

풀-브리지 인버터와 5-레벨 인버터의 직렬결합을 이용한 혼합형 멀티레벨 인버터

洪雲澤*, 崔源均*, 權哲淳*, 姜弼淳†

Hybrid Multilevel Inverter Connecting a Full-bridge Inverter to a 5-level Inverter in Series

Un-Taek Hong, Won-Kyun Choi, Cheol-Soon Kwon, and Feel-Soon Kang

요 약

본 논문에서는 풀-브리지 인버터와 양방향 스위치를 가지는 5-레벨 인버터를 직렬 결합시켜 출력전압에 다수의 레벨을 형성할 수 있는 멀티레벨 인버터 구조를 제안한다. 제안된 회로의 입력전압원 크기가 서로 동일한 경우와 3의 배수 형태를 가지는 경우에 대한 특성을 분석하고 시뮬레이션 및 실험을 통해 효율적인 혼합형 회로 구성을 제시한다. 또한 기존의 변압기를 이용한 방식과 비교하여 장단점을 분석한다.

ABSTRACT

This paper presents a circuit configuration of multilevel inverter to synthesize a large number of output voltage levels by connecting a full-bridge inverter to a 5-level inverter in series. We analyze the characteristics by computer-aided simulations and experiments when it has input voltage sources which have the same and the power of three in the amplitude. In addition, it is compared with the conventional transformer based multilevel inverter.

Key Words : Multilevel inverters, Pulse width modulation (PWM), Total harmonic distortion (THD).

1. 서 론

출력전압에 다수의 레벨 형성이 용이한 멀티레벨 인버터는 낮은 스위칭 주파수로도 사인파에 가까운 양질의 출력전압 파형을 생성할 수 있다. 이러한 관점에서 볼 때 적은 수의 회로 소자를 이용하여 출력 전압 레벨을 가능한 많이 형성하는 것이 멀티레벨 인버터의 회로 디자인에 있어 중요한 요소 중 하나이다.

멀티레벨 인버터의 종류 중 Cascaded H-bridge cell

방식은 적은 소자 수를 이용해 출력전압 레벨 수를 증가시키기 위해 가장 유용한 방식으로 알려져 있으며 이를 기반으로 출력전압 레벨 수를 증가시킨 다양한 멀티레벨 인버터가 소개되고 있다^{[1]-[4]}. 최근 3ⁿ승비의 권선비를 갖는 다단변압기를 이용한 멀티레벨 인버터는 출력전압 레벨 수를 증가시키기 위한 매우 유용한 방식이다^[5]. 기존 Cascaded H-bridge 방식은 독립된 입력전원을 필요로 하나 이 방식은 단일 입력전압원만으로 출력전압 레벨 수를 증가시킬 수 있는 장점을 가진다. 또한 다단으로 결합된 변압기들의 누설 인덕턴스에 따른 필터링 효과까지 있어 양질의 출력전압 형성이 가능하다^[5]. 다단 변압기 적용 방식 중 공통암을 이용하여 스위칭 소자수를 보다 저감시킬 수 있는 방식이 연구되었다^[8]. 이는 동일 출력전압 레벨 형성시

†교신저자 : 정희원, 한밭대 제어계측공학과 부교수

E-mail : feelsoon@ieee.org

*학생회원, 한밭대 제어계측공학과 석사과정

접수일자 : 2010. 9. 29 1차 심사 : 2010. 11. 1

심사완료 : 2010. 11. 2

한 압을 공통으로 사용함으로써 사용되는 스위칭 소자 수를 저감시킬 수 있지만 공통압의 전류 스트레스가 증가하는 문제를 발생시킨다. 또한 다단 변압기 사용 대수를 저감하는 대신 PWM 방식을 추가하는 멀티레벨 인버터가 소개되었다^[6]. 그러나 높은 스위칭 주파수로 인한 스위칭 손실 발생은 단점으로 지적된다.

상기에 언급된 멀티레벨 인버터들은 적은 소자수로 다수의 출력전압 레벨 수를 증가시킬 수 있는 효과적인 방법이지만 공통적으로 변압기를 채용하게 되어 변압기 자체의 전력변환 손실, 저주파 변압기로 인한 전체 시스템 부피의 증가 문제를 발생시킨다. 무엇보다도 저주파 변압기를 채용하는 방식은 주파수 제어가 필요한 전동기 구동용 인버터로 사용하기에는 곤란하므로 그 응용에 한계가 있다.

