

고압 멀티레벨 인버터의 스위칭 기법에 따른 온도 손실 비교

이슬아, 강진욱, 홍석진, 현승욱, 원충연
성균관대학교

Comparison of Temperature Loss from The Switching Method of Midium Voltage Multilevel Inverter

Seul A Lee, Jin Wook Kang, Seok Jin Hong, Seong Wook Hyun, Chung Yuen Won
Sungkyunkwan University

ABSTRACT

최근 급속한 산업 발달로 인하여 기존의 수 MW급 대용량 인버터가 산업용 팬, 컴프레서, 고속 철도 시스템 등 여러 분야에 사용되면서 이와 관련된 대용량 인버터 연구가 활발히 진행 중이다. 이런 대용량 인버터는 고효율과 직병렬의 구성된 전력용반도체 소자를 동시다발적으로 제어되어야하기 때문에 멀티레벨 인버터의 구조가 가장 적합하다.

Cascaded H bridge 멀티레벨 인버터는 커패시터와 다이오드를 사용하지 않고 스위치만으로 구성하며, 필터를 따로 구성하지 않아도 정현파와 유사하게 전압을 출력할 수 있다. 이로 인해 고주파 감소 및 각 셀을 직렬로 연결하여 입력전압보다 높은 출력전압을 얻을 수 있다. 또한, 스위칭 방법에 따라 동일한 Cascaded H bridge 멀티레벨인버터 토폴로지에서도 각 THD와 온도에 따른 손실이 달라질 수 있다. Cascaded H bridge 멀티레벨 인버터에서 이용하는 스위칭 방식은 첫 번째로 유니폴라 방식을 기본으로 한 Phase shift가 있다. 이는 180도 위상차를 갖는 2개의 레퍼런스 파형과 위상천이가 된 캐리어 파형의 비교로 PWM (Pulse Width Modulation) 을 수행한다. 두 번째 방식으로는 Level shift가 있다. 이는 캐리어 파형을 IPD (In Phase Disposition) 방식으로 수직적으로 대역폭이 연속적으로 나열하여 레퍼런스 파형과 비교하는 PWM방식이다.

본 논문에서는 Phase shift와 Level shift 방식에 따른 Cascaded H bridge 인버터와 NPC (Neutral Point Clamped) 인버터를 결합한 토폴로지에서의 온도에 따른 손실을 분석하고, 시뮬레이션을 통하여 비교 분석하였다.

1. 서론

최근 소각장, 화학공장, 발전소 등에서 사용되는 수 MW급 대용량 산업용 팬, 펌프, 컴프레서는 대부분 에너지 소비가 큰 직입기동방식으로 고효율 인버터를 필수적으로 적용해야한다. 따라서 산업용 인프라를 구축하기 위한 인버터는 전력용 반도체 스위치 소자를 이용한 고효율 전력변환 장치를 적용해야하고 전력용 반도체 소자를 동시에 제어하고자 멀티레벨 인버터의 구조가 가장 적합하다.

멀티레벨 인버터는 PWM방식 기반의 다중 캐리어를 사용한 Phase Shift 방식과 Level Shift 방식을 사용하는 PWM 스위칭 기법이 대표적으로 사용되고 스위칭을 할 때, 그로인한 각 스위치에서 온도에 따른 손실이 발생하게 된다.

따라서 본 논문에서는 최근 산업의 발달에 적합한 멀티레벨

인버터의 구조와 적용하는 스위칭 방식을 언급하고, 스위칭에 따른 온도 손실을 시뮬레이션을 통하여 분석하고 비교하였다.

