

論文内容の要旨

氏名 加藤 尚和

誘導電動機や永久磁石同期電動機はそれぞれの特徴を生かした用途で使用されている。電動機は主に産業部門、家庭部門、運輸部門で使用されており、これらの用途では、「生産性の向上」、「省エネ化」、「小型化」といった観点から、「高効率駆動」、「高トルク駆動」、「高速駆動」が要求される。しかし、接続される負荷変動によって損失増加や加速時間の遅延が発生する。また、電動機のパラメータ変動によって電動機高速駆動時の制御系が不安定となるといった問題がある。このように、負荷やパラメータの変動によって汎用電動機駆動システムに必要な高効率駆動特性、高トルク駆動特性、高速駆動特性といった性能が低下する。この問題に対してオンライン高効率制御による高効率駆動、追加回路による高トルク駆動、モデルミスマッチ補償による高速駆動時の安定化などの技術が提案されているが、高効率化のためには性能を犠牲にする必要があり、性能が低下する境界についての定量的な議論がされておらず、使用する用途ごとに調整が必要となる。

本論文では、汎用電動機駆動システムの性能のロバスト化を目的とし、高効率なシステムの設計法を提案した。提案法では、負荷やパラメータの変動によって性能が低下する境界条件を導出し、この境界に基づいて等価的な抵抗成分を設計することで性能をロバスト化した。この結果、高効率に負荷変動やパラメータによる性能低下を防ぎ、使用する用途ごとの調整が不要となるため、汎用電動機駆動システムの高効率化に向けた一助となる。

第1章では、研究背景として誘導電動機と永久磁石同期電動機の特徴や汎用電動機駆動システムへの要求性能と負荷変動やパラメータ変動による性能低下について述べ、本研究の研究目的と、本論文の意義を明らかにした。

第2章では、これまで提案されてきた高効率制御技術、高トルク駆動技術、モデルミスマッチ補償による高速駆動時の安定化技術について述べ、その特徴と問題点を整理した。次に、それらの問題点を解決するために、等価抵抗設計による性能のロバスト化を提案した。提案する等価抵抗設計は、性能が低下する境界に応じてシステムの等価的な抵抗値を設計することで、銅損の最小化、機械時定数の短縮、ダンピング要素の増大を実現する。また、提案法は銅損、加速時のオーバーシュート、高速域でのオーバーシュートを抑制することが可能であり、高効率化を達成することが可能となる。最後に従来の負荷変動やパラメータ変動に対する技術と提案法を比較し、本論文の位置づけを示した。

第3章から第5章では、第2章で提案する等価抵抗の具体的な設計法を示し、特徴および性能を議論した。また、等価抵抗設計による性能のロバスト化や消費電力量の抑制やならびに従来法に対する優位性や有用性について、シミュレーションと実験により検証した。

第3章では、周期的に変動する負荷に応じた等価抵抗設計による高効率制御法を提案した。まず、瞬時トルクを用いた高効率制御と一定トルクを用いた高効率制御との2つの高効率制御方式について、負荷変動角周波数に対してどちらの方式が銅損最小となるかの境界条件を導出するために、それぞれの高効率制御方式の銅損を表す関数を導出した。次に、

境界条件に基づき銅損が最小となる等価抵抗を実現する励磁電流制御法を提案した。最後に実験により境界条件の妥当性と提案用の有用性を明らかにした。

第4章では、誘導電動機の大電流高トルクといった特徴を生かした高効率な高トルク駆動システムを提案した。提案法では直流電圧を昇圧するのではなく、始動時は Δ 結線にすることにより、機械時定数を短くする。この結果、効率を犠牲にすることなく、負荷トルクの変動や慣性モーメントの変化に対して始動特性をロバスト化できる。また、始動時のジャンクション温度上昇について熱解析を行い、高トルク駆動時の半導体選定の指針を明らかにした。提案した高トルク駆動システムを実際の織機に適用し、実験により、加速時間や消費電力量を評価し有用性を示した。

第5章では、電動機高速駆動時におけるパラメータ変動に対する電流制御系の安定化を提案した。まず、電流制御系の応答角周波数と電動機の回転角周波数の比に着目し、高速領域において電流制御系が不安定となるパラメータ誤差と電流制御系の応答角周波数と出力角周波数の比の関係を明らかにした。次に、パラメータ誤差をもつ高速電動機駆動システムは、等価抵抗を増加することで電流制御系を安定化できることを示し、等価抵抗増加による電流制御系安定化手法を提案した。最後に、従来法ではパラメータ誤差による不安定化によりインバータが過電流トリップで停止するようなインダクタンス誤差条件において、提案する電流制御系を評価し、有用性を示した。

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