

# 축소모형을 이용한 MMC의 Redundancy Module 동작 분석

유승환\* · 정종규\* · 홍정원\* · 한병문+  
 명지대학교 전기공학과

## Redundancy Module Operation Analysis of MMC using Scaled Hardware Model

Seung Hwan yoo · Jong Kyou Jeong · Jung Won Hong · Byung Moon Han  
 Department of Electrical Engineering, Myongji University

### ABSTRACT

In this paper, a hardware prototype for the 10kVA 11 level MMC was built and various experimental works were conducted to verify the operation algorithms of MMC. The hardware prototype was designed using computer simulation with PSCAD/EMTDC software. After manufactured in the lab, the hardware prototype was tested to verify the modulation algorithms to form the output voltage, the balancing algorithm to equalize the sub module capacitor voltage, and the redundancy operation algorithm to improve the system reliability.

### 1. 서 론

본 논문에서는 MMC의 동작을 분석할 목적으로 한 압에 12개의 SM으로 구성된 DC 1kV 10kVA MMC의 시뮬레이션모형을 개발하고 이를 기반으로 하드웨어를 제작하여 실험을 실시하였다. 시뮬레이션모형과 하드웨어를 이용하여 출력전압의 고조파를 저감하기 위한 NLC 알고리즘을 검증하고, 각 SM에 위치한 커패시터의 전압을 균등하게 유지하기 위한 알고리즘을 검증하였다. 그리고 각 압에 위치한 SM에 고장이 발생한 경우 이를 redundancy SM으로 신속하게 대처하는 알고리즘을 검증하였다.

### 2. MMC 동작 알고리즘

#### 2.1 MMC 회로

그림 1에 보인 것처럼 MMC의 한 상은 상·하단 두 개의 압과 두 개의 압 리액터로 구성되며, 각 압은 직렬로 연결된 SM으로 구성된다. MMC를 구성하는 SM은 두 개의 IGBT 스위치와 하나의 Capacitor로 구성되어 있다.

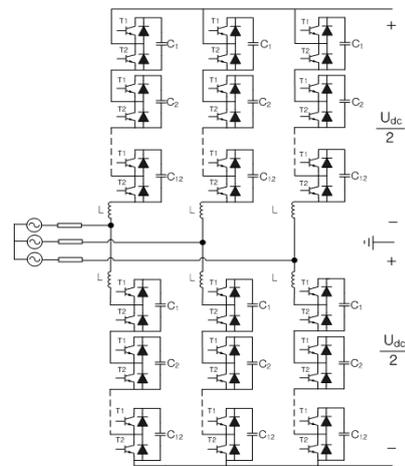


Fig. 1. Configuration of 11-level MMC

#### 2.2 Redundancy 투입 알고리즘

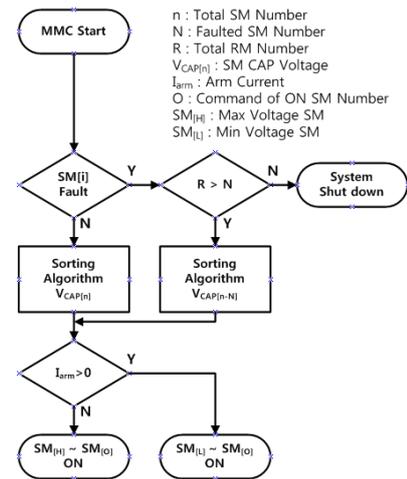


Fig. 2. Redundancy operation algorithm

그림 2는 본 논문에서 제안하는 예비모듈의 투입동작 알고리즘을 다이어그램으로 정리한 것이다. MMC가 정상적으로 동작하여 고장난 SM이 없을 시 SM과 RM이 모두가 Capacitor 전압의 balancing을 위해 Sorting 알고리즘이 적용되고, 어떤 SM에서 Fault가 난 경우 해당 SM을 제외한 나머지 전체 SM에 대해 Sorting 알고리즘

을 적용하여 Balancing을 유지한 상태에서 출력전압을 형성한다.

### 3. Computer Simulation

표 1은 본 논문에서 특성을 분석한 MMC의 정격과 회로정수를 나타낸다.

Table 1. MMC ratings and circuit parameters

Parameter	Unit	Value
Power	kW	8
DC link	V	1000
Cell Voltage	V	100
Sub-Module Cap.	uF	3360
Arm Reactor	mH	4~10
Number of SM Per Arm	EA	12
Rated MI	-	1.0
Load-R	Ohm	50
Load-L	mH	2~6

그림 4,5,6 (a)는 커패시터 전압 (b)는 A상 순환전류를 나타낸다. A상 상단 SM 고장을 0개부터 최대 2개까지 모의하였을 때 고장모듈이 증가함에 따라 커패시터 전압 리플과 순환전류가 약간 증가함을 볼 수 있으나 그림 3의 출력전압 및 선간전압 THD는 거의 일정함을 확인할 수 있다.

