

## 5-레벨 컨버터를 사용한 MMC-HVDC 시스템용 서브모듈 시험회로

조광래, 서병준, 허진용, 김학수, 노의철  
부경대학교 전력전자연구소

### Submodule test circuit with 5-Level Converter for MMC-HVDC System

Kwang-Rae Jo, Byuong-Jun Seo, Jin-Yong Heo, Hak-Soo Kim, and Eui-Cheol Nho  
Pukyong National University

#### ABSTRACT

본 논문에서는 MMC-HVDC 시스템을 위한 서브모듈 시험 회로를 제안한다. 서브모듈 시험회로는 MMC-HVDC 서브모듈의 신뢰성을 확보하기 위해 필요하며 서브모듈 시험회로는 2 고조파 성분과 DC 오프셋 성분을 가지는 암 전류를 모사하면서 서브모듈 커패시터 전압을 일정하게 유지해야한다. 제안하는 서브모듈 시험회로는 시험회로의 인덕턴스를 줄이기 위해 5 레벨 컨버터를 사용하여 암 전류를 모사하며 시뮬레이션을 통하여 시험회로의 타당성을 검증하였다.

#### 1. 서 론

HVDC(High Voltage Direct Current) 시스템은 크게 전압형 HVDC와 전류형 HVDC로 나눌 수 있다. 그 중, 유효전력과 무효전력의 독립적인 제어가 가능하다는 점과 PWM 제어 기법을 사용하여 필터 크기가 상대적으로 작다는 등의 장점으로 인해 MMC(Modular Multilevel Converter)를 기반으로 하는 전압형 HVDC 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.<sup>[1,2]</sup>

MMC-HVDC 시스템은 구축하기 전에 서브모듈 시험회로를 이용하여 서브모듈 성능시험을 수행해서 시스템의 신뢰성을 확보할 필요가 있다. IEC - 62501(International standard for VSC valves for HVDC power Transmission - electrical testing)에서는 밸브 단위의 서브모듈을 시험하기 위한 조항을 제시하고 있으며 이러한 조항을 만족시키기 위해서 서브모듈 시험회로는 MMC-HVDC 시스템의 2 고조파 성분과 DC 오프셋 성분을 포함하는 암 전류를 모사하면서 서브모듈 커패시터 전압을 일정하게 유지할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 5 레벨 컨버터를 사용한 서브모듈 시험회로를 제안하며 시뮬레이션을 통해 시험회로의 타당성을 검증하였다.

#### 2. 제안하는 서브모듈 시험회로

그림 1은 제안하는 5 레벨 컨버터를 사용하는 서브모듈 시험회로이다. 제안하는 시험회로는 5 레벨 컨버터와 인덕터  $L$ , 그리고 성능시험을 하는 서브모듈로 구성이 되며 5 레벨 컨버터는 5 레벨 컨버터의 출력 전압  $V_o$ 의 전압 레벨을 결정하는 NPC 컨버터,  $V_o$ 의 극성을 결정하는 HB 컨버터로 구성된다. 인덕터 전압  $V_L$ 은  $V_o$ 와 서브모듈 출력전압  $V_{sm,o}$ 에 의해 결정

되며 식 (1)의 관계로 나타낼 수 있다.

$$V_L = V_o - V_{sm,o} \quad (1)$$

입력전압  $V_{DC}$ 는 서브모듈 커패시터 전압  $V_{sm}$ 보다 작으면 서브모듈 하단 스위치  $S_B$ 가 켜졌을 때  $V_L$ 이 항상 음수가 되어 전류가 하강하기 때문에  $V_{DC}$ 는  $V_{sm}$ 보다 커야한다.

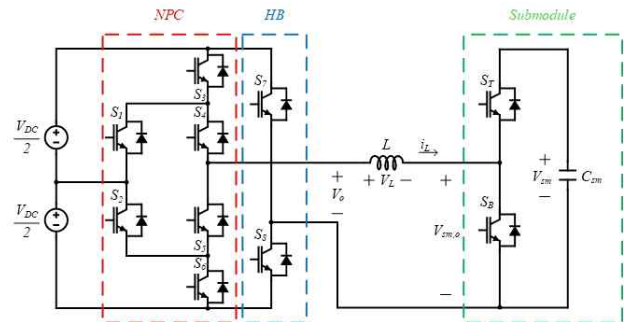


그림 1 제안하는 서브모듈 시험회로  
Fig. 1 Proposed submodule test circuit

그림 2는 제안하는 시험회로의 동작 파형이다. 시험회로의 서브모듈 스위칭 패턴은 MMC-HVDC 시스템의 서브모듈 스위칭 패턴을 사용하며 시험회로는 임의의 스위칭 패턴에 따라 2 고조파 성분과 DC 오프셋 성분을 포함하는 암 전류를 모사하고  $V_{sm}$ 을 일정하게 유지시킬 수 있어야한다.

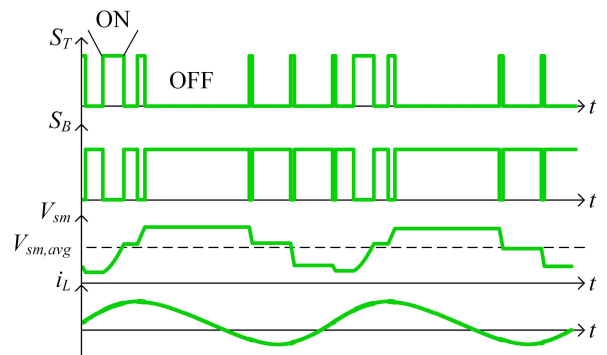


그림 2 서브모듈 시험회로의 동작파형  
Fig. 2 Operation waveform of submodule test circuit

그림 3은 제안하는 시험회로의 제어 블록도이다. 제어기는 PI 제어기와 PR 제어기, 그리고 Feedforward 제어기가 결합된 형태로 이루어져 있다. PI 제어기는 서브모듈 시험전류  $i_L$ 의 DC 오프셋 성분을 조절하여 서브모듈 커패시터 전압  $V_{sm}$ 을 제어하고 PR 제어기는  $i_L$ 의 교류 성분을 제어한다. Feedforward 제어기는 서브모듈이 스위칭할 때 발생하는 서브모듈 출력 전압  $V_{sm,o}$ 의 급격한 변화로 인한 영향을 감소시켜  $i_L$ 이 좀 더 정확하게 레퍼런스를 추종할 수 있도록 한다.