따라서 본 논문에서는 다단 변압기의 적용으로 발생하는 시스템 부피 및 변압기 손실 증가 문제를 해결하기 위해 풀-브리지 인버터와 양방향 스위치를 가지는 기존의 5-레벨 인버터^[7]를 직렬 결합시킨 혼합형 멀티레벨 인버터를 제안한다. 제안된 방식에서 입력전압원의 크기를 동일하게 할 경우, 3의 배수로 구성할 경우에 따라 생성시킬 수 있는 출력전압 레벨 수가 가변된다. 따라서 입력전압원의 크기 변화에 따라 생성 가능한 출력전압 레벨 수를 분석하고 시뮬레이션과 실험을 통해 가장 효과적인 회로 구성을 찾고자 한다.

2. 제안하는 혼합형 멀티레벨인버터

그림 1은 풀-브리지 인버터와 5-레벨 인버터 기반의 혼합형 멀티레벨 인버터의 회로 구조를 나타낸다. 상단의 풀-브리지 인버터의 출력을 하단의 5-레벨 인버터 출력과 직렬 결합시킨 구조이다. 상단 인버터의 출력 v_x 는 $-n_1V_{dc}$, 0 , n_1V_{dc} 의 3-레벨 출력을 생성하며, 하단 인버터의 출력 v_y 는 $-(n_2+n_3)V_{dc}$ 부터 $(n_2+n_3)V_{dc}$ 까지 영레벨을 포함한 5-레벨 출력전압을 생성하게 된다. 제안된 혼합형 멀티레벨 인버터의 출력전압 v_{out} 은 두 인버터 출력전압의 합으로 나타나므로 $-(n_1+n_2+n_3)V_{dc}$ 부터 $(n_1+n_2+n_3)V_{dc}$ 까지의 크기를 가지는 출력 전압을 형성할 수 있다. 그러므로 각 입력전압원의 크기인 n_1 , n_2 , n_3 의 값에 따라 생성시킬 수 있는 출력전압 레벨 수가 변화됨을 알 수 있다.

표 1은 입력전압원의 크기에 따른 출력전압 레벨 수를 나타낸다. 선형적인 출력전압 생성을 위해 입력전압원이 동일한 Case A와 2의 배수비로 구성되는 Case B와 Case C, 그리고 3의 배수비로 구성되는 Case D

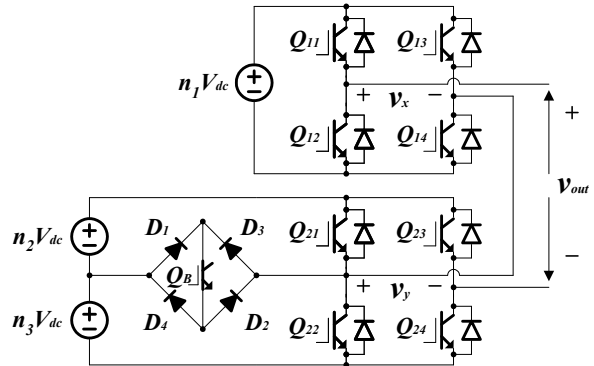


그림 1 제안하는 혼합형 멀티레벨 인버터
Fig. 1 Proposed hybrid multilevel inverter

표 1 입력전압원 크기에 따른 출력전압 레벨 수
Table 1 The number of output voltage levels according to the amplitude of input voltage sources

Case	n_1	n_2	n_3	v_x		v_y		v_{out}		N
				min	max	min	max	min	max	
A	1	1	1	$-V_{dc}$	V_{dc}	$-2V_{dc}$	$2V_{dc}$	$-3V_{dc}$	$3V_{dc}$	7
B	2	1	1	$-2V_{dc}$	$2V_{dc}$	$-2V_{dc}$	$2V_{dc}$	$-4V_{dc}$	$4V_{dc}$	9
C	1	2	2	$-V_{dc}$	V_{dc}	$-4V_{dc}$	$4V_{dc}$	$-5V_{dc}$	$5V_{dc}$	11
D	3	1	1	$-3V_{dc}$	$3V_{dc}$	$-2V_{dc}$	$2V_{dc}$	$-5V_{dc}$	$5V_{dc}$	11
E	1	3	3	$-V_{dc}$	V_{dc}	$-6V_{dc}$	$6V_{dc}$	$-7V_{dc}$	$7V_{dc}$	15

와 Case E를 생각할 수 있다. 입력전압원이 제시된 경우 이외의 배수 비를 가질 경우 선형적인 출력전압 생성은 불가능하다. 예를 들어 입력전압원이 1:4:4의 비를 가진다면 최소 $-9V_{dc}$ 에서 최대 $9V_{dc}$ 의 출력전압을 생성할 수 있지만 $6V_{dc}$ 와 $2V_{dc}$ 를 생성할 수 없어 선형적인 출력전압을 얻을 수 없게 된다. 또한 5-레벨 인버터의 입력전압원이 비대칭인 경우는 회로 구성상 바람직하지 않을 뿐 아니라 선형적인 출력전압을 얻기에도 곤란하므로 본 논문의 고려 대상에서 제외한다.

