

# 근사 계단 제어 변조로 동작하는 모듈형 멀티 레벨 컨버터를 위한 새로운 초기 충전 기법

김교민 한병문  
 명지대학교 전기공학과

## New Pre-charging Method for Modular Multi-level Converter operated in Nearest Level Control Modulation

Kyo-Min Kim Byung-Moon Han

Department of Electrical Engineering, Myongji University

### ABSTRACT

본 논문에서는 근사 계단 제어 변조(Nearest Level Control Modulation)로 동작하는 모듈형 멀티레벨 컨버터(Modular Multi level Converter)에서 충전 회로나 반송파(Carrier)없이 초기 충전(Pre-charging)하는 새로운 방식을 제안하였다. 이의 성능을 검증하기 위해 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 통해 압(Arm)당 12개의 서브모듈(Sub-Module)로 구성된 3상 10kVA 모듈형 멀티레벨 컨버터를 구현 및 시뮬레이션을 수행하였다.

### 1. 서론

최근 HVDC(High-voltage Direct Current) 송전 시스템에서, 고품질의 출력 전압 및 고효율의 전력 전송이 중요시되면서 모듈형 멀티레벨 컨버터에 대한 연구가 각광받고 있다.<sup>[1]</sup>

모듈형 멀티레벨 컨버터의 초기 기동 시, 각 압에 직렬로 연결된 서브모듈 캐패시터가 기본 동작시의 서브모듈 캐패시터 전압으로 충전되는 과정에서 큰 과도전류가 발생한다. 이 과도전류는 시스템 내부에 흐르면 전력 스위칭 장치나 필터 등에 고장을 유발하는 전류 스트레스를 가하게 된다. 이러한 과도 전류를 최소화하기 위해 부가적인 충전 회로나 제어 기법들을 사용하여 모듈형 멀티레벨 컨버터의 서브모듈 캐패시터의 전압을 서서히 충전하는 기술을 모듈형 멀티레벨 컨버터의 초기 충전 기법이라 한다.

기존의 모듈형 멀티레벨 컨버터 초기 충전 기법은 별도의 충전 회로를 이용하여 추가 비용이 발생하거나 서브모듈마다 반송파를 사용하기 때문에 근사 계단 제어 변조 방식에 적용되기에는 효율성이 낮은 단점들이 있다.<sup>[2, 3]</sup>

본 논문에서는 근사 계단 제어 변조로 동작하는 모듈형 멀티레벨 컨버터에서 별도의 충전 회로를 추가하거나 반송파없이 초기 충전하는 기법을 제안하는 내용을 기술하고 있다.

### 2. 모듈형 멀티레벨 컨버터

#### 2.1 모듈형 멀티레벨 컨버터의 모델링

그림 1(a)는 3상 모듈형 멀티레벨 컨버터의 회로 구성도이다.  $V_{dc}$ 의 전압을 출력하는 직류 전압원과 한 상당 1개의 레그(Leg)로 총 3개의 레그가 모듈형 멀티레벨 컨버터를

구성하고 있다. 레그는 상단 압(Arm)과 하단 압, 총 2개의 압이 직렬로 연결되어 구성 된다. 압은 N개의 서브모듈과 1개의 압 인덕터가 직렬로 연결되어 있으며, 서브모듈은 하프브릿지(Half-Bridge) 타입으로 2개의 IGBT스위치와 1개의 직류 캐패시터로 구성되어 있다.

