

자기결합을 이용한 초전도 사고전류 제한기의 사고전류제한 및 회복 특성 모델링

김진석*, 안재민*, 문종필**, 임성훈*, 김재철*, 현옥배***
 *숭실대학교, **기초전력연구원, ***한국전력연구원

Fault Current Limiting and Recovery Characteristics's Modeling of SFCL
 Using Magnetically Coupled Two Coils

Jin-Seok Kim*, Jae-Min Ahn*, Jong-Fil Moon**, Sung-Hun Lim*, Jae-Chul Kim*, Ok-Bae Hyun***
 *Soongsil University, **KEESRI, ***KEPRI

Abstract - In this paper, SFCL using two magnetically coupled coils was modeled and simulated by PSCAD/EMTDC. The simulation was shown that fault current could be adjusted with the inductance ratio and the winding direction of two coils. The limited fault current in case of the additive polarity winding was lower than that of the subtractive polarity. The analysis results were compared with the calculated ones, and both the results agreed.

1. 서 론

전력용량이 점차 증가하면서 단락사고시 사고전류가 증가하고 있다. 이로 인해 사고전류가 증가하면서 차단기의 단락용량을 초과하는 변전소 수가 증가함에 따라 사고전류를 줄이기 위해 고임피던스 전력설비나 직렬리액터를 설치하는 방안이 시도되고 있다. 그러나 이 방법은 평상시 손실발생과 계통에 무효전력을 발생시키게 되어 전력계통 운용에 영향을 미치게 된다. 다른 방안으로는 전력밀집지역에서 모선분리를 실시하고 있으나, 이 또한 인접계통에 과부하나 전압변동과 같은 전력계통의 안정도 저하 등을 감수해야하며, 효과적인 분리방안을 검토해야 한다[1].

최근에 효과적으로 계통의 변경없이 신속한 단락사고의 감소와 계통보호를 할 수 있는 초전도 사고전류 제한기에 대한 연구가 활발히 진행중이다. 초전도 사고전류 제한기는 빠른 시간내에 사고전류를 감지하여 보호기나 계통에 미치는 영향을 감소시킬 수 있을 것으로 기대하고 있다. 지금까지 개발된 초전도 사고전류 제한기는 저항형, 유도형등이 있다[2-3].

본 논문에서는 자기결합을 이용한 초전도 사고전류 제한기 특성을 PSCAD/EMTDC를 사용하여 모델링하고, 결선방향(감극, 가극)이나 1차, 2차 턴수비에 의한 설계조건 변화에 따라 단락사고시 발생하는 사고전류 제한특성 변화를 비교하여 분석하였다.

2. 본 론

2.1 구조 및 동작원리

자기결합을 이용한 초전도 사고전류 제한기는 두 개의 코일과 고온 초전도 소자로 구성된다. 두 개의 코일은 철심을 매개로하여 병렬로 연결되고, 고온 초전도 소자는 두 코일 중 하나와 직렬로 연결되고 다른 코일과 병렬로 결선되어 있다. 본 논문에서는 그림 1의 등가모델을 이용하였다. 평상시 초전도 소자는 초전도 상태로 영저항을 유지하게 되며 이로 인해, 두 코일에서 발생하는 자속은 서로 상쇄하게 된다. 따라서 각, 코일의 전압은 유기되지 않고 단락회로로 동작된다. 하지만 단락사고가 발생하면 두 코일에 흐르는 전류가 증가하고, 초전도 소자가 임계전류값을 넘으면서 저항이 발생하여 두 코일에서 발생하

는 자속이 상쇄되지 못하고 전압이 유기되어 사고전류를 제한하게 된다. 이때, 두 코일의 결합상태(감극, 가극) 또는 턴수비에 따라 초전도 사고전류 제한기의 임피던스가 변하게 된다[3].