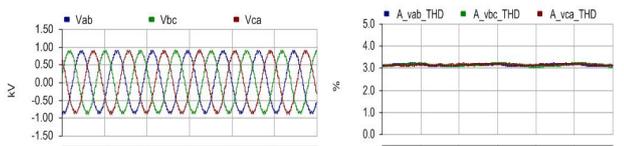


Fig. 3. line-line output voltage, line-line output voltage THD

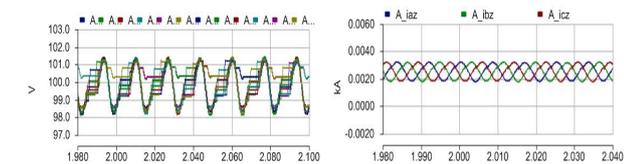


Fig. 4. MMC operation analysis with zero faulted module

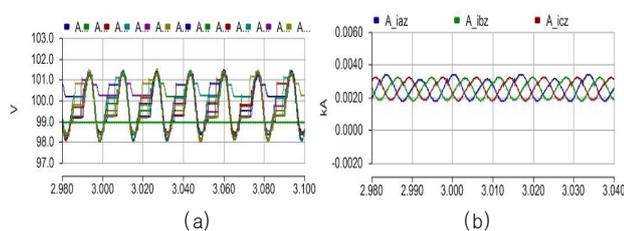


Fig. 5. MMC operation analysis with one faulted module

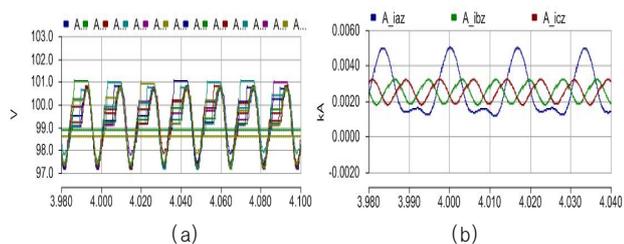


Fig. 6. MMC operation analysis with two faulted module

### 3. Hardware result

그림 7,8,9 (a)는 커패시터 전압 (b)는 선간전압 THD를 나타낸다. 앞서 시뮬레이션과 동일한 조건으로 실험하였으며 커패시터 전압 리플이 유사한 패턴으로 나오는 것을 확인할 수 있다. 또한 고장모듈의 개수와 관계없이 선간전압 THD는 거의 일정함을 확인할 수 있다.

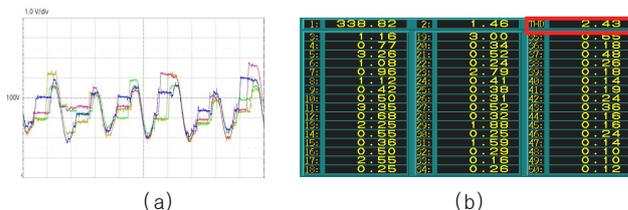


Fig. 7. MMC operation analysis with zero faulted module

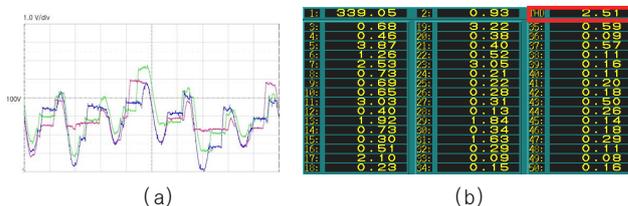


Fig. 8. MMC operation analysis with one faulted module

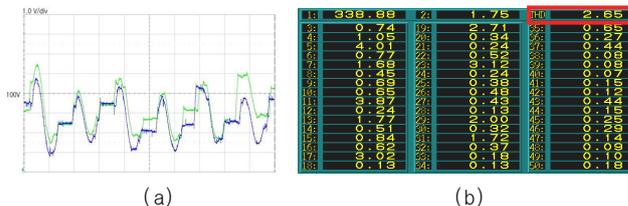


Fig. 9. MMC operation analysis with two faulted module

### 4. 결론

본 논문에서는 MMC의 동작을 분석할 목적으로 한암에 12개의 SM으로 구성된 DC 1kV 10kVA MMC의 시뮬레이션모델을 개발하고 이를 기반으로 하드웨어를 제작하여 실험을 실시하였다. 이를 토대로 출력전압의 고조파를 저감하기 위한 NLC 알고리즘, 각 SM에 위치한 커패시터의 전압을 균등하게 유지하기 위한 알고리즘, SM이 고장이 발생할 경우 이를 Redundancy SM으로 신속하게 대처하는 알고리즘을 검증하였다.

### 참고 문헌

[1] Q. Tu, Z. Xu and L. Xu "Reduced switching frequency modulation and circulating current suppression for modular multilevel converters", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 26, No. 3, pp.2009-2017 2011.

[2] K. Iives, A. Antonopoulos, S. Norrga, and H P. Nee, "A New Modulation Method for the Modular Multilevel Converter Allowing Fundamental Switching Frequency", IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 27, No.8, August 2012.