

Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터의 효율적인 스위칭 패턴

김선필, 정보창, 강필순
한밭대학교

Efficient switching pattern for cascaded H-bridge multilevel inverter

Sun Pil Kim, Bo Chang Jung, Feel-soon Kang
Hanbat National University

Abstract - 두 대의 동일한 H-bridge 모듈로 구성되는 Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터는 출력전압에 5-레벨을 형성할 수 있으며 출력전압의 THD를 개선시키기 위해 PWM 스위칭을 적용할 수 있다. 출력필터 사이즈를 줄이기 위해 PWM 스위칭 주파수를 높일 수 있지만 스위칭 손실이 증가하게 된다. 본 논문에서는 이러한 경우 스위칭 손실을 저감시킬 수 있는 변형된 스위칭 패턴을 제안한다. Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터의 특성을 고려하여 하단 H-bridge 모듈의 스위칭은 기본 출력전압 레벨을 형성하도록 동작시키며, 상단 H-bridge 모듈 스위칭에 의한 출력값이 기본 전압레벨에 가감되어 PWM 출력전압 형성하도록 동작시킨다. 제안된 스위칭 패턴을 Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터에 적용하여 기존 스위칭 방법과 비교 분석한다.

1. 서 론

Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터는 H-bridge 모듈을 다단으로 결합시켜 출력전압의 레벨 수를 증가시키는 멀티레벨 형성의 대표적인 방법 중 하나이다. Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터는 출력전압 레벨 수를 증가시키기에 가장 효율적인 방법으로 알려져 있으며, 동일한 H-bridge 모듈을 사용함으로써 유지 보수가 간편하고 높은 신뢰성을 가지는 장점이 있다 [1]. 그러나 출력전압 레벨 수를 증가시키기 위해서는 스위치 개수와 여러 개의 독립된 입력전압원을 확보해야 하는 문제가 있어 일반적으로 H-bridge 모듈 수를 최소화 한 구조에 PWM 스위칭 패턴을 적용하여 출력전압의 THD를 개선하고 있다. 출력필터 사이즈를 줄이기 위해 PWM 스위칭 주파수를 증가시키는 방법을 선택할 수 있지만 스위칭 손실에 따른 시스템 효율 저하를 최소화 시킬 필요가 있다.

본 논문에서는 Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터의 PWM 스위칭 손실을 저감시킬 수 있는 변형된 스위칭 패턴을 제안한다. 두 대의 동일한 H-bridge 모듈의 다단 결합으로 구성되어 출력전압에 5-레벨을 형성할 수 있는 Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터를 대상으로 한다. 하단 H-bridge 모듈의 스위칭은 기본 출력전압 레벨을 형성하도록 동작시키며, 상단 H-bridge 모듈 스위칭에 의한 출력값이 기본 전압레벨에 가감되어 PWM 출력전압 형성하도록 동작시킨다. 제안된 스위칭 패턴을 PD (Phase disposition), APOD (Alternative phase opposition disposition), Bipolar, Unipolar 스위칭 방식에 따라 제시하며, Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터에 적용하여 기존 스위칭 방법과 비교 분석한다.

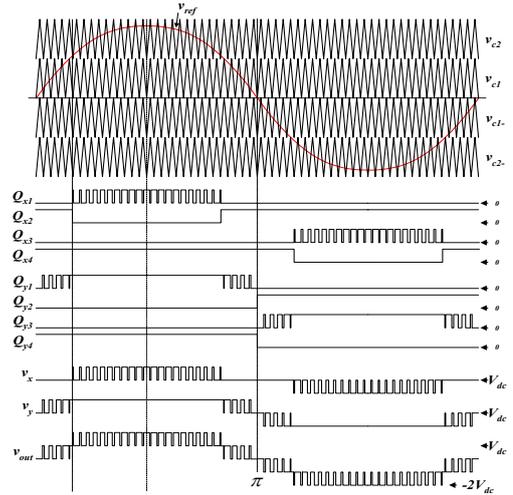
2. 제안하는 스위칭 패턴

2.1 기존 PD 스위칭 패턴

그림 1은 기존의 PD 스위칭 패턴($Q_{x1}-Q_{x4}$, $Q_{y1}-Q_{y4}$)과 상단(v_x), 하단의 출력전압(v_y), 출력전압(v_{out})을 보여준다. PD 방식은 기준전압(v_{ref})과 4개의 반송파(v_{c1} , v_{c2} , v_{c1-} , v_{c2-})가 필요하다. 기준전압과 반송파를 비교하여 표 1에 따라 PD 스위칭 패턴을 생성한다. 그림 1에서 알 수 있듯이 기존 PD 스위칭 방식은 4개의 스위치 소자가 PWM 동작을 수행하며 나머지 스위치들이 제로 레벨 또는 V_{dc} 레벨을 형성시키기 위해 동작한다.

