

저압직류용 하이브리드 차단기의 동작속도 개선

김민주, 김효성

국립공주대학교 전기전자제어공학부

Increasing operation speed of hybrid LVDC circuit breakers

Minju Kim, Hyosung Kim

School of EE and Control Engineering, Kongju National University

ABSTRACT

교류 시스템과 달리 직류 시스템은 자연적으로 전류영점에 도달하지 않고 전류가 지속적으로 흐르기 때문에, 기존의 기계식 점접형 스위치로 부하 전류를 차단시키는 경우 차단 아크의 소호가 쉽지 않아 인체 및 화재사고의 위험이 있다. 반면 반도체 스위치는 회로 차단 시 아크가 발생하지 않는다는 장점이 있지만 도통 손실이 크다는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 두 스위치의 장점을 결합한 하이브리드 차단기 개념이 제안되었다. 본 논문에서는 자연전류방식^[1] 저압직류용 하이브리드 차단기의 차단 시간을 최소화하는 방법을 제안한다. 이를 위하여 점접 스위치의 보조 스위치 대신 전류센서를 설치한 새로운 회로 토폴로지를 제안하고 400 V/20 A급 하이브리드 차단기를 제작하여 성능을 검증하였다.

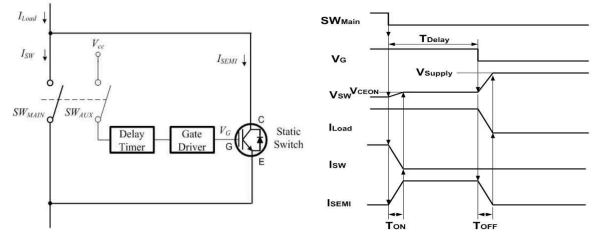
1. 서론

직류배전계통의 운용을 위하여 소켓-플러그, 전동 스위치 등 개폐기의 안전한 사용이 필수적으로 요구된다. 그러나, 직류는 교류와 달리 전류가 스스로 영이 되는 점이 발생하지 않고 일정하게 흐르므로 회로의 차단 시 발생하는 아크로 인하여 기기의 손상이나 사용자의 부상 또는 전기화재의 위험 요인이 상대적으로 증가한다. 기존의 점접형 스위치는 도통 시 손실이 적으나 회로 차단 시 아크가 발생하기 때문에 직류계통에 그대로 도입하기에는 문제가 있다^[2]. 이에 비하여 반도체를 사용한 스위치는 회로 차단 시 아크가 발생하지 않는 장점이 있으나 높은 도통 손실을 지닌다는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 점접형 스위치와 반도체 스위치의 장점을 살린 하이브리드 회로차단기(Hybrid Circuit Breaker)의 개념이 제안되었다^[3].

본 논문의 저자는 간단하고 신뢰성이 높으며 비용이 적게 드는 자연전류방식을 채용한 하이브리드 직류차단기의 구성을 제시하고, 프로토타입을 제작하여 그 특성을 분석한 바가 있다^[1]. 본 논문에서는 자연전류방식을 채용한 하이브리드 차단기의 성능을 개선하여 반도체 스위치의 전류차단 용량을 증대하고 보다 안정적이고 빠른 차단이 가능한 하이브리드 직류차단기의 구성과 제어회로를 개발하고 그 성능을 검증한다. 전원전압 400 V, 부하전류 20 A 급 자연전류방식 하이브리드 직류차단기를 제작하여 성능을 검증하고 특성을 분석한다.

2. 연구 배경 및 제안

기계적 스위치가 OFF 되는 순간 점접 양단에는 약 10 V의 아크촉발전압이 발생한다. 자연전류방식 하이브리드 차단기는 도통 전압이 10 V 이하인 전력용 반도체를 전기점접형 주 스위치(SW_{Main})에 병렬로 접속하여 구성함으로써 기계적 스위치의 OFF 시 아크촉발전압에 의하여 반도체 스위치로 자연스럽게 전류전환이 일어나도록 동작하는 방식이다.



