

공진 회로를 이용한 MMC 기반의 전압형 HVDC 밸브에 대한 단락전류 시험

구남준, 정홍주
(주)효성

Short Circuit Test for MMC-Based VSC HVDC Valve Using Resonance Circuit

Nam-Joon Ku, Hong-Ju Jung
Hyosung Corporation

ABSTRACT

하프 브릿지 서브모듈을 사용하는 MMC(Modular Multilevel Converter) 기반의 VSC HVDC(Voltage Sourced Converter High Voltage Direct Current) 밸브의 경우 초기 기동 시에 별도의 외부 저항을 거쳐 충전시킴으로 일반적으로 서브모듈의 상부 다이오드에 정격 전류보다 높은 전류가 도통되는 경우는 없다. 하지만 DC 단락 시 제어 및 보호 회로가 고장 전류를 차단하기 전까지 고장 전류는 서브모듈의 하부 다이오드를 통해 도통된다. 따라서 전압형 HVDC 밸브에 대한 전기 시험 규격인 IEC 62501에는 단락 조건에서 서브모듈의 하부 다이오드를 보호할 수 있는 전기회로의 적합성을 시험하는 단락전류 시험이 포함되어 있다. 본 논문에서는 단락전류 시험을 위한 간단한 공진회로를 소개하고 시뮬레이션과 시험결과를 통해 시험 회로의 적합성을 검증한다.

1. 서 론

최근 수립된 한국전력의 “제10차 장기 송변전설비계획”을 보면, 서해안-수도권 초고압 직류송전 기간망 구축이 예정되어 있기 때문에 서해안의 ‘전기 고속도로’를 건설하는데 HVDC 산업이 큰 기여를 할 수 있게 되었다.

효성은 MMC 토폴로지 방식을 적용하여 국내 최초로 전압형 HVDC 기술을 개발 및 상용화하였다. 이 회로는 독일의 Rainer Marquardt 교수가 처음 제안하였으며 HVDC 분야에서 매우 각광받으며 널리 사용되고 있다^[1]. MMC 토폴로지는 다수의 서브모듈을 직렬로 연결하여 높은 전압을 생성할 수 있다. 직렬로 연결된 서브모듈의 집합을 밸브라고 하며, 각 제조사는 밸브의 설계와 성능을 검증하기 위해 IEC 62501의 국제 시험 규격에 따라 시험을 진행한다^[2].

IEC 62501의 시험 항목 중 단락전류 시험은 DC 단락 고장과 같은 조건에서 제어 및 보호 동작으로 고장 전류가 차단될 때까지의 전류에 대하여 다이오드와 바이패스 싸이리스터 및 연관된 전자회로의 설계를 검증하는 목적을 가지고 있다.

시험 전류의 진폭, 지속 시간, 주기의 수는 실제 고장 상황에서 예상되는 최대값이어야 하지만 실험실 수준에서 고장 전류 구현의 어려움이 크기 때문에 시험 전류의 크기와 에너지 축적량(i^2t)이 실제 고장 상황의 최대값과 같다면 대체 파형으로 인정한다.

시험 전류를 생성하기 위한 회로를 규격에서 별도로 규정하고

있지 않기 때문에, 제조사마다 각 시스템의 특성에 맞추어 시험회로를 구성하여 시험을 진행한다. 효성의 시험회로는 커패시터 뱅크와 두 개의 인덕터로 구성되어 있고, 이와 같은 간단한 공진회로에 전압을 인가하여 시험 전류를 생성한다. 본 논문에서는 효성의 단락 전류 시험회로를 소개하고 시뮬레이션 및 실험을 통해 DC 단락 고장 상황의 특성을 나타낼 수 있는 대체 전류 파형을 생성하여 시험회로를 검증한다.

2. 공진 회로를 이용한 단락전류 시험

2.1 단락전류 시험회로

그림 1은 효성의 전압형 HVDC 밸브에 대한 단락전류 시험회로이다. 공진회로는 커패시터 뱅크와 2개의 인덕터로 구성되어 있으며, 적용한 커패시턴스와 인덕턴스와 같은 회로 상수는 표 1에 정리하였다. 피시험 밸브에 공진회로를 결합할 수 있는 형태이며 별도의 개폐장치를 사용하여 피시험 밸브와 공진회로를 전기적으로 분리할 수 있다. 커패시터 뱅크의 전압은 별도의 외부 전원을 이용해 공급한다.

