

# 超電導限流器による無電圧時間の延長に関する検討

学生員 矢 神 雅 規 (北見工業大学)  
 正 員 村 田 年 昭 (北見工業大学)  
 正 員 田 村 淳 二 (北見工業大学)

## A Consideration on the Extension of the Dead Time by Superconducting Fault Current Limiter

Masaki Yagami, Student Member Toshiaki Murata, Member Junji Tamura, Member  
 (Kitami Institute of Technology)

This paper presents the results of analyses of the extension of the dead time by superconducting fault current limiter (SFCL). Although SFCL is generally used for the purpose of limiting of fault currents, it can also be used to stabilize synchronous generators. Therefore, as the transient stability when the fault occurs is enhanced effectively by SFCL, the reclosing time of circuit breakers can be delayed. It means the possibility of unsuccessful reclosing of circuit breakers can be lowered.

キーワード： 超電導限流器 (SFCL)、同期発電機、EMTP、無電圧時間、再開路失敗

### 1. まえがき

故障電流抑制機器である超電導限流器（以下 SFCL と略記）は、限流素子の適当な選定によって故障時の過渡安定度の改善が可能である<sup>(1)</sup>。一方、電力システムの事故復旧操作における遮断器の高速度再開路方式は、故障点のイオン消滅が間に合わず度々再開路失敗を誘起する。再開路失敗は、故障時に続き再度故障電流を発生させ、過渡安定度を悪化させると共にタービン軸系のねじれ疲労を増大させる事故であり、金属短絡のような永久故障以外に無電圧時間（遮断器による故障線の開路指令から開路完了までの時間）の短い高速再開路動作に起因して発生する<sup>(2)</sup>。

本レターでは、SFCL による故障時の過渡安定度の改善効果と無電圧時間との関係から SFCL が導入された系統では無電圧時間の延長が可能であることを示し、再開路失敗確率を減少させるための検討を EMTP/ATP を用いて行ったので報告する。

### 2. 系統構成とシミュレーション条件

本レターで使用したモデル系統を図 1 に示す。同期発電機及び SFCL モデルは参考文献[1]と同じである。但し、限流素子抵抗値は 2.0 (pu)とした。シミュレーションは、図 2 に示すタイムフローに従って行った。故障として#2 送電線発電機至近端に 3LG 故障を  $t=0.1$  (s)に発生させ、 $t=0.2$  (s)に遮断器 (CB)により故障線 (#2)を遮断する。その後、各無電圧時間を経て再開路する。限流器は、SFCL1 動作後  $t=0.2$  (s)の遮断器による開路動作と同時に SW2 を閉じ、SW1 を開放して予備機 SFCL2 へ動作切替を行っている。

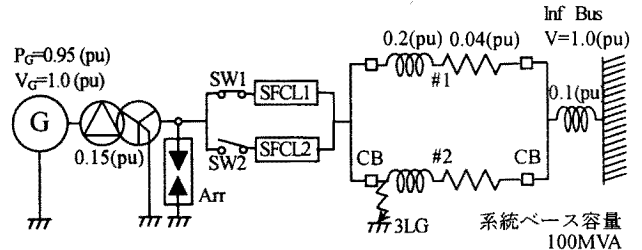


図 1. 系統構成

Fig.1 Model System.



図 2. シミュレーションのタイムフロー

Fig. 2 Time Flow of Simulation.

### 3. シミュレーション結果

図 3 は、3LG 故障発生時において、各無電圧時間 (SFCL なしの場合 20cycle、SFCL ありの場合 75cycle) に対する発電機負荷角応答である。SFCL なしの負荷角動揺は無電圧時間=20 (cycle)と極めて短時間であるにもかかわらず、SFCL ありの場合の無電圧時間=75 (cycle)の動揺より大きく、また減衰に時間を要している。これは、SFCL による過渡安定度の改善効果が無電圧時間の相違が安定度に与える影響に比べて非常に大きいことを示唆している。

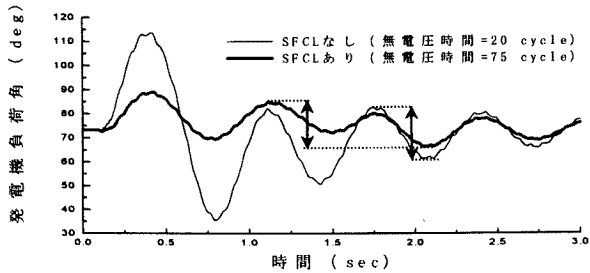


図3. 各無電圧時間に対する発電機負荷角応答  
Fig. 3 Load Angle Waveforms for Each Dead Time.

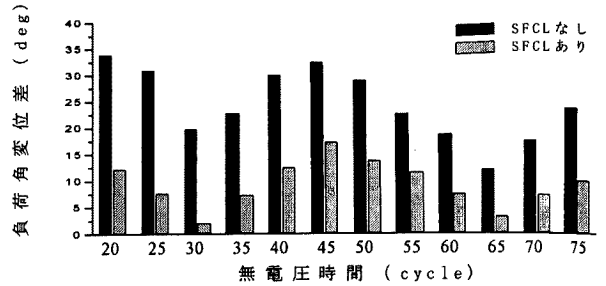


図4. 各無電圧時間に対する発電機負荷角応答変位差  
Fig. 4 Load Angle Variations in Each Dead Time.

