

# 멀티레벨 인버터의 변압기 설계

임종훈, 김명기, 노용수, 최준혁, 김진홍  
전자부품연구원 지능메카트로닉스연구센터

## Design of Transformer for Multi-level Inverter

Jong Hun Lim, Myeong Gi Kim, Yong Su Noh, Jun Hyuk Choi, Jin Hong Kim  
Korea Electronics Technology Institute (KETI)

### ABSTRACT

본 논문은 멀티레벨 컨버터 및 인버터 파워스택의 변압기 설계법에 대해 다룬다. 멀티레벨 파워스택 토폴로지는 기존의 위상천이 변압기를 이용하는 대신 다권선 변압기를 이용하여 단순한 구조의 변압기 설계가 가능하다. 본 논문에서는 다권선 변압기를 사용하는 멀티레벨 파워스택에 대해 이론적 분석을 서술하고, 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증하였다.

### 1. 서론

최근 중·대용량 교류전동기 구동에서 용량 및 제어 성능을 향상시키기 위하여 다양한 형태의 멀티레벨 인버터 구조가 연구되어 왔다. 일반적인 3상 인버터는 2 레벨의 전압을 출력하지만 대용량 어플리케이션에 적용되는 경우, 낮은 스위칭 주파수에 의해 출력 전류의 THD가 증가한다는 단점을 갖는다. 반면, 멀티레벨 토폴로지는 일반 인버터에 비해 같은 스위칭 주파수에서 상대적으로 출력전류의 고조파가 낮아 대용량 어플리케이션에 적용하기 용이하다.

멀티레벨 전력변환시스템은 많은 셀 또는 서브모듈로 구성되며, 그 구성에 따라 Series Connected 2 Level(SC2L), Diode Clamped Multi Level(DCML), Capacitor Clamped Multi Level(CCML), H Bridge Multi level(HBML)로 구분된다. 그 중 HBML은 DC link 입력전압 및 용량의 확장이 용이하기 때문에 산업 현장에서 가장 많이 사용되며, Cascaded NPC 구조로 구성할 경우 한 개의 파워스택 당 출력 선간전압을 Unipolar PWM 변조를 통해 5단계로 구성시킬 수 있다. 또한 기존 HBML의 단점이었던 위상천이 변압기를 더 적은 권선으로 제작이 가능한 일반 변압기로 대체할 수 있다는 장점이 있다.<sup>[1]</sup>

본 논문은 다권선 변압기를 이용하여 단순한 구조로 설계가 가능한 멀티레벨 컨버터 및 인버터 파워스택에 대해 이론적으로 서술하고, 변압기 설계법에 대해 기술하였다.<sup>[1][2]</sup>

### 2. 다권선 변압기를 기반으로 하는 Cascaded NPC H-bridge 인버터 파워스택

그림 1은 Cascade NPC H bridge 구조를 갖는 인버터 파워스택의 구성을 보여준다. 계통전압이 다권선 변압기를 통해 턴수비에 의해 감압되어 DC/AC 컨버터로 입력되며 정류된 DC link 전압은 인버터 회로로 입력된다. 인버터를 통한 스택의 출력전압이 멀티레벨 출력전압의 형태로 변환된다.

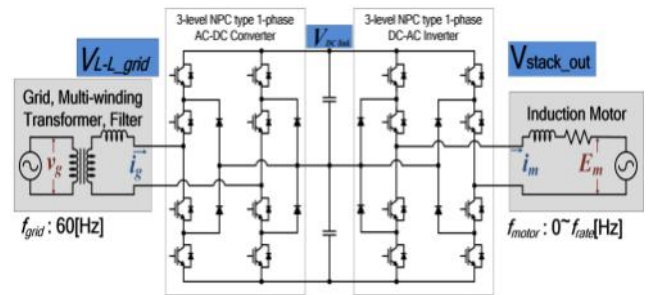


그림 1. Cascaded NPC H-bridge 인버터

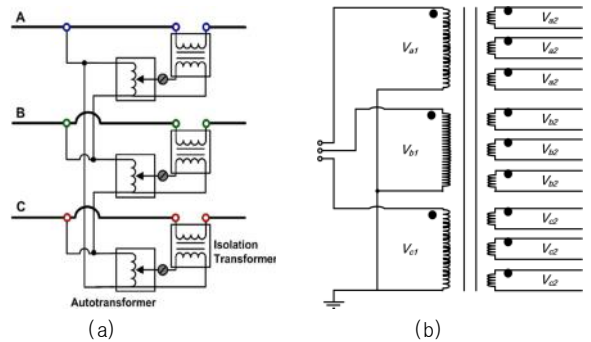


그림 2. Cascade 구조의 멀티레벨 토폴로지에 적용되는 (a) 위상천이 변압기, (b) 다권선 변압기

그림 2는 기존의 Cascaded H bridge 인버터와 NPC H bridge 인버터의 변압기 구성을 비교한 그림이다. 그림 2(a)와 같이 위상천이 변압기를 사용하는 기존의 H Bridge 인버터를 이용하여 5단계의 전압 레벨을 구성하기 위해서는 2개의 정류 회로와 2개의 변압기 2차 측 권선이 필요하다. 하지만 H Bridge 인버터를 NPC 형태로 구성할 경우, 출력 선간전압을 5단계로 만들 수 있지만 그림 2(b)와 같이 정류회로와 변압기 2차 측 권선이 하나만 필요로 하게 되는 장점이 있다.

