

혼합형 멀티레벨 인버터의 입력전압원 크기에 따른 출력전압 특성분석

홍운택, 최원균, 권철순, 현석환, 강필순
한밭대학교

Analysis of output voltage characteristic according to input voltage in hybrid multilevel inverter

Un Taek Hong, Won Kyun Choi, Cheol Soon Kwon, Seok Hwan Hyun, Feel-Soon Kang
Hanbat National University

ABSTRACT

본 논문에서는 풀-브리지 모듈과 양방향 스위치를 가지는 5-레벨 인버터를 다단 결합시켜 15-레벨의 출력을 형성할 수 있는 혼합형 멀티레벨 인버터를 제안한다. 제안된 회로의 입력 전압원의 크기가 서로 동일한 경우와 3의 배수 형태를 가지는 경우에 대한 특성을 분석하고 시뮬레이션 및 실험을 통해 가장 효율적인 혼합형 회로 구성을 제시한다.

1. 서론

최근 다중레벨 인버터를 사용하여 인버터 자체에서 발생하는 고조파 성분을 저감시켜 양질의 출력전압을 확보하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 다중레벨 인버터는 인버터의 출력 전압 레벨 수가 증가함에 따라 스위칭 소자 수는 증가하나 낮은 고조파 성분과 dv/dt 를 갖는 장점으로 인하여 기존의 PWM (Pulse Width Modulation) 인버터의 단점을 극복할 수 있는 대안으로 산업체의 적용이 활발하게 이루어지고 있다. 멀티레벨 인버터는 Diode-clamped, Flying capacitors, Cascaded H-bridge cells 방식으로 구분되지만 변형된 멀티레벨 인버터 역시 많은 연구가 진행되고 있다.^{[1]-[4]}

본 논문에서는 변형된 멀티레벨 인버터로서 하나의 풀-브리지 모듈과 5-레벨 인버터를 다단 결합시킨 혼합형 회로를 제시하고 입력 전압원의 크기에 따라 출력전압의 레벨 수와 성능의 변화를 비교 분석하여 효율적인 혼합형 인버터 구조를 제시한다.

2. 제안된 혼합형 멀티레벨 인버터

그림 1은 풀-브리지 모듈과 5-레벨 인버터 모듈의 출력을 직렬 연결한 혼합형 멀티레벨 인버터의 회로 구성을 보여준다. 입력 전압원이 V_{dc} 로 동일한 경우 상단의 풀-브리지 인버터는 $-V_{dc}$, 0 , V_{dc} 의 3-레벨 출력을 형성하고 하단의 5-레벨 인버터는 $-2V_{dc}$, $-V_{dc}$, 0 , V_{dc} , $+2V_{dc}$ 의 5-레벨 출력을 형성한다. 각 인버터의 출력단은 직렬 구성이므로 식 (1)과 같이 표현되며 최종 출력은 $-3V_{dc}$ 부터 $3V_{dc}$ 까지 영레벨을 포함하여 총 7-레벨의 출력전압 파형을 형성시킨다.

$$v_{out} = v_x + v_y \quad (1)$$

제안된 혼합형 멀티레벨 인버터는 입력전압원의 크기를 3의 배수로 구성하면 각 전압원의 가감을 통해 보다 효율적으로 선형적인 정수비의 출력전압 레벨을 만들 수 있다.

