

다단출력전압 형성을 위한 절연 방식과 비절연 방식 멀티레벨 인버터의 특성 비교

권철순, 최원균, 홍운택, 현석환, 강필순
한밭대학교

Comparison of characteristic in multilevel inverters using isolation and non-isolation approaches for synthesizing multilevel output voltages

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

ABSTRACT

본 논문에서는 출력전압레벨수를 증가시키기 위한 방안으로 3의 n승비의 입력전압원을 가지는 비절연방식과 동일한 레벨 형성을 위해 변압기 이차 측을 직렬로 결합시킨 절연 방식의 멀티레벨 인버터의 특성을 비교 분석한다. 두 회로는 동일하게 3의 배수의 전압원을 가감하여 선형적인 출력 전압 레벨을 형성할 수 있다. 다만 변압기를 적용하는 방식은 하나의 입력전압원을 가지고 변압기의 권선비를 3의 배수로 설계하여 출력전압의 순시치가 다단의 출력전압 레벨을 형성하는 개념이며, 제안된 방식은 전압원이 3의 배수 형태로 이루어진 경우 동일한 출력전압 레벨을 생성시킬 수 있는 구조이다. 따라서 제안된 구조가 회로 소자수 측면과 효율 특성에 있어 보다 우수한 특성을 가지게 된다. 두 회로의 비교 분석을 위한 시뮬레이션을 수행하고 타당성을 검증한다.

1. 서 론

멀티레벨 인버터는 출력전압의 레벨 수를 증가시켜 정현파에 가까운 출력전압 파형을 형성함으로써 고조파가 감소된 양질의 ac 출력을 생성할 수 있다.^{[1]-[2]} 출력전압 파형을 개선시키기 위한 목적으로 연구된 멀티레벨 인버터 중 주목할 만한 멀티레벨 인버터는 3의 배수의 권선비를 가지는 다단 변압기를 이용한 방식이다. 이는 하나의 입력 전압원을 가지고 3의 배수의 권선비를 가지는 변압기의 이차측을 직렬 결합함으로써 출력전압의 순시치가 선형적인 정수비의 출력 전압 레벨을 형성하도록 구성하는 방법이다.

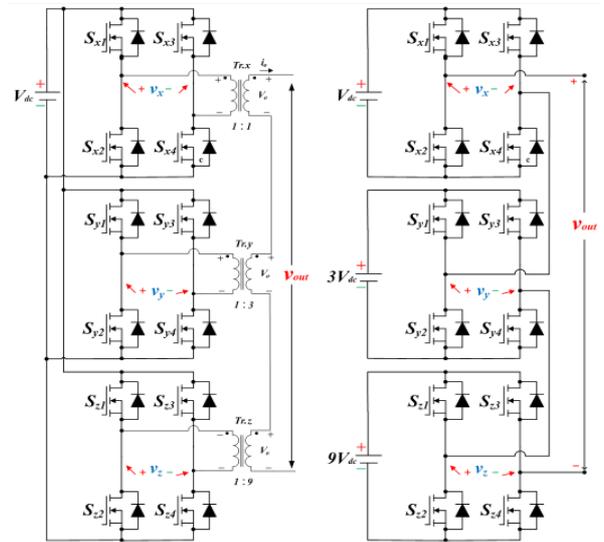
본 논문에서는 유사한 개념으로 멀티레벨 인버터의 입력 전압원을 3의 배수로 구성하여 기존 방식과 동일한 출력전압 레벨을 생성할 수 있는 비절연형 멀티레벨 인버터를 제안하고 기존의 절연형 인버터와의 비교분석을 수행하고자 한다.