Case A는 세 입력 전압원의 크기가 V_{dc} 로 동일한 경우이다. 따라서 풀-브리지 입력은 V_{dc} , 5-레벨 인버터의 입력은 $2V_{dc}$ 가 된다. 풀-브리지 인버터는 $-V_{dc}$, 0 , V_{dc} 의 3-레벨 형성이 가능하고, 5-레벨 인버터는 $-2V_{dc}$, $-V_{dc}$, 0 , V_{dc} , $2V_{dc}$ 의 전압 레벨 형성이 가능하므로 출력전압은 $-3V_{dc}$, $-2V_{dc}$, $-V_{dc}$, 0 , V_{dc} , $2V_{dc}$, $3V_{dc}$ 의 선형적인 7-레벨을 생성할 수 있다. Case B는 풀-브리지 인버터 입력이 $2V_{dc}$ 이고 5-레벨 인버터 입력이

각각 V_{dc} 인 경우이다. 이 경우 최종 출력전압은 $-4V_{dc}$ 에서 $4V_{dc}$ 까지 영레벨을 포함하여 9-레벨 형성이 가능하다. Case C는 풀-브리지 입력이 V_{dc} , 5-레벨 인버터 입력이 각각 $2V_{dc}$ 로 $4V_{dc}$ 의 입력전압원을 가지는 경우로 $-5V_{dc}$ 에서 $5V_{dc}$ 까지 영레벨을 포함하여 11-레벨을 형성시킬 수 있다. Case D 역시 11-레벨 형성이 가능한 조합으로 풀-브리지는 $3V_{dc}$, 5-레벨 인버터는 각각 V_{dc} 를 가짐으로써 입력이 $2V_{dc}$ 인 경우이다. 가장 많은 레벨수는 풀-브리지가 V_{dc} , 5-레벨 인버터가 각각 $3V_{dc}$ 의 입력 전압원을 가질 때 15-레벨을 형성하는 조건이다. 결과적으로 하나의 풀-브리지 인버터와 5-레벨 인버터를 직렬 결합하는 경우 Case E가 가장 많은 수의 출력전압을 형성하게 됨을 알 수 있다.

2.1 혼합형 멀티레벨 인버터의 스위칭 함수

상단 풀-브리지 인버터 스위칭 함수를 SF_x , 하단 5-레벨 인버터 스위칭 함수를 SF_y 라 하면 각 스위칭 함수는 다음과 같이 표현될 수 있다.

If $Q_{11}, Q_{14} = ON$ then $SF_x = n_1$
 If $Q_{11(12)}, Q_{13(14)} = ON$ then $SF_x = 0$ (1)

If $Q_{12}, Q_{13} = ON$ then $SF_x = -n_1$

If $Q_{21}, Q_{24} = ON$ then $SF_y = (n_2 + n_3)$

If $Q_B, Q_{24} = ON$ then $SF_y = n_3$

If $Q_{21(22)}, Q_{23(24)} = ON$ then $SF_y = 0$ (2)

If $Q_B, Q_{23} = ON$ then $SF_y = -n_2$

If $Q_{22}, Q_{23} = ON$ then $SF_y = -(n_2 + n_3)$

식 (1)과 (2)의 각 인버터 스위칭 함수를 이용해서 출력전압 v_{out} 을 정의하면 풀-브리지 인버터의 출력과 5-레벨 인버터의 출력이 직렬 결합되므로 식(3)과 같이 표현된다.

$$v_{out} = V_{dc} \sum_{i=0}^k (SF_x + SF_y) \quad (3)$$

식 (3)으로부터 각 인버터의 스위칭 함수의 선택을 통해 선형적인 출력전압 레벨을 생성시킬 수 있다. 출력전압에 15-레벨 생성이 가능한 Case E의 양의 출력전압을 생성을 위한 스위칭 상태를 표 1에 나타낸다.

