

氏 名	韓 相 逸
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2388 号
学位授与の日付	平成 16 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 電 気 工 学 専 攻
学位論文題目	Basic Studies on Optimal Design of Superconducting Synchronous Machines (超伝導同期機の最適設計に関する基礎的研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 牟 田 一 彌 教 授 引 原 隆 士 助 教 授 星 野 勉

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、超伝導同期機の設計に関して、これまで経験的に行われてきた設計を体系的に行う手法を構築するもので、設計モデルに対する構成式を明らかにするとともに最適化手法を用いた設計方法を論じた結果をまとめたものであって、6章からなっている。

第1章は序論であり、本研究の背景として現用同期機に比べて超伝導同期発電機及び超伝導同期電動機が持つ長所のためこれまで世界で研究開発されてきた成果とその現状を述べている。また、超伝導同期機の設計方法に関して経験的に行われた設計法の問題点を示し、その問題点を解決するために最適化手法を提案し、さらに各章の構成を述べている。

第2章では超伝導応用に用いられる超伝導材料の一般特性を述べている。特に、超伝導発電機の界磁巻線を構成する低温超伝導線材であるNb-Ti線材と超伝導伝導機の界磁巻線を構成する高温超伝導線材であるBi2223テープ材の特性を述べている。さらに、超伝導同期設計において設計綱目として考慮する超伝導線材の特性に関して述べている。

第3章では超伝導同期機設計に適用する最適化手法に関して述べている。最適化手法として解の広域探索法である遺伝的アルゴリズムと焼きなまし法を用い、最適化過程中実行不可能解が出る場合に実行可能解へ差換える補修過程を入れるという修正アルゴリズムを提案し、最適解への収束性を高める有効な手法であることを実証している。さらに、多目的関数を最適化する場合、通常の意味付け法ではいずれかの目的関数の最適解に近いものになってしまう。これに対し、補正係数を導入した可変重み付きmin-max法を提案し、得られる変数解の偏りを解消できることを検証してその有効性を確かめている。

第4章では超伝導発電機の最適設計に関して述べている。2次元設計モデル上で電磁界解析によって導出された電気的特性式ならびに機械的特性式から設計パラメータを与える表式を導出した。さらに、低温超伝導線材の特性を考慮した設計項目も導入した設計式を再構成することにより、超伝導発電機の設計関連式を明らかにしている。また、第3章で検証された修正遺伝的アルゴリズムと焼きなまし法を超伝導発電機の設計に適用して高効率及び小型化のため効率ならびに出力密度を目的関数とし、線材特性と製作上の制約条件を考慮して行った最適設計を述べている。実際に製作されて性能試験が行われたモデル機にこの最適化手法を適用し、試行錯誤による現状の設計法の妥当性を検証するとともに本設計方法の有効性を示している。効率と出力密度の多目的関数を最適化する場合、通常の意味付け法ではいずれかの目的関数の最適解に近いものになってしまうが、提案する可変重み付きmin-max法は、得られる変数解の偏りを解消できることを検証している。さらに、超伝導発電機の設計仕様と設計結果からその機器パラメータが効率ならびに出力密度に及ぼす影響を明らかにし、超伝導発電機に対する電気的な特性すなわち、効率特性、遮蔽特性、短絡特性、外部特性、出力特性などを検討して超伝導発電機の特徴を明らかにしている。

第5章では超伝導電動機の最適設計に関して述べている。その設計過程と手法は第4章で述べたように超伝導発電機のものに似ている。電気的特性式は2次元設計モデル上で電磁界解析に基き導出して設計パラメータを与える構成式に示し、高温超伝導線材の特性を考慮した設計項目も導入して設計関係式を再構成することにより、超伝導電動機の設計関係式を明

かにしている。そして、第3章で検証された修正遺伝的アルゴリズムと焼きなまし法を超伝導電動機の設計に適用して効率及び出力密度を目的関数とし、線材特性と製作上の制約条件を考慮して行った最適設計を述べている。この設計では実際に製作されて性能試験が行われたモデル機にこの最適化手法を適用し、経験的に行われる現状の設計法の妥当性を検証ともに本設計方法の有効性を示している。効率と出力密度に対する多目的最適化も行い、通常の重み付け法ではいずれかの目的関数の最適解に近いものになってしまう問題点を提案する可変重み付き min-max 法は得られる変数解の偏りを解消できることを検証している。さらに、超伝導電動機の設計仕様と設計結果からその機器パラメータが効率ならびに出力密度に及ぼす影響を明らかにし、超伝導電動機に対する電気的な特性すなわち、効率特性、遮蔽特性、出力特性、V曲線特性などを検討して超伝導電動機の特徴を明らかにしている。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、超伝導同期機の設計に関して、これまで経験的に行われてきた設計を体系的に行う手法を構築するもので、設計モデルに対する構成式を明らかにするとともに最適化手法を用いた設計方法を提案したものである。得られた研究成果の概要は、次のようにまとめられている。

1. 2次元設計モデル上で電磁界解析によって導出された電気的特性式ならびに機械的特性式から設計パラメータを与える表式を導出し、超伝導線材の特性を考慮した設計項目も導入して設計式を再構成することにより、超伝導同期の設計式を明らかにしている。
2. 最適化の手法は広範囲を探索する手法である遺伝的アルゴリズムと焼きなまし法をもとに、実行不可能解を実行可能解に補修する過程を入れる修正アルゴリズムを提案し、最適解への収束性を高めた。さらに、多目的関数を最適化する場合、通常の重み付け法ではいずれかの目的関数の最適解に近いものとなる。提案した可変重み付き min-max 法で、得られる変数解の偏りを解消できることを検証してその有効性を確かめている。
3. 超伝導同期発電機ならびに超伝導同期電動機の最適設計に上記手法を適用し、その妥当性を検討した。超伝導発電機は界磁巻線が低温超伝導線材である Nb-Ti 線材から構成され、超伝導電動機は界磁巻線が低温超伝導線材である Bi2223 テープ材で構成されたとした。最適化設計は、効率ならびに出力密度を目的関数とし、線材特性と製作上の制約条件を考慮して行った。実際に製作され、性能試験が行われたモデル機にこの最適化手法を適用し、試行錯誤による現状の設計法の妥当性を検証した。さらに、超伝導同期機の設計仕様と設計結果から機器パラメータが効率ならびに出力密度に及ぼす影響を明らかにし、電気的特性の観点から超伝導同期機の特徴を明らかにしている。

以上、本論文は、超伝導同期機の設計に関して、電磁界解析から導出された電気的及び機械的特性式を用い、修正したアルゴリズムを導入した最適設計法を提案した。さらに、設計結果と性能評価されたモデル機との比較から、人間による中間評価を経ずに、最終設計値を導出できる本設計方法の有効性を明らかにした。本論文は、超伝導同期機設計の進展に多大に貢献することが期待され、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成16年2月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。