

審査の結果の要旨

氏名 小山 健一

真空遮断器は、3.6kV から 84kV 定格までの電圧クラスにおいて主力遮断器としての地位を確保している。真空遮断器の小型化、軽量化および遮断容量拡大などによる経済性および実用性の向上には、真空遮断現象のより一層の解明と遮断性能向上のための磁気駆動の高度利用が必要となる。本論文では、真空遮断器におけるアーク遮断現象と磁気駆動時のアーク挙動を解明し、また、電磁操作機構の設計技術を確立することにより、真空遮断器の高機能化を図ることを目的としたもので、「大電流真空アーク制御技術と真空遮断器の高機能化への展開」と題して、6 章から構成されている。

第1章「序論」では、真空遮断器の概要、構成および遮断責務を解説し、真空遮断器実用化に必要な技術を記述している。また、本論文でまとめた技術について、真空遮断器技術の中での位置づけを示し、真空遮断器の高性能化および高機能化にとっての重要性を示している。

第2章「真空アーク現象の研究」では、LIF 法と CCD カメラによる二次元検出を適用した二次元 LIF 法を真空アーク観測に提案し、本技術を用いた陰極現象および陽極現象に関する観測結果について述べている。比較的低電流(40A)の真空アーク中における1つのカソードスポットから放出される銅原子は電極間のほぼ全体にわたって分布しており、その密度の最大値は $5 \times 10^{19}/\text{m}^3$ であること、銅原子の速度は約 10km/s であり、アーク消弧後の銅原子密度は約 75 μ sec の時定数で急激に減衰すること、を明らかにしている。また、真空中アークの陽極現象について、アーク電流が増加して陽極点が形成されると、アーク空間へ向かって電流が流れること、この電流は負イオンに起因すること、負イオンの生成期間はアークが陽極スポットモード、すなわち陽極から強い陽極ジェットが発生している期間と対応すること、を明らかにしている。

第3章「磁気駆動によるアーク制御の研究と真空電極への展開」では、アークを印加磁場によって駆動し、挙動を制御するアーク磁気駆動技術、および、磁気駆動技術の真空遮断器電極構造への展開技術について述べている。磁気駆動によるアーク挙動、特に、分散アークモードにおいては同時に複数のアークコラムが現れ、1つのアークが初期アーク位置にとどまり、残りのアークが駆動、消弧、再点弧を繰り返すという挙動を示すことにより、アークはレール電極に広く分布していること、このアークは側壁から蒸発した高温ガスによって起こること、を明らかにしている。また、スパイラル電極の電極構造について、アーク挙動と電流遮断性能との関係について詳しく調べた結果、短いスローアーク期間を持つスパイラル電極が高い遮断性能をもつことを明らかにしている。さらに、スローアーク期間の長さは磁場強度に密接に関連し、スローアーク期間に電極表面で形成される熔融点が電流零点における電極蒸気密度に影響を与えると推定している。

第4章「真空遮断器向け電磁操作機構の研究と実用化」では、従来のバネ操作方式真空遮断器に代わる電磁操作方式真空遮断器の実用化のための、電磁界と運動連成解析手法の開発と本手法を

用いた機構設計技術への適用および試作器を用いた評価結果について述べている。開発した電磁操作式真空遮断器は、各相に一つずつ電磁操作機構を備え、積層可動子の採用による渦電流抑制と誘導電流を抑制した回路構成により三相ばらつきを抑え、三相遮断器および位相制御遮断器に両用可能な性能を有していることを示している。本手法を用いて 24kV 真空遮断器の電磁操作機構の最適化を実施した結果、従来のバネ操作エネルギーの約 1/5 のエネルギーでの駆動を実現し、部品点数を 65% に削減できることを明らかにしている。

第5章「電磁操作方式真空遮断器の CBM 機能の研究と開発」では、第 4 章で述べた電磁操作技術を高度利用した真空遮断器機構部の CBM 技術を提案し、本 CBM 技術を利用した真空遮断器の高機能化について述べている。電磁操作方式真空遮断器の駆動部の変化状態を推定するために、接点消耗量、コンデンサ容量および駆動部での摺動摩擦の増大を、駆動用コイルに通電する電流波形を監視する事によって精度よく推定する技術を提案している。さらに本技術を用いて、遮断器の状態を常時監視し、異常が発生した場合に警報を出力する CBM 機能を備えた CBM コントローラの実用化に成功している。

第 6 章「結論」では、本論文を総括すると共に、今後の課題について述べている。

以上これを要するに、本論文は、普及が進む電磁操作式真空遮断器の高性能、高機能化を目的として、磁気駆動時のアーク挙動を検討することによりアーク遮断の最適条件を明らかにした上で、それを実現できる電磁操作機構を提案し、さらに、機構部の劣化状態を推定できるキーパラメータを見出し、それを組み込んだ新しい状態監視手法を提案し、いずれも電力系統に適用できる真空遮断器として実現した点で、電気工学、特に高電圧、電力工学に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。