

電流オブザーバによる誘導機の世界速度センサレスベクトル制御に関する研究

長崎大学大学院生産科学研究科
徐 富錦

資源問題と環境問題は世界の重大問題中の2つである。石油とか石炭とかの保有量が減少し、これらの使用は環境破壊を引き起こす。一方、電気エネルギーは水力発電、風力発電、太陽光発電など環境に優しいエネルギーである。電動機は電気エネルギーを機械エネルギーに変換するが、発電された全電気エネルギーの半分以上が電動機によって機械エネルギーに変換され、いろいろな機械を駆動するのに利用されている。従って電動機を効率よく、思い通りに制御することは大きな省エネに繋がる。誘導電動機の世界速度センサレスベクトル制御は速度センサを省いた耐環境性に優れた方式であり、世界中で注目されている。

本論文では二軸理論を用いて研究を展開している。ベクトル制御を行うには、実際の回転磁束の方向を知る必要があり、それには速度センサ等の検出器を設置しなければならない。速度センサの問題として設置環境や耐久性、コスト面での制限が挙げられる。そのため本研究では、速度センサを省いた速度センサレスベクトル制御について、特性改善及び実機検証を行うとともに、その現象が再現可能な解析モデルの開発を行っている。具体的には、鉄損を考慮した回転座標系の電流オブザーバによる誘導電動機の世界速度センサレスベクトル制御法を提案し、誘導電動機の相電流のみを検出して種々の演算を行い、実際の回転速度を推定することで安定な速度センサレスベクトル制御を実現している。提案法は久保田らの一次電流を推定するオブザーバに類する方式であるが、磁束を演算する方式が静止座標系のモデルを利用しているのに対して提案方式は回転座標系のモデルを適用し、構成が簡単になる特徴がある。

本論文は全6章からなり、最初の第1章で研究の背景について述べる。それより研究の目的と価値を明らかにして、提案方式の特徴と特性及び制御系の設計法を述べる。

第2章では提案した鉄損を考慮した電流オブザーバによる速度センサレスベクトル制御系の理論解析について述べる。まず、二軸理論を基にして、誘導電動機のベクトル制御理論とMRAS(Model Reference Adaptive System)理論により提案方式を理論的に導く。このとき固定子側で鉄損電流回路を考慮した誘導機の巻線モデルを利用して二軸理論より鉄損回路の電圧方程式を立てて、鉄損を考慮した方式としている。提案方式の理論解析を行うために本論文では4つの解析モデルを開発している。それぞれ、非線形連続モデ

ル、線形連続モデル、デジタルステップ電圧モデル及びデジタル PWM モデルである。鉄損を考慮した誘導電動機の電圧方程式と制御器の式より、非線形連続モデルを導出する。導出した非線形連続モデルの定常解析より得られる平衡点について微小変位理論を使って線形モデルを得る。導出した線形モデルより速度伝達関数の極と零点を計算し安定解析を行う。実験を行う場合制御器の式は後退オイラー法で離散化するが、これを詳細に考慮したデジタルステップ電圧モデルと PWM 動作を詳細に考慮したデジタル PWM モデルを開発している。以上の4つの解析モデルで制御系の解析を行い、系の安定性と過渡特性を検討する。

第3章ではまず提案システムの定常解析を行う。次に実験システムのハードウェア構成とソフトウェアの構成及び実験の手順について述べる。さらに、実機実験で各速度領域で負荷トルクに対する速度と発生トルクの定常特性を求め、鉄損を考慮した提案方式がトルクと速度の制御精度の改善に有効であることを示す。

第4章では速度センサレスベクトル制御系の過渡特性を研究している。まず2章で開発した線形連続モデルを使って各種の制御パラメータを変化させた場合の根軌跡を求め、安定性を考察する。さらに、速度指令のステップ変化に対する過渡応答を実験とシミュレーションにより比較検討している。この結果、電流検出用ローパスフィルタの必要性、電圧誤差補償の効果、速度推定 PI 制御ゲインの選定法、電流オブザーバゲインの選定法、一次抵抗の変動が安定性に及ぼす影響を明らかにしている。一次抵抗については、 d 軸電流誤差を利用した同定法を提案し、理論と実験によりその有効性を検証している。

第5章では、PWM インバータの出力する三相電流を検出する一般的な方法の代わりに直流母線電流の検出より三相電流を再現する方式について検討している。すなわち、直流母線電流とインバータの IGBT のオン・オフ信号を基にインバータの出力電流を推定する。シミュレーション解析を行い、直流母線電流を利用した提案方式の速度センサレスベクトル制御が実現可能であることを明らかにしている。

最後の第6章で本研究に関する結果をまとめている。