2.2 제안하는 PD 스위칭 패턴

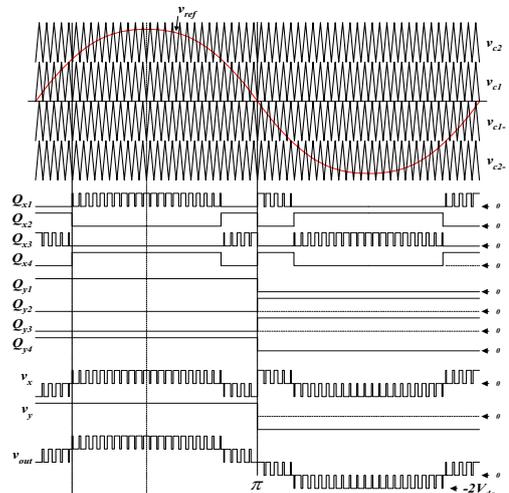
그림 2는 제안하는 PD 스위칭 패턴($Q_{x1}-Q_{x4}$, $Q_{y1}-Q_{y4}$)과 상단(v_x), 하단의 출력전압(v_y), 출력전압(v_{out})을 보여준다. 기준전압이 반송파보다 작은 경우 Q_{x3} 는 ON/OFF 동작을 반복 수행하여 PWM 펄스를 생성하게 된다. 기준전압과 반송파를 비교하여 표 2에 따라 PD 스위칭 패턴을 생성한다. 상단 2개의 스위치만 고주파 스위칭 동작을 수행하며 나머지 하단 모듈의 스위치들은 V_{dc} 형성을 위한 저주파 스위칭 동작을 수행한다. 입력전원에서 부하로 전달되는 전력은 전압 파형의 면적에 비례하므로 대부분의 전력은 하단 모듈을 통해서 부하로 전달되어 제안하는 스위칭 패턴이 스위칭 손실 개선 차원에서 유리함을 알 수 있다.



<그림 1> 기존의 스위칭 패턴 (PD)

<표 1> 기존 스위칭 방법 (PD)

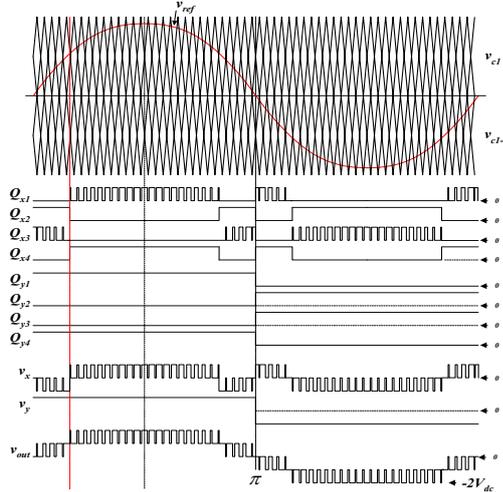
$v_{ref} > v_{c1}$	$Q_{x1} = \text{on (PWM)}$ $Q_{x2} = \text{on}$	$Q_{y4} = \text{on}$ $Q_{x4} = \text{on}$	zero-level
$v_{ref} > v_{c2}$	$Q_{x1} = \text{on (PWM)}$ $Q_{y1} = \text{on}$	$Q_{x4} = \text{on}$ $Q_{y4} = \text{on}$	V_{dc} -level
$v_{ref} < v_{c1}$	$Q_{y3} = \text{on (PWM)}$ $Q_{x2} = \text{on}$	$Q_{y2} = \text{on}$ $Q_{x4} = \text{on}$	zero-level
$v_{ref} < v_{c2}$	$Q_{x3} = \text{on (PWM)}$ $Q_{y3} = \text{on}$	$Q_{x2} = \text{on}$ $Q_{y2} = \text{on}$	$-V_{dc}$ -level



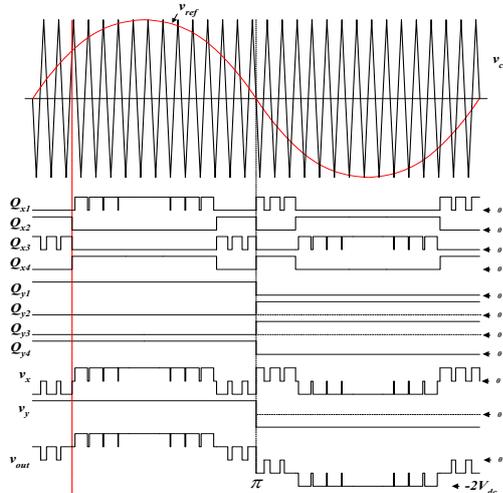
<그림 2> 제안하는 스위칭 패턴 (PD)

〈표 2〉 제안하는 스위칭 방법 (PD)

$v_{ref} < v_{c1}$	Q_{x3} = on (PWM)	Q_{x2} = on	voltage cancellation
$v_{ref} < v_{c1-}$			
$v_{ref} < v_{c2}$	Q_{x1} = on (PWM)	Q_{x4} = on	voltage addition
$v_{ref} < v_{c2-}$			
$v_{ref} > 0$	Q_{y1} = on	Q_{y4} = on	V_{dc} -level
$v_{ref} < 0$	Q_{y3} = on	Q_{y2} = on	$-V_{dc}$ -level



