

하이브리드 방식을 적용한 배전급 초전도 한류기 개발

이방욱*, 박권배*, 심정욱*, 오일성*, 임성우**, 김혜림**, 현옥배**
 * LS산전 전력연구소, ** 한전 전력연구원

Hybrid Superconducting Fault Current Limiters for Distribution Electric Networks

B.W. Lee*, K.B. Park*, J. Sim*, I.S. Oh*, S.W. Lim**, H.R. Kim**, O.B. Hyun**
 * Electrotechnology R&D Center LS Industrial Systems, ** KEPRI

Abstract - In order to apply resistive superconducting fault current limiters into electric power systems, the urgent issues to be settled are as follows, such as initial installation price of SFCL, operation and maintenance cost due to ac loss of superconductor and the life of cryostat, and high voltage and high current problems. The ac loss and high cost of superconductor and cryostat system are main bottlenecks for real application. Furthermore in order to increase voltage and current ratings of SFCL, a lot of superconductor components should be connected in series and parallel which resulted in extreme high cost. Thus, in order to make practical SFCL, we designed novel hybrid SFCL which combines superconductor and conventional electric equipment including vacuum interrupter, power fuse and current limiting reactor. The main purpose of hybrid SFCL is to drastically reduce total usage of superconductor by adopting current commutation method by use of superconductor and high fast switch. Consequently, it was possible to get the satisfactory test results using this method, and further works for practical applications are in the process.

하이브리드 초전도 한류기이다.

2. 본 론

2.1 하이브리드 초전도 한류기 개념

앞서 언급했듯이, 초전도 한류기가 초전도 소자의 특성에만 의존해서는 실용화 및 상업화되기에는 향후에도 상당한 기술적 난관 및 시간이 필요하리라 사료된다. 따라서 초전도 한류소자의 사용량 저감 및 안정성 확보라는 양 요소가 충족되어지는 새로운 한류기가 필요하다고 할 수 있다. 본 논문에서 제시하고자 하는 하이브리드 초전도 한류기기술은 초전도 한류소자의 사용량을 극히 최소화하고, 기존의 고속 스위치, 리액터, 전력전자 소자 등 기존의 전력기들과의 조합을 통해 값싸고 경제성 있으며 신뢰성을 갖는 하이브리드 초전도 한류기를 만드는 것이다.

하이브리드 초전도 한류기가 해결하고자 하는 과제 및 방안을 요약하면 표 1과 같다.

1. 서 론

최근 전력수요의 폭발적인 증가에 따라 전원설비와 송변전계통의 지속적인 증설이 이루어져 전력계통의 등가임피던스는 점점 작아지고 있다. 이로 인하여 전력계통 사고발생시 고장전류의 크기는 계속 커지고 있는 실정이다. 이에 대한 대비책으로 계통의 단락사고를 효과적으로 제한하여 계통의 신뢰성을 높일 수 있는 한류기술에 대한 관심이 커지고 있다.

전력계통에서의 초전도 한류기(Superconducting Fault Current Limiters)의 역할은 계통사고로 인한 고장전류 발생 시 전력계통에 가해지는 기계적, 열적, 전기적 스트레스를 제한시키는 것이다. 하지만 실제적으로 계통에 적용 가능한 초전도 한류기기술의 개발은 기술적 어려움과 상업화의 난점으로 인해 계속 지연되고 있는 실정이다. 초전도 한류기는 ABB, Siemens, Nexans, Toshiba, Sumitomo 등 여러 해외 선진업체에서 주도적으로 개발을 진행해 왔지만, 배전급 이하 Prototype 이외에는 실제로 전력계통에 적용할 만한 제품 개발이 진행되지 못하고 있을 뿐만 아니라 송전급 초전도 한류기 개발은 기술적인 난관뿐만 아니라 막대한 초전도 소자 및 냉각 비용으로 인해 개발 가능성이 불투명한 실정이라 할 수 있다.

특히 초전도 한류기는 이상적인 한류기로서의 전류제한 특성을 가지고 있지만, 초전도 소자의 물리적인 특성 한계로 인해 실제 전력계통 적용 시에 요구되는 제페로 동작을 만족하기가 어려우며 기존 전력계통에 설치된 계전기 및 차단기들과의 협조 문제를 해결하기가 쉽지 않으리라 예상되고 있다.

