

氏 名	ふじ かわ かず ひろ 藤 川 一 洋
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)
学位記番号	エ ネ 博 第 38 号
学位授与の日付	平成 13 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	エネルギー科学研究科エネルギー応用科学専攻
学位論文題目	Basic Studies on Superconducting Fault Current Limiter with Adjustable Trigger Current Level (動作開始電流値の調整可能な超電導故障電流限流器の特性に関する基礎研究)
論文調査委員	(主 査) 教授 塩 津 正 博 教授 岩 瀬 正 則 教授 牟 田 一 弥

論 文 内 容 の 要 旨

超電導故障電流限流器は、電力系統の直面している安定度と短絡容量の問題を解決する機器として期待されている。本論文は、電力系統に導入された故障電流限流器の特性検討という視点から、限流動作開始電流値の調整可能な超電導限流器を提案し、小型モデルを試作して、その限流動作・復帰動作について実験的・解析的に論じた結果をまとめたもので、7章からなっている。

第1章は序論で、研究の背景を示し限流器の必要性・有用性を述べ、さらに超電導現象を利用した限流器の特長を示している。超電導限流器を系統内の機器として見た研究の重要性を指摘し、これを研究の目的としている。

第2章で、対称座標法を用いた限流器を含んだ故障計算により、電力系統の条件から限流器に要求される基本的仕様である限流動作開始電流値と限流インピーダンスを決定する方法を示している。特に、動作開始電流値に要求される精度について言及している。

第3章では、前章の検討結果に基づき、言及した精度を実現するため、動作開始電流値の調整可能な超電導故障電流限流器の提案を行っている。その基本動作原理・設計方法を示し、実現可能性を実証するために小型限流器を設計・製作している。この限流器は、2つのコイルを持つ変圧器型で、2次側コイルが可動・脱着可能となっており、2つのコイルの相対的位置を低温容器外から微調整できる構造としている。動作開始電流値は2次側コイル、限流インピーダンスは1次側コイルによってそれぞれ独立に設計できることを指摘している。これによって2次コイルの超電導・常電導転移電流値を変更することなく調整することを提案している。

第4章では、この限流器を用いて、提案した限流器の動作原理、動作開始電流調整の検証実験を行っている。準定常的に電流を増加させた際の電流限流特性試験、系統事故を模擬した過電流限流試験を行い、その結果、提案原理通りに動作開始電流値が微調整あるいは変更ができることを確認している。待機時・限流時のインピーダンスを測定し、ほぼ設計通りであることを確認している。限流器電流が動作開始電流を越えると、速やかに限流動作を開始し限流インピーダンスが得られることが示されている。動作開始電流値の劣化について、交流損失の算定・測定を行い、その原因として試作限流器の構造の問題点を指摘し、この議論をもとに改良した3相一括限流器を試作し、各相の限流器の動作開始電流値が設計値の5%以内に収まることを実験によって確認している。

第5章では、限流器限流動作後の遮断器動作(遮断・再開路)による限流器の待機状態への復帰特性について、実験的に検討している。限流器が待機状態に復帰するために要するゼロ電流となる遮断時間は、現在系統で設定されている遮断器動作時間に対して十分短く良好な復帰特性を示すことを明らかにしている。復帰特性に関連して、限流動作中の提案限流器の2次側コイルは、その線の一部のみが常電導化しており、熱的準定常状態においては2次側コイル電流が1次コイル電流によらず一定の最小伝搬電流となることを指摘し、実験によって確認している。2次側コイルの抵抗値は、1次側コイル電流にほぼ比例することを示している。

第6章では、提案限流器の動作解析手法として、電気回路方程式と熱伝導方程式をあわせた計算機シミュレーションを提案している。これは超電導線材の材料定数や液体ヘリウムの冷却特性などを考慮した限流動作・復帰動作の検討を行うことを目的としており、実験結果と比較してその有用性を示している。また、限流動作中の2次側コイルの温度の線方向分布を解析によって推定し、実験結果から指摘したとおり、限流時の熱的平衡状態では2次コイル電流が最小伝搬電流となることを確認している。

第7章は、本論文で得られた成果を総括して結論とし、今後の研究課題に言及している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、故障電流限流器を含む電力システムの系統解析の結果に基づいて、限流動作開始電流値の調整可能な超電導限流器を提案し、電力系統側の視点から、その限流動作・復帰動作について実験的・解析的に研究した成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1) 超電導限流器を系統機器としてとらえ、対称座標法を用いた限流器を含んだ故障計算により、電力系統の条件から限流器に要求される基本的仕様である限流動作開始電流値と限流インピーダンスの決定方法を具体的に示した。特に、動作開始電流値に要求される精度について初めて言及し、系統過渡解析などによる詳細設計の基礎となる基本仕様の決定手法を示した。

2) 動作開始電流値の調整可能な超電導故障電流限流器の提案を行い、その基本動作原理を示した。電力系統から要求される基本仕様をもとにした設計方法を示し、実現可能性を実証するために小型限流器を設計・製作した。この限流器は、2つのコイルを持つ変圧器型で、動作開始電流値は2次側コイル、限流インピーダンスは1次側コイルとそれぞれ独立に設計できることを指摘した。提案された限流器は、変圧器型の特長を利用し動作開始電流値の調整に着目した新たな視点の限流器といえる。

3) 試作限流器を用いて、提案した限流器の動作原理、動作開始電流調整の検証実験を行い、その結果、提案原理通りに動作開始電流値が微調整あるいは変更のできることを確認した。待機時・限流時のインピーダンスを測定し、ほぼ設計通りであることを確認した。限流器電流が動作開始電流を越えると、速やかに限流動作を開始し限流インピーダンスの得られることが示された。

4) 動作開始電流値の設計値からの劣化について、交流損失の算定・測定を行い、その原因として試作限流器の構造上の問題点を指摘し、この議論をもとに改良した3相一括限流器を試作し、各相の限流器の動作開始電流値が設計値の5%以内に収まることを実験によって確認した。

5) 限流器限流動作後の遮断器動作（遮断・再開路）による限流器の待機状態への復帰特性について、復帰のために要する遮断時間（限流器電流がゼロとなる時間）は、現在系統で設定されている遮断器動作時間に対して十分短く良好な復帰特性を示すことを明らかにした。

6) 限流動作中、熱的準定常状態では2次側コイル電流が1次コイル電流によらずほぼ最小伝搬電流となることを指摘し実験によって確認した。したがって2次側コイルでは巻線の一部のみが常電導化しており、その常電導部分の長さすなわち2次側コイルの抵抗値はほぼ1次側コイル電流に比例することを確認した。

7) 超電導線材の材料定数や液体ヘリウムの冷却特性などを考慮した限流動作・復帰動作の検討を行うことを目的として、電気回路方程式と熱伝導方程式をあわせた計算機シミュレーション法を提案し、実験結果と比較してその有用性を示した。

以上要するに、本論文は超電導限流器を系統機器としてとらえ、限流器に必要とされる限流インピーダンス、動作開始電流値の基礎設計指針を示し、これを元にして動作開始電流値の調整可能な限流器の必要性を指摘して、これを実現する一つの超電導限流器を提案・試作し特性解析を行ったものである。得られた成果は学術上、実際に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値のあるものと認める。また、平成13年1月19日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。