### 3. Cascade NPC H-bridge 인버터의 변압기 설계

본 논문에서 다루는 Cascaded NPC H bridge 인버터 파워스택의 다권선 변압기 설계는 계통의 전압과 DC link 전압, 그리고 인버터 출력정격 전압을 이용한다. 그림 1과 같이 멀티레벨 인버

터 및 컨버터가 구성되어 있을 시, 전동기의 정격 전압을 이용하여 설계식을 아래와 같이 표현할 수 있다. Cascaded NPC H bridge 인버터는 식 (1)에서 계산된 상전압을 개별의 모듈에서 분담하는 형태이다. 여기서,  $V_{L-S_{peak\_motor}}$  은 모터의 정격 상전압의 피크값이며  $V_{L-L_{rms\_motor}}$  은 모터의 정격 선간전압의 실효값이다. 파워스택의 개수를  $N_{stack}$  이라 할 때, 개별 파워스택의 출력전압은 아래 식 (2)와 같다.

$$V_{L-S_{peak\_motor}} = \sqrt{\frac{2}{3}} V_{L-L_{rms\_motor}} \quad (1)$$

$$V_{stack\_out} = \frac{V_{L-S_{peak\_motor}}}{N_{stack}} \quad (2)$$

식 (2)의 파워스택의 출력전압을 이용하여 식 (3)과 같이 DC link 제어 전압을 선정해야 한다. DC link 전압은 다음과 같은 조건에서 선정되어야 한다. 식 (3)에서  $Ma_m$ 은 인버터 지령전압의 피크 값을 의미하며  $Ma_m$ 은 1을 넘지 않는 값으로 선정되어야 한다.

$$V_{stack\_out} = V_{DC\_link} \times Ma_m \quad (3)$$

입력단은 다권선 변압기 구성을 통해 계통 전압이 변압되어 AC/DC 컨버터를 거치게 된다. 일반적으로 중성점 접지를 위해 1차 측을 Y결선으로 구성하고 2차 측을 델타결선으로 구성한다. 따라서 단상 2차 측 권선에서 측정되는 전압은 식 (4)와 같이 정리할 수 있다.

$$V_{Tr\_2st\_rms} = \frac{n_2}{\sqrt{3}n_1} V_{L-L_{rms\_grid}} \quad (4)$$

모터의 정격전압을 기준으로 나타낸 DC link 전압은 변압기 관점에서 볼 때 2차 측 전압이 AC/DC컨버터를 거쳐 나온 전압이 된다. 따라서 변압기에서는 이 DC link 제어전압이 넘지 않도록 하는 턴수비 선정이 필요하다. 변압기의 턴수비를 결정하는 수식은 식 (5)와 같이 선정할 수 있게 된다. 여기서  $Ma_g$ 는 AC/DC 컨버터의 지령전압 피크 값을 의미한다.<sup>[1]</sup>

$$\begin{aligned} \frac{n_2}{n_1} &= \frac{\sqrt{3} V_{DC\_link} \times Ma_g}{\sqrt{2} V_{L-L_{rms\_grid}}} \\ &= \frac{Ma_m Ma_g V_{L-L_{rms\_motor}}}{N_{stack} V_{L-L_{rms\_grid}}} \end{aligned} \quad (5)$$

#### 4. 실험 결과

표 1의 파라미터를 기준으로 위의 식 (1) (5)를 이용하여 변압기 설계를 진행하였다. 설계된 변압기 턴수비는 3으로, 제안한 변압기 설계법을 검증하기 위해 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 3은 변압기 1, 2차 측 전압, DC link 전압, 그리고 인버터에서 출력되는 전압과 전류 파형을 보여준다. 출력 전압은 하나의 상에 3개의 스택이 직렬로 연결되어있는 경우 최대 13단계의 출력전압이 나타나게 된다.

표 1. 멀티레벨 인버터 파워스택 주요 파라미터

	파라미터	단위
출력용량	1.2	MVA
출력전압	6600	$V_{rmsL-L}$
출력전류	104	$A_{rms}$
DC link 전압	2	kV
계통 전압	6800	$V_{rmsL-L}$
턴수비	3	Turn ratio
스택 수	3	per phase

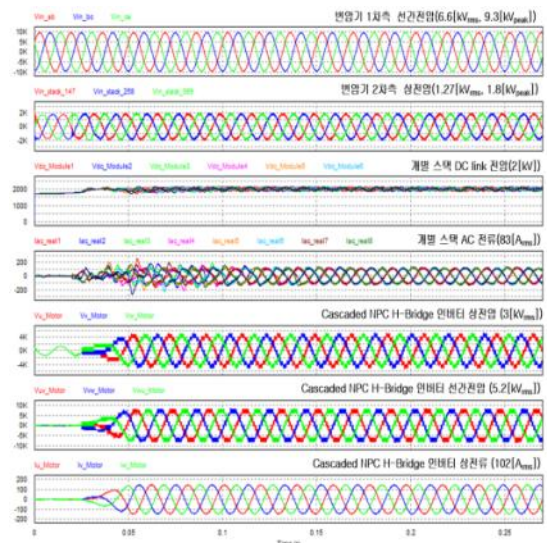


그림 3. Cascaded NPC H-bridge 멀티레벨 인버터 시뮬레이션 파형

#### 5. 결론

본 논문에서는 다권선 변압기를 기반으로 하는 Cascaded NPC H bridge 멀티레벨 인버터 파워스택이 기존의 H bridge 멀티레벨 인버터와 비교하여 장점을 서술하고, 다권선 변압기에 대한 설계법을 제안하였다. 제안한 바는 PSIM 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20162010103830)

#### 참고 문헌

- [1] Seunh Wook Hyun "Neutral Point Shifting Technique for Power Distribution and Power Factor Correction in Cascaded NPC H bridge Converter/Inverter", 성균관대학교 박사학위논문, 2017
- [2] I Gim Kim, "Simulation based Comparative Loss Analysis and Output characteristic for 25MW class of High Power Multi level inverters" in Korean Institute of Power Electronics vol.20 No. 4, pp 337-343 2015. August