(a) double-pole 스위치를 사용한 자연전류방식 하이브리드 차단기의 개념도 (b) 동작 시퀀스

그림 1 자연전류방식 하이브리드 차단기의 동작 개념

그림 1은 본 논문의 저자가 선행 연구에서 제안한 자연전류방식 하이브리드 차단기의 동작 개념이다^[1].

반도체 스위치의 Gate에 ON 명령이 주어진 상태에서 점접형 주 스위치(SW_{Main})를 OFF 시키면 아크가 발생하기 직전 반도체 스위치를 턴온시키기에 충분한 약 10 V의 아크촉발전압이 형성되며 점접 스위치를 통하여 흐르던 전류는 아크방전 없이 반도체 스위치로 전환된다. 이때 점접형 주 스위치(SW_{Main})와 함께 보조 스위치(SW_{Aux})도 OFF 되며 시간지연회로에 의한 일정 시간지연 후 Gate에 OFF 명령이 발생하게 되며 지연 시간 동안에 주 스위치의 절연 거리가 충분히 확보되면 아크 없이 차단이 완료된다.

이러한 방식은 2극(double-pole) 점접을 사용하므로 두 점접의 기계적 동작 속도의 편차가 발생한다. 이러한 편차는 제품마다 차이가 존재한다. 따라서 이러한 편차를 극복하면서 하이브리드 차단기의 안정된 동작을 확보하기 위해서는 지연시간의 충분한 여유를 두어야 한다. 그러므로 점접 스위치 OFF 시 반도체 차단기의 ON 시간을 최소로 할 수가 없어서 반도체 스위치의 전류 스트레스가 증가하며 차단 시간이 불필요하게 길어진다는 문제가 있다.

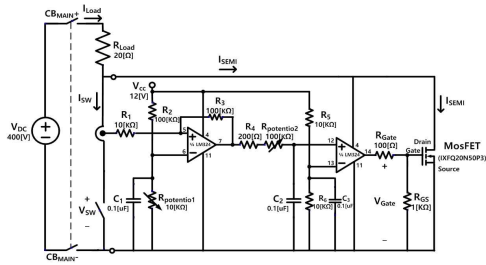


그림 2 제안하는 하이브리드 차단기 회로도

본 논문에서는 2극(double-pole) 접점을 사용한 자연전류방식 하이브리드 차단기를 개선하기 위해 접점 스위치의 보조 스위치 대신 전류센서를 사용하는 새로운 방식의 하이브리드 차단기를 제안한다.

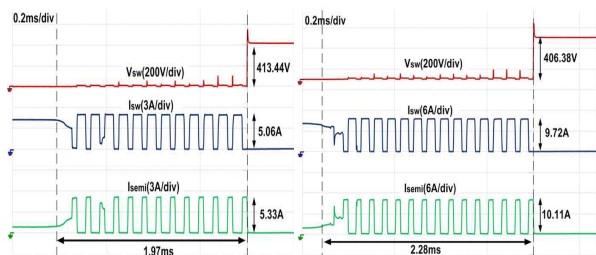
그림 2는 제안하는 하이브리드 차단기의 제어회로도이다. 제어회로는 접점형 스위치에 흐르는 전류를 검출하여 반도체 스위치의 Gate를 ON/OFF 시키도록 설계되어있다.

접점 스위치를 OFF 시키면 스위치 양단에 아크가 발생하기 전에 아크축발전압이 형성된다. 아크축발전압이 반도체 스위치를 턴온시키기에 충분한 전압에 이르면 접점 스위치를 통하여 흐르던 전류는 아크방전 없이 반도체 스위치로 전환된다. 이때 접점형 스위치와 직렬로 설치된 전류 센서의 전류가 기준값 이하로 낮아지면 제어회로의 시간지연을 통해 지연된 시간 이후 반도체 스위치의 Gate에 OFF 명령이 가해진다.

