

복합형 초전도 한류기의 한류특성에 따른 계통 적용성 검토

최원준, 심정욱, 박권배, 김영근, 오일성, 현옥배⁵

LS산전 전력연구소, ⁵한전전력연구원

Investigation of Network Application of the Hybrid SFCLs

Wonjoon Choe, Jungwook Sim, Kwon-Bae Park, Young-Gun Kim, Il-Sung Oh, Ok-Bae Hyun⁵

LS Industrial Systems, ⁵Korea Electric Power and Research Institute

Abstract - In order to apply SFCLs into electric power systems, the urgent issues to be settled are as follows, such as initial installation price, operation and maintenance cost due to ac loss of superconductor and the life of cryostat, and high voltage and high current problems. We designed novel hybrid SFCLs which combine superconductor and conventional electric equipments including a vacuum interrupter, an electro-magnetic contactor and a current limiting reactor. The main purpose of the hybrid SFCL is to drastically reduce total usage of superconductor by adopting current commutation method by use of the superconductor and the fast switch. According to protective coordination and performance, we investigated two concepts of Hybrid SFCLs. First is a half cycle fault current limitation type and second is a non-half cycle fault current limitation type. We concluded that the non-half cycle fault current limitation type is better than the other.

2. 본 론

2.1 복합형 초전도 한류기

복합형 초전도 한류기의 구성은 크게 초전도트리기 소자와 진공차단기(VI)로 구성된 고속스위치 그리고 한류 저항 또는 한류리액터로 구성된다. 기존의 저항형 초전도한류기와 마찬가지로 상시에는 초전도트리기 소자로 통전되다가 고장이 발생되면 초전도트리기 소자는 사고 전류를 감지하는 역할과 동시에, 이에 따라 발생하는 저항을 이용하여 고속스위치측으로 고장전류를 우회시키는 역할을 한다. 따라서 초전도체는 고장발생 순간에 인가되는 에너지만 담당하고 이후 고속스위치에 의해 통전로를 차단함으로써 초전도체의 부담을 줄였다. 이러한 복합형 초전도 한류기는 초전도 소자의 사용량을 최소화 하면서 고속스위치, 진공차단기 등의 기존 전력기기를 조합하여 기존의 저항형 초전도 한류기보다 경제적이면서 신뢰성을 대폭 향상시켰다. 복합형 초전도 한류기는 한류 컨셉에 따라 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 하나는 고장발생 직후 최초 반주기부터 한류동작을 수행하는 반파 한류형 한류기(type I)와 첫 반周기는 한류하지 않고 그 이후부터 한류되는 반파 비한류형 한류기 (type II)로 구분하였다.

1. 서 론

최근 전력수요의 폭발적인 증가로 전원과 송전계통 설비의 지속적인 증설이 이루어지고 있다. 이로 인해 계통 사고 시 발생하는 고장전류는 점점 증가되고 있어 계통의 고장전류를 제한하는 한류기술에 대한 관심이 커지고 있다.

한류기는 고장전류의 크기를 일정수준 이하로 낮출 수 있는 장치로서 기존 계통설비의 교체를 줄일 수 있고, 계통에 미치는 충격을 완화시킬 수 있는 장점이 있어, 초전도 한류기를 필두로 하여 다양한 형태의 한류기가 제작되었다. 특히 저항형 초전도 한류기의 경우 그 특성상 상시에는 초전도 특성으로 인하여 계통에 없는 듯 존재하다가 계통에 고장이 발생할 경우, 큰 고장전류로 인하여 초전도체가 초전도 상태에서 상전도 상태로 전이되어 저항을 발생하게 된다. 이때 발생한 저항으로 인하여 고장전류의 크기가 감소하게 된다[1-4]. 그러나 초전도 한류기는 다량의 초전도체를 사용해야하고, 이에 따른 냉각장치의 부하도 커지게 되어 비용, 손실문제가 발생하게 된다. 또한 초전도체 물성에 의해서만 동작 특성을 조절할 수 있기 때문에 실제 계통에서 요구되는 보호협조나 제계로 특성을 만족하기가 쉽지 않은 문제가 있다.

이러한 문제를 해결하는 방안으로 최근 개발된 복합형 초전도 한류기는 초전도체의 사용을 최소화 하여 초전도체와 냉각장치의 비용을 절감하였으며, 일반적으로 사용되는 기계적인 매카니즘을 이용함으로써 보호협조 및 제계로에 대응이 보다 수월하다[5][6]. 복합형초전도 한류기는 회로구성에 따라 고장전류를 발생 후 최초 반주기부터 한류를 시키는 방식(type I)과 한류를 시키지 않는 방식의 한류기(type II)로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 두 종류의 복합형 초전도 한류의 계통적용에 있어서 어떠한 차이가 있는지 비교 검토하였다.

