

Arc Extinguishing of a Vacuum Interrupter for an HTS First Peak Current Limiter

W. S. Kim*, C. R. Park, O. B. Hyun, H. R. Kim, S. W. Yim, S. D. Yu, and S. E. Yang
KEPCO Research Institute, Daejeon, Korea

(Received 27 August 2010 revised or reviewed 15 October 2010 accepted 18 October 2010)

반주기내 한류성능을 위한 진공차단기의 아크소호

김우석*, 박충렬, 현옥배, 김혜림, 임성우, 유승덕, 양성은

Abstract

A double line commutation (DLC) type SFCL with first peak limiting function has been proposed for ideal fault current limiting operation. Very fast switching (commutation) without any arc or high voltage problems for any kind of switching device is needed for the first peak current limiting. We've tried to find suitable conditions for a successful switching of a Vacuum Interrupter (VI) with HTS elements as a Peak Current limiting Resistance (PCR)

Keywords : Vacuum Interrupter, Fault Current Limiter, Arc

I. Introduction

전력수요의 급증과 이에 따른 전력설비의 증설, 계통연계가 증가함에 따라서 계통의 고장전류 또한 계속 증가하고 있으며 [1], 이에 고장전류 제어를 위한 전류제한 장치의 개발이 요구되어 왔다. 여러 가지 형태의 전류제한 장치 중 가장 효율적이며 초고속 한류가 가능하다고 알려진 형태의 기기로 초전도 소자의 상변이 특성을 사용한 초전도 한류기를 꼽을 수 있다 [2]. 초전도 소자는 상변이 특성이 고장전류의 크기에 대하여 즉각적으로 바뀌기 때문에 이상적인

한류기의 제작이 가능하다고 판단되어 왔으나, 초전도 소자의 열역학적 안정성이 매우 낮으며, 매우 고가이므로 실용적인 개발이 늦어지고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 최근에 초고속 스위치를 활용하여 초전도체의 사용량을 획기적으로 줄이면서 동시에 안정성을 확보할 수 있는 선로변경식 하이브리드형 초전도 한류기가 본 연구진에 의하여 개발되어 현재 실증시험을 진행하고 있다 [3]. 이렇게 제안된 하이브리드형 초전도 한류기는 고온초전도 소자를 사용하여 전력계통의 단락, 혹은 지락 사고에 의한 사고전류를 즉각적으로 감지하고 초고속 스위치를 트리거하여 상전도체로 제작된 임의의 임피던스로 사고전류를 우회시키는 방법이므로 매우 초전도체의 소요량이 적으며 열적 안정성 및 경제성을 확보할 수 있었다 [4]. 한편, 이러

*Corresponding author. Fax : +82 42 865 5809
e-mail : wskim@kepri.re.kr

한 선로변경식 초전도 한류기는 초고속 스위치에 사용된 진공차단기의 아크 소호의 문제로, 고장전류의 첫 반주기를 한류하지 않고 반주기 이후부터 효과적으로 한류를 하는 방식의 반주기 이후 한류형 초전도 한류기이다. 반면, 다수의 전력계통에서는 고장 발생 첫 반주기 내에 한류가 가능한 한류기 개발을 요구하고 있는 바, 현재는 그 후속 연구로 하이브리드 형태에서 사용하는 초고속 스위치 기술을 활용하여 첫 반주기 고장전류 크기를 낮추고 반주기 이후의 한류가 가능한 2단 한류방식의 초전도한류기(a Double Line Commutation type Superconducting Fault Current Limiter, DLC type SFCL)를 제안하고 있다. 본 논문에서는 새롭게 제안되는 2단 한류방식의 초전도 한류기의 첫 반주기의 피크 고장전류를 한류하는 임피던스로 초전도체를 사용하였을 때 초고속 스위치의 양단에 인가되는 순간 고전압을 줄여 스위치의 아크가 빠른 시간 내에 소호되어 성공적으로 전류를 우회시킬 수 있는 조건을 제안하고, 시험에 의한 검증 결과를 제시한다.

