

# パワーエレクトロニクス技術応用高速限流装置の研究

電力系統の拡大に伴う故障電流増大への対策

## Study on High-speed Fault Current Limiter through Application of Power Electronics Technology Countermeasures against Increased Fault Current along with Expansion of Power System

(電力技術研究所 電力システムG)

(Electric Power Research & Development Center,  
Power System Group)

近年、500kV系統では、系統規模の拡大や新規電源の増設に伴い、故障電流が増加する傾向にあり、将来的には既設電力機器の定格を越えることが予想されている。その対策の一つとして、故障電流が立上がる前に高速に抑制する限流装置が考えられる。そこで、今回、高速なスイッチングが可能な半導体素子を利用した高速限流装置について、その故障電流抑制特性や適用方法、効果などの検討を行ったので報告する。

In a 500kV system recently, along with the expansion of system scale and the additional construction of new power sources, peak value of fault current is showing a tendency to increase, and it is forecasted that fault current will exceed the rating of the existing electric power facilities in the near future. One of the countermeasures against increased fault current is a fault current limiter that restrains fault current at high speed before it is activated. Therefore, we have this time conducted a study on a high-speed fault current limiter by use of a semiconductor element that enables high-speed switching, and its characteristics to restrain fault current, possible applications, effects and the like, which are reported in this paper.

### 1 研究の背景

500kV基幹系統の最近の動向を見ると、第2外輪の完成や新規電源の増設に伴い、故障電流が増加する傾向にあり、将来的には既設電力機器の定格を越えることが予想されている。また、電源の大容量化とともに、その立地場所も需要地から遠隔地化する傾向にあり、電力を安定に、かつ、必要最小限の送電設備で送電することが要求されている。

海外においては、例えば米国EPRIのFACTS (Flexible AC Transmission Systems) などのように、大容量パワー半導体素子を利用して、高速に電力系統の潮流制御を行うことにより、系統の安定度向上や送電容量の増加を図る構想の提案がなされている。

そこで、今回、機械式スイッチに比べて高速なスイッチングが可能な半導体素子を用い、故障発生時の故障電流を高速に抑制するパワーエレクトロニクス技術応用高速限流装置について検討を行った。

### 2 検討した高速限流装置の概要

今回の研究では、500kV基幹系統用として直列コンデンサバイパス型高速限流装置を提案した。

この装置は、第1図に示すように故障電流抑制用限流リアクトルLと直列に、合成リアクタンスが零となる直列コンデンサCを接続した構成となっている。常時は直列コンデンサCと並列に接続した半導体スイッチSWをオフとすることで限流装置がない状態と等価とし、故障発生時には半導体スイッチSWをオンして直列コンデンサCを高速バイパスし、限流リアクトル

Lで故障電流を抑制する。

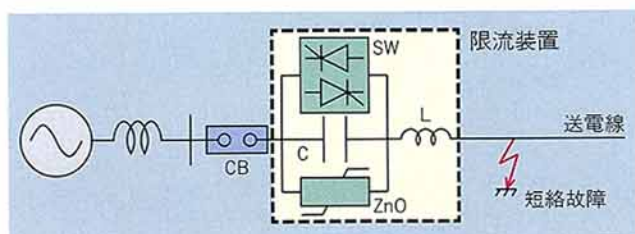
半導体スイッチは、例えば、光点弧式サイリスタを逆並列接続したものをを用いるが、本限流装置では、常時は半導体スイッチに電流が流れないため、通電損失が少ないという特徴を持っている。

また、長距離送電線に設置する場合には、直列接続したコンデンサCと限流リアクトルLの合成リアクタンスを容量性とすることで、常時は系統の直列補償機能により送電容量を増加させることが可能である。さらに、故障電流の高速限流と故障除去後の直列補償によって、故障発生時の発電機の加速・脱調を防止し、系統の安定度を高めることができる。