2.1.1 Type I (반파한류형)

type I 한류기는 반파한류형으로 첫 피크부터 한류시켜 고장전류를 저감시키는 방법으로 구조는 그림 1과 같다. 정상상태에는 VI로 되어있는 open S/W와 초전도체로 통전되다가 고장이 발생하면 고장전류에 의해 초전도체가 켜치가 되어 저항이 고속으로 발생하게 된다. 이때 발생한 저항이 일정수준 이상으로 증가되면 전류는 드라이브코일과 낮은 저항을 가지는 퓨즈 쪽으로 흐르게 된다. 따라서 드라이브코일은 고장전류에 의해 여자되어 open S/W를 open하고, 이와 동시에 short contactor가 close된다. 이로 인하여 고장전류는 드라이브코일에서 short contactor로 흐르게 되어 코일을 보호하고, 동시에 규정된 값 이상의 전류가 흐르게 되면 퓨즈는 용단하게 된다. 따라서 전류의 경로는 short contactor와 CLR로 전환되어 안정적으로 한류하게 된다. 그림3은 type I의 한류과형을 나타낸 것이다. 입력전압은 단상 14kV이며 사고전류는 10kA 비대칭 사고의 경우이다. 이때 CLR 값은 1 Ω이다. 그림에서 나타난 바와 같이 비대칭 사고이므로 사고전류(■) 초기 피크치는 rms값의 약 2.76배인 27.6kA_{peak}를 나타낸다. 하지만 한류된 전류(□)과형을 보면 고장발생 첫 주기부터 20.3 kA_{peak}수준으로 한류가 되어 이후 10.1 kA_{rms}수준으로 한류됨을 알 수 있다.

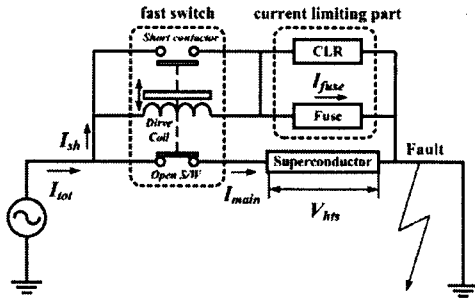


그림 1. 반파한류형(Type I) 초전도한류기 회로도

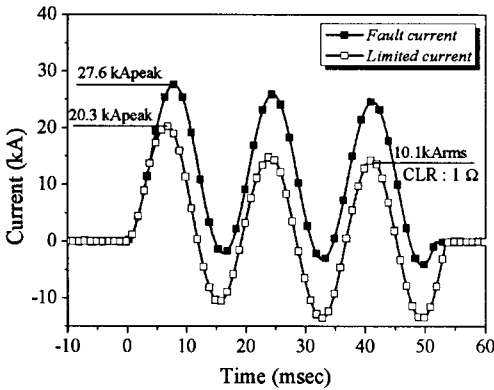


그림 2. 반파 한류형 초전도 한류기 한류특성 (14kV, 10 kA 비대칭 사고)

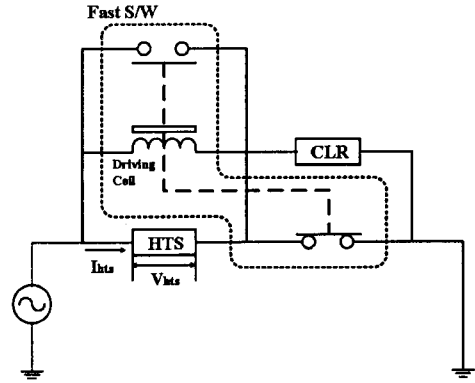


그림 3. 반파비한류형(type II) 초전도한류기 회로도

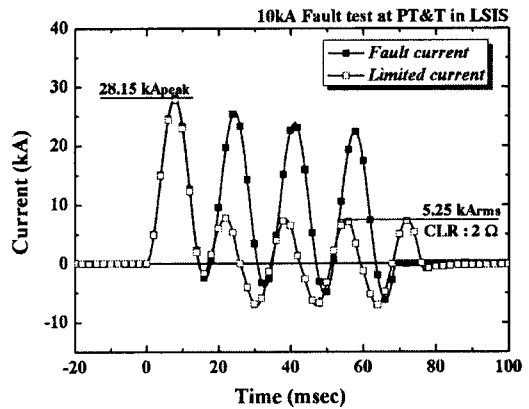


그림 4. 반파 비한류형 초전도 한류기 한류특성 (14kV, 10kA 비대칭 사고)