II. Concept of a DLC type SFCL

기존의 선로변경식 하이브리드 한류기의 경우에는 고장전류를 한류 임피던스로 우회시키기 위한 초고속 스위치로 사용된 진공차단기의 양단에 인가되는 고전압에 의하여 차단기의 아크가 첫 반주기 동안 소호되지 않고 유지되어 고장전류가 반주기 동안 한류되지 않고 그대로 유지되는 특성이 있다. 이러한 고장 전류는 비록 반주기의 매우 짧은 순간이지만, 전력계통에 존재하는 차단기의 용량을 초과하게 되거나, 변압기의 권선에 과도한 전자기력을 유발하여

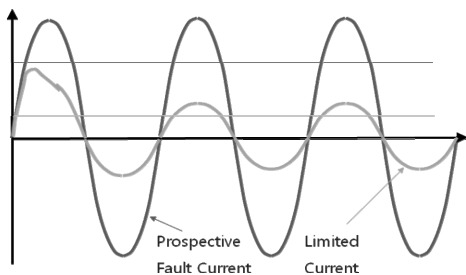


Fig. 1. An ideal current limiting profile of a fault current.

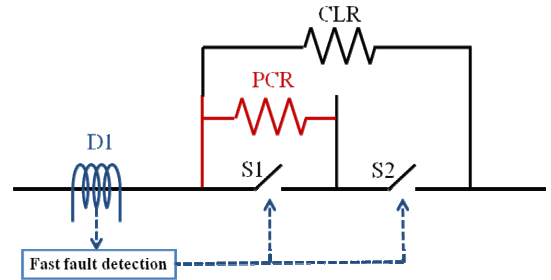


Fig. 2. Conceptual circuit for a Double Line Commutation type SFCL

각종 전력기기의 파손의 원인이 될 수 있으므로, 가능한 Fig. 1과 같이 완전 한류는 아니더라도 일정 크기 이하로 고장전류의 피크를 제한할 필요가 있다.

Fig. 1과 같은 이상적인 한류성능을 위하여 Fig. 2에서 제시한 바와 같은 2단 한류 개념을 도입할 수 있다. 즉 Fig. 2의 D1에서 고장전류를 감지하면 먼저 S1을 개방시켜 피크 전류의 한류용 저항 (PCR, Peak Current Resistor)이 먼저 피크 전류를 일정 전류 이하로 한류를 한다. 이때 필요한 저항의 크기는 비교적 작은 값이므로 S1의 양단에 비교적 작은 전압이 인가되어 상대적으로 개방시키기가 쉽다. 그 후, 첫 반주기가 끝나서 고장전류가 0점을 지나는 순간 S2를 개방하여 비교적 큰 저항인 CLR (current limiting resistor)이 전제 한류기능을 수행하게 된다.

III. HTS elements as a PCR

앞 절에서 설명한 2단 한류 개념에서 사고전류의 첫 반주기 한류를 위한 PCR은 비교적 작은 값이기는 하나, S1의 개방 시에 고전압이 발생할 가능성이 많게 된다. 하이브리드형 한류기에서 사용한 것과 같은 초고속 스위치를 S1 스위치로 사용하는 경우 진공차단기의 내부에 고전압에 의한 아크가 발생한 후 반주기 내 소멸이 이루어지지 않아 첫 피크의 한류에 실패하는 경우가 발생하게 된다. 본 연구에서는 이러한 아크를 성공적으로 반주기내 소호하기 위하여 고온초전도 소자를 PCR로 사용하는 것을 제안한다.

고온초전도 소자에는 정상시에는 전류가 인가되지 않고 있다가, 사고 시에 S1의 개방과 동시에 사고전류가 인가되기 시작한다. 그러나 일반 저항과는 달리 고온초전도 소자의 저항성분은 초전도상태에서부터 증가하기 시작하므로, 저항성분이 작은 초기에는 비교적 낮은 전압으로 인하여 진공차단기 내부의 아크가 소멸될 수 있다. 이후 고온초전도체의 저항이 크게 성장하면서 첫 반주기의 피크 고장전류를 제한하게 되는 것이다. 하지만, 고온초전도 소자의 저항 성장 속도와 고속스위치의 개방 속도의 차이에 의하여 아크의 소호가 성공적으로 이루어질 수도 있고, 아닐 수도 있으므로 Fig. 3과 같은 회로를 꾸미고 스위치의 개방시험을 통하여 고온초전도 소자의 적절한 설계치를 얻고자 한다.