2. 본론

2.1 멀티레벨 인버터의 구조

멀티레벨 인버터 구조는 전력용반도체 스위치와 다이오드, 커패시터로 구성되며 NPC멀티레벨 인버터, Cascaded H bridge 멀티레벨 인버터, FC (Flying capacitor) 멀티레벨 인버터 등 다양한 토폴로지로 사용된다. NPC 인버터는 그림 1 (a)와 같이 스위치에 병렬 다이오드가 적용된 구조이며, 고전압의 다중 레벨을 출력하기 위해 스위치 및 다이오드의 개수가 늘어나는 단점을 가지고 있다. 이에 반해 각 스위치의 정격 전압을 낮출 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그림 1 (b)의 구조를 갖는 FC 인버터는 다이오드를 커패시터하기 때문에 커패시터에 직렬로 연결된 각 지점에서 전압 레벨을 출력하게 된다. 따라서 출력 전압의 레벨을 높이기 위해 다수의 커패시터를 사용한다. 이로 인해 그림 1 (C)에 나타난 Cascaded H bridge 인버터에 비해 경제적, 구조적으로 불리하다. Cascaded H bridge 인버터는 스위치 외 추가적인 다이오드나 커패시터가 불필요하므로 비교적 간단한 구조이며 유지보수가 용이하다. 또한 각 셀을 직렬로 연결하여 다중 레벨의 전압을 출력할 수 있다.^[1]

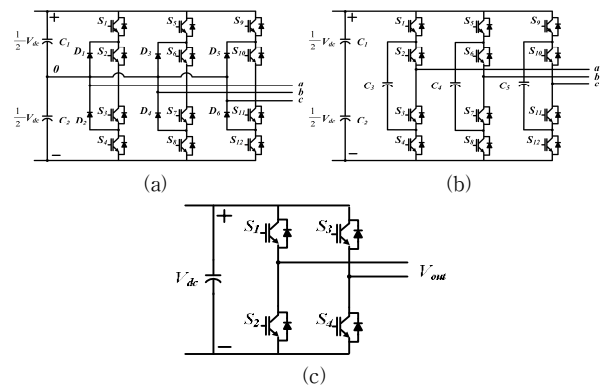


그림 1 멀티레벨 인버터의 구조 (a)NPC 인버터 (b)FC 인버터 (C)Cascaded H-bridge 인버터

Fig. 1 Construction of multilevel inverter (a)NPC inverter (b)FC inverter (c)Cascaded H-bridge inverter

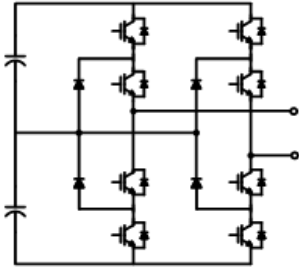


그림 2 Cascaded NPC/H-bridge 인버터 토폴로지
Fig. 2 Topology of Cascaded NPC/H-bridge inverter

본 논문에서는 그림 2와 같이 Cascaded H bridge 인버터와 NPC 인버터를 결합한 Cascaded NPC/H bridge 인버터를 선정하였다. Cascaded NPC/H bridge 인버터는 간단한 구조로 유지보수가 용이하고 스위치의 정격전압을 낮출 수 있는 장점을 가지고 있다.

2.2 멀티레벨 인버터의 스위칭 방식

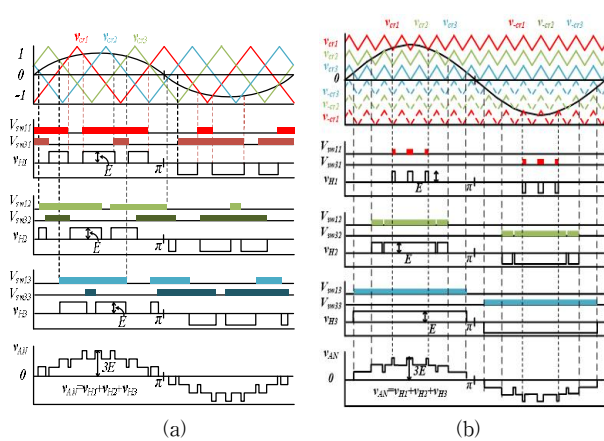


그림 3 스위칭 방식 (a)Phase-Shift (b)Level-Shift
Fig.3 Method of switching (a)Phase-Shift (b)Level-Shift

그림 3 (a)는 Phase Shift 방식 멀티레벨 인버터의 대표적인 스위칭 방식으로 크기가 동일하지만 위상차를 갖는 다중 캐리어를 사용한다. 7 Level 인버터를 기준으로 $V_{cr1,2,3}$ 의 캐리어 파형들을 레퍼런스 파형과 비교하여 게이팅 신호를 만들어 낸다. 이때 각 셀 전압 $V_{H1,2,3}$ 는 0부터 $\pm E$ 의 전압을 출력하기 때문에 실제 부하 상전압은 각 셀 전압의 합인 $3E$ 에서 $+3E$ 까지로 나타난다.