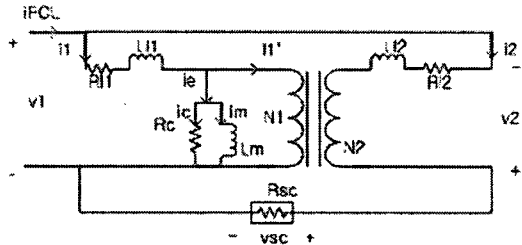


그림 1. 자기결합을 이용한 초전도 사고전류 제한기의 등가모델

2.2 등가회로 분석

자기결합을 이용한 초전도 사고전류 제한기는 두 코일과 고온 초전도 소자가 변압기형태의 자기결합구조로 병렬연결되어 있다. 등가회로에서 누설인덕턴스와 철손저항을 무시한다면 다음 식들을 유도할 수 있다.

$$v_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \pm R_{l1} i_1 \quad (1)$$

$$i_{FCL} = i_2 \pm i_1 \quad (2)$$

$$v_{sc} = v_1 \pm v_2 \quad (3)$$

식 (1), (2), (3)에서 (+), (-)는 두 코일의 감극, 가극결합형태에 따라 결정된다. 두 코일이 연결된 철심에서 포화가 발생하지 않는 이상적인 결합이라면, 위의 식으로부터 i_{FCL} 을 아래와 같이 정리할 수 있다.

$$i_{FCL} \approx v_1 \cdot \frac{\left(\frac{N_1 \pm N_2}{N_1} \right)^2}{R_{sc}} \quad (4)$$

식 (4)에서 가극결합은 턴수비(N_2/N_1)가 클수록, 감극결합은 턴수비가 작을수록 사고전류 제한의 효과가 크고, 감극결합보다 가극결합이 사고전류 제한에 효과가 더 클 것으로 분석할 수 있다[3-4].

2.3 제한기 모델링

자기결합을 이용한 초전도 사고전류 제한기는 그림 1의 등가모델을 PSCAD/EMTDC를 사용하여 모델링하였다. 그림 2는 모델링된 등가회로를 보여준다. 자기결합에 사용된 변압기는 포화특성이 없는 이상적인 변압기를 사용하였다. 모델링에 사용된 변수는 주파수 60[Hz], 전원

전압 50[V_{rms}], 부하저항 50[Ω], 선로저항 1[Ω], SFCL의 상전도저항 10[Ω]으로 모의하였다. 모델링에 반영한 그림 3은 자기결합을 이용한 초전도 사고전류 제한기의 초전도 소자의 켄치 및 회복시 저항곡선을 보여준다.

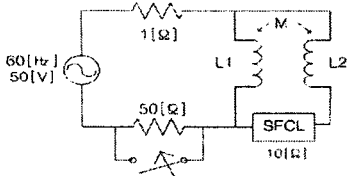


그림 2. 자기결합을 이용한 초전도 사고전류 제한기

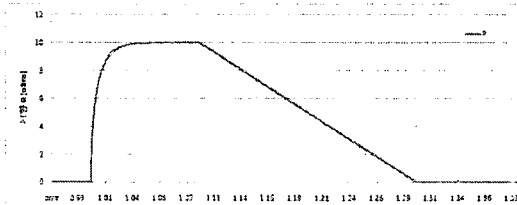


그림 3. SFCL의 켄치 및 회복시 저항곡선

2.4 결과 및 분석

그림 4는 사고 발생과 제거에 따른 두 코일의 자기결합을 이용한 초전도 사고전류 제한기의 초전도 소자 전류, 전압과 저항곡선을 보여준다. 그림 4.(c)는 모델링된 초전도 소자에 사고시 발생하는 전압(그림 4.(a))과 전류(그림 4.(b))에 의한 초전도 소자 저항이며 그림 3과 비슷한 형태로 초전도 소자가 정상적으로 동작하는 것을 확인할 수 있었다.

그림 5는 단락사고시 발생한 사고전류가 자기결합 요소 중 하나인 턴수비에 따라 제한되는 특성을 보여주고 있다. 또한, 각 그림에서 결선방향(감극, 가극)에 따른 사고전류 제한특성도 보여주고 있다. 사고발생시 i_{FCL} 은 약 1.05초부터 1.1초까지 상전도저항(10[Ω])으로 제한되고 그 값은 식 (6)에서 알 수 있다. 여기서 턴수비 관계는 등가 회로 분석에서 예상했던 것과 같이 동일함을 확인할 수 있었다.