2. 3의 배수비를 이용하는 절연형과 비절연형 멀티레벨 인버터

그림 1(a)는 기존의 절연형 멀티레벨 인버터의 구조를 나타낸다.^[3] 하나의 dc 전압원으로 병렬 결합된 모든 H-bridge cell의 입력전원을 공급하며 다단 결합된 변압기의 권선비를 3의 배수로 함으로써 출력전압에 선형적인 정수비의 레벨을 형성하

는 개념이다. 그림 1(b)는 3의 배수의 입력전압원을 가지는 비절연형 멀티레벨 인버터의 구조를 나타낸다. 절연형 방식은 변압기의 이차측 순시 전압이 3의 배수가 되는 구조이며, 비절연형 방식은 입력전압원 자체가 3의 배수비로 구성된 형태이다. 상단 풀-브릿지의 입력은 V_{dc} , 중간 풀-브릿지 모듈의 입력은 $3V_{dc}$, 하단 풀-브릿지의 입력은 $9V_{dc}$ 로 구성한다. 출력전압은 상단 인버터의 v_x 와 중간 인버터의 v_y , 하단 인버터의 v_z 의 출력을 직렬 연결함으로써 식(1)로 표현된다.

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



(a) 절연형 멀티레벨 인버터 (b) 비절연형 멀티레벨 인버터

그림 1 절연형 멀티레벨 인버터와 비절연형 멀티레벨 인버터

식(1)에서 상단 인버터의 출력전압 v_x 는 $-V_{dc}$, 0 , V_{dc} 의 3레벨, 중간 인버터의 출력 v_y 는 $-3V_{dc}$, 0 , $3V_{dc}$ 의 3레벨, 하단 인버터는 $-9V_{dc}$, 0 , $9V_{dc}$ 의 3레벨을 생성하게 되므로 최종 출력전압은 각 인버터 출력전압의 가감에 의해 $-13V_{dc}$ 부터 $13V_{dc}$ 까지 영전압을 포함하여 총 27레벨을 형성하게 된다.

단상 풀-브릿지 인버터의 스위칭 함수는 식(2)와 같이 표현이 되므로 인버터의 출력 전압 v_{out} 은 식(3)과 같다.

$$S_{FB} = 1 : S_{x1}, S_{x4} = ON \quad (2)$$

$$S_{FB} = 0 : S_{x2}, S_{x4} = OFF$$

$$S_{FB} = -1 : S_{x2}, S_{x3} = ON$$

$$v_{out} = \sum_{n=0}^{\infty} 3^n S_{FBn} V_{dc} \quad (3)$$

표 1은 출력전압 형성을 위해 요구되는 상단과 하단의 인버터 스위칭 함수를 보여준다. 양의 출력전압 레벨을 형성하기 위한 스위칭 함수이며 음의 출력전압 레벨은 표 1에 -1을 곱함으로써 구할 수 있다.

표 1 출력전압 형성을 위한 스위칭 함수 (27레벨)

Output	Switching state											
	S_{x1}	S_{x2}	S_{x3}	S_{x4}	S_{y1}	S_{y2}	S_{y3}	S_{y4}	S_{z1}	S_{z2}	S_{z3}	S_{z4}
0		0		0		0		0		0		0
V_{dc}	0			0		0		0		0		0
$2V_{dc}$		0	0			0		0		0		0
$3V_{dc}$		0		0		0		0		0		0
$4V_{dc}$	0			0		0		0		0		0
$5V_{dc}$		0	0			0	0			0		0
$6V_{dc}$		0		0		0	0			0		0
$7V_{dc}$	0			0		0	0			0		0
$8V_{dc}$		0	0			0	0			0		0
$9V_{dc}$		0		0		0	0			0		0
$10V_{dc}$	0			0		0	0			0		0
$11V_{dc}$		0	0			0	0			0		0
$12V_{dc}$		0		0		0	0			0		0
$13V_{dc}$	0			0		0	0			0		0

3. 시뮬레이션을 통한 특성 비교

그림 2는 3의 배수비를 이용한 절연형과 비절연형 멀티레벨 방식의 출력전압에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 기준전압과 인버터의 출력전압, 상단, 중단, 하단의 풀-브릿지 인버터의 출력전압, 세 인버터의 출력의 합으로 나타나는 최종 인버터의 27레벨을 가지는 출력전압 파형을 보여준다. 다만 변압기의 출력전압의 합 또는 각 인버터의 출력전압의 합이 최종 출력전압으로 나타남을 확인할 수 있다.