그림 3 (b)는 Level Shift 방식으로 IPD인 수직으로 대역폭이 나란한 다중 캐리어 방식을 사용한다. 7 Level을 기준으로 m 개의 캐리어 즉, 6개의 캐리어 파형을 이용한다. Phase Shift 방식과 마찬가지로 $V_{cr1,2,3}$, $V_{cr1,2,3}$ 의 캐리어 파형들을 레퍼런스 파형과 비교하여 게이팅 신호를 만들어낸다. 또한 각 셀의 아래에 위치한 스위치들은 상단 스위치의 동작에 의해 순서대로 도통한다. 이때 각 셀 전압 $V_{H1,2,3}$ 는 0부터 $\pm E$ 의 전압을 출력하며, 이때 인버터의 상전압은 각 셀 전압의 합으로 나타낼 수 있다. Level Shift 방식은 한 셀의 스위치가 스위칭할 시에 나머지 셀이 스위칭을 하지 않으므로 Phase Shift 방식에 비하여 선간전압에서 THD가 낮게 나타난다.^[2]

3. 시뮬레이션

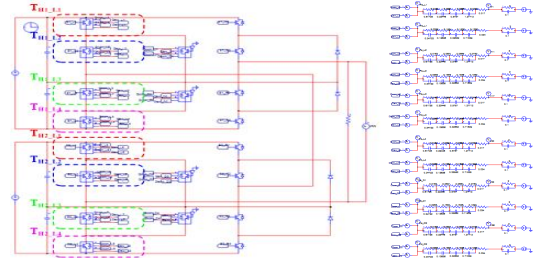


그림 4 9-Level Cascaded NPC/H-bridge 인버터
Fig.4 9-Level Cascaded NPC/H-bridge inverter

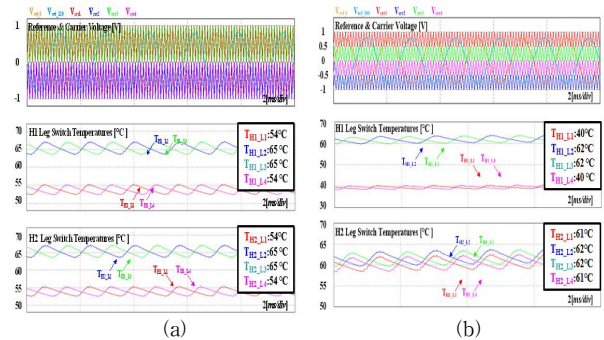


그림 5 시뮬레이션 결과 (a)Phase-Shift (b)Level-Shift
Fig.5 Result of simulation (a)Phase-Shift (b)Level-Shift

그림 4의 한 상이 두 셀로 구성된 9 level의 Cascaded NPC/H bridge 인버터를 기준으로 Phase shift와 Level shift를 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 각 셀마다 왼쪽 레그 스위치의 온도 손실을 측정 및 분석하였다. 그 결과 그림 5와 같이 첫 번째 셀인 H1에서는 Level Shift 방식의 아우터 스위치인 1,4번 스위치의 온도가 약 14°C 낮게 나타났다. 또한 H2에서는 Phase Shift 방식의 1,4번 스위치가 7°C 낮게 측정되는 것을 확인하였다.

4. 결론

9 level Cascaded NPC/H bridge 인버터에 Phase shift와 Level shift의 스위치 방식을 적용하여 상단 셀인 H1과 하단 셀인 H2의 왼쪽 레그 스위치의 온도 손실을 시뮬레이션으로 확인하였다. Level Shift 방식이 Phase Shift 방식에 비하여 H1에서는 1,4번 스위치의 온도 손실이 14°C 낮고, H2에서는 Phase Shift 방식이 7°C 낮게 측정 되었다. 따라서 H2 셀에서는 Phase Shift 방식이 유리하지만 전체적인 인버터의 온도 손실의 총합은 Level Shift 방식이 유리한 것을 알 수 있다.

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

참고 문헌

- [1] Rodriguez, Jose, Jih Sheng Lai, and Fang Zheng Peng. "Multilevel inverters: a survey of topologies, controls, and applications." IEEE Transactions on industrial electronics 49.4 (2002): 724-738.
- [2] Wu, Bin. "High power converters and AC drives." John Wiley & Sons, 2006.