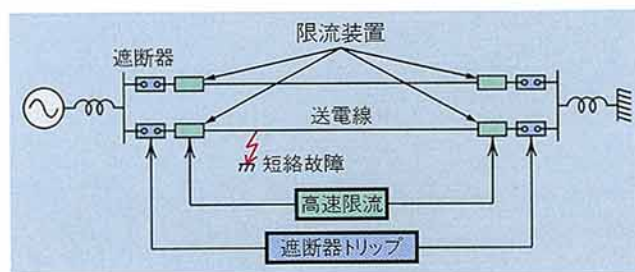
### 3 高速限流装置による限流効果

直列コンデンサバイパス型高速限流装置の限流効果を確認するために、第2図に示すようなモデルシステムを用い、EMTP解析により検討を行った。このモデル系統の定格電圧は500kV、電源の短絡容量は23kAであり、限流率0.5の限流装置を線路両端に配置し、各回線毎の補償度を50%としている。故障条件は送電線の電源側至近端の1回線で3線地絡故障を生じた場合を想定し、限流装置の動作時間は超高速リレーを使用することを仮定して故障発生後5msとした。

第3図はこのときの故障電流を示したもので、(a)図は限流装置の無い場合、(b)図は限流装置を設置した場合である。この図より、限流装置により故障電流がほぼ1/2に抑制されていることがわかる。



第1図 直列コンデンサバイパス型高速限流装置の回路構成



第2図 限流効果確認用モデル系統

## 4 高速限流装置の適用効果

直列コンデンサバイパス型高速限流装置の適用例として、以下に述べる2種類の適用について検討した。

### (1) 系統の短絡容量抑制への適用

#### ①モデル系統

直列コンデンサバイパス型高速限流装置の適用による系統の短絡容量の抑制の可能性を、第4図に示したようなモデル系統を用いて検討した。

このモデル系統では、C線、D線、E線、F線の連系点となっているA開閉所の短絡容量が最も大きく、B変電所の短絡容量がこれに次いで大きくなっている。そこで、この系統に限流装置を適用することで、A開閉所、B変電所の短絡容量を抑制することを検討した。

#### ②限流装置の配置と限流インピーダンス

限流装置の設置箇所としては、第4図のモデル系統のうち、A開閉所、B変電所での故障発生時に故障電流の流入量の多いC線（限流装置1）、E線（限流装置2）の2箇所の設置を想定した。

また、限流装置の適用目的が系統の短絡容量抑制にあるので、系統の安定度への影響を考慮して、故障電流を20%程度限流できるインピーダンスを設定した。

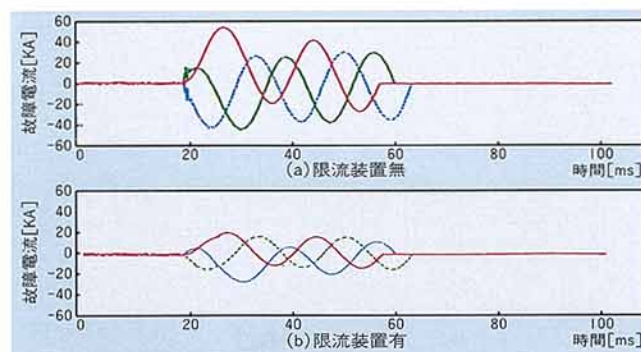
#### ③限流装置適用による短絡容量抑制効果

第4図のモデル系統図中に、限流装置適用前後のA開閉所、B変電所の短絡容量を示した。例えば、A開閉所では63kAの短絡容量が47.3kAにまで低減されていることがわかる。

