

DC 링크 스위치를 갖는 새로운 H-브릿지 멀티레벨 인버터

박민영, 김흥근, 전태원, 노의철
 경북대학교 울산대학교 부경대학교

Novel H-bridge Multi-level Inverter with DC-link Switches

Min-Young Park, Heung-Geun Kim, Tea-Won Chun, Eui-Cheol Nho
 Kyungbuk national univ. Ulsan univ. Pukyong national univ.

ABSTRACT

본 논문에서는 멀티레벨 인버터의 토폴로지로서 H-bridge 토폴로지를 기본으로 하여 2개의 전력용 스위치와 2개의 diode를 DC 링크에 연결한 변형된 구조를 제안한다. 제안된 방식은 계통 연계형 단상 멀티레벨 인버터로서 기존의 단상 인버터에 비하여 출력 전압 파형이 정현파에 가깝고, 고압 대용량 시스템용 멀티레벨 인버터로의 확장도 용이할 뿐만 아니라 cascade 연결을 통하여 간단히 전압레벨을 확장할 수 있다는 장점을 가진다. 제안된 토폴로지의 타당성은 시뮬레이션과 실험을 통하여 검증하였다.

1. 서론

최근 산업 설비의 고압화에 따라 고압 인버터 시스템에 대한 수요가 증가하고, 신재생 에너지가 각광 받기 시작하면서 태양광, 연료전지 시스템에서 직류 링크단 전압과 교류 출력단 위상차를 제어할 수 있는 이점 때문에 계통연계형 PWM 인버터가 널리 사용되고 있다. 현재 멀티레벨 인버터의 토폴로지와 계통 연계형 인버터의 토폴로지에 대한 많은 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.^[1]

계통연계형 인버터의 경우에는 정현적인 출력전압, 주파수, 역률과 함께 한전의 고조파 전류 기준에 부합되는 출력전류 등의 요구조건을 만족 시켜야 한다. 이러한 요구조건을 만족시키는 효과적인 방법으로 멀티레벨 인버터를 말할 수 있다.

멀티레벨 인버터의 토폴로지는 NPC(Neutral Point Clamped) 형태, H-bridge 직렬형(cascade) 형태, FC(Flying Capacitor) 형태로 나눈다.^[2]

본 논문에서는 DC 링크단과 full-bridge 셀이 2개의 전력용 스위치와 2개의 다이오드로 연결된 H-bridge 형태의 변형된 멀티레벨 토폴로지를 제안하였으며, 최근의 연구 결과로서 성능 및 전력 스위치 소자수 저감의 장점을 가진 단상 NPC형 멀티레벨 인버터의 토폴로지와 비교하고, 계통연계형 인버터로서 타당성을 전류제어를 이용하여 시뮬레이션으로 검증하였다.

2. DC 링크 스위치를 갖는 멀티레벨 인버터 구성

2.1 제안된 멀티레벨 인버터의 구조

그림 1은 제안된 멀티레벨 인버터의 토폴로지를 나타낸다. DC 링크단과 full-bridge 셀이 2개의 전력용 스위치와 2개의 다이오드로 연결된 변형된 H-bridge 구조이다.^[1]

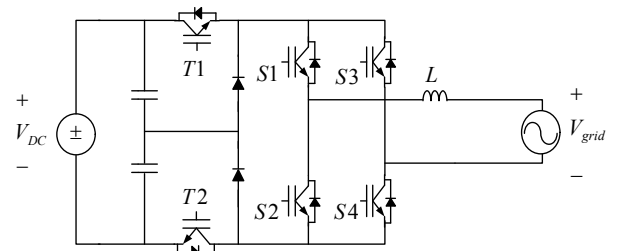


그림 1 제안된 단상 멀티레벨 인버터의 토폴로지
 Fig. 1 Proposed single-phase multi-level inverter topology

스위칭 동작에 따라 DC 링크와 full-bridge에 사용되는 스위치를 전략적으로 선택하여 사용할 수 있다.

