

論文の内容の要旨

論文題目 電磁界と運動の連成解析による電力用開閉装置の高度化研究

氏 名 竹 内 敏 恵

電力用開閉装置は過渡的な事故電流を安全かつ瞬時に開閉する装置であり、過渡電磁界現象と密接に関連する機器でありながら、過渡電磁界解析技術の適用は接点部の電磁反発現象など限られた分野での応用がほとんどであった。そこで、電力用開閉装置における過渡電磁界解析技術の新たな応用展開を研究し、さらに運動との連成解析にいち早く着眼することで、三相母線や駆動部など新たな分野への電磁界と運動の連成解析手法の提案、適用について研究した。本論文では、以上の電磁界と運動の連成解析による電力用開閉装置の高度化に関する研究成果をまとめた。

電力用開閉装置への電磁界と運動の連成解析の適用には、解析手法上、複数導体相互間の渦電流効果を考慮した過渡電磁界解析と振動解析との連成解析手法と、過渡電流を利用した電磁反発力と非線形の負荷力を考慮した電磁界と運動の連成解析手法が考えられる。

前者の具体的な適用対象が超高電圧の電力用開閉装置であるコンパクト GIS の三相一括形 GIB であり、本解析手法上、導体内部の渦電流効果による電流の偏流を考慮できるという特徴が得られる。特に、三相母線に異なる過渡電流が流れる短絡事故時の状態を忠実に模擬でき、導体内部の自己電流による渦電流だけでなく、三相相互間および非線形磁気特性を持つ周辺タンクの渦電流による導体電流の偏流を考慮できる。以上により、過渡電磁力を高精度に解析でき、本電磁力をもとに母線振動を解析することにより三相一括母線の短絡電磁力設計の高度化が達成された。三相一括形 GIB における本解析手法の導入は世界初の試みであり、短絡電磁力解析精度の向上および振動解析との連携による設計手法は、母線間距離の縮小、母線の支持構造のコンパクト化およびタンク部材における鉄などに代表される安価な磁性材の適用拡大につながり、GIS のコンパクト化設計における極めて重

要な設計手法に位置づけることができる。

一方、後者の適用対象には高速遮断器があり、電磁力を発生しながら駆動する際の速度起電圧項を考慮した過渡電気回路と、磁界および運動を連成して解くという数値解析上の特徴がある。電磁反発駆動部とさらばねを利用した高速駆動機構を持つ高速遮断器の設計には、コンデンサを利用した電気回路から放電される電流を利用した電磁反発力を用いて、接点反発力を抑えるための強大な非線形ばね力に抗して高速に駆動する状態を解く必要があるため、電磁界と運動の連成解析の適用による駆動部設計手法が必須である。空隙距離が変化しながら長ストロークを瞬時に駆動する高速遮断器の駆動部設計への本解析手法の導入は初めての試みであった。電磁界と運動の連成解析手法を用いた高速遮断器の設計手法の確立は重要な成果であり、遮断電圧定格 15kV および 24kV の高速遮断器の世界初の実用化をもたらした。また、本解析手法は各定格電圧の高速遮断器の最適磁気設計に有効であり、実用化された高速遮断器は、定格電圧、サイズおよび駆動電源容量のいずれにおいても製造機関の中で最高の性能を達成している。

以上、表 1 に本研究の対象、解析手法の特徴および利点をまとめる。

表 1 研究対象と解析手法の選定理由および利点

章	3 章	4 章	5 章
高度化対象	三相一括形 GIB	渦電流反発式 15kV 高速遮断器	24kV 高速遮断器
高度化点	短絡電磁力設計	駆動部設計手法 の確立	高電圧化 電気エネルギー低減
解析手法	A- 法非線形 過渡電磁界解析と 振動解析の連成	等価回路法 電磁界解析と 運動の連成解析	A 法非線形 電磁界解析と 運動の連成解析
各手法の 選定理由	導体内の電流偏流 の考慮 強磁性タンク 三次元形状	渦電流による 電磁反発現象 速度起電圧考慮	渦電流による 電磁反発現象 非線形材料効果 急激な速度起電圧 変化考慮
利点	短絡事故時を忠実模擬 気中遮断器などへの 展開可[51]	メッシュ不要 パラメータ 変更容易 最適化手法との 組合せ容易	適用条件制限無し 高精度 高速遮断器以外の 幅広い展開可

以上、本研究により、高速遮断という新しい機能を持った電力用開閉装置の高精度設計および高電圧化がはかれるとともに、装置全体としてのコンパクト化および系統の安定性向上のための電力用開閉装置を設計するための設計手法を確立した。また、過渡電磁界と運

動の連成解析技術の高精度化、適用範囲の拡大は、電力用開閉装置のさらなる新機能の創出とともに、一般のアクチュエータ機器の駆動解析や半導体基板内の電路部での偏流解析にも流用可能であり、多数の分野への展開に重要な研究である。

現在、電磁駆動技術の電力用開閉装置への適用は、高速遮断器から一般の遮断器へと展開されており、従来の汎用遮断器のばね操作装置への電磁駆動機構の適用へと発展している。これら電磁駆動方式汎用遮断器の発展は、装置全体の構造の単純化を図れるため保守の省力化が促進でき、部品点数の削減による信頼性向上、および、低コスト化に有効である。これらの効果は次世代開閉装置に求められる経済性、環境問題に合致している。これら電磁駆動方式汎用遮断器の研究開発においても過渡電磁界解析と運動連成解析手法が重要な設計手法であり、本研究において高度化した設計手法により最適化を実施した結果、他に類のない省エネルギー駆動を達成できている。