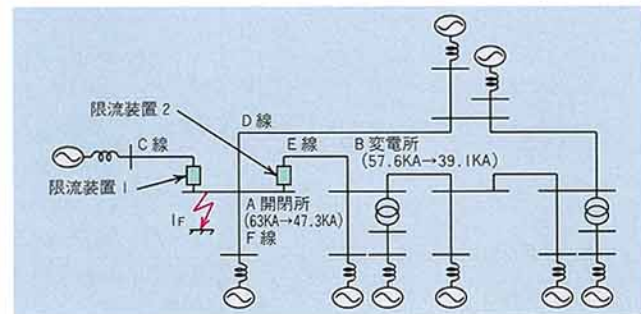
### (2) 長距離大容量電源線の安定度向上への適用

#### ①モデル系統

直列コンデンサバイパス型高速限流装置を長距離大容量電源線に適用することにより、過渡安定度の向上を図り、送電限界容量を上げる可能性について検討した。



第3図 高速限流装置による限流効果



第4図 短絡容量抑制のモデル系統

第5図に今回の検討に用いたモデル系統を示す。この系統は大容量発電機を総亘長250kmの2回線送電線を介して多機系に接続しており、送電線の中央には中間開閉所が設けられている。このモデル系統において発電機至近端で3線地絡故障が発生した場合の限流装置の有無による送電限界容量を解析により検討した。この系統における遮断器と限流装置の配置は第5図に示した通りである。

#### ②限流装置適用による過渡安定度向上効果

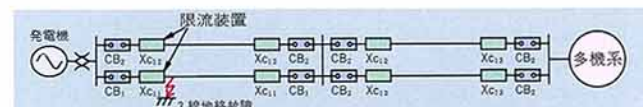
第6図は限流装置無しの場合の発電機出力3600MWの時の過渡安定度の解析結果である。この場合は、故障発生時の電圧低下により発電機が加速し、故障除去後も動揺を抑えきれず、故障発生後1.15sで発電機が脱調している。

第7図は限流装置（限流率0.15，直列補償50%）有りの場合の発電機出力6200MWの時の過渡安定度の解析結果である。この場合は、故障発生後、故障電流を高速限流して発電機の加速を抑えけるとともに、故障除去後、健全回線の直列コンデンサを再挿入して発電機に減速力を働かせることにより、脱調を防止している。

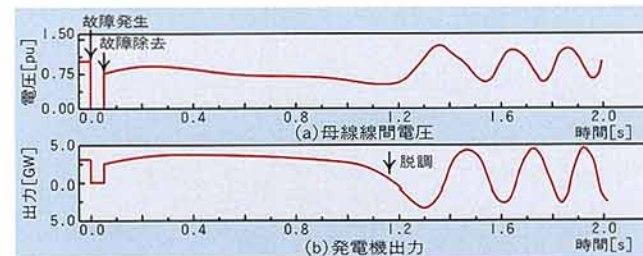
以上の結果から、限流装置を適用することにより、過渡安定度を向上させ、結果的に送電限界容量を1.8倍程度まで増加できることがわかった。

## 5 まとめ

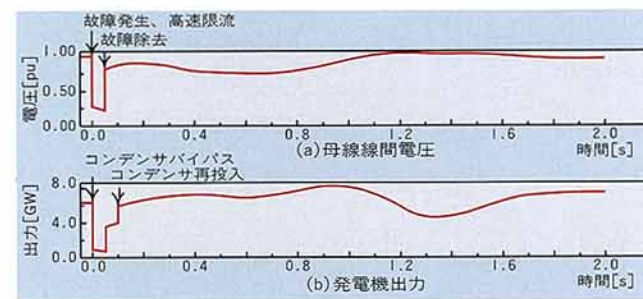
今回の研究により、500kV基幹系統用の限流装置として、常時の通電損失が少ない直列コンデンサバイパス型高速限流装置を提案し、その適用用途として、系統の短絡容量増加対策と大容量長距離電源線の安定度向上について効果の確認を行った。今後は、電力機器の技術動向と電力系統に要求されるニーズを見極めながら、実用化の方向性を探っていきたい。



第5図 長距離大容量電源線のモデル系統



第6図 限流装置無（3600MW送電時の過渡動揺）



第7図 限流装置有（6200MW送電時の過渡動揺）