

学位論文題名

電力系統における発電機制御に関する比較研究

学位論文内容の要旨

産業の高度化、生活環境の近代化などに伴い、電気エネルギーの発生から消費までの流れをつかさどる電力系統は、ますます大規模化・複雑化してきている。

このため、系統の安定性・信頼性を維持、向上させることは系統運用において極めて重要な課題となっており、各方面で様々な検討が進められている。特に、発電機制御は系統制御の中核をなすものであり、その高性能化、高信頼度化が重要な課題となっている。

発電機制御方式としては、古典制御理論に基づいたPID制御が広く用いられており、また、状態空間においてシステムの挙動を把握する現代制御理論に基づいた多変数最適制御の適用についても研究されている。さらに近年、エキスパートの知識や経験などを制御規則として体系化することができるファジィ制御の適用が検討されており、各制御方式のコンビネーション制御による電力系統の安定化制御も提案されている。しかしながら、各制御方式を発電機制御への適用の観点から、共通の基準の下で比較し、その制御性能等を定量的に評価した報告は、これまでほとんど見あたらない。今後、発電機制御の高度化を図り、より実情に即した望ましい制御方式を確立するためには、これらの方式の特徴を明確にしておくことが重要である。

以上のような背景から、本論文では発電機制御方式として、最適制御、ファジィ制御、PID制御をとりあげ、それぞれの制御方式の特徴を共通の観点から、一機無限大母線系統モデルを用い比較検討している。具体的には大、小擾乱に対する応答特性、安定度限界および機器定数変化に対する収束特性について比較検討を行っている。

本論文は、全6章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章は序章であり、大規模化・複雑化してきている電力系統を安定に運用することの重要性について、系統制御の視点から説明するとともに、電力系統における発電機制御の概要、意義、これまでの研究状況およびそれぞれの制御方策の問題点について述べている。また、本論文の研究目的およびその構成について説明している。

第2章では、制御対象の数式モデルおよび本論文に用いられる制御理論の概要、発電機制御への適用について述べている。

すなわち、本論文では、励磁系および調速系を備えた一機無限大母線系統を制御対象としており、また発電機は二回線送電線を通して無限大母線と接続されている火力発電機を取り扱うこととしているが、発電機制御を行う際、制御対象をいかに適切にモデル化するかが重要となる。そのため、本章ではまず、励磁系、調速系および発電機のモデリングについて述べ、さらに一機無限大母線系統モデルを導出している。

また、本論文では、上記の制御対象に対して、ファジィ制御、PID制御、最適制御およびオブザーバを用いる最適制御の制御性能についての比較検討を目的としているため、それらの制御方式の概要、発電機制御への適用、設計方法についての説明も本節で行っている。

第3章では、各制御方式の制御器および制御系の構成に関して論じている。

各制御方式を比較するためには、共通の比較基準を与える必要があるが、ここでは発電

機の有効電力および端子電圧の各目標値との偏差の二乗和積分設計指標を共通の設計基準として設立する。

また、この共通の設計指標に対する各制御器の設計手法、構成についても詳細に述べている。ファジィ制御パラメータの決定については、従来の試行錯誤を避け、本論文で提案する最適設計手法を用いて、メンバシップ関数の最適なパラメータを決定する。PID制御器の設計に際しては、ファジィ制御と同じように発電機の非線形性や制御操作量に対する制限を考慮に入れて最適化問題を構成した上で、その制御ゲインを擾乱に対するシミュレーションにより決定する。また、最適制御器の設計には、線形化された制御対象モデルを用いて、最適制御系を構成し、非線形モデルに対してシミュレーションをしながら、制御利得を調節し、設計指標が最小になるように最終的に制御利得を求める。さらに本論文では、制御対象の状態変数に関する情報がすべて観測できるとは限らない場合を想定し、PID制御やファジィ制御と同じ条件で最適制御系をも実現するという立場で、発電機の入、出力情報に基づくオブザーバを設計し、このオブザーバを用いた最適制御器の構成についても述べている。