표 2 15-레벨 형성을 위한 스위칭 상태
 Table 2 Switching state for generating 15 levels

V_{out}	Switching State								
	Q_{11}	Q_{12}	Q_{13}	Q_{14}	Q_B	Q_{21}	Q_{22}	Q_{23}	Q_{24}
0		■		■			■		■
V_{dc}	■			■			■		
$2V_{dc}$		■	■		■				
$3V_{dc}$		■		■	■				
$4V_{dc}$	■			■	■				
$5V_{dc}$		■	■			■			
$6V_{dc}$		■		■		■			
$7V_{dc}$	■			■		■			■

표 3 출력전압 레벨 수에 따른 s 및 V_{max}
 Table 3 s and V_{max} according to the number of output voltage levels

The number of output voltage levels	s	V_{max}
7	3	$3V_{dc}$
9	4	$4V_{dc}$
11	5	$5V_{dc}$
15	7	$7V_{dc}$

2.2 혼합형 멀티레벨 인버터의 변조비

제안된 멀티레벨 인버터의 변조비는 다음의 식 (4)에 의해 정의된다. 여기서 V_1 은 인버터 출력전압의 기본파 성분, V_{max} 는 인버터의 최대 출력전압을 의미한다. 출력전압 레벨 수에 따른 s와 V_{max} 의 값은 표 3에 나타낸다. 예를 들어 15-레벨을 형성하는 혼합형 인버터의 경우, s의 값은 7이며 V_{max} 는 $7V_{dc}$ 가 된다.

$$M_a = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_1}{V_{max}} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_1}{s \cdot V_{dc}} \quad (4)$$

2.3 등면적법을 이용한 스위칭 각 선정

출력전압 레벨 형성을 위한 각 인버터의 스위치 동작을 기본으로 사인파의 출력을 얻기 위해 본 논문에서는 등면적법을 이용한 스위칭 각 계산을 수행하였다. 등면적법을 적용하여 스위칭 각을 계산하면 스위칭 각에 따라 겹치는 면적과 겹치지 않는 면적을 동일하게 할 수 있어 전체적인 출력 파형의 THD를 감소

시킬 수 있다^{[9]-[11]}.

등면적법에서 각 레벨의 전압과 정현적인 지령전압과의 교차점은 다음의 식(5)로 구할 수 있다.

$$\theta_n = \sin^{-1}\left(\frac{n \cdot V_{dc}}{V_p}\right) \quad (5)$$

여기서 n 은 출력전압 레벨, V_{dc} 는 입력전압, V_p 는 기준 사인파이다. 만약 식 (5)를 만족하는 교차점이 존재하지 않을 경우 θ_n 은 $\pi/2$ 가 된다. 식(5)에서 구한 교차점을 이용하여 인버터 도통각은 다음의 식(6)으로 정의할 수 있다.

$$\alpha_n = \theta_{n-1} - \frac{1}{V_{dc}} \int_{\theta_{n-1}}^{\theta_n} (V_p \sin(\theta) - n V_{dc}) d\theta \quad (6)$$

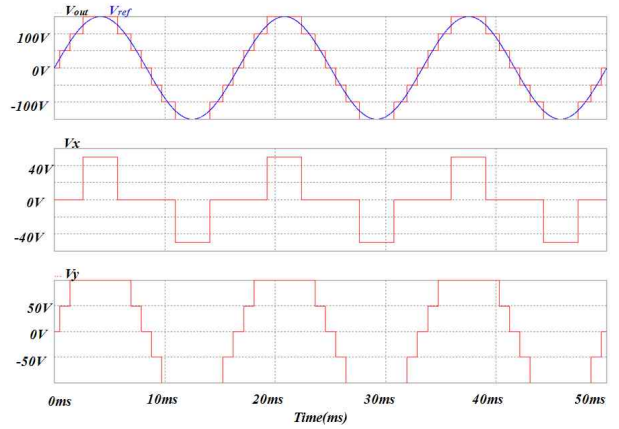
여기서 $\theta_0=0$ 이다.

3. 시뮬레이션 및 실험

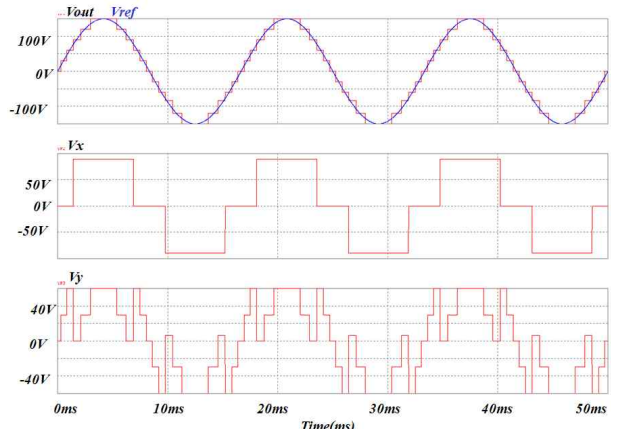
제안된 혼합형 멀티레벨 인버터의 동작 특성을 분석하기 위해 시뮬레이션과 시작품을 기반으로 한 실험을 수행하였다. 등면적법을 통한 스위칭 각 계산과 출력전압 레벨 형성을 위해 AVR MEGA 128 프로세서를 기반으로 한 디지털 제어기를 설계하였다. 표 1의 Case A, D, E에 해당하는 7-레벨, 11-레벨, 15-레벨에 대한 PSIM 시뮬레이션과 실험을 수행하였다.