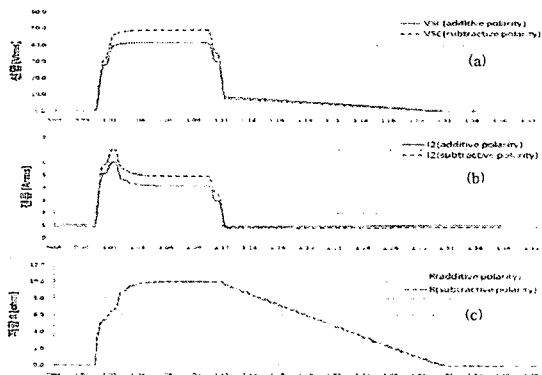


그림 4. 자기결합을 이용한 초전도 사고전류 제한기의 전압, 전류와 저항특성

- (a) 사고 및 회복시 초전도체에 걸리는 전압
- (b) 사고 및 회복시 초전도체에 흐르는 전류
- (c) 사고 및 회복시 초전도체의 저항특성

$$i_{FCL} \approx 50 \cdot \frac{(N_1 \pm N_2)^2}{N_1} = 5 \cdot \left(\frac{N_1 \pm N_2}{N_1} \right)^2 \quad (6)$$

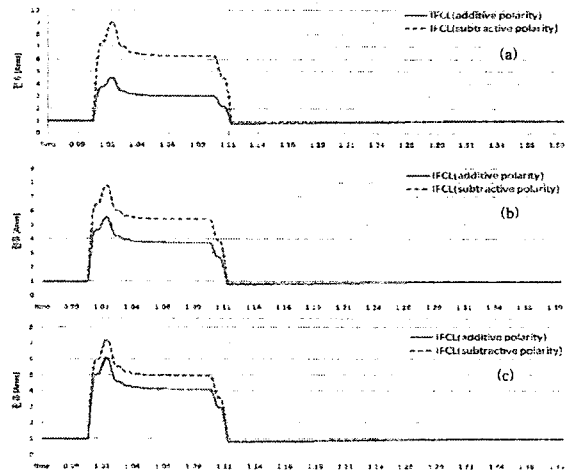


그림 5. 턴수비(N_2/N_1)에 따른 사고전류 제한특성

- (a) $N_2/N_1 = 1/5$
- (b) $N_2/N_1 = 1/10$
- (c) $N_2/N_1 = 1/20$

3. 결 론

본 논문에서는 자기결합을 이용한 초전도 사고전류 제한기의 사고전류 제한특성을 모델링하였고, 자기결합을 이루는 두 코일의 결선방향(감극, 가극)과 턴수비에 따라 사고발생시 제한되는 사고전류크기를 확인하였다.

사고전류 제한효과가 선형적으로 증가하는 것이 아니므로 사고전류를 제한하는 크기에 대해 두 코일의 결선방향과 턴수비를 결정짓는 방법에 대한 실험과 분석을 수행할 계획이다.

감사의 글

“본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.”

[참 고 문 헌]

- [1] E. Thuries, V. D. Pham, Y. Laumond, T. Verhaege, A. Fevrier, M. Collet, and M. Bekhaled, "Toward the superconducting fault current limiter", *IEEE Trans. On Power Del.*, Vol. 6, No. 2, pp. 801-808, April 1991.
- [2] H. Yamaguchi, T. Kataoka, K. Yaguchi, S. Fujita, K. Yoshikawa, and K. Kaiho, "Characteristics Analysis of Transformer Type Superconducting Fault Current Limiter", *IEEE Trans. On Appl. Supercond.*, Vol. 14, No. 2, pp. 815-818, June 2004.
- [3] S. H. Lim, H. S. Choi, and B. S. Han, "Fault Current Limiting Characteristics due to Winding Direction between Coil 1 and Coil 2 in a flux-lock type SFCL", *Physica C*, Vol. 416, pp. 34-42, November 2004.
- [4] S. H. Lim, T. H. Han, S. W. Yim, H. S. Choi, and B. S. Han, "Current Limiting Characteristics of a Flux-Lock Type SFCL Dependent on Fault Angles and Core Saturation", *IEEE Trans. On Appl. supercond.*, Vol. 17, No. 2, pp. 1827-1830, June 2006.