Cascade H-bridge 인버터와 Cascade H-bridge NPC 인버터의 THD 비교분석

박우호, 강진욱, 현승욱, 홍석진, 원충연
성균관대학교

THD Analysis of Comparison Between Cascade H-bridge Inverter and Cascade H-bridge NPC Inverter

Woo-ho Park*, Jin-Wook Kang*, Seung-Wook Hyun*, Seok-Jin Hong*, Chung-Yuen Won*
Sungkyunkwan University*

ABSTRACT

기존 Cascade H-bridge 인버터 토폴로지는 커패시터나 다이오드가 없이 스위치로 구성되어 있으며, 필터 없이 정현파와 유사하게 구현할 수 있다. 또한 출력전압 레벨이 높을수록 정현파와 유사하게 되어 고주파가 줄어들며, 각 셀을 직렬로 연결하면 입력전압보다 높은 출력전압 갖는다.

본 논문에서는 기존 Cascade H-bridge 인버터와 NPC(Neutral Point Clamped)가 결합한 Cascade H-bridge NPC 인버터를 제안하였다. Cascade H-bridge NPC 인버터는 기존 Cascade H-bridge 인버터 특성과 유사하며, Cascade H-bridge 인버터와 NPC 인버터의 장점을 가지고 있다. Cascade H-bridge 인버터와 Cascade H-bridge NPC 인버터를 시뮬레이션 통해 THD(Total Harmonic Distortion) 비교분석 하였고 시뮬레이션은 PSIM 9.1.4을 가지고 검증하였다.

1. 서 론

신재생 에너지 중에 있는 고압 전력변환기의 시장 성장으로 대용량 인버터 토폴로지에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 그림 1과 같이 여러 토폴로지 중 Flying Capacitor, NPC, Cascade H-bridge가 주로 이용되며, 낮은 스위칭 주파수에서 스위칭이 가능하므로 dv/dt가 낮고 고조파와 EMI 및 EMC가 감소하는 장점을 가지고 있다. 또한 멀티레벨 인버터는 다수의 독립적인 커패시터 DC-link 전압을 합성하여 왜곡이 적은 대용량 AC 전압을 만들 수 있다[1]. 레벨 수가 증가함에 따라 스위치의 정격 전압과 스위치 손실 및 THD를 감소시킬 수 있는 장점을 갖는다.

멀티레벨 고압인버터 Cascaded 방식은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. H-bridge를 이용한 Cascade H-bridge 멀티레벨 인버터와 NPC 토폴로지를 적용한 Cascade H-bridge NPC 멀티레벨 인버터가 있다[2].

본 논문에서는 그림 2와 같이 기존 Cascade H-bridge 방식에 NPC를 적용한 Cascade H-bridge NPC 멀티레벨 인버터를 제안하였다. 제안된 멀티레벨 인버터는 기존의 멀티레벨 인버터보다 셀 수가 적으며, THD를 감소시킬 수 있어 우수한 출력전압을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 Cascade H-bridge 멀티레벨 인버터와 Cascade H-bridge NPC 멀티레벨의 THD를 비교분석하였다.

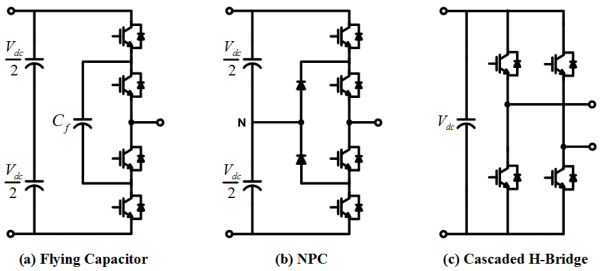

그림 1 멀티레벨 토폴로지 종류
Fig. 1 Types of multilevel topology

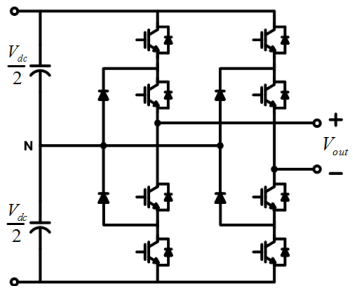

그림 2 Cascade H-bridge NPC 멀티레벨 인버터
Fig. 2 Cascade H-bridge NPC multilevel inverter

2. 멀티레벨 인버터

2.1 Cascade H-bridge 인버터 동작원리

그림 3은 5-레벨 출력전압을 위한 단방향 Cascade H-bridge 멀티레벨 인버터의 구조이다. 5-레벨 출력전압을

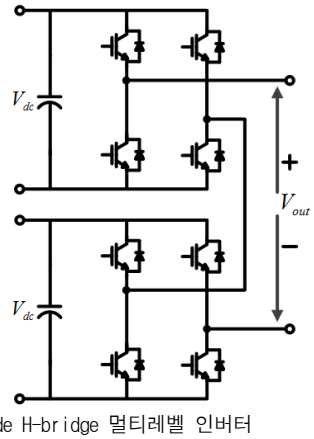

그림 3 Cascade H-bridge 멀티레벨 인버터
Fig. 3 Cascade H-bridge multilevel inverter

생성하기 위해서는 두 개의 H-bridge 인버터가 직렬로 결합한 구조이다. 각 셀은 IGBT 스위치와 환류 다이오드 4개를 가지고 있고 그림 2와 같이 3개의 회로를 통하여 부하단을 Y결선한다. H-bridge 인버터의 셀 수가 증가함에 따라 레벨이 2씩 상승한다. 이를 다음과 같은 수식으로 표현 할 수 있다. m은 출력전압 레벨이고 N은 셀의 개수 이다.