그림 2는 입력전압원의 크기 조건에 따른 상단의 풀-브리지 인버터의 출력전압, 하단의 5-레벨 인버터의 출력전압, 두 인버터 출력의 합으로 나타나는 혼합형 멀티레벨 인버터의 7-레벨, 11-레벨, 15-레벨 출력전압 파형을 보여준다. 그림 2(a)는 입력전압원이 V_{dc} 로 동일한 경우로 풀-브리지의 3-레벨 출력과 5-레벨 인버터의 5-레벨 출력이 명확히 나타나며 두 출력의 조합에 의해 7-레벨의 출력전압이 나타남을 알 수 있다. 이 경우 적은 레벨 수로 인해 5 [%] 이하의 THD를 얻기 위해서는 출력 필터가 요구된다.

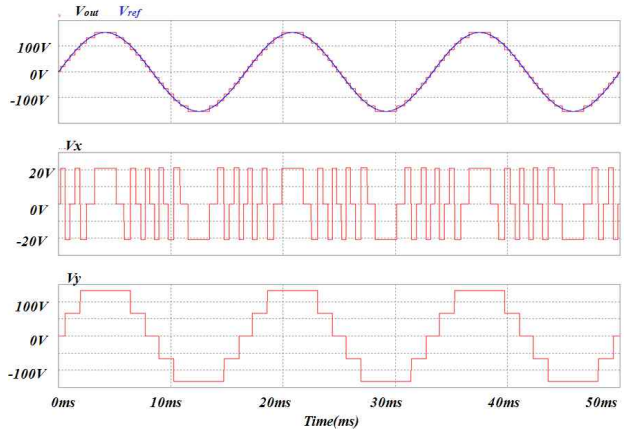
그림 3은 출력전압 레벨 수에 따른 파워스펙트럼 결과를 보여준다. 그림 3(a)는 7-레벨을 형성할 경우이며 10 [mV] 이상의 값을 보여준다. 그림 3(b)의 11-레벨의 경우는 약 10 [mV] 정도의 약간 감소한 값을 보여주며, 그림 3(c)의 15-레벨에서는 10 [mV] 이하로 레벨 수의 증가에 따라 저감되는 파워스펙트럼 값을 확인할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 2 풀-브리지 인버터 출력전압, 5-레벨 인버터 출력전압, 최종출력전압 시뮬레이션, (a) 7-레벨, (b) 11-레벨, (c) 15-레벨

Fig. 2 Simulations for output voltage of full-bridge inverter, 5-level inverter and final output voltage, (a) 7-level, (b) 11-level, (c)15-level