절연형 방식과 제안된 비절연형 방식은 기본적인 형태와 스위치 소자의 개수는 동일하며, 입력전압원의 개수와 변압기의 적용 여부에서 차이를 보인다. 출력단에 변압기를 이용하는 절연형 방식은 입력단과 출력단의 전기적 절연이 확보되고 부하전류가 증가하면 변압기 누설 인덕턴스의 필터링 효과로 출력전압 파형이 사인파에 가까워지는 특성을 보이게 된다. 하지만 권선비가 서로 상이한 변압기를 채용함으로써 변압기 설계의 까다로움, 변압기에 의한 손실, 시스템 부피의 증가, 단가 상승의 문제점을 가진다.

제안된 비절연형 방식은 출력단에 변압기를 채용하지 않기 때문에 변압기에 따른 손실이 없으며 부하전류와 무관하게 출력전압 레벨을 유지하게 된다. 그러나 3의 배수비를 가지는 입력전압원을 확보하기 위한 수고가 필요하다는 단점을 가진다. 제안된 비절연형 방식은 최근 각광 받고 있는 태양광 발전 시스템 등에 적용하여 입력전압원으로 사용되는 태양전지 모듈의 직렬 결합을 통해 확보할 수 있으리라 판단된다.

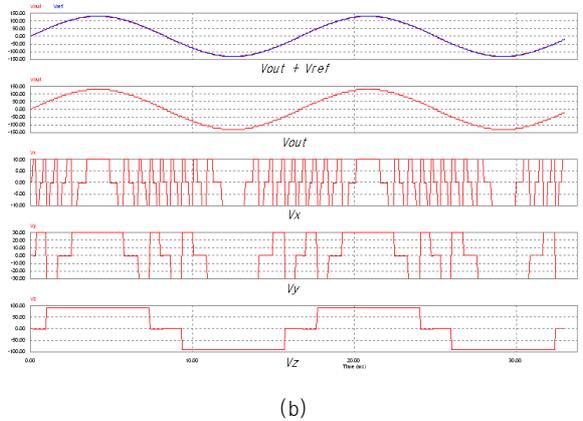
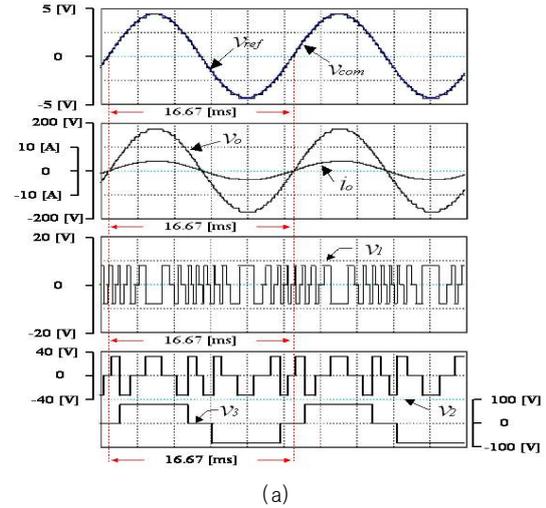


그림 2 시뮬레이션 결과, (a) 절연형, (b) 비절연형

4. 결 론

본 논문에서는 출력전압 레벨수를 증가시키기 위한 방안으로 3의 배수비를 가지는 입력 전압원을 이용한 비절연형 멀티레벨 인버터를 제안하고 기존의 절연형 멀티레벨 인버터와의 특성을 비교하였다. 비교대상인 비절연형 멀티레벨 인버터와의 비교시 스위치 소자의 개수는 동일하지만 변압기를 제거시켜 효율을 개선시킬 수 있고 시스템 부피, 제작 단가를 감소시킬 수 있으며 구조가 간단하여 확장 및 유지 보수가 용이하다는 장점을 가진다.

참 고 문 헌

- [1] J. Rodriguez, J. S. Lai, and F. Z. Peng, "Multilevel Inverters: A survey of topologies, controls, and applications," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 49, no. 4, pp. 724–738, Aug. 2002.
- [2] L. G. Franquelo, J. Rodriguez, S. Kouro, R. Portillo, and M. A. M. Prats, "The age of multilevel converter arrives," IEEE Ind. Electron. Magazine, pp. 28–39, 2008.
- [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. on Ind. Electron., vol. 52, no. 6, pp. 1600–1606, Dec. 2005.