2.1.2 Type II (반파비한류형)

type II는 고장 발생후 첫 반주기는 한류하지 않고, 반주기 이후부터 한류하는 방법으로 회로 구성은 그림 2와 같다. type I과 비교해볼 때 fuse가 제거되어 보다 단순한 구조를 가지고 있다. 동작특성은 Type I과 마찬가지로 정상상태에서는 초전도체와 close 되어 있는 VI를 통해 통전하다가 사고전류가 흐르게 되면 초전도체가 켄치되어 저항값이 증가하면서 전류는 드라이브 코일쪽으로 흐르게 된다. 이때 드라이브 코일에 흐르는 고장 전류에 의해 코일이 여자되면 VI는 개리되고, short contact는 close 됨으로써 전류는 short contact를 통해 CLR로 흐르게 되어 한류가 되는 구조이다. 그림 4는 type II의 한류과형을 나타낸 것이다. 고장전류는 그림 2의 type I과 동일한 단상 14kV,비대칭 10kA이다. 이때의 CLR크기는 2 옴으로 type I의 경우보다 2배 크기 때문에 한류된 고장전류의 크기가 5.25kA_{rms}로 작지만 Type I과 II 간의 한류 방식과는 무관하다. 그림에서 나타난 바와 같이 그림 2의 결과와는 달리 고장발생 직후 사고전류(■)와 한류전류(□)의 첫 반주기의 크기는 동일함을 알 수 있다. 이것은 type II의 반파 비한류 특성으로서 고장전류는 첫 반주기 이후 CLR에 의해 한류가 된다. 이는 개리된 VI양단에 아크전류가 남아 있어 short contact와 아크로 인해 통전되는 VI측으로 고장전류가 흐르기 때문이다. 하지만 반파 비한류와는 달리 short contact와 초전도체가 병렬로 결선되어 VI와 분리되어 있기 때문에 초전도체 양단에는 전압이 인가되지 않아서 안전하다. 또한 VI양단의 아크는 고장전류가 반주기 이후 영점을 지나게 되면 완전히 소거가 되고, 고장전류는 CLR측으로 통전되어 한류가 된다.

2.2 type I 및 II의 한류특성 비교

type I의 한류특성은 전형적인 저항형 초전도 한류기의 한류 특성과 유사하지만, 실제 계통에 적용하기 위해서는 몇 가지 고려해야 할 사항이 있다.

type I은 첫 번째 피크부터 한류시킴으로써 계통에 주는 충격이 작지만, 한류된 전류로 인하여 계전기의 동작이 불확실하다는 단점이 있다. 한류된 전류로 인하여 순시 동작해야 할 계전기가 한시 동작할 수도 있고, 동작시간이 길어질 수도 있다. 이에 반해 type II는 반주기는 한류를 시키지 않고 그대로 통과시킴으로써 계통에 주는 충격은 조금 더 크지만 계전기 동작여부를 판단함에 있어서 보다 정확한 정보를 제공하게 된다. 따라서 type I의 경우에는 한류정도에 따라 계전기의 설정치를 조정하는 등의 추가적인 조치가 필요한 반면 type II는 기존 계전기의 설정치를 손대지 않고 사용할 수 있는 장점이 있다.

표1. 두가지 타입의 복합형 초전도 한류기 비교

	Type I	Type II
1st peak	한류	비한류
계전기동작	불확실	확실
계통충격	적음	큼
구성	다소 복잡	단순
동작신뢰성	낮음	우수
재폐로동작	불가능	가능

보호협조관점에서 보면 type I은 그림 1에서와 같이 구성 요소 중에 fuse가 있기 때문에 최초 한류이후 발생하는 고장에 대한 제재로 동작이 불가능하다. 또한 VI 및 short contact의 on/off과정에서 VI양단에 아크가 발생되는데, 이 경우 퓨즈의 크기와 초전도체에서 발생하는 저항과의 관계에 따라서 VI양단에 아크가 재발호가 되어 초전도체측으로 고장전류가 다시 통전되어 초전도체가 소손되는 단점을 가지고 있다. 따라서 이를 방지하기 위한 추가적인 보완대책이 필요하다[7]. 이에 반하여 type II는 보다 단순한 구성을 가지고 있는데, VI가 open되는 과정에서 발생하는 아크는 반주기 이후 영점을 지나면서 소호되기 때문에 동작의 신뢰성이 높고, fuse가 없기 때문에 제재로 동작에 크게 문제가 없다[6].