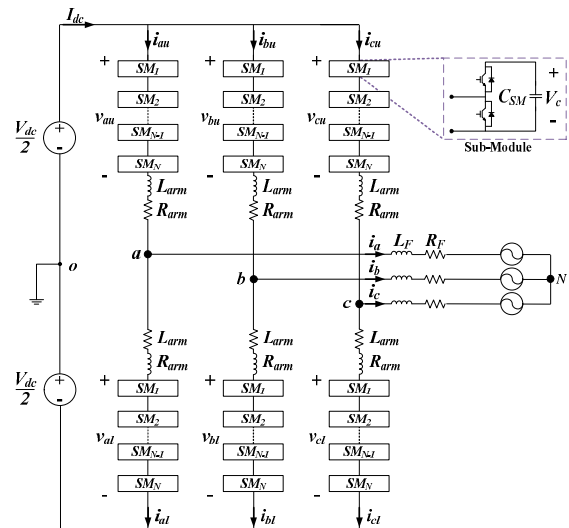


그림 1. 일반적인 3상 모듈형 멀티레벨 컨버터의 구성도  
 Fig. 1 Conventional Configuration of 3 phase MMC

#### 2.2 제안하는 초기충전 기법

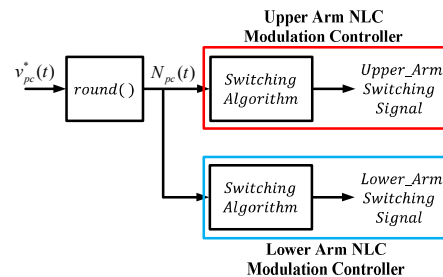


그림 2. 제안하는 초기충전 알고리즘의 제어블록도  
 Fig. 2 Control block diagram of proposed precharging algorithm

제안하는 초기충전의 레퍼런스  $v_{pc}^*(t)$ 는 식 1과 동일하며, 그림 2는  $v_{pc}^*(t)$ 에 따른 근사 계단 제어 변조 제어 알고리즘을 제어블록도로 나타낸 것이다.

$$v_{pc}^*(t) = N - at + \frac{1}{2} \cos(2\pi f \cdot t) \quad (1)$$

그림 3은 모듈형 멀티레벨 컨버터의 암당 서브모듈의 개수가 12개일 때, 제한한 레퍼런스에 따라 초기 충전에 참여하는 삽입 서브모듈 개수 변화를 확대한 파형이다.

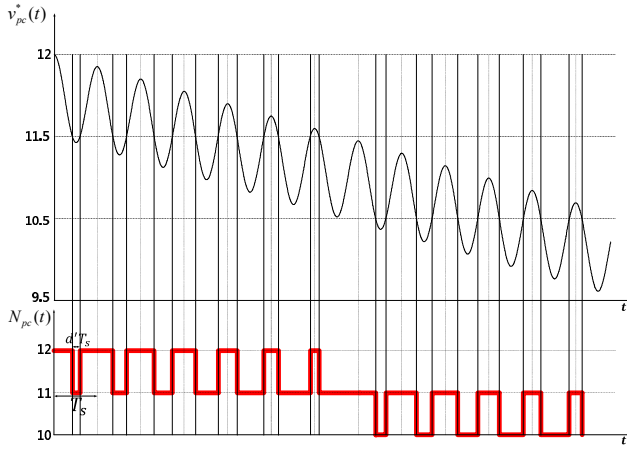


그림 3.  $v_{pc}^*(t)$ 에 따른  $N_{pc}(t)$  출력 파형  
Fig. 3 Output graph of  $N_{pc}(t)$  according to  $v_{pc}^*(t)$

**case 1:**  $v_{pc}^*(t) \geq 11.5$ 일 때, 암당 12개의 서브모듈들이 모두 삽입되어 있으며, 각각의 서브모듈 캐패시터 전압은  $V_{dc}/24$ 로 충전되어있다.

**case 2:**  $10.5 \leq v_{pc}^*(t) < 11.5$  일 때, 레퍼런스가 11.5보다 작아지면서 각 암에서 1개의 서브모듈이 시비율 모드로 동작하기 시작하며, 암당 삽입 서브모듈의 개수는 11개이다. 이때, 전압 평형 알고리즘에 의해 암 전류의 방향에 따라 서브모듈 캐패시터 전압이 가장 낮거나 높은 서브모듈이 시비율 모드로 동작한다. 또한 코사인 함수에 의해 시간이 흐를수록 시비율이 점점 줄어든다.