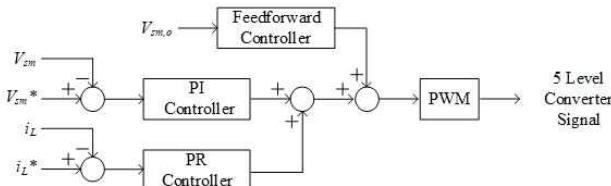


그림 3 서브모듈 시험회로의 제어 블록도  
Fig. 3 Control diagram of submodule test circuit

### 3. 시뮬레이션

시험회로의 타당성을 검증하기 위하여 표 1의 파라미터로 시뮬레이션을 진행하였다. 제안하는 서브모듈 시험회로는 1 [mH]의 인덕턴스를 가지는 인덕터를 사용하며 이는 기존의 서브모듈 시험회로보다 상대적으로 작은 인덕턴스이다. 또한 5 레벨 컨버터 스위치의 스위칭 주파수는 5 [kHz]이다.

그림 4는 시뮬레이션 결과 파형으로 서브모듈 스위칭 패턴은 MMC-HVDC 시스템의 서브모듈 스위칭 패턴을 사용하였다. 시험회로는 적절한 서브모듈 시험전류  $i_L$ 이 적절한 DC 오프셋 성분을 가지기 때문에 서브모듈 커패시터 전압  $V_{sm}$ 을 2000 [V]로 일정하게 제어한다. 또한 시험회로는 낮은 인덕턴스를 가지지만 5 레벨 컨버터를 사용하여 큰 리플 성분 없이 2 고조파 성분과 DC 오프셋 성분을 포함하는 시험전류  $i_L$ 을 모사하는 것을 확인할 수 있다.

표 1 시뮬레이션 파라미터  
Table 1 Simulation parameters

Parameter	Value
$V_{DC}$	3000 [V]
$V_{sm}$	2000 [V]
$i_{L,DC}$	-120 [A]
$i_{L,peak-to-peak}$	1000 [A]
$L$	1 [mH]
$C_{sm}$	1 [mF]
$f_s$	5 [kHz]

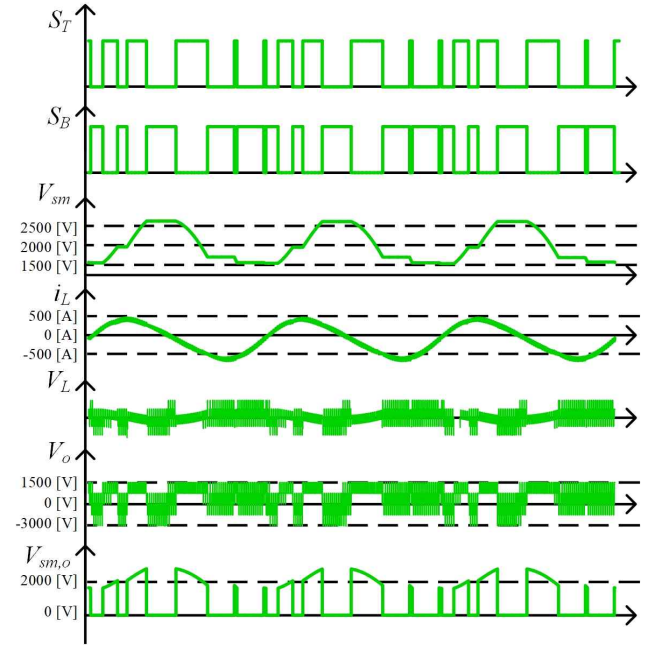


그림 4 시뮬레이션 결과 파형  
Fig. 4 Simulation result waveforms

### 4. 결론

본 논문에서는 5 레벨 컨버터를 사용한 서브모듈 시험회로를 제안하였다. 제안하는 서브모듈 시험회로는 5 레벨 컨버터를 사용하여 시험회로의 인덕턴스를 감소시켰으며 PI 제어기와 PR 제어기가 결합된 형태에 Feedforward 제어기를 추가하여 서브모듈 출력 전압의 급격한 변화에도 시험전류가 왜곡되지 않고 MMC-HVDC 시스템의 압전류와 유사하게 모사하였다. 제안하는 시험회로는 시뮬레이션을 통하여 타당성을 검증하였고 MMC-HVDC 시스템의 서브모듈 성능시험에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

이 논문은 경북대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었음 (No. 20194030202310)

### 참고 문헌

[1] H. Alyami, and Y. Mohamed, "A Coordinated Frequency Regulation Strategy for VSC-HVDC Integrated Offshore Wind Farms," *2017 IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, pp. 1-5, Jun. 2017.

[2] Y. Wang, T. Chen, F. Liu, W. Jiang, Y. Hou, W. Li, and H. Fang, "A Control Strategy of the Isolated Power Supply System based on VSC-HVDC," *2018 2nd IEEE Conference on Energy internet and Energy System Integration (E12)*, pp. 1-6, Oct. 2018.