시험 전류를 생성하기 전에 MC1을 닫아 커패시터 뱅크를 충전한 후, MC1을 열어서 외부 전원 장치를 공진회로와 분리한다. 그리고 VCB를 닫아 공진회로와 피시험 밸브를 연결한 후, MC2를 닫아서 시험 전류를 생성한다.

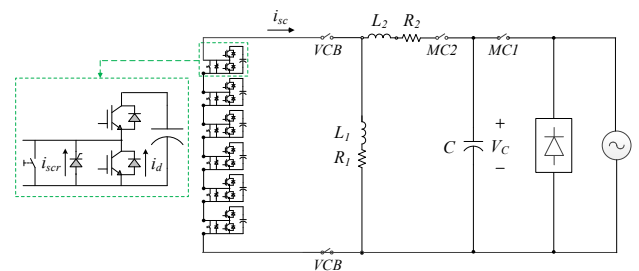


그림1 단락전류 시험회로

Fig.1 Test circuit for short-circuit current test

표 1 시험 회로의 상수값

Table 1 Values of the circuit parameters

L_1	1mH	R_1	7.54m Ω
L_2	1mH	R_2	7.54m Ω
C	6.9mF	V_c	6kV

2.2 시험회로에 대한 시뮬레이션 검증

그림 2는 효성이 개발하는 200MW HVDC 시스템의 시뮬레이션 파형이며, DC 단락 고장 시 컨버터 밸브에 흐르는 전류와 에너지 축적량을 보여준다. 고장 전류의 최대 피크값은 약 9.26kA이며, 에너지 축적량은 약 6.65MA²s이다.

그림 3은 시험회로에 대한 시뮬레이션 파형을 나타낸다. 시험회로 내 저항 성분에 의해 전류가 빠르게 감쇠하기 때문에, 목표한 에너지 축적량인 6.65MA²s 이상의 값을 얻기 위해 매우 큰 피크값을 갖는 전류를 생성하였다. 시험 전류의 피크값은 약 18.5kA이고 에너지 축적량은 7.0MA²s이다. 컨버터 시스템의 전류 보호 레벨은 1500A이고, 시험 전류의 크기가 1500A보다 커지는 순간 제어기로부터 보호 동작이 이루어져 SCR을 구동하게 되고 SCR의 게이트 신호가 검출된다. 따라서 고장 전류의 대부분은 SCR을 통해 도통하게 되고 Diode는 고장 전류로부터 보호된다.

2.3 단락전류 시험 결과

IEC 62501 규격에 명시된 시험 요구 조건을 보면, IGBT와 Diode의 정선(Junction) 온도를 가장 높은 조건으로 유지한 상태에서 고장 전류를 발생시켜야 한다. 따라서 장시간 연속 운전을 하여 피시험 밸브의 온도를 운전 중 가장 높은 온도까지 포화시킨 후 시험에 돌입한다.

그림 4는 단락전류 시험회로에 대한 시험 파형을 나타낸다. 시뮬레이션과 아주 유사한 형태의 전류 파형을 취득하였으며 시험 전류의 피크값은 18.8kA이고 에너지 축적량은 6.79MA²s이다. 컨버터 밸브에 흐르는 고장 전류와 SCR에 흐르는 전류를 각각 측정함으로써 DC 단락 고장 시 보호 동작이 정상적으로 이루어짐을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 DC 단락 고장 시 발생하는 전류로부터 컨버터 밸브를 보호하기 위한 동작을 검증하는 시험회로를 소개하고 시뮬레이션과 시험 결과를 통해 회로의 적합성을 확인하였다. 높은 피크값을 갖는 전류를 생성하고 큰 에너지를 전달하기 위해 공진회로를 활용하였으며, 공진회로를 구성하는 커패시터 뱅크의 전압과 인덕턴스 값을 조정하여 전류의 피크값을 조정하였다. 본 시험회로를 이용하여 IEC 62501의 시험 요구 조건에 따라 형식시험 항목 중 단락전류 시험을 진행하였다.