**case 3:**  $9.5 \leq v_{pc}^*(t) < 10.5$  일 때, 레퍼런스가 10.5보다 작아지면서 각 암에서 1개의 서브모듈이 바이패스 모드, 1개의 서브모듈이 시비율 모드로 동작하며, 암당 삽입 서브모듈의 개수는 10개로 줄어들게 된다.

### 3. PSCAD/EMTDC 시뮬레이션

시뮬레이션 소프트웨어는 PSCAD/EMTDC를 사용하였으며, 그림 4는 시뮬레이션 결과 파형이다. 제안한 초기 충전 레퍼런스가 코사인 함수에 의해 진동하면서 12에서 6까지 감소함에 따라 서브모듈 캐패시터의 전압이 41.67V에서 83.33V까지 서서히 충전되는 것을 확인할 수 있다. 이 때, 흐르는 과도전류는 최대 10A, 평균 5A로 초기 충전 기법을 적용하지 않았을 때의 최대 과도전류보다 0.083배, 기율기 함수 레퍼런스 만을 적용했을 때보다 0.263배 작음을 확인할 수 있다.

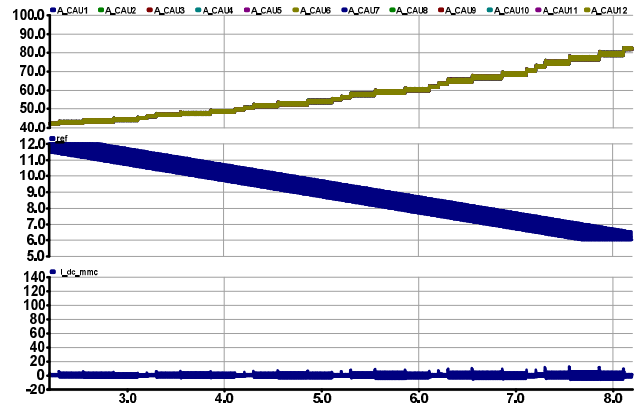


그림 4. 제안한 초기 충전 기법을 적용한 시뮬레이션 결과 파형

Fig. 4 Simulation waveform applying proposed precharging method

## 5. 결론

본 논문에서는 근사 계단 제어 변조 방식으로 동작하는 모듈형 멀티레벨 컨버터를 초기 충전하는 기법을 제안하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 그 동작과 성능을 확인하였다. 제안하는 초기 충전 기법을 통해 모듈형 멀티레벨 컨버터 초기 기동 시 발생하는 충전 과도 전류를 최소화하여 시스템을 구성하는 스위치 및 저항, 캐패시터 등의 소자들을 보호할 수 있기 때문에 시스템의 안정도와 신뢰성을 향상 시킬 수 있다. 또한 별도의 충전회로가 필요하지 않기 때문에 하드웨어 제작 시 추가 비용이 발생하지 않으며, 반송과 없이도 시비율의 효과를 얻을 수 있기 때문에 초기 충전 제어 알고리즘이 단순하여 근사 계단 제어 변조 방식의 모듈형 멀티레벨 컨버터에 간단하게 적용이 가능하다.

## 참고 문헌

- [1] G. Bergna *et al.*, "An Energy-Based Controller for HVDC Modular Multilevel Converter in Decoupled Double Synchronous Reference Frame for Voltage Oscillation Reduction," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, no. 6, pp. 2360-2371,
- [2] R. Marquardt, A. Lesnicar, "New concept for high voltage-modular multilevel converter" in *Proc. IEEE PESC*, Aachen, Germany, 2004, pp. 1-5
- [3] K. Shi, F. Shen, D. Lv, P. Lin, M. Chen, D. Xu, "A novel start-up scheme for modular multilevel converter," 2012 *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Raleigh, NC, 2012, pp. 4180-4187.