

# 다단 멀티레벨 컨버터에서의 성능개선을 위한 개별전압 지연보상

김상현, 김태형, 권병기  
포스코ICT 기술센터 전력전자기술팀

## Compensation of Individual Voltage Delay for Performance Improvement in Cascaded Multilevel Converter

Sang Hyun Kim, Tea Hyung Kim, Byung Ki, Kwon  
POSCOICT R&D Center Power Electronics Team

### ABSTRACT

본 논문에서는 다단 멀티레벨 컨버터(Cascaded Multilevel Converter) 방식으로 개발된 STATCOM에서 Phase Shifted PWM 시 발생할 수 있는 개별 Cell 인버터의 출력 전압 위상 지연을 보상하여 시스템의 성능을 개선하였다.

### 1. 서론

전기로와 같이 무효전력이 급격히 변동하는 부하는 전력계통에 심한 전류 불평형을 일으키는데 이를 보상하기 위해 빠른 응답특성을 가지는 STATCOM의 적용이 확대되고 있다. 고압화, 대용량화가 가능한 STATCOM 토폴로지 중에 Diode Clamped multilevel 방식, Flying Capacitor multilevel 방식이 관심을 받고 있지만 시스템구동에 있어 복잡한 전압제어가 요구된다. 이에 대한 대안이 Cascaded Multilevel 방식이다. Cascaded Multilevel Converter는 그림 1과 같이 모듈화된 Cell 인버터(H Bridge Inverter)가 여러 개 직렬로 연결되어 하나의 상을 구성하게 되어 고압의 전압을 출력하게 된다.

Cascaded Multilevel Converter에서의 Cell 인버터는 독립된 커패시터 뱅크를 지니고 있어 상간 전압 불평형의 문제와 셀간 전압 불평형의 문제가 생길 수 있다. Cascaded Multilevel Converter의 방식의 STATCOM이 부하의 불평형성분을 보상하기 위해서는 역상분 전류를 발생시키게 되는데 이로 인해, 각 상에는 일정한 크기를 갖는 유효전력이 존재하게 된다. 3상의 유효전력의 합은 영이지만 상 전압이 분리되어 있기 때문에 각 상의 직류전압의 불균형이 생기게 된다<sup>[1]</sup>. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 시스템에서는 영전류를 주입 방법으로 보상하고 있다.

Cell 인버터가 직렬로 연결되는 Cascaded Multilevel Converter는 같은 상에서도 각각의 Cell 인버터의 직류전압의 불평형이 일어날 수 있으며, 그 원인은 다음과 같다. 첫째, 인버터의 전력손실 차이, 둘째, 커패시터 뱅크 및 방전저항의 용량차이, 마지막으로 Phase Shifted PWM 시 발생할 수 있는 출력전압 위상지연에 따른 인버터 전력 역률차이가 있다. 상기된 원인 중 셀 직류 전압의 불균형을 초래하는 가장 큰 원인은 출력전압의 위상지연이다. 본 논문에서는 Cascaded Multilevel Converter가 Phase Shifted PWM 시 필연적으로 발생할 수 있는 전압 위상지연을 보상함으로써 상기된 시스템의 성능을 개선하였다.

