

삼상 자속구속형 한류기의 동작모드분석

황종선*, 최효상**, 박형민**, 조용선**, 이나영**, 남궁현**, 한태희**
*전남도립남도대학 컴퓨터응용전기과, **조선대학교 전기공학과

The Analysis of Operation Mode of Three-Phase Flux-Lock Type Superconducting Fault Currents Limiter

Jong-Sun Hwang*, Hyo-Sang Choi**, Hyoung-Min Park**, Youn-Sun Cho**, Na-Young Lee**, Gueng-Hyun Nam**,
Tea-Hee Han**

*Department of Electrical Engineering, Namdo Provincial College,

**Department of Electrical Engineering, Chosun University

Abstract

We investigated the analysis of operation mode of three-phase flux-lock type superconducting fault current limiter(SFCL). The structure of the integrated three-phase flux-lock type SFCL consisted of three-phase flux-lock reactor wound on an iron core with the same turn between coil 1 and coil 2 in each phase. When the SFCL is operated under the normal condition, the flux generated in the iron core is zero because the flux generated between two coils of each single phase is canceled out. Therefore, the SFCL's impedance is zero and the SFCL has negligible influence on the power system, However, if a fault occurs in any single-phase among three phases, the flux generated in the iron core is not zero any more. The flux makes elements of all phase-quench irrespective of the fault type, which reduces the current of fault phase as well as the current of sound phase.

Key Words : flux-lock reactor, flux-lock type superconducting fault current limiter (SFCL), three phase

1. 서 론

현재 국내의 전력계통은 송전선로 짧고 전력공급의 신뢰도 향상을 위하여 네트워크화 되어있다. 급속한 산업발전에 따라 전력수요는 지속적으로 증가하고 있으며 이는 전력계통의 복잡화와 계통 임피던스의 감소를 야기하게 되었고 이에 따라 단락사고로 인한 고장전류는 점점 증가하고 있는 추세이다[1]. 이러한 고장전류 대책으로 여러 가지 방안이 시행되고 있으나 기술적 경제적으로 많은 문제점이 있다. 최근에 전력계통에서 고장전류에 대한 대책으로 초전도 한류기가 제시되면서 많은 연구가 세계적으로 활발하게 진행되고 있다[2-3]. 초전도 한류기는 전기저항이 제로가 되는 초전도 특성을 이용하여 정상 운전 시에는 저항이 전혀 없다가 계통에 고장이 발생시에 별도의 감지 장치 없이 스스로 저항이 발생하는 신 개념의 보호기기이다. 초전도 한류기를 계통에 적용시 고정전류가 감소하여 계통의 안정도가 향상된다는 장점을 가지면서 동시에 기존차단기의 교체시기를 늦출 수 있어서 경제적인 파급효과를 가져 올수 있다. 이러한 초전도 한류기 중 자속구속형 한류기는 초전도의 영저항 특성을 이용하기 때문에 저항형 초전도 한류기로 볼 수 있다. 자속구속형 한

류기는 인덕턴스의 조절로 사고전류를 조절할 수 있고, 단의소자의 통전 전류 및 한류저항이 증가하는 구조로 되어 있다. 자속구속형 한류기는 정상 작동시 철심에 교류자속이 발생되지 않지만 사고전류가 임계전류를 초과하면 초전도 소자에 저항이 급격히 발생하게 되고 이로 인해 쇄교 자속의 시간적인 변화가 생긴다. 결국 저항과 인덕턴스로 전류를 제한하는 방식이다. 본 논문에서는 자속구속형 한류기의 삼상계통에 적용 하기 위하여 동작모드를 감극, 가극 결선시 나누어 분석하였다.

2. 실험

2.1 구조 및 동작원리

일체화된 삼상 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 구조는 그림 1과 같이 하나의 철심코어를 매개로 각 상의 1, 2차 코일의 권선비가 동일한 세 개의 자속구속 리액터와 각 상의 자속구속 리액터에 연결된 고온초전도 소자, 고온초전도 소자의 초전도 상태를 유지시키기 위한 저온장치(cryostat)로 구성된다. 각 상의 자속구속 리액터는 단상 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 구조와 같이 코일 1, 2는 쇄교 자속의 증감 여부에 따라 가극성 또는 감극성으

로 병렬 연결되어 있으며, 코일 2에 고온초전도 소자가 직렬 연결되어 있다. N_1, N_2 를 코일 1, 2의 권선수라 하고 각 상의 코일에 유기되는 전압을 V_{i1}, V_{i2} ($i = a, b, c$)라 하고, 각상의 코일1, 2에서 만들어진 쇄교 자속을 Φ_i ($i = a, b, c$)라 하면 각상의 코일의 전압과 철심코어의 총 쇄교 자속은 식 (3)로 표현된다.

$$V_{i1} = N_1 \frac{d\Phi_i}{dt} \quad (1)$$

$$V_{i2} = \pm N_2 \frac{d\Phi_i}{dt} \quad (2)$$

$$\Phi = \Sigma \Phi_i \quad (i = a, b, c) \quad (3)$$

사고전의 고온초전도 소자의 양단전압은 영이 되므로 각 상의 코일 1과 코일 2의 양단 전압은 같게 되어 식 (4)가 성립된다.

$$(N_1 \pm N_2) \frac{d\Phi_i}{dt} = 0 \quad (i = a, b, c) \quad (4)$$

여기서 $N_1 \pm N_2 \neq 0$ 이 성립하면 $\frac{d\Phi_i}{dt} = 0$ ($i = a, b, c$) 성립되어 사고전에 각 코일에 유기되는 전압과 철심 코어의 쇄교 자속은 식 (5)와 (6)과 같이 0으로 나타난다.

