

論文審査の結果の要旨

氏名 宮島 孝幸

本論文は「極座標に着目した永久磁石同期モータの電圧制限下での高応答化に関する研究」と題し、インバータの電圧飽和によって低帯域になってしまう永久磁石同期モータ(PMSM)の制御について、極座標系に着目した制御系設計法によるトルク応答の高速化および電圧制限下での達成性能限界の定量化を行ったものであり、二部構成となっている。

PMSM は高効率、小型化を達成するために高回転数で駆動されている。高回転数領域では誘起電圧が上昇するためにインバータ出力電圧が飽和し、トルク応答が遅れてしまう。トルク応答の遅れは上位の運動制御系の安定性を損なうため、電圧制限下でも高速なトルク応答の達成が望まれている。また、高帯域化した際の達成性能限界は明確化されておらず、フィードバック制御の帯域を決定するためにも達成性能限界を明確にすることが望ましい。

第1章「序論」では、PMSM の電圧制限下での高応答化の研究を振り返り、それらの有効点や問題点を明らかにし、本論文の位置付けを行なっている。第2章では本論文で使用する PMSM の dq 座標モデルおよび線形化について説明している。

第I部第3章から第5章では電圧制限下で高速な PMSM のフィードバック制御器設計法について、極座標に着目して検討している。

第3章「線形化 dq モデルを用いたモデルベース電圧位相制御器」では、第2章で述べた制御入力を極座標系とする線形化モデルを用いたモデルベース電圧位相制御器を提案している。提案法は動作点に応じて線形化モデルを再定義する機構を備えた可変ゲインの制御器になっており、弱め磁束領域の全てで適用を可能にしておき、小出力のモータを用いたシミュレーションおよび実験結果から有効性を示している。また、先行研究と比較からも有効性を示している。さらに高出力モータを用いた実機検証より、有効性と問題点を示している。この実験結果から得られた問題点を踏まえ、状態フィードバック制御に基づく電圧位相制御を提案し、更なるトルク応答の改善を行っている。

第4章「極座標での制御入力をを用いた電圧制限内での電流制御の検討」では極座標系での制御入力をを用いた可制御の条件について検討している。検討結果より、線形領域でも極座標系での制御入力をを用いる制御系を設計し、シミュレーションおよび実験結果から問題点を示し、線形領域では極座標ではなく、直交座標の制御入力を使う方が好ましいと結論付けている。

第5章「疑似シームレスフィードバック制御」では弱め磁束領域での電圧位相制御と線形領域内の直交座標の制御入力をを用いる電流ベクトル制御の切り替えという問題点に

対し、状態フィードバック制御による疑似的なシームレス制御を提案している。疑似シームレス制御においては、電圧振幅制御器と電圧位相制御器を統合設計した制御法を提案しており、実験とシミュレーション結果から滑らかなトルク応答を実現しており、制御器切り替え時にチャタリングが発生しても安定に動作している。

第Ⅱ部第6章から第8章では電圧制限下でのPMSMの達成性能限界の指標化によって取り組んでいる。

第6章「電圧制限下での永久磁石同期モータの達成性能限界の解析」ではフィードバック制御器の設計に用いた線形化モデルの零点を用い、電圧制限下での達成性能限界を指標化し、動作点依存性について議論している。特に、高回転数・高トルク領域では不安定零点が存在し、トルクのアンダーシュート量と整定時間のトレードオフが問題になると示している。しかしながら、線形化モデルを用いているために小信号に対してのみ有効である。そこで、過渡項を考慮した電圧制限楕円という概念を提案し、大信号における電圧制限下での電流応答を解析している。

第7章「フィードバック制御と達成性能限界の解析結果の比較」および第8章「終端状態制御による最短時間電流軌道の導出と解析との比較」では、第6章での解析結果と小信号の制御入力となるフィードバック制御および大信号の制御入力となる最短時間軌道と比較を行っている。後者の比較では線形化誤差に起因する解析誤差が存在するものの、第6章での解析結果の有用性が示されている。

第9章「結論」では、本論文で提案したフィードバック制御系および電圧制限下での達成性能限界の明確化の成果を振り返り、本論文のまとめとしている。

以上これを要するに、本論文はPMSMの電圧制限下での高応答化のため、弱め磁束領域と線形領域の両方で所望の特性を実現できるフィードバック制御器のモデルベース設計を提案し、機器定数と動作点だけで電圧制限下での達成性能限界の指標化したものであり、アプリケーションを問わず広く適用可能な理論を提案していることから先端エネルギー工学，電気電子工学，制御工学などの分野への貢献が少なくない。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。

以上 1,969 字