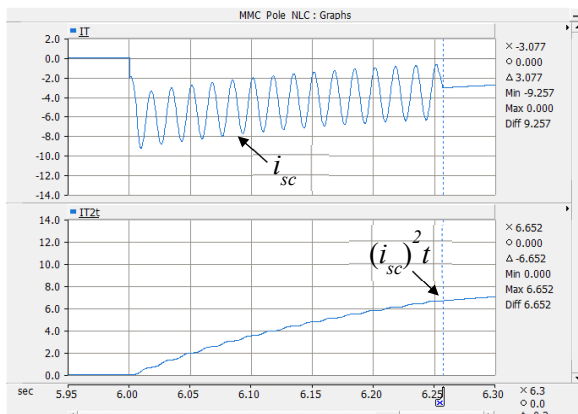


그림2 DC 단락 고장 상황에서 전류 및 에너지 축적량(시뮬레이션 결과)
Fig.2 Waveforms of fault current and energy accumulation in DC short-circuit fault(Simulation results)

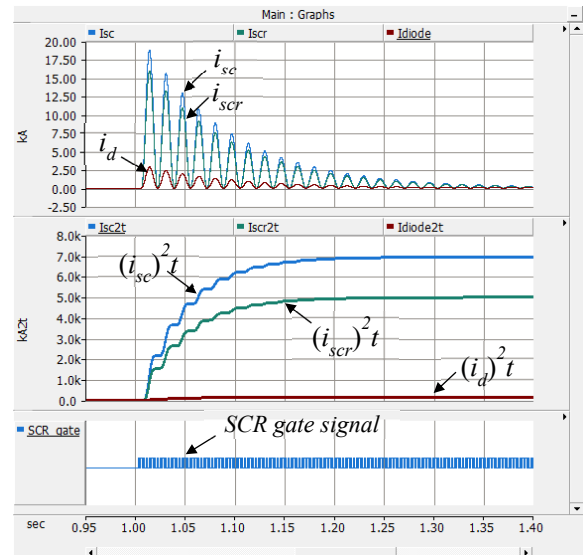


그림3 단락전류 시험을 위한 대체 전류 파형과 에너지 축적량 및 SCR 게이트 신호(시뮬레이션 결과)

Fig.3 Alternative test waveforms of fault current, energy accumulation and SCR gate signal for short-circuit current test(Simulation results)

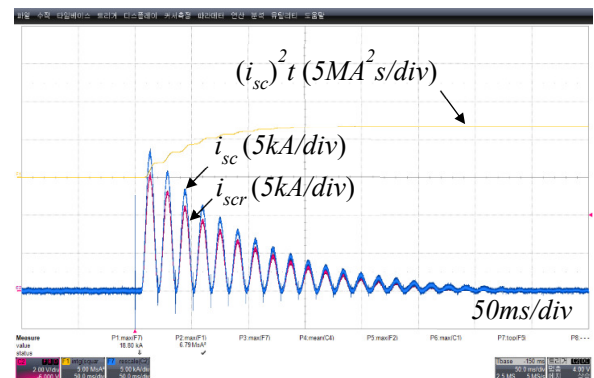


그림4 단락전류 시험결과

Fig.4 Experiment result of short-circuit current test

효성에서 개발하는 전압형 HVDC 밸브는 Back-to-Back 구조의 MMC 시스템으로 양주 변전소에 설치되어 실증 운전을 통해 성능을 검증할 예정이다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2017931010060)

참 고 문 헌

- [1] A. Lesnjar and R. Marquardt, "An innovative modular multilevel converter topology suitable for a wide power range," 2003 IEEE Bologna Power Tech Conference Proceedings,, Bologna, Italy, 2003, pp. 6 pp. Vol.3.
- [2] IEC 62501 : Voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) power transmission -Electrical testing, Edition 1.2, 2017-09.