第4章では、各制御方式のシミュレーションによる比較検討の手法、項目および結果について述べている。

その際、大擾乱として三相地絡故障を、小擾乱として設定値変更を想定し、それらのそれぞれに対して各制御方式の時間応答特性、動態安定度限界、過渡安定度限界ならびに機器定数変化に対する収束特性に関して、制御対象の非線形モデルに対するシミュレーションにより比較検討している。

第5章では、第4章で得られた結論を踏まえて、電力系統における負荷電力の時々刻々変化に対応し、発電機の出力設定値すなわち運転点を適正值に保持するためのファジィ設計について述べている。具体的には、発電機の有効電力と端子電圧の変更範囲を想定した上で、その範囲内の代表的な変更に対してファジィ制御器を設計し、設計された各ファジィ制御器を用いて想定範囲内の様々な設定値変更に対する適用可能性についてシミュレーションにより検討し、最良な設計手法を求める。

第6章は、本論文の結論であり、各章で得られた新知見をとりまとめている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 長谷川 淳

副 査 教 授 大 西 利 只

副 査 教 授 土 谷 武 士

学 位 論 文 題 名

電力系統における発電機制御に関する比較研究

大規模・複雑化してきている電力系統を安定に運用するためには、負荷需要の変化や系統内での種々の擾乱に対して、電力系統を適切に制御する必要がある。中でも、発電機の制御は、電力の品質や信頼性の向上に非常に大きく寄与することから、極めて重要な役割を担っている。この発電機制御に関しては、従来から古典制御理論、現代制御理論、ファジィ理論に基づいたいくつかの制御方式が、様々な観点から報告・検討がなされてきている。しかしながら、それらの制御方式を共通の基準の下で比較し、その制御性能等を定量的に評価した報告はほとんど見あたらない。これに対し本論文では、より実情に即した望ましい制御方式を確立するために、これらの制御方式の特徴をより明確にすると共に、各制御方式を一機無限大母線系統を対象として比較検討を行っており、得られた結果は極めて興味深いものがある。具体的には、最適制御、ファジィ制御、PID制御、オブザーバを用いる最適制御をとりあげており、大・小擾乱に対する応答特性、安定度限界および機器定数変化に対する収束特性をシミュレーションにより比較評価している。これらの制御方式は、発電機制御のために既に実用化されているものから、現在各方面で研究開発され、大きな効果が期待されているものまでを含んでおり、比較の対象としては妥当なものである。また、比較項目についても、発電機制御で特に重要となる項目について検討しており、実際の系統運用において理解し易くかつ重要な情報を与えるものと期待できる。また、特にファジィ制御については、メンバーシップ関数のパラメータの決定に従来の試行錯誤を避け、最適なファジィパラメータを決定できる最適設計手法を提案しており、ファジィ制御の高度化をはかっているという点で意義深いものがある。

本論文で得られた結論として、「制御特性を総合的に評価すると、最も良好な制御方式は全ての状態量を利用した最適制御となるが、これは理想的な場合であり、実現性を考慮に入れると、ファジィ制御、オブザーバを用いる最適制御、PID制御の順になる」ことを明確に述べている。この点は、今後、発電機制御をより有用なものとするために、非常に重要な知見であるものと言える。また、本論文では、上記の結論に基づき、ファジィ制御について設定値変更に対するロバスト性について検討を行っており、有効電力と端子電圧を同時に変更する場合を想定して、ファジィ制御器を一回設計しておけば、想定した範囲内のあらゆる設定値の変更に対応可能であることを述べている。この点も、ファジィ制御の有効性を示す重要な知見であると考えられる。

これを要するに、著者は、電力系統における発電機制御の理論的枠組みおよび種々の制御方式の特徴に関して新知見を得たものであり、電力系統工学に対して貢献するところ大なるものがある。

よって、著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。