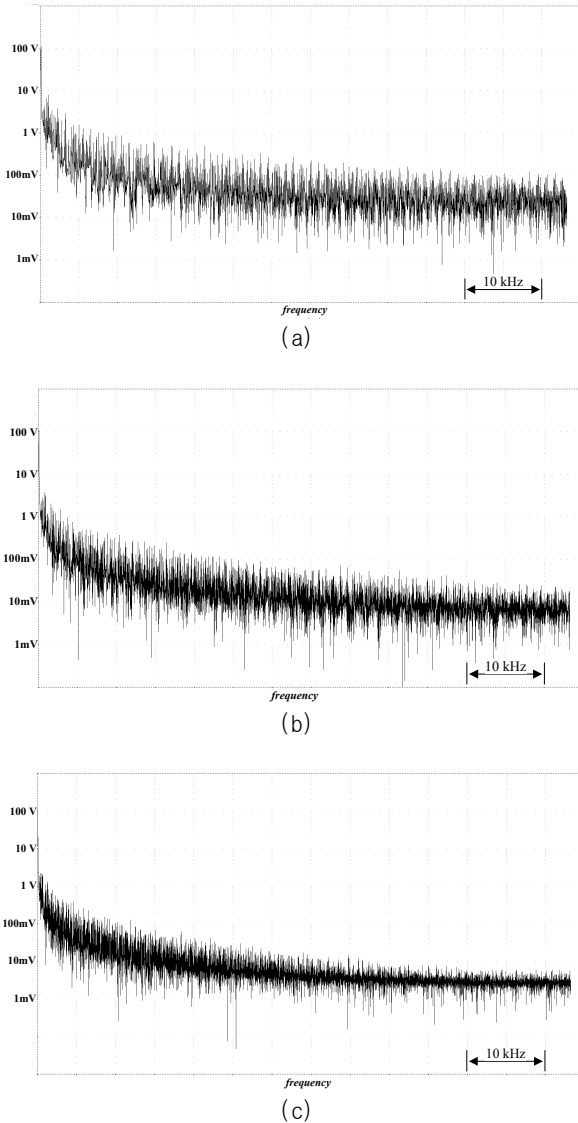


그림 3 출력전압의 파워스펙트럼 분석, (a) 7-레벨, (b) 11-레벨, (c) 15-레벨
 Fig. 3 Power spectrum of output voltage, (a) 7-level, (b) 11-level, (c) 15-level

그림 4는 레벨 수에 따른 총고조파왜곡율(THD)을 보여준다. 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 50 차수까지 THD를 계산한 결과를 비교하였다. 7-레벨에서는 12 [%], 11-레벨에서는 약간 감소한 7.34 [%], 15-레벨에서는 5.4 [%]의 값을 나타낸다. 다단 변압기를 채용하는 방식의 경우 부하전류가 증가하면 변압기의 누설 인덕턴스 성분의 필터링 효과로 인해 출력전압 THD가 부하가 증가할수록 개선되는 효과가 있지만 제안된 방식에서는 변압기를 적용하지 않기 때문에 부하 변동

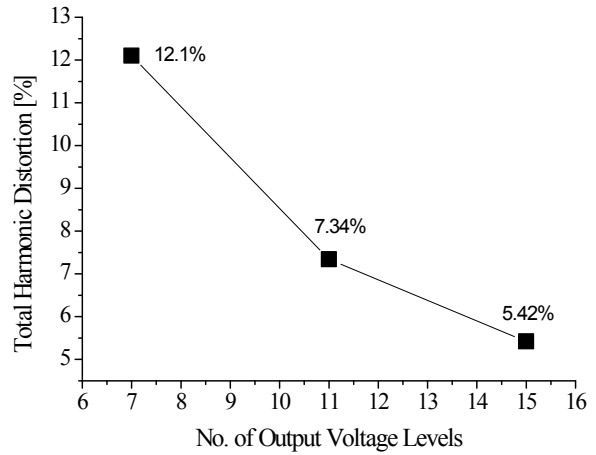


그림 4 레벨 수에 따른 총전압왜곡률
 Fig. 4 THD according to the number of output voltage levels

과는 무관하게 거의 일정한 THD 특성을 나타내게 된다. 그러나 일반적인 인버터의 전압 THD는 5 [%] 미만을 요구하므로 제안하는 멀티레벨 인버터 역시 출력 전압 필터가 추가되어야 하지만 필터 사이즈는 크게 줄일 수 있다.

그림 5는 시뮬레이션과 동일한 스위칭 각을 시작점에 적용한 출력전압 파형을 보여준다. 그림 5(a)의 경우 입력전압원이 V_{dc} 로 동일하며 각 인버터는 3-레벨과 5-레벨의 출력전압과 동일한 스위칭 주파수를 가지고 동작함을 알 수 있다. 그림 5(b)는 상단의 인버터가 기본 레벨을 형성하고 하단의 5-레벨 인버터의 출력이 이에 가감되어 11-레벨의 출력전압을 형성함을 보여준다. 그림 5(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 5(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^[12].

그림 6은 출력전압에 15-레벨을 형성할 수 있는 다단 변압기 기반의 멀티레벨 인버터를 보여준다^[8]. 다단 변압기의 권선비는 1:2:4로 구성되며 공통암을 이용하여 사용되는 소자수를 저감시킨 방식이다. 그림 6에서 Inv1은 PWM 암으로 구성되며 1:1a의 변압기에 연결된다. Inv2와 Inv3은 레벨 형성을 위한 인버터로써 각각 1:2a, 1:4a의 변압기로 출력전압 레벨을 결정하게 된다. 이 방식은 특히 공통암을 이용함으로써 스위치