$$V_{i1} = V_{i2} = 0 \quad (i = a, b, c) \quad (5)$$

$$\Phi = \Sigma \Phi_i = 0 \quad (i = a, b, c) \quad (6)$$

결국, 식 (5)와 식 (6)에서 단상 자속구속형

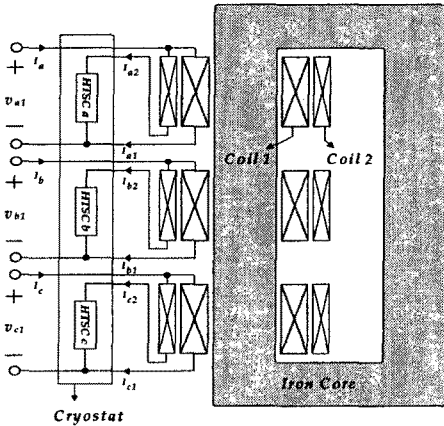


그림 1. 일체화된 삼상 자속구속형 고온초전도 한류기의 구조

고온초전도 한류기처럼 삼상 일체화된 자속구속형 고온초전도 한류기의 정상 운전시에 철심에 교류자속이 발생되지 않으므로 철손이 발생되지 않는 것을 확인할 수 있다.

단상과 다른 점은, 어느 한상에서라도 사고가 발생하여 임계전류를 넘는 전류가 고온초전도 소자에 흐르게 되면 발생한 소자의 저항으로 사고가 발생한 상에서 쇄교 자속이 발생하게 되고 이로 인해 철심 코어의 총 쇄교 자속에 변화가 생겨 식 (5)와 (6)은 더 이상 성립되지 않으며 각 코일에 전압이 유기된다. 이로 인해 사고가 발생하지 않은 건전상에서도 고온초전도 소자에 흐르는 전류가 일제 값을 넘게 되어 켄치를 유발시킬 수 있다.

일체화된 삼상 자속구속형 고온초전도 전류제한기의 전류, 전압관계는 코일 1, 2의 결선방향에 따라 감극 결선시 동작과 가극 결선시 동작으로 나누어 분석할 수 있으며, 단상자속구속형 고온초전도 전류제한기의 결선방향에 따른 전류, 전압관계와 동일하다.

3. 결과 및 고찰

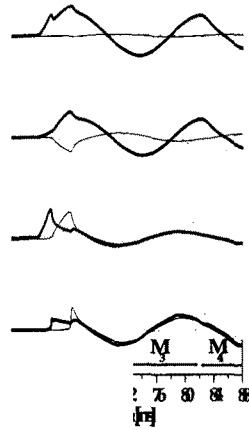


그림 2. 감극결선시 모드분석을 위한 파형 (a상 1선 지락사고)

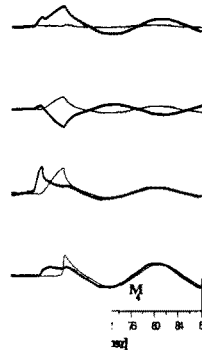


그림 3. 가극결선시 모드분석을 위한 파형 (a상 1선 지락사고)

그림 2와 3은 일체화된 삼상 자속구속형 고온초전도 한

류기의 전류제한 동작모드 분석을 위해 감극·가극 결선한 경우의 a 상 1선 지락 사고시 동작과형을 나타내고 있다.

그림 2와 3에서와 같이 사고후 전류제한 동작모드는 크게 4가지 모드로 나누어 분석할 수 있다. 모드 1(M₁)은 사고후 사고상인 a 상의 각 코일에 흐르는 전류가 급격히 증가하는 구간이며 코일 2에 흐르는 전류가 고온초전도 소자의 임계전류 값(I_c)에 도달되면 끝나게 된다. 모드 2(M₂)는 사고상인 a 상의 고온초전도 소자에서 저항이 발생하는 순간부터 건전상인 b 상의 고온초전도 소자에 저항이 발생하기 전까지의 구간이며, 이 구간에서 사고상의 사고전류는 제한되기 시작하고 코일 1과 2에 흐르는 전류가 증가되기 시작한다. 모드 3(M₃)은 b 상의 고온초전도 소자에 저항이 발생한 순간부터 c 상의 고온초전도 소자에 저항이 발생하기 전까지의 구간이다. 마지막으로, 모드 4(M₄)는 사고상 뿐만 아니라 건전상의 모든 고온초전도 소자에서 저항이 발생되어 사고 전류를 제한하는 구간에 해당된다.

4. 결 론

본 논문에서는 일체화된 삼상 자속구속형을 설계 제작하였고, 결선방향을 달리하면서 전류제한 동작 모드를 분석하였다. 모드 1은 고온초전도 소자의 켄치가 빠르게 진행될 경우 짧아지게 된다. 모드 2는 사고상에 의해 발생된 철심코어 내부 자속의 크기에 따라 진행상태가 달라진다. 모드 3은 사고유형에 따라서 이 구간에서 진행상태의 큰 차이를 보이며, 가극 결선한 경우와 같이 초전도 소자가 동시에 켄치된 경우 존재하지 않을 수도 있음을 확인 할 수 있다.

참고 문헌

- [1] 김준환, 이강완, “전력계통, 고장전류 증대와 대응방안”, 전기저널, p.19-31, 1998
- [2] E. Thuries, V.D Pham, Y. Laumond, T. Verhaege, A. fevrier. M. Collet and M. Bekhaled, “Towards the superconducting fault current limiter” IEEE Trans. on Power Del. Vol 6, p.801-808, 1991
- [3] W. paul, M. Chen, M. Lakner, J. Rhyner, D. Braun, W. Lanz, “Fault current limiter based on high temperature superconductorsdifferent concepts, test results, simulations, applications”, Physica C, Vol. 354, No.1-4, p.27-33, May, 2001