제안한 인버터와 기존의 단상 NPC형 멀티레벨 인버터에서 사용한 소자의 개수와 conduction 소자, 그리고 스위칭 소자의 수를 비교한 것을 표 1에 나타내었다. 5레벨을 기준으로 볼 때, Conduction 손실은 동일 하지만, 제안한 인버터가 능/수동 소자의 수가 적게 사용되고 스위칭 손실이 작음을 알 수 있다.

2.2 제안한 멀티레벨 인버터의 PWM 구조

다음 그림 2와 같은 방식으로 반송파($v_{carrier}$)와 기준파(v_{ref})를 비교하면 하나의 반송파로 Phase Opposition Disposition(POD-MMWW) 방식을 구현하여 DSP에서 여러개의 반송파를 만들어 기준파와 비교해야 하는 어려움을 간단히 해결할 수 있다.

2.3 제안된 멀티레벨 인버터의 동작 원리

각 전압 레벨에 따른 동작 모드의 범위를 정하기 위하여 v_{ref} 의 순시 크기와 반송파 진폭(V_c)을 이용하여 M을 식 (1)과 같이 정의한다.

$$M = \frac{v_{ref}}{2V_c} \quad (1)$$

표 1 인버터 한셀에 요구되는 전력소자 수와 손실의 비교
 Table 1 Comparison of power component requirements and power loss per cell of inverter

	소자	능동	수동	Conduction	스위칭
단상NPC형 멀티레벨인버터		8	4	4 IGBT (V_{dc}) 3 IGBT + 1 Diode ($V_{dc}/2$)	2
Proposed 멀티레벨인버터		6	2	4 IGBT (V_{dc}) 3 IGBT + 1 Diode ($V_{dc}/2$)	1

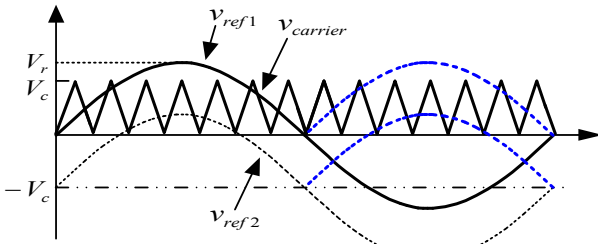


그림 2 반송파와 기준파 파형(0.5 < m_a < 1)
Fig. 2 Carrier and reference waveforms(0.5 < m_a < 1)

M을 통하여 인버터의 동작은 4가지 전압레벨 동작모드로 나눌 수 있으며 다음과 같이 각 모드의 범위와 인버터의 출력 전압을 나타낼 수 있다.

Mode 1 (0 ≤ M < 1)

$$V_{out} = V_{dc} \text{ or } -V_{dc}/2 \quad (2)$$

Mode 2 (0 ≤ M < 0.5)

$$V_{out} = V_{dc}/2 \text{ or } 0 \quad (3)$$

Mode 3 (-0.5 ≤ M < 0)

$$V_{out} = 0 \text{ or } -V_{dc}/2 \quad (4)$$

Mode 4 (-1 ≤ M ≤ -0.5)

$$V_{out} = -V_{dc}/2 \text{ or } -V_{dc} \quad (5)$$

표 2는 멀티레벨 인버터의 스위칭 상태에 따른 출력 전압을 보여준다.

표 2 스위칭 상태에 따른 출력 전압
Table 2 Output voltage due to switching states

출력전압 (V _{out})	스위칭 상태					
	S1	S2	S3	S4	T1	T2
V _{dc}	ON	OFF	OFF	ON	ON	ON
V _{dc} /2	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON
	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF
0	ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF
-V _{dc} /2	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON
	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF
-V _{dc}	OFF	ON	ON	OFF	ON	ON

멀티레벨 인버터의 중요한 이슈 중 하나는 DC링크 커패시터의 전압 밸런싱 문제이다. 이러한 문제는 그림 3과 같은 동작순서를 통해 해결 할 수 있다.