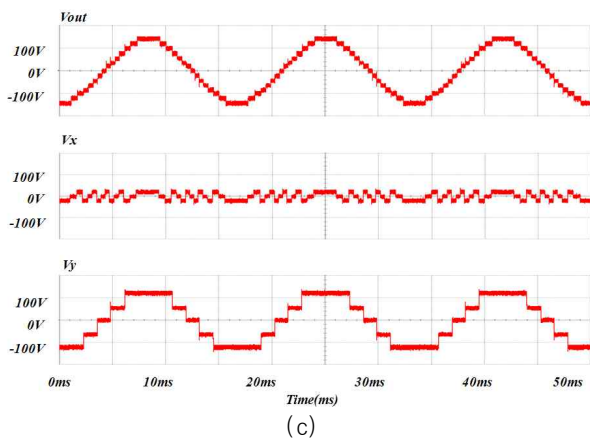
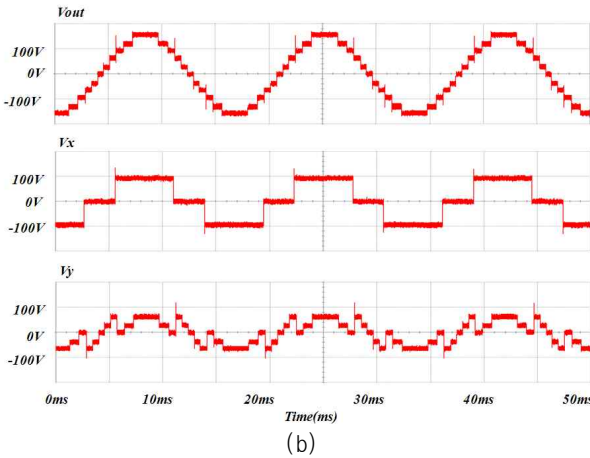
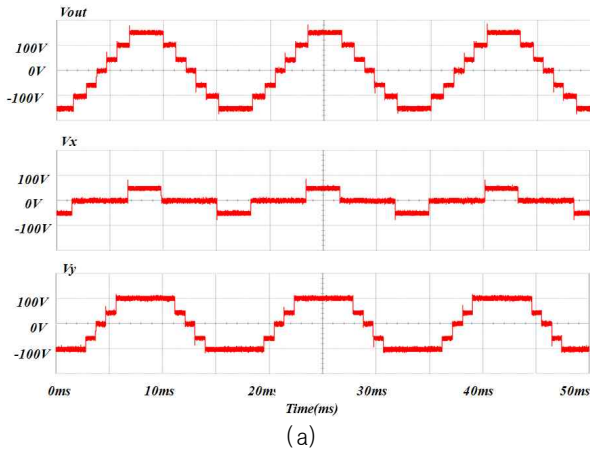


그림 5 풀-브리지 인버터 출력전압, 5-레벨 인버터 출력전압, 최종출력전압 실험결과, (a) 7-레벨, (b) 11-레벨, (c) 15-레벨

Fig. 5 Experiments for output voltage of full-bridge inverter, 5-level inverter and final output voltage, (a) 7-level, (b) 11-level, (c) 15-level

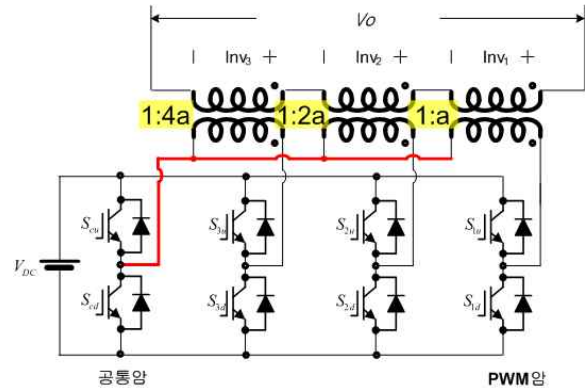


그림 6 기존의 다단 변압기 방식의 멀티레벨 인버터
Fig. 6 Conventional multilevel inverter using a cascaded transformer

표 3 기존 다단변압기 공통암 방식과의 비교
Table 3 Comparison with the prior cascaded transformer with common-arm scheme

Item	Prior	Proposed
No. of Levels	15	15
Switch	8	9
Diode	0	4
Transformers	3	0
DC input capacitor	1	3

소자수를 저감시키면서도 다수의 출력전압 레벨을 형성시킬 수 있는 효율적인 방법이다. 또한 변압기 이차측을 직렬로 연결함으로써 누설 인덕턴스가 생성되어 부하전류가 증가할수록 출력전압의 레벨이 필터링 효과로 인해 보다 정현파에 근접하는 장점과 전기적 절연이 가능하다는 장점을 가진다. 표 3은 기존의 공통암 방식을 적용한 다단 변압기 기반의 멀티레벨 인버터와 제안하는 방식의 비교 결과를 보여준다.