〈그림 3〉 제안하는 스위칭 패턴 (APOD)



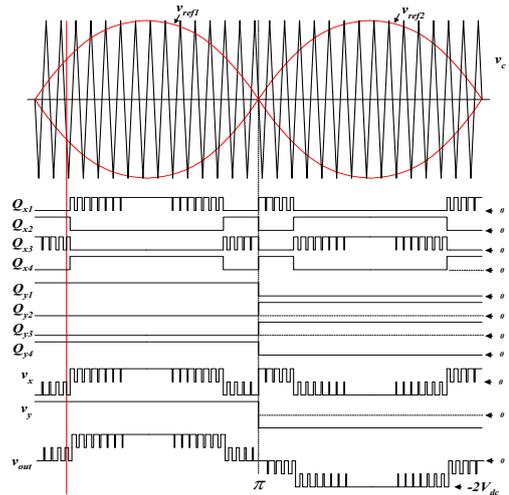
〈그림 4〉 제안하는 스위칭 패턴 (Bipolar)

2.3 제안하는 스위칭 패턴의 APOD, Bipolar, Unipolar 구현

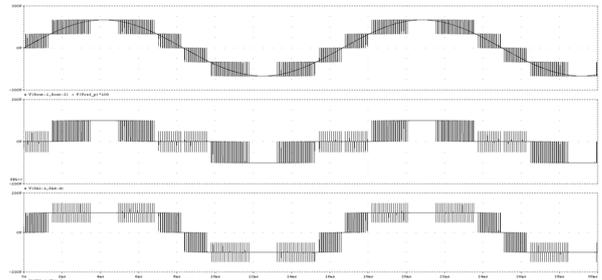
제안하는 스위칭 패턴은 APOD, Bipolar, Unipolar 방식에 의해서도 구현이 가능하다. 그림 3부터 그림 5까지는 제안하는 스위칭 패턴을 APOD, Bipolar, Unipolar 방식으로 구현한 파형을 보여준다. PD, APOD 방식과 비교하여 Bipolar, Unipolar 방식은 단일 반송파를 이용하여 구현할 수 있다. 하지만 하나의 반송파로 인해 PWM 펄스폭이 선형적으로 증가하게 되어 레벨 천이구간에 THD가 악화되는 문제가 발생한다.

3. 시뮬레이션 결과

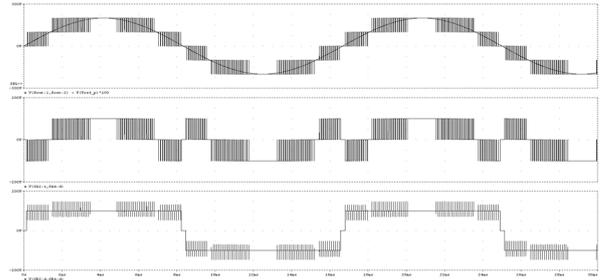
제안하는 스위칭 패턴의 검증을 위해 PSpice를 이용한 시뮬레이션을 수행한다. 상단, 하단 H-bridge 모듈의 입력전압은 각각 100 V로 설정하여 출력전압의 피크값이 200 V가 되며, 반송 주파수는 10 kHz, PD 방식을 적용하여 기존 방식과 제안하는 스위칭 패턴을 비교한다. 기존 스위칭 패턴인 그림 6(a)와 제안하는 스위칭 패턴인 그림 6(b)를 비교한 결과, 제안하는 스위칭 패턴이 스위칭 손실 개선 차원에서 유리함을 확인할 수 있다.



〈그림 5〉 제안하는 스위칭 패턴 (Unipolar)



(a)



(b)

〈그림 6〉 시뮬레이션 결과, (a) 기존, (b) 제안된 패턴 (PD)

4. 결 론

본 논문에서는 두 개의 H-bridge 모듈을 가지는 Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터의 스위칭 손실 저감을 위한 변형된 스위칭 패턴을 제안하였다. 하단 H-bridge 모듈의 스위치는 기본 출력전압 레벨을 형성하도록 동작시키며, 상단 H-bridge 모듈 스위칭에 의한 출력값이 기본 전압레벨에 가감되어 PWM 출력전압 형성하도록 동작시킨다. 제안된 스위칭 패턴을 Cascaded H-bridge 멀티레벨인버터에 적용하여 기존 스위칭 방법과 비교 분석하였다.

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2010-0009504)

[참 고 문 헌]

- [1] H. Abu-Rub, J. Holtz, J. Rodriguez, and Ge Baoming, "Medium-Voltage Multilevel Converters State of the Art, Challenges, and Requirements in Industrial Applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 8, pp. 2581-2596, Aug. 2010.