IV. Experiment for the arc-extinguishing of VI

Fig. 3에서 보인 회로에서 PCR용 고온초전도 소자를 Superpower사의 SF12100 선재를 사용하여 Fig. 4와 같이 제작하였다. 전원을 인가하여 단락 스위치를 투입하기 전에는 정상전류가 진공차단기를 통하여 부하저항으로 인가되게 되며, DIAC 스위치에 의하여 고온초전도 소자로 전류가 인가되지 않는다. 설치된 구동코일은 사고전류 인가 시 진공차단기에 설치된 구리관과의 전자기 척력에 의하여 진공차단기를 개방하게 된다. 사고전류 발생을 위하여 단락 스위치를 투입하면 구동코일에 의하여 진공차단기가 개방되며 DIAC 스위치가 닫히면서 고온초전도 소자로 사고전류가 우회하게 된다. 이 때, 고온초전도 소자의 저항 성장 특성에 따라서 진공차단기의 양단에 인가되는 전압이 결정되고 아크 소호의 성공 여부가 결정되게 된다.

Fig. 4에서 볼 수 있듯이 고온초전도 소자를 위하여 12 mm 폭과 0.1 mm의 두께를 가지는 고온초전도 2G SF12100 선재로 솔레노이드 형태를 가지는 모듈을 3개를 제작하였다. 제작된 3개의 모듈을 사용하여, 1개의 모듈, 2개의 모듈, 그리고 3개의 모듈을 각각 병렬로 연결하면서 고온초전도 모듈의 임계전류 값을 증가시키며 단락시험을 수행하였다.

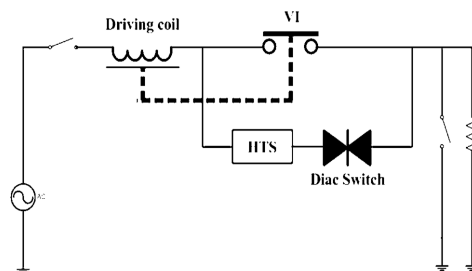


Fig. 3. The circuit diagram for the experiment.

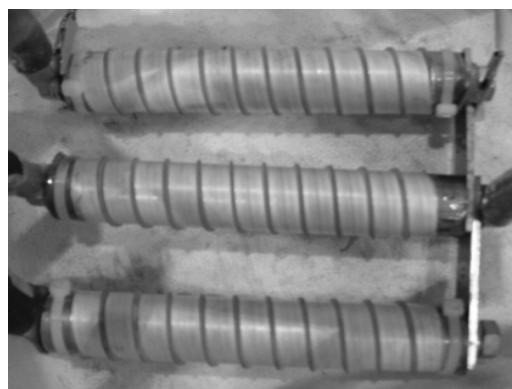


Fig. 4. Fabricated HTS modules for the experiment.

각 모듈 개수에 따른 각 선로의 전류와 고온초전도 소자 양단에서 발생하는 전압의 측정 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 한류 모듈이 없는 경우에 예상되는 사고전류의 최대 크기는 약 2.45 kA이며 제작된 초전도 모듈 1개의 임계전류 측정결과 약 281 A 정도가 측정되었다. Fig. 5의 (a)에서 볼 수 있듯이 모듈 1개만 사용하였을 경우 진공차단기가 개방되는 순간 진공차단기의 전류가 순간 감소하는 듯 하지만, 발생한 아크의 소호가 이루어지지 않아서 다시 전류가 증가하며, 고온초전도 소자로 인가되는 전류는 더 이상 증가하지 않는 것을 관찰할 수 있다. 고온초전도 모듈을 2개 사용한 경우에는 진공차단기 동작 후, 아크에 의한 전류가 거의 소멸되다가 다시 재 발화하여 전류가 재 증가하고 고온초전도 소자로의 전류는 오히려 조금 줄어드는 것을 볼 수 있다. 마지막으로 3개의 고온초전도 모듈을 사용한 경우 성공적으로 아크가 소호되면서 고온초전도 모듈로 전류가 우회하며 첫 피크 전류가 약 1.8 kA 정도로 제한되는 것을 볼 수 있다.

