자속결합형 초전도 한류기의 2차측 초전도 소자 증가에 따른 특성

정병익, 조용선, 최효상, 정동철
조선대학교, 우석대학교

Characteristics of Flux-Coupling Type Superconducting Fault Current Limiter according to increase the Superconducting Units in the Secondary Windings.

Byung-Ik Jung, Yong-Sun Cho, Hyo-Sang Choi, Dong-Chul Chung
Chosun University, Woosuk University

Abstract - 전력계통 적용을 위한 초전도 한류기의 개발에서 빠질 수 없는 것이 용량 증대 방안이다. 여기서는 자속결합형 초전도 한류기의 용량 증대 측면에서 2차측 초전도 소자의 수를 늘렸을 때 사고전류 제한 특성과 초전도 소자의 퀜치 특성을 분석하였다. 소자의 수가 증가함에 따라 사고전류의 크기는 조금 증가 하는 것을 확인할 수 있었고, 초전도 소자의 전압은 크게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 초전도 소자 하나가 부담하던 사고전류를 분담하였기 때문에 소자의 부담이 줄어든 것이다. 실험을 통해 초전도 소자의 퀜치시간도 알 수 있었는데 초전도 소자가 증가함에 따라서 퀜치시간이 길어졌다. 이것은 초전도 소자의 퀜치 시점이 늦어져 빠른 스위칭 동작을 할 수 없게 된다는 것이다. 초전도 소자의 수 증가는 소자의 부담을 감소시키고 용량증대를 측면에서는 장점이지만 스위칭 동작측면에서는 단점으로 작용한다.

1. 서 론

현재의 국내 전력계통에서는 사고 발생시 매우 큰 파급효과를 가져온다. 계통이 복잡해지고 설비 용량이 증대됨에 따라 이에 맞는 보호 설비의 확충이 절실하게 되었다. 이러한 보호기기 중 하나인 사고 전류제한기는 정상시 손실 없이 동작하다 계통 사고시 큰 임피던스를 발생시켜 사고를 제한하게 된다. 이러한 초전도 한류기는 현재 국내외적으로 많은 개발이 진행 중이며 현재 상용화 단계에 접어들었다. 하지만 한류기의 용량 증대나 사고를 제한하는 동작시간이 원하는 사양을 충족시키지 못하기 때문에 아직도 많은 노력을 기울이고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 기초적이 실험이 뒷받침 되어야 한다. 또한 경제적인 면을 고려하여 최소한의 초전도 소자를 사용하면서 효과적으로 사고전류를 제한하는 것도 필요하다[1-4]. 본 논문에서는 변압기의 2차측에 초전도 소자를 1개, 2개, 3개로 증가시키며 용량 증대 측면을 위한 실험을 실시하였고, 이때의 초전도 소자에서 발생하는 전압, 전류, 퀜치 특성을 비교하였다.

2. 본 론

2.1 실험 장치 및 원리

그림 1은 자속결합형 초전도 사고전류 제한기의 실험 회로도를 나타낸 것이다. N_1은 1차측 리액터, N_{2-1}, N_{2-2}, N_{2-3}는 2차측 리액터의 턴수를 나타낸 것이고, V_1, V_{2-1}, V_{2-2}, V_{2-3} ($=V_{SCA}, V_{SCB}, V_{SCC}$)는 각각 1차측 리액터 전압, 2차측 리액터 전압, 2차측 초전도소자의 전압을 나타낸다.

자속결합형 초전도 사고전류 제한기의 동작 특성은 1차측 코일과 2차측 코일에 유기되는 전압에 의해서 설명되는데 식 (1), (2)로 나타낸다.

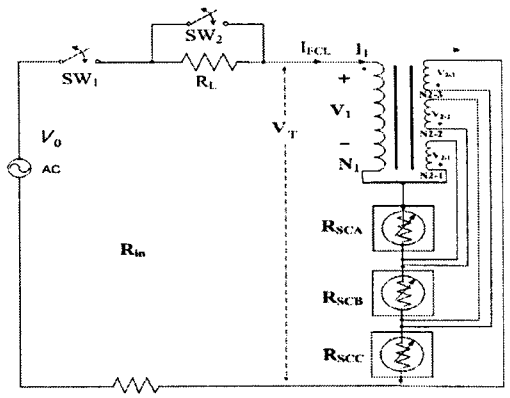


그림. 1 자속결합형 한류기의 실험 회로도

$$V_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

$$V_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

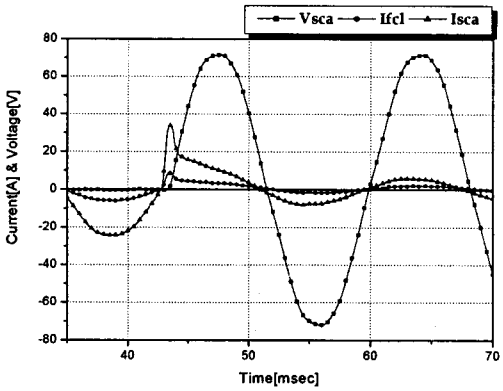
여기서 전체전압(V_T)은 식 (3)과 같이 표현된다.