$$m = N \times 2 + 1 \quad (1)$$

레벨을 올리기 위해서는 각 셀에 반송파형의 위상지연을 시켜줘야 한다. 다음과 같은 수식으로 표현 할 수 있다. ϕ_p는 위상 지연 각도를 나타낸 것이며 m은 출력전압 레벨을 의미한다.

$$\phi_p = \frac{360}{m-1} \quad (2)$$

2.2 Cascade H-bridge NPC 인버터 동작원리

그림 2와 같이 5-레벨 출력전압을 위한 단방향 Cascade H-bridge NPC 멀티레벨 인버터 구조이다. 각 셀은 IGBT 스위치와 환류 다이오드 8개와 중성점과 연결되어있는 클램핑 다이오드 4개를 가지고 있다. Cascade H-bridge NPC 멀티레벨 인버터와 달리 하나의 셀로 5-레벨 출력전압을 만들 수 있다. 셀을 직렬로 연결하면 출력전압이 4-레벨씩 상승하게 된다. 이를 다음과 같은 수식으로 표현 할 수 있다.

$$m = N \times 4 + 1 \quad (3)$$

레벨을 올리기 위해서는 각 셀에 반송파형의 위상을 지연시켜주어야 한다. 이러한 위상 지연 방법으로는 Cascade H-bridge 멀티레벨 인버터의 수식 2와 동일하게 적용된다.

3. 시뮬레이션

본 논문에서는 Cascade H-bridge 멀티레벨 인버터와 Cascade H-bridge NPC 멀티레벨 인버터의 출력전압의 THD를 비교분석하고 5-레벨에서 9-레벨로 높일 경우 THD가 개선되는지를 검증하였다. Cascade H-bridge 멀티레벨 인버터와 Cascade H-bridge NPC 멀티레벨 인버터의 5-레벨과 9-레벨 출력전압 파형을 확인하기 위하여 PSIM 기반의 시뮬레이션을 수행하였다. 입력전압에 100V를 인가하였고 스위칭 손실은 무시하였다. 그림 5는 각각의 5-레벨 출력전압 파형이고, 그림 6은 9-레벨 출력전압 파형을 나타낸다. 또한 각각의 THD값을 표 1에 나타낸다.

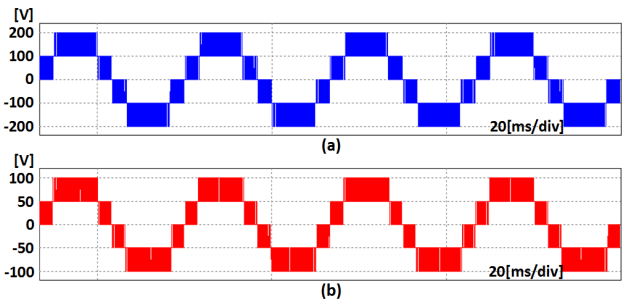

그림 5 (a)Cascade H-bridge 인버터와 (b)Cascade H-bridge NPC 인버터의 5-레벨 출력전압

Fig. 5 Five level of output voltage for (a)Cascade H-bridge inverter and (b)Cascade H-bridge NPC inverter

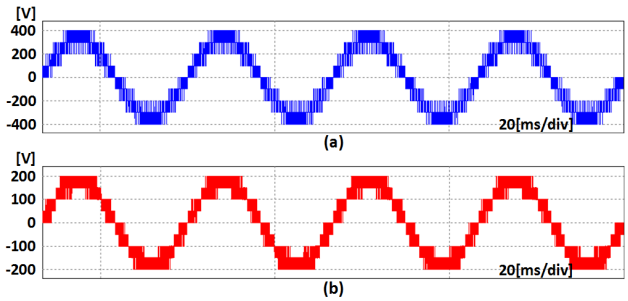

그림 6 (a)Cascade H-bridge 인버터와 (b)Cascade H-bridge NPC 인버터의 9-레벨 출력전압

Fig. 6 Nine level of output voltage for (a)Cascade H-bridge inverter and (b)Cascade H-bridge NPC inverter

표 1 Cascade H-bridge 인버터와 Cascade H-bridge NPC 인버터의 THD 비교

Table 1 Compare THD about Cascade H-bridge inverter and Cascade H-bridge NPC inverter

종류(Type)	THD
5-Level Cascade H-bridge inverter	0.369
5-Level Cascade H-bridge NPC inverter	0.329
9-Level Cascade H-bridge inverter	0.237
9-Level Cascade H-bridge NPC inverter	0.216

4. 결 론

본 논문에서는 두 개의 H-bridge 인버터를 직렬로 연결한 Cascade H-bridge 멀티레벨 인버터와 H-bridge를 NPC와 결합한 Cascade H-bridge NPC 멀티레벨 인버터의 5-레벨 출력전압의 THD를 비교분석하였다. 이후 각 인버터에 셀을 연장하여 9-레벨 출력전압을 만들어 THD를 비교분석하였다. Cascade H-bridge NPC 멀티레벨 인버터는 Cascade H-bridge 멀티레벨 인버터보다 THD가 5-레벨일 경우 4%, 9레벨일 경우 2.1% 우수하게 나오는 결과를 가져왔다. 그리고 또한 레벨이 높을수록 더 우수한 THD의 결과를 검증하였다.

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지 기술 평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.20152020105720)

참 고 문 헌

[1] Tom Wanjekeche, “Realization of a Nine-Level Cascaded NPC/H-Bridge PWM Inverter Using Phase-Shifted Carrier PWM Technique”, Journal of Energy and Power Engineering Vol. 6, pp. 335-1342, 2012, August.

[2] Z. Cheng, B. Wu, “A novel switching sequence design for five-level NPC/H-Bridge inverters with improved output voltage spectrum and minimized device switching frequency”, IEEE Transactions on Power Electronics Vol. 22, No. 6, pp. 2138-2145, 2007, November.