3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 멀티레벨 인버터의 동작 특성을 확인하기 위하여 PSIM 시뮬레이션 프로그램을 사용하였다. 표 3은 시뮬레이션에 사용한 3상 인버터의 시스템 사양이며 PI전류제어를 사용하였다. 그림 4는 멀티레벨 인버터의 출력 전압과 출력 전류를 나타낸다.

표 3 실험 파라미터
Table 3 Experiment parameters

정 격 출 력	5k[VA]	직류링크전압	400[V]
계 통 전 압	220[V _{rms}]	선 전 류	32[A _{rms}]
DC링크 커패시터	2000[μF]	전폭변조지수	0.78
스 위 칭 주 파 수	10[kHz]	계 통 주 파 수	60[Hz]

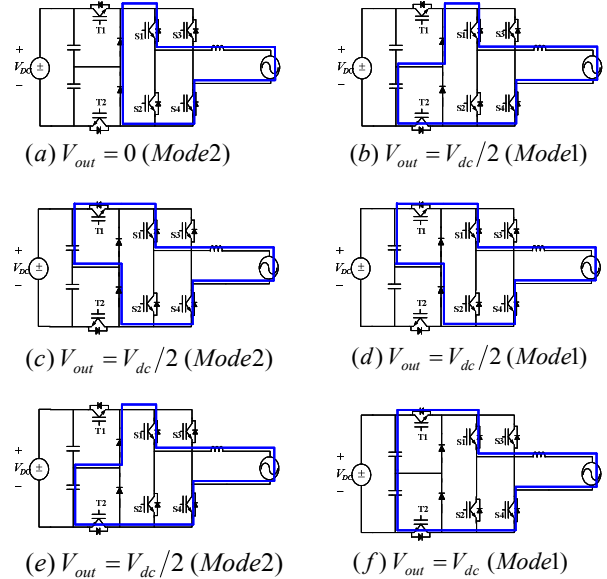


그림 3 양의 반주기 동안의 제안된 인버터의 동작순서
Fig. 3 Operation sequence of proposed inverter in positive half period

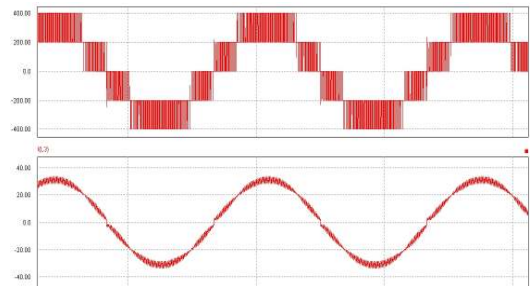


그림 4 인버터 출력 전압과 출력전류
Fig. 4 Output voltage and output current of inverter

4. 결론

본 논문은 H-bridge 컨버터를 이용하는 새로운 멀티레벨 인버터를 제안하고, 계통 연계형 단상 인버터로서의 가능성을 평가하였다. 제안된 멀티레벨 인버터는 기존의 2레벨 인버터에 비해 스위칭 소자의 차단전압 크기를 줄여주고, 동일한 스위칭 주파수에서 출력 전압 파형을 정현파에 가깝게 만들어 고조파 성분을 상당히 감소시킬 수 있고, 전압 변화율(dv/dt)의 stress를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 동일 레벨의 전압을 출력하는 경우 기존의 멀티레벨 인버터에 비하여 스위칭 손실이 적고 전력용 소자의 사용을 줄일 수 있다는 장점을 가짐을 알 수 있다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

참고 문헌

- [1] D. Barater, "A new proposal for ground leakage current reduction in transformerless grid-connected converters for photovoltaic plants", Industrial Electronics, IECON of IEEE, pp 4531-4536, 2009.
- [2] 오승훈. "하이브리드 다이오드 클램프 멀티레벨을 이용한 3상 유도 전동기용 멀티레벨 인버터" 전력전자 하계학술대회 논문집, pp. 256-258, 2008. 7.