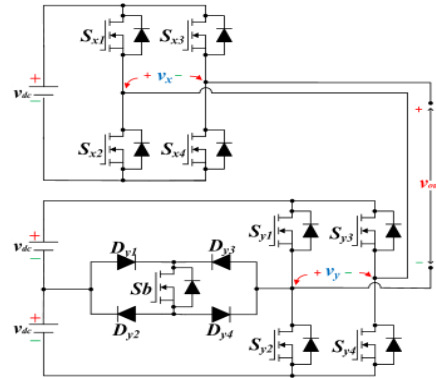


그림 1 제안하는 혼합형 멀티레벨 인버터

본 논문에서는 상단의 풀-브리지 인버터의 입력 전압원이 $3V_{dc}$ 인 경우와 하단 인버터의 두 입력전압원이 $3V_{dc}$ 인 경우에 대하여 분석해 본다. 여기서 5-레벨 인버터의 두 입력전압원의 크기가 서로 상이하게 되면 전압 불균형으로 인한 비대칭 문제가 발생하므로 분석 대상에서는 제외하기로 한다. 먼저 상단 풀-브리지 입력전압원의 크기를 $3V_{dc}$ 로 구성하면 상단 풀-브리지 인버터의 출력은 $-3V_{dc}$, 0 , $3V_{dc}$ 의 3-레벨 출력을 형성하기 때문에 출력전압은 $-5V_{dc}$ 부터 $5V_{dc}$ 까지 영레벨을 포함하여 11-레벨로 증가하게 되며, 하단 인버터의 두 입력전압원을 $3V_{dc}$ 로 구성하는 경우 $-7V_{dc}$ 부터 $7V_{dc}$ 까지 영레벨을 포함하여 15-레벨로 증가하게 된다. 각 입력전압원 크기에 따른 출력전압 레벨 수를 표 1에 나타낸다.

표 1 입력전압원 조건에 따른 출력전압 레벨 수의 변화

	풀-브리지 입력	5-레벨 상단	5-레벨 하단	최종 레벨 수
Case 1	V_{dc}	V_{dc}	V_{dc}	7
Case 2	$3V_{dc}$	V_{dc}	V_{dc}	11
Case 3	V_{dc}	$3V_{dc}$	$3V_{dc}$	15

제안된 혼합형 멀티레벨 인버터의 제어를 위해 본 논문에서는 등면적법을 적용한다. 등면적법에 의해 구해진 스위칭 각을 적용하여 출력전압을 생성할 경우 출력전압의 고조파는 식(2)

에 의해 정의된다.

$$B_n = \sum_{n=1}^{\frac{\pi}{2}} \int_{\theta_n}^{\theta_{n+1}} \frac{12}{n\pi} \cdot V_{dc} \cdot \sin(n\omega t) d(\omega t) \quad (2)$$

여기서 B_n 은 n 차 고조파 전압의 크기, θ 는 스위칭 각도, V_{dc} 는 dc 링크 전압, n 은 홀수 고주파의 차수를 나타낸다.

3. 시뮬레이션 및 실험

제안된 혼합형 멀티레벨 인버터의 입력전압원 크기에 따른 출력전압 레벨 수와 동작 특성을 분석하기 위해 PSIM 시뮬레이션과 시작품을 기반으로 실험을 수행하였다. 등면적법을 적용한 스위칭 각의 제어를 위해 AVR MEGA 128 프로세서를 기반으로 한 디지털 제어를 설계하였다.