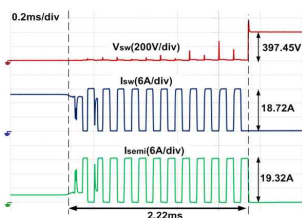
반도체 스위치의 Gate에 가해지는 OFF 명령의 지연시간을 조절함으로써 접점 스위치의 절연 거리가 확보된 후 반도체 스위치를 OFF 시킬 수 있다. 본 논문에서는 접점형 스위치에 아크가 발생하지 않으며 최소의 시간 동안 반도체 스위치를 ON 하여 회로를 차단할 수 있는 지연시간을 실험을 통하여 구하고자 한다.

3. 제안한 하이브리드 차단기 특성 실험

실험에서 사용한 전원전압은 400 Vdc이고, 부하전류는 5 A, 10 A, 20 A이다. 실험에 사용된 반도체 스위치는 IXYS사의 MOSFET IXFH20N50P3로서 500 V/20 A의 정격을 갖는다. 전류 센서는 LEM사의 HX 20-P를 사용하였다.



(a) 전원전압=400 V, 부하전류=5 A (b) 전원전압=400 V, 부하전류=10 A



(c) 전원전압=400 V, 부하전류=20 A

그림 3 부하전류에 따른 차단아크 특성 ($t_{ON}=72 \mu s$)

그림 3은 접점형 스위치 OFF 시 부하전류에 따른 차단아크 특성을 보인다. 전원전압 400 V에서 부하전류 5 A, 10 A, 20 A인 경우에 대하여 실험 하였으며, 제어회로의 지연시간을 조절하여 부하차단시 반도체 스위치의 도통시간 t_{ON} 을 72 μs 로 작게 설정하였을 때의 파형이다. 각 경우에 대해 차단아크 없이 접점형 스위치가 OFF 되는데 약 2 ms가 소요되는 것을 볼 수 있다.

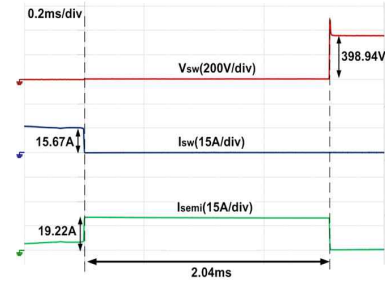


그림 4 전원전압=400 V 부하전류=20 A $t_{ON}=2.04$ ms일 때 차단아크 특성

그림 4는 앞의 실험을 통하여 확인한 무아크 차단 반도체 스위치 도통시간을 2 ms로 설정하였을 때의 회로차단 특성을 나타낸다. 전원전압 400 V, 부하전류 20 A인 경우 t_{ON} 을 약 2 ms로 설정하였을 때 접점형 스위치는 차단아크를 수반하지 않고 OFF 되는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 자연전류방식 저압직류용 하이브리드 차단기에 전류 센서를 사용하여 기계적 접점의 동작속도의 차이에 의존하지 않고 가장 빠른 동작속도를 찾는 방법을 제안하고, 전원 전압 400 V 및 부하 전류 5 A, 10 A, 20 A에서 제안한 차단기의 차단아크 특성을 실험하고 분석하였다. 제안된 차단기는 주어진 실험조건에서 접점 스위치 OFF 시 약 2 ms의 반도체 스위치로의 전류전환 시간 이후 차단아크 발생 없이 접점 스위치가 OFF 되었다. 제안된 하이브리드 차단기는 간단한 제어회로로 구현할 수 있으며 짧은 시간에 안정적으로 차단을 함으로써 반도체 스위치의 전류 스트레스를 최소화할 수 있는 장점이 있다.

이 논문은 2016년도 정부(교육과학기술부)의 재원을 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2016R1D1A3B01008 279).

이 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2022-00 144404, 친환경선박 핵심기술 국제표준화).

참 고 문 헌

- [1] Hyo-sung Kim, "Hybrid LVDC Circuit Breaker", The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 27, No. 6, pp. 489-497, 2022.
- [2] Christian Strobl et al, "Safety Concepts and Circuit Protection for LVDC Grids in Datacenters and in Telecommunications" Intelc 2018, CD ROM, 2018.
- [3] Magnus Callavik et al, "The Hybrid HVDC Breaker", ABB Grid Systems, Technical Paper, 2012.