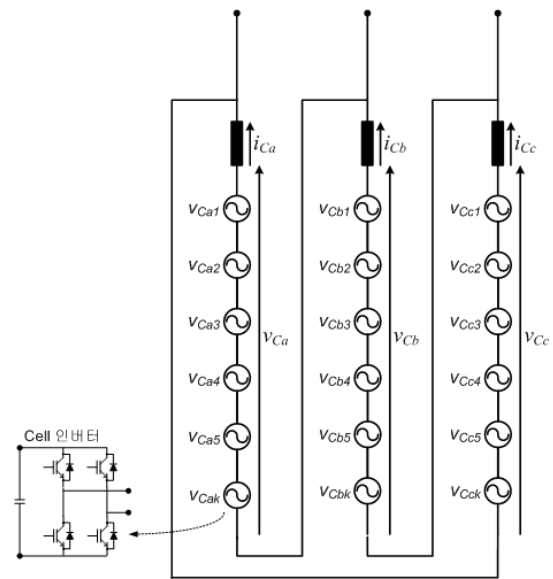


그림 1 Cascaded Multilevel Converter의 개념도

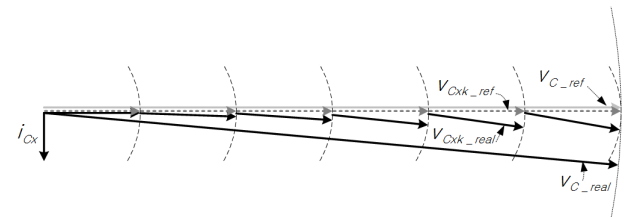


그림 2 Phase-Shifted PWM에 따른 전압 위상 지연 개념도

## 2. Cascaded Multilevel Converter

### 1.1 Phase-Shifted PWM 위상 지연 분석

Cascaded Multilevel Converter에서 PWM은 방법구현이 비교적 용이하고 제어기의 모듈화가 가능한 Phase Shifted PWM 방법이 많이 적용되고 있다. Phase Shifted PWM은 각각의 Cell 인버터의 삼각 Carrier에 위상 차이를 주어 출력전압을 중첩하는 방법으로 Cell 인버터의 스위칭주파수에 전압레벨의 배에 해당하는 스위칭주파수 효과를 얻을 수 있어 낮은 THD의 높은 출력 전압을 얻을 수 있으며, Cell 인버터의 전력손실도 비슷하여 직류 전압 및 열적 균형을 비교적 손쉽게 유지할 수 있는 장점이 있다.

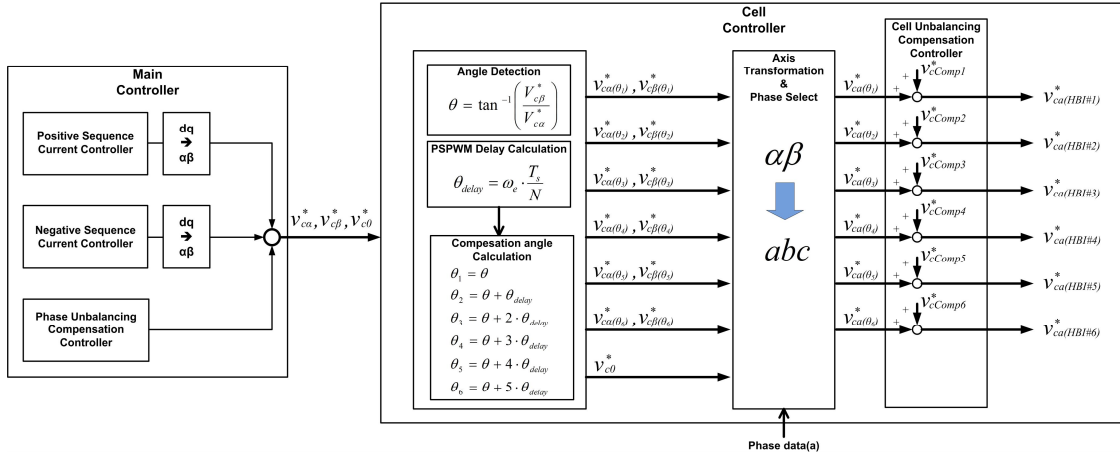


그림 3 Phase-Shifted PWM에 따른 전압 위상 지연 보상 개념도

하지만 Phase Shifted PWM 방식은 Carrier의 위상차이만큼 출력전압에 위상지연이 필연적으로 발생한다<sup>[2]</sup>. 그림 2는 Phase Shifted PWM에 따른 출력 전압 위상을 개념적으로 설명하고 있다. Cell 인버터의 출력 전압은 기준값과 달리 실제 출력에 지연이 나타나는 모습이다. 이는 Cell 인버터 마다 그 정도가 다르며, 결과적으로 셀 직류전압의 불균형을 초래한다. Cell 인버터 출력전압의 위상지연은 식 (1)과 같다. 여기서,  $T_s$ 는 sampling time(Double Sampling),  $N$ 은 직렬로 연결된 Cell 인버터 개수,  $k$ 는 Cell 인버터의 번호이다. 이는 결과적으로 시스템 출력 상전압에도 영향을 미치므로 전류제어기, 상 불균형 보상기의 성능을 저하시킨다. 식(2)는 중첩된 상전압의 위상지연 크기이다.