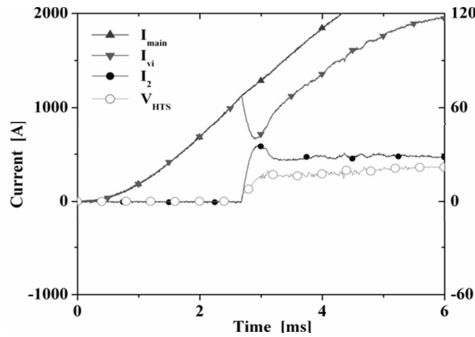
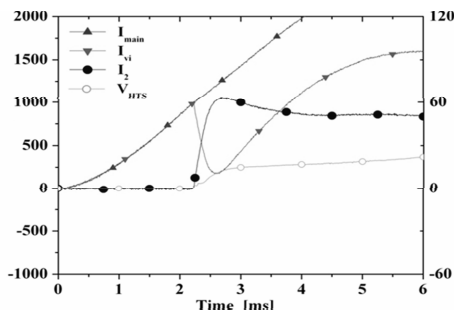
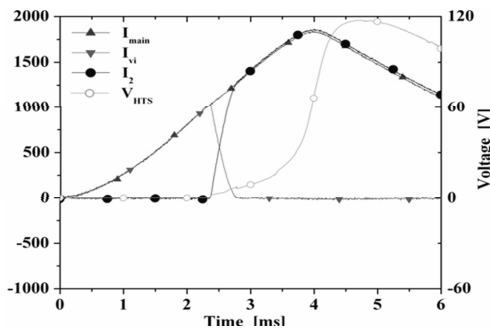
(a) 1 HTS module; $I_c = 281$ A @ 77.3 K(b) 2 HTS modules; $I_c = 563$ A @ 77.3 K(c) 3 HTS modules; $I_c = 844$ A @ 77.3K

Fig. 5. Experimental results of short-circuit test with the HTS modules; (a) 1 module, (b) 2 modules in parallel, and (c) 3 modules in parallel.

V. Conclusions

2단 한류방식을 가지는 초전도 한류기의 첫 반주기 피크 사고전류의 제한을 위해서 초고속

스위치를 사용하는 경우, 전류제한을 위한 임피던스로 고온초전도 소자를 사용하는 방법을 제안하였으며, 성공적인 사고전류의 우회를 위한 진공차단기의 개방 시 아크소호를 위한 고온초전도 모듈의 조건을 시험을 통하여 결정할 수 있었다. 시험 결과에 의하면 고온초전도 모듈의 임계전류가 예상 사고전류의 최대값의 약 1/3 정도를 보일 때 0.5 msec 이내에 성공적인 아크의 소호를 관찰할 수 있었으며 사고전류의 첫 피크 역시 성공적으로 제한 되는 것을 확인할 수 있었다. 본 시험 결과를 토대로, 진공차단기 이외에 전력전자 스위치, Coupled Inductor 등을 사용한 다양한 형태의 2단 한류 시스템의 시험이 본 연구진에 의하여 계속 될 예정이다.

Acknowledgement

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

References

- [1] Hirota Shimizu, "Current state and trends of fault current limiting technology", IEEE Transactions on PE, Vol. 125, No. 1, 2005
- [2] M. Noe and M. Steurer, "High-temperature superconductor fault current limiters: concepts, application, and development status", Supercond. Sci. Technol. 20, R15-R29, 2007
- [3] B. W. Lee, K. B. Park, J. Sim, I. S. Oh, H. G. Lee, H. R. Kim, and O. B. Hyun, "Design and experiments of novel hybrid type superconducting fault current limiters", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 18, No. 2, pp. 624-627, June 2008
- [4] O. B. Hyun, H. R. Kim, Y. S. Yim, J. Sim, K. B. Park, and I. S. Oh, "Domestic efforts for SFCL application and hybrid SFCL", Progress in Superconductivity, Vol. 10, No. 1, pp. 60-67, October 2008