変換システムの高効率化を図ることにより、極めて大きな省エネルギー効果が期待できるため、現在広く普及している。電動機駆動システムには今日まで高効率化以外にも小型化や長寿命化など様々な課題が存在し、特に小型化および軽量化や長寿命化などの複数の要求を達成できる永久磁石同期電動機駆動システムの構成部品の簡素化は非常に重要な課題である。

本論文では、永久磁石同期電動機駆動システムの簡素化を目的として、半導体性能の向上や従来技術だけでは簡素化を出来ない問題を解決するため、エネルギーの余剰分および不足分に着目した余剰エネルギー再分配を提案する。今後、電動機駆動システムの小型化、長寿命化、低コスト化が進むにつれて、従来の簡素化技術だけでは解決できなかったダイナミックブレーキ回路や複数台電動機駆動システムの簡素化が重要となる。そこで、永久磁石同期電動機駆動システムのダイナミックブレーキ回路削減による簡素化と複数台永久磁石同期電動機駆動システムの電力変換台数削減による簡素化の課題を解決するための制御法を開発する。本提案手法により、上記の課題であった保護回路の削減や乱調の抑制を実現でき、システムの簡素化を図る。

第1章では、現在の永久磁石同期電動機駆動システムに対する簡素化技術の問題点を述べ、本研究の目的について述べる。

第2章では、永久磁石同期電動機駆動システムの構成要素を述べ、これまで永久磁石同期電動機駆動システムに用いられていた簡素化技術について整理する。特に、従来の永久磁石同期電動機駆動システムの簡素化技術の中でもダイナミックブレーキ回路による緊急停止技術、従来の永久磁石同期電動機の並列運転技術を示し、その問題点を整理する。次に、これらの問題点を解決できる余剰エネルギー再分配に着目したダイナミックブレーキ回路を用いない新しいインバータ停止技術と永久磁石同期電動機の並列運転技術を提案する。提案法で用いられている余剰エネルギー再分配という概念は、永久磁石同期電動機が持つ余剰エネルギーを別の蓄積要素に蓄え、制御することでこれまで永久磁石同期電動機駆動システムの構成要素を簡素化する際に問題となっていた、緊急停止時の回生エネルギー処理や複数台運転時の乱調の要因を解決し、永久磁石同期電動機駆動システムの簡素化を実現する。最後に従来のインバータ停止技術および複数台永久磁石同期電動機駆動技術と提案法を比較し、本論文の位置づけを示す。第3章から第5章では、第2章で提案する余剰エネルギー再分配という概念に対して具体的な制御方式を提案し、特徴および性能を議論する。その制御方式による効果や従来法に対する優位点については試作器を用いて実験を行い検証する。

第3章では、提案法である余剰エネルギー再分配に基づいた永久磁石同期電動機駆動用のインバータ停止技術の具体的な手法について述べる。提案するインバータ緊急停止技術では、エレベータや電気自動車に安全の観点から備わっている機械ブレーキにより永久磁石同期電動機を停止させることを前提に、モータ短絡により平滑コンデンサへの回生電流の流入を防ぎ、電流ゼロクロスで対応するスイッチをオフにすることで電流を遮断する。その際、短絡電流抑制の観点から余剰エネルギー再分配に基づいたヒステリシス制御により、モータ短絡をする前に弱め磁束状態にすることによって、短絡電流を抑制する。その後、提案するインバータ停止技術についてシミュレーションと実験を行い、提案法の有用性を実証する。

第4章では、第3章の緊急停止法をマトリックスコンバータへも適用できるように、仮想AC/DC/AC変換に基づいたマトリックスコンバータ緊急停止法について述べる。マトリックスコンバータ緊急停止法では、フィルタコンデンサ電圧の最大相と最小相が仮想直流リンクに接続されるように整流器側のスイッチングパターンを選定することで、2レベルインバータとして動作させる。インバータ側と同様に永久磁石同期電動機を弱め磁束状態にした後、双方向スイッチの電流経路を片方向のみ確保しながらモータ短絡をしつつ、還流ダイオードの自然消弧により自動的にモータ電流を遮断する。本章では、シミュレーションおよび実験を行い、従来法と比較しつつ提案するマトリックスコンバータ緊急停止法の有用性を実証する。

第5章では、1台のインバータで複数台の永久磁石同期電動機を駆動する群運転を確立するため、余剰エネルギー再分配に基づいた並列運転時に問題となる乱調を抑制する手法について述べる。提案する乱調抑制手法は永久磁石同期電動機に補助巻線を設け、複数の電動機を駆動する大容量電力変換器と別に、小容量の補助電力変換器により補助巻線を介してダンピング制御により乱調を抑制する。実験により、余剰エネルギー再分配に基づいたダンピング制御による乱調抑制効果を確認する。また、MGセットに基づいた状態方程式を導出し、根軌跡からダンピング制御を適用した際の提案システムに適用するダンピング制御の安定性について検討する。

第6章では、本論文の有用性と各章で提案した手法の総括を述べ、今後の課題についてまとめる。