Control & Monitoring Parts

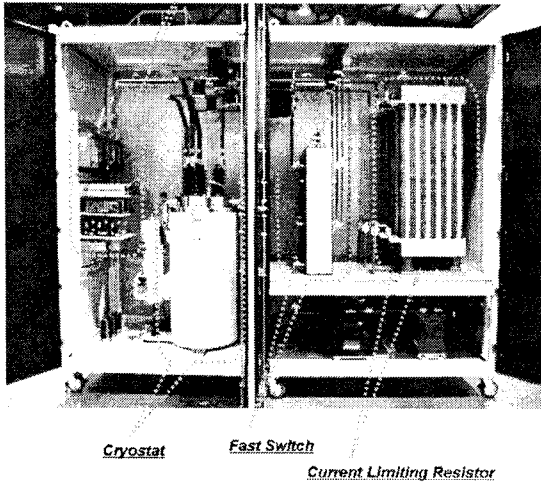


그림 5. 실증시험용 복합형 초전도 한류기(type II)

3. 결 론

위와 같이 복합형 초전도 한류기의 실계통 적용을 위해서는 한류효과뿐만 아니라 보호협조, 제재로 등의 문제도 고려하여야 한다. 본 논문에서 언급한 바와 같이 두 가지 형태의 복합형 초전도 한류기에 대하여 한류특성, 구성요소, 보호협조, 제재로 그리고 경제성 등을 검토했을 때 실계통에 적용하기에는 type II의 반파 비한류형 한류기가 유리함을 알 수 있다.

그림 5는 type II의 컨셉을 이용하여 한전고장실증시험장에 적용할 목적으로 제작된 배전급 복합형 초전도 한류기이다. 이 한류기는 앞에서 언급한 바와 같이 초전도 트리거 소자를 수용하는 극저온용기(cryostat), 고속 스위치 그리고 CLR로 구성되어 있다. 상기 한류기는 09년 초 장기실증시험이 예정되어있고[8], 이러한 결과들 토대로 배전급 대용량 복합형 초전도 한류기를 개발할 예정이다.

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

[1] W. Hassenzahl, D. Hazelton, B. Johnson, P. Komarek, M. Noe and C. Reis, "Electric power

applications of superconductivity," Proceedings of the IEEE, Vol. 92, no. 10 (2004) pp.1655-1674

[2] J. Bock, F. Breuer, H. Walter, S. Eischner, M. Kleimaier, R. Kreutz, M. Noe, "CURL 10: Development and Field-Test of a 10 kV/10 MVA Resistive Current Limiter Based on Bulk MCP-BSCCO 2212", IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 15, no. 2 (June 2005) pp. 1955 - 1960

[3] O. -B. Hyun, H. -R. Kim, J. Sim, Y.-H. Jung, K.-B. Park, J.-S. Kang, B. W. Lee, and I.-S. Oh, , "6.6 kV Resistive Superconducting Fault Current Limiter Based on YBCO Films," IEEE Trans. on Appl. Supercond., vol.15, no.2 (2005) pp.2027-2030

[4] T. Yazawa, Y. Ootani, M. Sakai, T. Kuriyama, S. Nomura, T. Ohkuma, N. Hobara, Y. Takahashi, K. Inoue, "Development of a 66 kV / 750 A High - Tc Superconducting Fault Current Limiter Magnet", IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol. 14, no. 2 (2004) pp. 786-790

W.Lee et al., "Design and experiments of novel hybrid type superconducting fault current limiters", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, vol 18, Issue 2, 2008.

[5] B.W.Lee et al., "Design and experiments of novel hybrid type superconducting fault current limiters", IEEE Trans. on Applied Superconductivity, vol 18, Issue 2, 2008.

[6] G.-H. Lee, K.-B. Park, Sim, -S. Oh, -B. Hyun and B.-W. Lee, "Hybrid Superconducting Fault Current Limiter with Non-half cycle Fault Current Limiting Function," Applied Superconductivity Conference 2008, 3LPG05

[7] O.-B. Hyun, H.-R. Kim, S.-W. Yim, J. Sim, K.-B. Park and I.-S. Oh, "Reliability Enhancement of the Fast Switch in a Superconductor Triggered Fault Current Limiter Using Power Electric Switches", Applied Superconductivity Conference 2008, 2LPN10.

[8] O.-B. Hyun, H.-R. Kim, S.-W. Yim, T.-H. Kwon, D.-M. Kim, K.-B. Park, J. Sim, B.W. Lee and I.S. Oh. "Introduction of a SFCL Operation Test in KEPCO's Test Line with Artificial Faults", Applied Superconductivity Conference 2008, 4LB06.