$$V_T = (N_1 \pm N_2) \cdot \frac{d\phi}{dt} = V_1 + V_2 \quad (3)$$

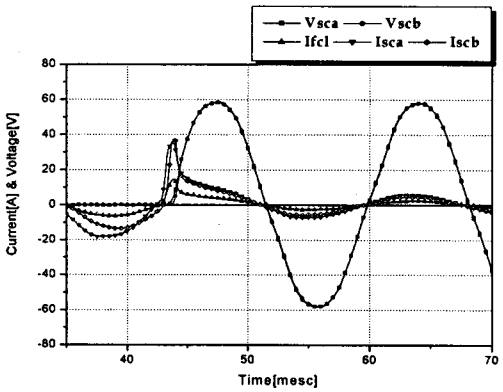
정상상태에서 초전도 소자의 저항은 0이므로 초전도 소자의 양단전압(V_{SC})은 0[V]가 된다. 이때 초전도 소자와 병렬로 연결된 2차측 코일에서 발생하는 전압(V_2)도 0[V]가 된다. 식 (2)에서 $N_2 \neq 0$이므로 누설 자속이 없다고 가정하면 $d\Phi/dt = 0$이 성립한다. 따라서 식 (1)을 통해서 1차측 전압(V_1)도 0[V]가 된다. 식 (3)에서 $N_1, N_2 \neq 0$이므로 $d\Phi/dt = 0$은 항상 성립된다. 따라서 전체전압 $V_T = 0$이 유도되어 아무런 손실 없이 동작한다. 사고시에는 초전도 소자에 의해 전압이 유기되고, 병렬로 연결된 2차측 코일에도 같은 크기의 전압이 발생하게 된다. 2차에서 발생한 자속 Φ로 인하여 1차측 전압(V_1)을 유기하게 된다. 따라서 전체전압(V_T)은 식 (3)에 의해 유기되게 된다.

2.2 실험 방법

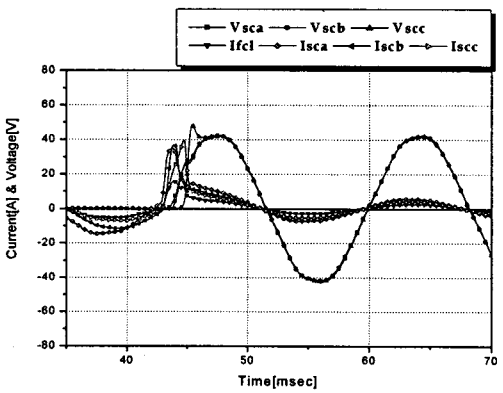
그림 1의 회로도는 초전도 소자가 3개가 연결된 상태를 나타낸다. 초전도 소자 증가에 따른 특성을 비교하기 위해서 소자의 수를 1개, 2개, 3개로 증가시켰다. 인가전압은 $360/\sqrt{3}$ [V]로 고정하였고, 변압기 1차측과 2차



(a) 초전도 소자 1개



(b) 초전도 소자 2개



(c) 초전도 소자 3개

그림. 2 자속결합형 초전도 한류기의 전압 전류 곡선

측 턴수비는 3:1 고정하였고 소자수가 증가함에 따라서 2차측에 연결된 리액터도 함께 증가 시켰다. 전류를 측정하기 위한 표준저항(R_{in})과 부하저항(R_L)은1[Ω]50[Ω]으로 하였다. 여기에 사용되는 초전도 소자들의 임계전류 크기는 19.8[A]정도로 저온 용기 내의 액체 질소 안에 존재하게 된다. 초전도 소자는 퀜치되기 전까지 초전도 특성을 유지하여 전력손실(I^2R) 없이 동작하다가 사고시 퀜치되어 사고전류를 제한하게 된다. 그림 1에서 SW_1을 ON시켜서 전원 전압을 투입 하였다. 그리고 사고 발생을 모의하기 위해서 SW_2를 ON시켜서 사고를 발생시켰다.

