

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 鈴木文泰

本論文は、「状態オブザーバに基づいた高速・高精度サーボ制御系の設計および実現とそのモーションコントロールへの応用」と題し、高速・高精度サーボ制御系の設計法および実現法に関する多くの提案を行い、理論・シミュレーション・実験によってそれらを検証した結果を、第Ⅰ部「瞬時状態オブザーバによる状態推定とその磁気ディスク装置の高精度位置決め制御への適用」、第Ⅱ部「左既約分解に基づくアンチwindアップ制御系の設計とそのモーションコントロールへの応用」の2部にまとめたものである。

第Ⅰ部の第1章（緒言）では、本研究の背景や意義を述べている。磁気ディスク装置のヘッド位置決め制御系のように、制御対象の出力は比較的長いサンプリング周期でしか観測できないが、制御器はより短い周期で動作させることが可能な系に関する従来の研究は不十分であり、本論文で扱う問題を明確にしている。

第2章（磁気ディスク装置のヘッド位置決め制御系）では、ヘッド位置決め制御系の従来の設計手法を分析し、とくに、モード切り換え制御系やモデル追従制御による単一モード制御系に関して、高精度位置決めを達成する制御手法の特徴をまとめている。

第3章（瞬時状態オブザーバの提案）では、従来DCサーボモータで開発されてきた瞬時速度オブザーバの手法を一般化し、磁気ディスク装置のヘッド位置決め制御系に適用可能な手法を開発している。ヘッド位置を示すサーボ信号がデータディスク上に離散的に書き込まれているため、ヘッド位置情報が得られないサンプル点間においてヘッド位置とモデル化した外乱の推定を行い、ヘッド位置がサンプルされる長い周期で状態オブザーバの修正則に基づいて推定値を更新する構造となっている。

第4章（磁気ディスク装置のヘッド位置決め制御系への適用と位置決め精度の評価）では、第3章で開発した手法を実際のヘッド位置決め制御系へ適用した実験結果をまとめている。提案手法は二つの周期を持つデジタル制御系となるが、これを長いサンプリング周期で定式化することにより、開・閉ループ特性を解析する手法を示している。

シミュレーションおよび2.5インチ磁気ディスク装置への適用実験によりその有効性を検証し、提案手法により制御系の安定余裕が改善されること、この改善効果を利用してフィードバック制御器をハイゲイン化することにより、制御系の広帯域化や位置決め精度の向上が達成されること明らかにしている。さらに、磁気ディスク装置に作用する様々な外乱に対して位置決め精度の評価を行った結果、提案手法によるオーバーサンプリングによって、位置決め精度が20%程度向上する結果が得られたことを述べている。

第5章（結言）では、第Ⅰ部の成果と今後の課題をまとめている。

第Ⅱ部の第6章（緒言）では、高速な位置決め性能を追求するために問題となるwindアップ現象の具体例をあげ、本研究の背景と目的を述べている。数多くのアンチwindアップ制御器の構造を統一的に説明しようとするGeneral Anti-Windup and Bumpless Transfer (AWBT)法の要点を述べ、これを簡略化し、制御器の左既約分解表現に基づいた新しい設計手法を提案することを述べている。

第7章（従来のアンチwindアップ制御系に関する研究動向）では、操作量飽和により生ずるwindアップ現象の原因を明らかにし、従来から提案されているアンチwind

ドアップ制御法を整理し、AWBT法によって、これら多くのアンチwindアップ制御器の構造を包括的に説明できることなどを述べている。

第8章（1自由度制御系のアンチwindアップ制御）では、フィードバック制御器をとりあげ、オブザーバと状態フィードバックを用いた制御器の構造に注目した手法を提案、さらに、ユーラパラメトリゼーションによる表現を用いた設計を行うことにより、目標値応答、外乱応答におけるwindアップ現象をとともに抑圧できることを示している。

第9章（2自由度制御系のアンチwindアップ制御）では、モーションコントロールに最も基本的な構造としてよく用いられる2自由度制御系を考察し、フィードバック、フィードフォワード制御器双方の内部に操作量飽和のモデルを導入したアンチwindアップ制御法を提案している。提案手法では、操作量飽和が生じた場合にもフィードバック特性とフィードフォワード特性が独立となる特長を有している。

また、提案手法を右既約分解に基づくフィードフォワード制御器の設計法と比較することにより、制御器は非常に簡単な構造を持つことを明らかにしている。さらに、提案手法をDCサーボモータの位置制御系に適用し、その有効性をシミュレーションおよび実機実験によって明らかにしている。

第10章（フィードフォワード制御器のアンチwindアップ手法の追従制御系への応用）では、与えられた滑らかな目標軌道への追従制御系におけるアンチwindアップ手法を検討している。まず、従来から提案されている離散時間追従制御系の設計手法が、第9章の設計手法を拡張したものになることを明らかにし、これが、フィードバック制御器、右既約分解に基づくフィードフォワード制御器、プレフィルタ、目標関数発生器、の4つの要素で構成できることを示している。

次に、生じた操作量飽和を上記の4部分に反映させることによって、4要素各々をアンチwindアップ化する手法を提案している。とくに、操作量飽和に基づいて目標関数発生器を調整することにより、操作量の上限から下限までを有効に利用できる高速で効率のよい追従特性が得られることを明らかにしている。

第11章（マニピュレータの軌跡追従制御への適用）では、第10章の手法の多入出力系への適用例として、2軸マニピュレータの軌跡追従制御を行っている。すなわち、2軸マニピュレータ各関節のアクチュエータで生じた操作量飽和を、第10章の手法で回避する。とくに、片方の関節アクチュエータのみで操作量飽和が生じた際には、それをもう一方の関節アクチュエータへ反映させ二つのアクチュエータ間で調整を行う必要があることを示し、その効果をシミュレーションおよび実験により確認している。

以上これを要するに、本論文は、高速・高精度サーボ系を実現する手法として、第I部では、瞬時状態オブザーバによって位置決め制御系のオーバサンプリングを達成する手法を提案し、安定余有の改善、位置決め精度の向上に効果があることを明らかにし、また、第II部では、アクチュエータの操作量飽和を考慮したサーボ系設計をとりあげ、左既約分解に基づくアンチwindアップ制御法を提案し、位置決め応答の高速化や良好な追従特性を実現する手法を開発した結果をまとめたもので、電気工学、制御工学上貢献するところが少なくない。よって、本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。