초전도 한류기기술이 상용화되고 전력계통에 적용되기 위해서는 기존의 초전도체에만 의존한 한류방식에서 탈피하여 초전도 사용량의 저감, 냉각 비용의 저감, 전력계통 요구 조건의 만족이 필요하며, 이를 해결하고 실용화 가능한 초전도 한류기로서 새롭게 제안된 방식이 선로변경식

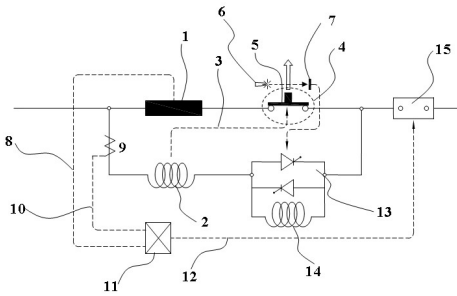
<표 1> 초전도 한류기 해결 과제 및 방안

해결 과제	해결 방안
-초전도 사용량 최소화 -냉각 비용 최소화 -교류손실 최소화	-초전도체는 상시통전 단락전류 감지 및 병렬회로 commutation 용도로 사용 전압 Stress 제거
-고압화/초고압화 방안 -주회로 fast switch 동작 방안 -단락전류 commutation 방안	-고압/초고압 VI 응용 전자반발력을 이용한 고속 스위칭 구현 -확실한 commutation 구현
-경쟁력 있는 가격 구현 방안 -Coordination 방안 -제페로 대응 방안	-초전도/냉각 부하 최소화를 통한 비용 절감 -선로변경 방식을 통한 Coordination 및 제페로 대응

하이브리드 초전도 한류기에서 초전도 소자는 고전압화에서 자유롭게 되고 단지 초전도의 장점인 대전류 통전 역할만 수행하게 되므로, 고전압화에 필요한 수많은 초전도 소자의 직렬연결이 필요 없게 되어 안정성 및 신뢰성, 비용 측면에서 우수한 효과를 구현할 수 있다. 또한 초전도 한류소자는 계통의 사고 감지 및 사고 전류의 분류용도로만 사용되어지며, 실제 계통 단락전류는 분류 리액터에 의해 감당하게 된다. 계통 단락 시 발생하는 전압은 초전도체와 병렬로 연결되어 있는 반도체 전력전자 소자에 의해 감당하는 구조로 되어 있다. 이때 전력전자 소자는 상시 통전을 감당하지는 않으므로 통전 손실이 존재하지 않고 단락 사고 시 일정 시간만 전압 스트레스에 견뎌주면 되므로 반도체 한류차

단기로만 구성된 방식에 비해서 더 저렴한 가격의 반도체 소자를 사용해도 된다는 이점을 가지고 있다.

그림 1은 본 연구를 통해서 제안된 하이브리드 초전도 한류기 회로도를 보여주고 있다.



<그림 1> 하이브리드 초전도 한류기 기본 개념회로도

상기 하이브리드 초전도 한류기는 기존의 초전도체가 단락전류의 감지-한류동작-복귀하는 방식을 탈피하여, 초전도체와 기존 상용화된 전력기기의 조합을 통해 초전도 사용량을 최소화하고 실용성을 갖추기 위하여 제안된 방식이다.

하이브리드 초전도 한류기의 주요 구성 요소는 크게 초전도체, 저임피던스부, 진공차단부, 전력전자부 또는 퓨즈부, 고저항부, 그리고 최종적으로 선로를 차단하는 차단부로 구성되어 있으며 동작 메커니즘은 다음과 같다.

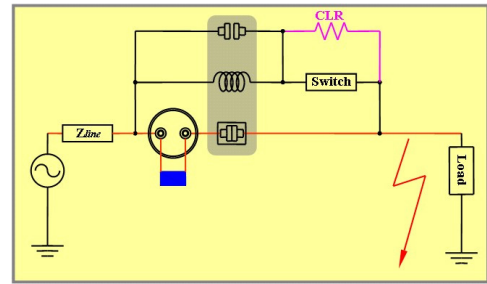
첫째, 정상운전의 동작 조건이다. 초전도체는 정상 상태 운전 시는 즉, 임계전류 이하에서는 저항이 0이며, 정상전류 보다 큰 사고전류가 흐르면 수~수십 옴의 저항을 발생하게 된다. 진공차단부로 구성된 고속 스위치는 초전도체와 전기적으로 직렬로 연결되어 있으며 정상 운전 시에는 초전도체를 통과한 전류가 계통에 지속적으로 흐르게 한다.