2.3 실험 결과

그림 2의 그래프는 사고전류의 크기, 초전도 소자에 흐르는 전류와 발생하는 전압의 크기를 소자 수에 따라

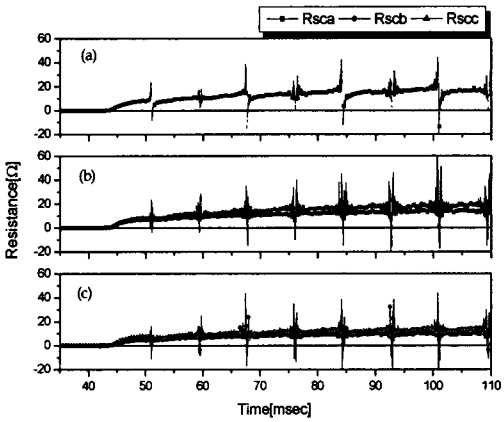


그림. 3 초전도 소자의 저항 곡선

나타낸 것이다. 초전도 소자의 수가 증가함에 따라 사고전류의 최대값은 8.92, 14.53, 16.18[A]로 증가하는 경향을 보였다. 이것은 초전도 소자와 병렬 연결된 변압기 2차측 코일의 영향으로 전체 임피던스가 줄어들었기 때문으로 보인다. 초전도 소자에 발생하는 전압의 크기는 72.1, 58.56, 42.04[V]로 소자 수가 증가함에 따라 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 초전도 소자가 직렬로 연결되었기 때문에 전압 분배가 이루어져 각각의 초전도 소자가 부담하는 전력 부담이 줄어든 것이다. 각각의 첫 번째 초전도 소자가 퀜치되는 시간은 각각 0.45, 0.55, 0.57[msec]로 소자의 수가 증가함에 따라 퀜치시간이 느려진다는 사실을 확인할 수 있었다. 이것은 용량 증대를 위해 많은 수의 초전도 소자를 연결할 경우 스위칭 속도가 느려지게 되어 좋지 않을 것으로 사료된다.

그림 3은 초전도 소자에서 발생하는 저항의 크기를 비교한 그래프이다. (a)는 초전도 소자 1개, (b)는 초전도 소자 2개, (c)는 초전도 소자 3개일 때의 각각의 초전도 소자에서 발생하는 저항의 크기를 나타낸다. 초전도 소자의 수가 증가함에 따라서 저항의 크기가 작아지는 것을 볼 수 있었다. 그리고 각각의 실험에서 발생한 초전도소자의 저항 값은 비슷한 크기를 나타내었고, 이로써 초전도 소자가 받는 부담이 잘 분배되었다고 할 수 있다.

3. 결 론

자속결합형 초전도 한류기의 계통적용을 위해서는 용량 증대가 필수적이다. 그러기 위해서 초전도 소자의 수를 증가시켰을 경우의 사고전류 제한 특성 및 초전도 소자의 퀜치 특성을 비교 분석하였다. 소자의 수가 증가함에 따라 사고전류의 크기는 증가하였는데 이것은 전체 임피던스의 감소에서 기인한 것이다. 초전도 소자의 전압은 감소하는 경향을 보였는데 이것은 전압 분배가 이루어져 초전도 소자 한 개가 부담하는 전력 부담이 감소하였기 때문이다. 용량 증대를 위해선 더 많은 초전도 소자의 연결이 필요하다. 그러나 초전도 소자의 수가 증가함에 따라서 퀜치되는 시간이 점점 길어진다는 것을 확인 할 수 있었다. 초전도 한류기의 특성에 있어서 빠른 스위칭 동작도 빼놓을 수 없는 사항이므로 이점을 고려하여야 할 것으로 사료 된다.

[참 고 문 헌]

[1] Hyo-Sang Choi, Na-Young Lee, Young-Hee Han, Tae-Hyun Sung Byoung-Sung Han., "The Characteristic Analysis Between Flux-Coupling and Flux-Lock Type SFCL According to Variations of Turn Ratios", IEEE Trans. on Appl.Supercond, vol. 18, No. 2, pp. 737~740, June, 2008.

[2] H. S. Choi, H. M. Park, Y. S. Cho, S. H. Lim, and B. S. Han, "Quench characteristic of current limiting elements in a flux-lock type superconducting fault current limiter," IEEE Trans. Appl, Superconduct., vol. 16, pp. 670-673, June 2006.

[3] S. H. Lim, "Fault current limiting characteristics of separated and integrated three-phase flux-lock type SFCLs," Journal of Electrical Engineering & Technology, vol. 2, no. 3, pp. 289-293, 2007.

[4] H. S. Choi, S. H. Lim, "Operating Performance of the Flux-Lock and the Transformer Type Superconducting Fault Current Limiter Using the YBCO Thin Films," IEEE Trans. Appl, superconduc, vol. 17, pp. 1823-1826, June 2007.