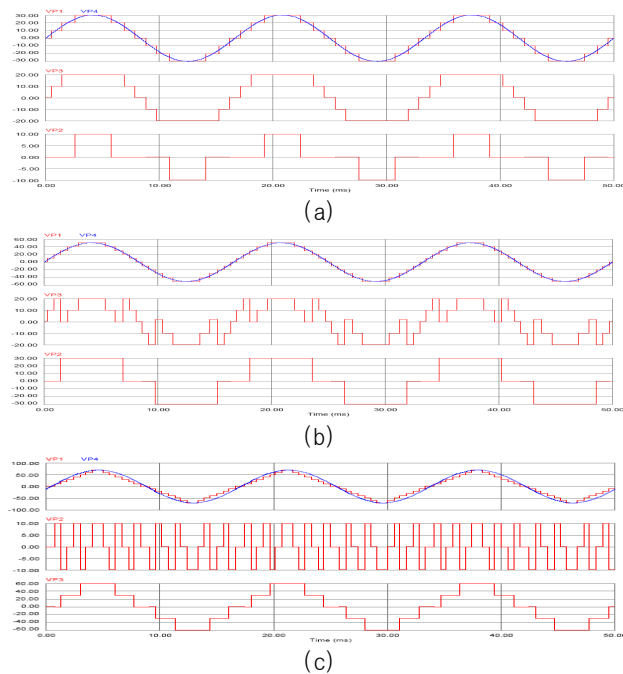


그림 2 상단/하단 인버터 출력전압과 최종 출력전압 시뮬레이션, (a) 7-레벨, (b) 11-레벨, (c) 15-레벨

그림 2는 세 가지의 입력 조건에 따른 상단 인버터의 출력 전압, 하단 인버터의 출력전압, 두 인버터 출력의 합으로 나타나는 최종 인버터의 7-레벨, 11-레벨, 15-레벨을 가지는 출력 전압 파형을 보여준다. 그림 3은 시뮬레이션과 동일한 스위칭 각을 시작품에 적용한 출력전압 파형을 보여준다. 그림 3(a)의 경우 입력전압원이 V_{dc} 로 동일하며 각 인버터는 3-레벨과 5-레벨의 출력전압과 동일한 스위칭 주파수를 가지고 동작함을 알 수 있다. 그림 3(b)는 상단의 인버터가 기본 레벨을 형성하고 하단의 5-레벨 인버터의 출력이 이에 가감되어 11-레벨의 출력전압을 형성함을 보여준다. 그림 3(c)는 하단의 5-레벨 인버터가 기본 레벨을 유지하고 상단 풀-브리지 인버터의 출력이 가감되어 15-레벨을 형성하고 있음을 알 수 있다. 출력전압의 레벨 수와 인버터 출력전압 특성을 고려해 볼 때 그림 3(c)의 구성이 가장 효과적으로 판단된다. 그러나 커패시터가 직렬로

결합된 입력 전압원을 필요로 하기 때문에 이들 전압간의 불균형은 출력전압의 THD 증가의 원인이 되므로 유의해야 한다.

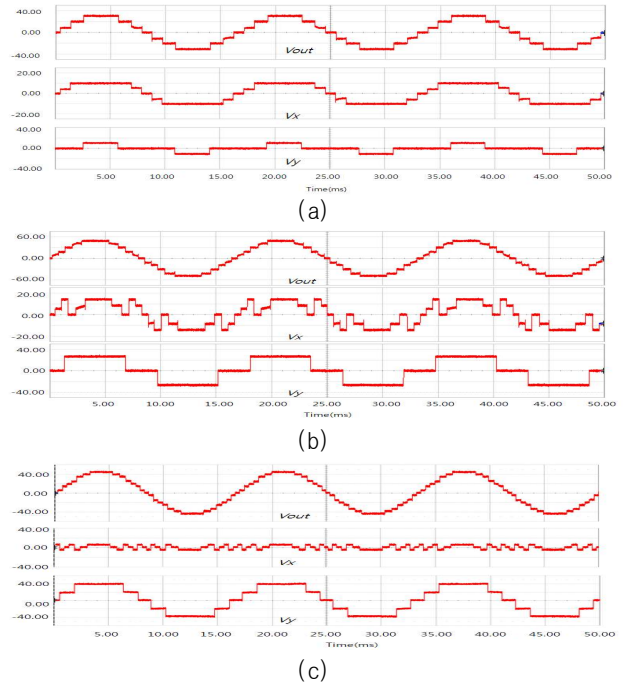


그림 3 상단/하단 인버터 출력전압과 최종 출력전압 실험, (a) 7-레벨, (b) 11-레벨, (c) 15-레벨

4. 결 론

본 논문에서는 풀-브리지 모듈과 5-레벨 인버터 모듈을 다단 결합시켜 7-레벨, 11-레벨, 15-레벨의 출력을 형성 할 수 있는 혼합형 멀티레벨 인버터를 시뮬레이션 및 실험을 통해 분석하였다. 제안된 혼합형 멀티레벨 인버터는 태양광 인버터와 같은 다수의 독립 dc 전원 응용 분야에 적합하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] L. G. Franquelo, J. Rodriguez, S. Kouro, R. Portillo, and M. A. M. Prats, "The age of multilevel converter arrives," IEEE Industrial Electronics Magazine, pp. 28-39, 2008.
- [2] S. J. Park, F. S. Kang, M. H. Lee, and C. U. Kim, "A New Single-Phase Five-Level PWM Inverter Employing a Deadbeat Control Scheme", IEEE Trans. Power Electron., vol. 18, no. 3, pp. 831-843, May 2003.
- [3] F. S. Kang, S. J. Park, M. H. Lee, and C. U. Kim, "An efficient multilevel synthesis approach and its application to a 27-level inverter," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 52, no. 6, pp. 1600-1606, Dec. 2005.
- [4] F. S. Kang, S. J. Park, C. U. Kim, and T. Ise, "Multilevel PWM inverters suitable for the use of stand-alone photovoltaic power system," IEEE Trans. Energy Conversion, vol. 20, no. 4, pp. 906-915, Dec. 2005.