둘째 단락사고시의 동작조건이다. 계통 단락사고 발생시, 고속 스위치는 분기 회로로 분류된 단락전류에서 발생한 전자기력에 의하여 점점 분리를 시작하게 되며 1/2 주기 이내에 동작을 완료하게끔 구성된다. 실제 계통 단락사고의 제한 작용은 고임피던스 리액터부가 담당하게끔 되어 있다. 저임피던스 리액터부는 초전도체의 켄치 시 발생하는 저항에 비해 상대적으로 낮은 저임피던스를 갖게끔 설계되어, 초전도체 켄치 시 사고전류가 원활히 병렬 회로로 분류하는 역할을 감당한다. 반도체 스위칭부는 병렬회로로 분류된 사고전류를 고임피던스 리액터부로 전달하기 위해 설치되며, 그동안의 계통과전압에 견디는 역할을 하게 된다.

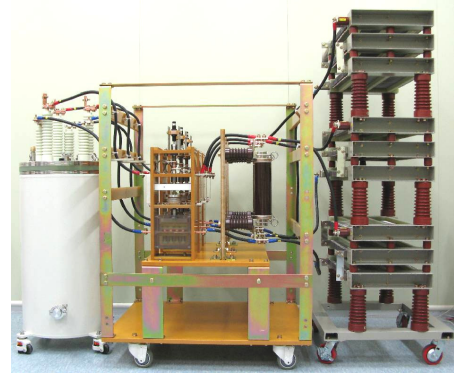
2.2 배전급 하이브리드 초전도 한류기 설계 및 제작

하이브리드 초전도 한류기는, 통전손실 없이 대전류가 통전 가능한 초전도체의 장점을 최대한 살린 반면, 고전압화에 필요한 초전도체의 직렬연결 수량 증가 문제를 기존의 진공차단 기술을 접목한 고속 스위치를 개발하여 해결하는 방식을 사용하였다. 하이브리드 초전도 한류기의 구성품은 초전도 소자, 냉동기, 고속스위치, 한류리액터로 구성되며 고속 스위치의 신뢰성을 증진하기 위해 전력용 반도체 소자가 추후 적용될 수도 있다. 본 연구에서는 전력용 파워퓨즈를 적용하여 좀 더 실용적인 관점에서 접근하고자 하였다.

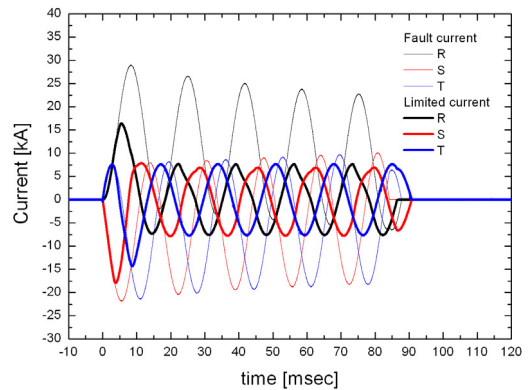
하이브리드 초전도 한류기의 기본 성능 검증을 완료하고 본격적으로 24 kV급 단상 개발에 착수하였다. 그림 2는 반주기 이내에 단락전류의 효과적인 제한이 가능한 반주기 이내 한류방식(반파한류형)의 기본 회로도를 보여주고 있다.



<그림 2> 반주기 이내 한류방식 기본 회로도



<그림 3> 반주기 이내 한류방식 기본 회로도



<그림 4> 삼상 하이브리드 한류기 한류동작 파형

그림 3은 초전도 한류소자부, 고속 스위치, 파워 퓨즈, 그리고 한류저항모듈로 구성된 24kV 630A급 삼상 초전도 한류기를 보여주고 있다.

그림 4는 제작된 하이브리드 초전도 한류기에 대한 삼상 단락전류 인가시의 한류파형을 보여주고 있다. 26kA 수준의 초기 단락전류 peak치를 수 ms 이내에 15kA 수준으로 원활히 한류하고 있음을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 연구의 성과로 개발된 선로변경식 하이브리드 초전도 한류기는 전력계통 사용자가 요구하는 가격/신뢰성/계통 적용 조건을 만족할 수 있는 차세대 초전도 한류기로서, 수년 내에 실용화되어 전력계통에 투입되어, 단락사고 저감, 계통 안정성 증대, 광역 정전 방지, 단락 사고 파급 효과 축소 등에서 탁월한 역할을 수행할 것으로 기대되고 있다.

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

[1] Hirotaka Shimizu, "Current state and trends of fault current limiting technology", IEEJ Trans. PE, Vol.125, No.1, 2005
 [2] H. Schmitt et al. "Fault current limiters - applications, principles and experience", CIGRE SC A3&B3 joint colloquium, 2005