図4は、図3中に記した矢印のように再閉路後に現れる発電機負荷角振動の最大値と最小値との差をとったものであり、無電圧時間の違いによって再閉路後の動揺の大きさがかなり異なる様子を示している。これは再閉路投入時の発電機の加減速状態に関係しており、本ケースにおいては図5に示した再閉路せず故障線を開放したままの状態での角速度の応答から、同期速度付近で加速状態にあるときに再閉路すると負荷角の動揺が抑えられることがわかった。尚、波形に高周波振動が重なっているがこれは発電機とタービン間との軸振動によるものである。従って、再閉路後の動揺が最も小さくなるように無電圧時間を選定すれば良いわけであるが、実際には発電機の状態を考慮したエネルギー関数法等による最適再閉路時間の検討等が必要であり<sup>1)</sup>、それほど簡単なことではない。しかし、図4のSFCLありの場合では、全般にわたって再閉路後の負荷角振動が抑制されており、最長の無電圧時間(=75 cycle)の場合でさえSFCLなしの時の最適な無電圧時間(この場合65 cycle)の応答より動揺が抑制されている。

図6は、図1の2回線送電線の1回線あたりのインピーダンスを  $0.0826 + j0.413$  (pu)に変更した場合の各無電圧時間に対する発電機負荷角応答である。この系統定数では、無電圧時間が発電機の安定度に大きく影響を及ぼし、再閉路しないと脱調する極限再閉路時間を有するケースである。SFCLなしの場合、無電圧時間=50 (cycle)の場合に脱調したことから  $t=1.2$  (s)がこの系統での極限再閉路時間であり、同期を保つためにはその時間以内に再閉路しなければならない。SFCLがある場合では、無電圧時間=50 (cycle)はおろか無電圧時間=75 (cycle)の場合でさえ安定を維持していることから、SFCLによる過渡安定度の改善効果が無電圧時間の延長に大きく寄与していることがわかる。

#### 4. まとめ

超電導限流器 (SFCL) により故障時の過渡安定度が改善されるため、無電圧時間の延長が可能であることを確認した。故に、SFCLの適用によって再閉路失敗確率を低減することが可能であると考えられる。

最後に、本研究の一部は科学研究費補助金、基盤研究(C)の補助を受けたことを付記する。(平成13年8月30日受付)

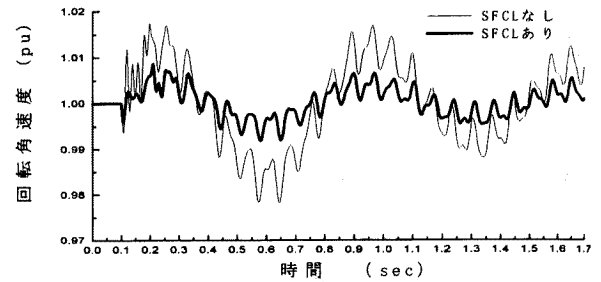
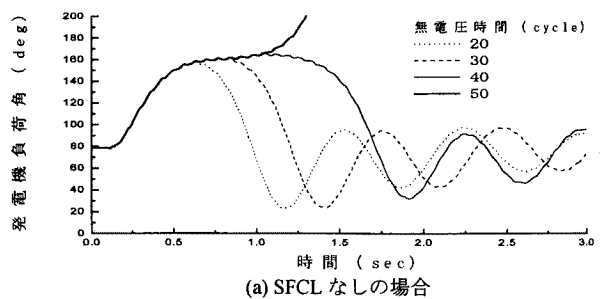
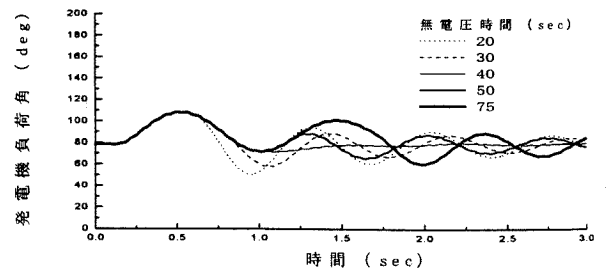


図5. 再閉路なしの回転角速度応答  
Fig. 5 Rotor Speed Waveforms Without Reclosing.



(a) SFCLなしの場合



(b) SFCLありの場合

図6. 送電線インピーダンス= $0.0826 + j0.413$  (pu) 時の各無電圧時間に対する発電機負荷角応答  
Fig. 6 Load Angle Waveforms for Each Dead Time in the Case of Line Impedance =  $0.0826 + j0.413$  (pu).

#### 参考文献

- 1) 泉亭・矢神・村田・田村「不平衡故障時における同期発電機の超電導限流器による安定化に関する検討(続報)」、電学論B, Vol. 120, No. 12, p1624-1634, 2000
- 2) 太田宏次「電力系統の保護制御システム」電気書院
- 3) A.G.Bahbah "Thorough Investigation of the Effect of Line Reclosing on Transient Stability Assessment for Single-Machine-Infinite-Bus Systems", International Journal of Power and energy Systems, Vol.21, No.1, p.43-49, 2001