

## 論文の内容の要旨

論文題目 動作開始電流調整可能な超電導限流器の動作特性と  
その電力系統特性に関する研究

氏名 八太 啓行

電力系統は、短絡電流を抑制するとともに安定度を向上させるため、通常時には低インピーダンス、故障時には高インピーダンスであることが望ましい。このような相反する要求を満たすための機器として、限流器が注目されている。限流器を電力系統に導入すれば、遮断器の負担は低減し、より自由な系統設計が可能になるため、経済的で信頼性の高い電力系統を実現できる。また、限流器が高速に動作できれば、電力系統の安定度向上効果も期待できる。限流器を実現する方式には様々なものがあるが、中でも超電導限流器は外部の回路が必要ないこと、動作が迅速であることなどの優れた特徴から、現在活発に研究開発が行なわれている。超電導限流器を実現する方法は、様々なものが提案されているが、いずれも試作段階であり、現状では実用化のための検討は少ない。このため、まず、超電導限流器に対して電力系統から要求される仕様について検討した。超電導限流器を電力系統に導入する場合、動作開始電流値、限流器インピーダンス、復帰時間などの仕様が必要である。平行二回線系統を想定して故障計算を行なった結果、送電線の長さにもよるが、超電導限流器が故障回線で確実に動作し健全回線では誤動作しないという条件を満たすためには動作開始電流値に高い精度が必要であることが分かった。しかしながら、S/N 転移を用いる方式の超電導限流器では、その動作開始電流値は超電導体の S/N 転移電流に依存し、超電導体の S/N 転移電流は製造過程に依存するため高い精度を実現することは難しい。このため、動作開始電流調整可能な超電導限流器を考案、試作した。

第 2 章では、電力系統から要求される仕様を満たす超電導限流器として、動作開始電流調整可能な超電導限流器を提案し、この基本原理について述べた。本方式の超電導限流器は空心変圧器型超電導限流器であり、同軸円筒状に配置された二つの超電導コイルから成る。一次側コイルは系統に接続されており、二次側コイルは短絡コイルである。限流待機状態においては、一次側コイルに流れる電流による磁束は二次側コイルに流れる誘導電流によりほとんど打ち消されるためインピーダンスは小さいが、動作開始電流値を超えると二次側コイルが常電導転移し、限流動作状態となる。このとき、二次側コイルには十分な誘導電流が流れなくなり、インピーダンスが増加するため限流を行なうことができる。また、本方式の超電導限流器を試作し、その基本特性の計算を行ない、その基礎動作特性に関する実験的考察を行なった。この結果、超電導限流器の基本的な動作である限流動作および復帰動作が行なえることを確認した。

第 3 章では、本方式の超電導限流器の動作特性に関する考察を行なった。まず、動作開

始電流値についての考察を行なった。準定常的な動作時の動作開始電流値について実験的考察を行ない、本方式の超電導限流器は原理通りに動作開始電流値の調整が可能であることを示した。また、過渡的な動作時の動作開始電流値についての考察を行ない、超電導限流器の動作開始電流値は事故位相によって若干変化することを示した。これについてさらに考察するため、超電導限流器の動作瞬時電流に関する実験的考察を行なった。この結果、超電導限流器の動作瞬時電流は、限流器端子間電圧に依存することが分かった。このことから、超電導限流器の動作瞬時電流は、電流変化率に依存することを示した。次に、超電導限流器の限流動作中の特性について実験的に考察した。限流動作中の限流インピーダンスは、回路電流が大きくなるにつれて増加し、ある値に飽和することを示した。このとき、限流インピーダンスの飽和値は、1次コイルの自己インダクタンスのみで決まる。また、限流動作中の2次側電流の大きさはほぼ一定値となり、その大きさは最小伝搬電流の計算値と良く一致することを示した。次に、超電導限流器の復帰特性について考察を行なった。超電導限流器の復帰時間は、故障継続時間によって変化し、故障継続時間が長くなるにつれて減少するが、復帰時間は最大でも400msec程度であるため、いずれの場合も電力系統における遮断器の回路開放時間よりも十分短いことを示した。また、本方式の超電導限流器は回路電流を小さくしていくとある値で復帰する。このときの回路電流の大きさを復帰電流と呼び、復帰電流の大きさを測定した。この結果、復帰電流のおよその大きさは最小伝搬電流により計算できることを示した。

第4章では、超電導限流器の電力系統特性に関する考察を行なった。同期発電機と模擬送電線により模擬系統を構成し、発電機端子の三相突発短絡および各種の送電線故障時の超電導限流器の限流動作に関する実験的考察を行なった。この結果、超電導限流器は三相交流電流においても限流動作できること、電力系統においては故障相でのみ動作し、健全相や健全回線では誤動作しないため、限流動作の選択性を有することを確認した。また、超電導限流器の限流動作により、故障時の発電機端子電圧低下が抑制されることを確認した。このことから、超電導限流器の限流動作により、安定度が向上するのではないかと考え、次に電力系統の安定度に関する考察を行なった。本論文では、実験的に安定度の評価を行なう方法として、臨界故障除去時間による評価を用いた。すなわち、超電導限流器設置の有無による臨界故障除去時間の比較を行なうことにより、超電導限流器の動作による電力系統の安定度向上効果に関する考察を行なった。この結果、超電導限流器の限流動作により電力系統の安定度が向上することを確認した。

第5章では、第4章までの考察の結果明らかとなったいくつかの問題点に対してその解決方法を提案し、これらの方法の有効性について実験的に検証することによって、超電導限流器の実用化に関する基礎検討を行なった。まず、ZnO素子による過電圧抑制についての検討を行なった。本方式の超電導限流器は、そのインピーダンスが誘導性であり、しかもその限流動作が速いため、限流動作する瞬間に限流器端子間には高電圧が発生する。この瞬時高電圧を抑制するため、超電導限流器と並列にZnO素子を接続する方法を提案し、

この方法の有効性を実験的に検討した。この結果、超電導限流器と並列に ZnO 素子を接続することにより、超電導限流器の過渡状態継続時間は延びるものの、この方法は瞬時高電圧の抑制に有効であることを示した。次に、直列コンデンサによる待機インピーダンス補償についての検討を行なった。本方式の超電導限流器は空心構造をとるため、その限流待機状態におけるインピーダンスが無視できない。この待機インピーダンスを直列コンデンサにより補償する方法を提案し、この方法の有効性を実験的に検討した。この結果、直列コンデンサは待機インピーダンスの補償に有効であるが、回路のリアクタンスと共振するため、共振周波数には注意する必要があることが分かった。次に、超電導限流器の直列接続についての検討を行なった。超電導限流器は、電力系統における二相短絡故障時に、一方のみしか動作しないことがあることが明らかとなった。また、大きい限流インピーダンスを実現する方法として、複数の小型超電導限流器を直列接続する方法も考えられるため、直列接続した超電導限流器の動作についての検討を行なった。この結果、直列接続した超電導限流器の動作は、事故位相および超電導限流器の動作開始電流値によることを示した。

第6章では、これらを踏まえ、本方式の超電導限流器の設計・試験法に関する考察を行なった。この結果、本方式の超電導限流器は、その設計が容易であることに加え、その特性を簡易な試験法で確認できることを示した。