$$\theta_{cellvoltage\_delay} = \frac{T_s}{N}(k-1) \times \omega_e \quad (1)$$

$$\theta_{phasevoltage\_delay} = \frac{T_s(N-1)}{2N} \times \omega_e \quad (2)$$

### 1.3 전압 위상 지연 보상

Cascaded Multilevel Converter에서 Phase Shifted PWM을 할 경우 발생하는 전압 위상 지연은 두가지 문제로 분석할 수 있다. 첫째, 개별 Cell 인버터 출력 전압의 위상지연, 둘째, Cell 인버터들의 출력전압이 모두 합성되어진 상전압의 위상지연이다. 전압 위상 지연 보상 시 합성된 상전압의 위상 지연(Cell 인버터 위상 지연의 평균 값)을 보상할 경우 시스템의 전류제어기와 상 전압 불균형 보상기의 성능은 개선될 수 있으나 셀 전압 불균형은 여전히 존재하게 된다. 본 논문에서는 개별 Cell 인버터의 전압 위상 지연을 각각 보상함으로써 제어기의 성능을 개선하였다. 그림 3은 전압 위상 지연 보상의 개념도이다.

### 1.4 실험결과

본 논문의 방법은 6개의 Cell 인버터가 직렬로 연결된 440V 30kVA Simulator에서 검증하였다. Cell 인버터의 직류전압은 133V이다. 그림4는 상 전압 불균형 보상 실험 결과이며, 그림 5는 셀 전압 불균형 보상 실험 결과이다. 전압 위상지연 보상으로 인한 시스템의 성능개선을 실험적으로 확인할 수 있다.

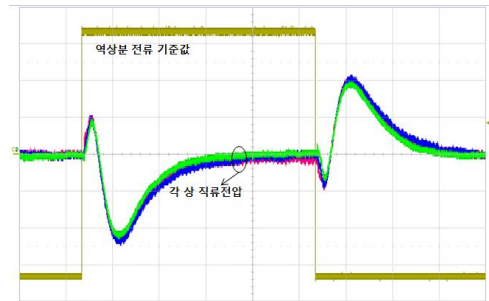


그림 4 상 전압 불균형 보상이 실험결과 (400V/div, 800V offset, 200ms/div)

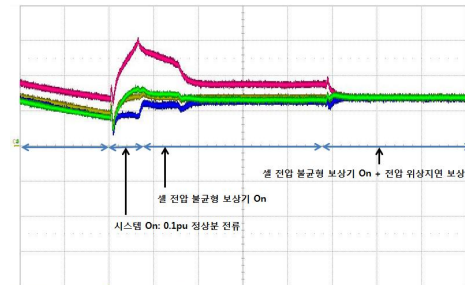


그림 5 셀 전압 불균형 보상이 실험결과 (50V/div, 100V offset, 5s/div)

## 3. 결론

본 논문에서는 Cascaded Multilevel Converter에서 Phase Shifted PWM 시 발생할 수 있는 출력전압의 위상지연을 개별 Cell 인버터에서 보상하여 성능을 개선하였으며, 이를 실험으로 검증하였다. 본 기술은 POSCOICT에서 개발된 22.9kV 5MVA STATCOM에 적용되어 실증할 예정이다.

## 참고 문헌

- [1] F. Z. Peng, "A universal STATCOM with delta connected cascaded multilevel inverter" PESC, 2004.
- [2] Y. M. Park, H. S. Ryu, H. W. Lee, M. G. Jung, S. H. Lee. "Design of a Cascaded H Bridge Multilevel Inverter Based on Power Electronics Building Blocks and Control for High Performance", Journal of Power Electronics, Vol.10, No.3, 2010..