출력전압 레벨수를 15-레벨로 동일하게 할 경우, 기존 방식이 스위치 1개, 다이오드 4개의 소자 수를 저감시킬 수 있다 하지만 공통암을 적용할 경우, 공통암에 연결되는 스위치의 전류 정격은 다른 스위치 소자에 비해 월등히 커져야 하므로 스위치 소자의 가격이 상승하는 단점이 있으며 서로 다른 스위치 전류 정격으로 인해 모듈 구성의 어려움이 발생할 수 있다. 또한 1:2:4의 권수비를 갖는 3대의 변압기를 채용함으

로써 변압기 제작비용이 증가하며 무엇보다도 변압기에 의한 손실이 커지고 시스템의 부피가 증가하는 문제점을 가지게 된다. 또한 저주파 변압기를 채용함으로써 주파수 제어가 필요한 전동기 구동용 인버터로 사용하기에는 곤란하므로 그 응용에 한계가 있다.

이에 비해 제안하는 혼합형 멀티레벨 인버터는 변압기를 채용하지 않음으로 인해 변압기와 관련된 문제점들을 극복할 수 있다. 또한 제안된 혼합형 멀티레벨 인버터가 표 1의 Case E 조건으로 동작할 경우 출력 전압에 15개의 레벨이 생성되어 사인파에 근접한 출력 전압을 얻을 수 있고, 등면적법을 적용한 스위칭 방식의 적용으로 출력단에 추가적인 필터 없이 약 5 [%] 정도의 양호한 THD 특성을 나타낸다.

4. 결 론

본 논문에서는 풀-브리지 인버터와 양방향 스위치를 가지는 5-레벨 인버터를 직렬 결합시켜 출력전압에 다수의 레벨을 형성할 수 있는 멀티레벨 인버터 구조를 제안하였다. 제안된 회로의 입력전압원 크기가 서로 동일한 경우와 3의 배수 형태를 가지는 경우에 대한 특성을 분석하고 시뮬레이션 및 실험을 통해 15-레벨을 형성할 수 있는 Case E의 입력전압원 조건이 가장 효율적임을 알 수 있었다. 또한 기존의 다단 변압기를 적용하는 인버터와 비교하여 변압기 채용으로 인한 문제점을 극복할 수 있는 회로 토폴로지임을 확인하였다.

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 Ind. Electron. Magazine*, pp. 28-39, 2008.

[2] 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, 2002, Aug.

[3] J. S. Lai, and F. Z. Peng, "Multilevel Converters-A New Breed of Power Converters", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol. 32, No. 3, pp. 509-517, 1996, May/June.

[4] L. M. Tolbert, F. Z. Peng, and T. G. Habetler, "Multilevel converters for large electric drives", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 35, pp. 36-44, 1999.

[5] 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, 2005, Dec.

[6] F. S. Kang, S. J. Park, S. E. Cho, C. U. Kim, and T. Ise, "Multilevel PWM Inverters Suitable for the Use of Stand-alone Photovoltaic Power Systems", *IEEE Trans. Energy Convers.*, Vol. 20, No. 4, pp. 906-915, 2005, Dec.

[7] 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, 2003, May.

[8] 송성근, 박성준, 김동욱, 임영철, 김광현, "공통암을 이용한 3상 변압기 절연 멀티레벨 인버터", *전력전자학회 논문지*, 제12권, 제2호, pp. 149-156, 2007. 4.

[9] 홍운택, 최원균, 권철순, 현석환, 강필순, "혼합형 멀티레벨 인버터의 입력전압원 크기에 따른 출력전압 특성 분석", *2010 전력전자학술대회 논문집*, pp. 502-503, 2010. 7. 6-9.

[10] 최원균, 홍운택, 권철순, 현석환, 강필순, "두 대의 5-레벨 인버터의 직렬 결합을 이용한 멀티레벨 인버터", *2010 전력전자학술대회 논문집*, pp. 504-505, 2010. 7. 6-9.

[11] 권철순, 최원균, 홍운택, 현석환, 강필순, "다단출력전압 형성을 위한 절연방식과 비절연방식 멀티레벨 인버터의 특성 비교", *2010 전력전자학술대회 논문집*, pp. 500-501, 2010. 7. 6-9.

[12] G. P. Adam, S. J. Finney, A. M. Massoud, and B. W. Williams, "Capacitor Balance Issues of the Diode-Clamped Multilevel Inverter Operated in a Quasi Two-State Mode", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 55, No. 8, pp. 3088-3099, 2008, Aug.

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2010-0009504)

저 자 소 개



홍운택(洪雲澤)

1976년 6월 1일생. 2009년 2월 한밭대 제어계측공학과 졸업. 동 대학원 제어계측공학과 석사과정.



최원균(崔源均)

1975년 2월 1일생. 2006년 2월 한밭대 제어계측공학과 졸업. 동 대학원 제어계측공학과 석사과정.



권철순(權哲淳)

1985년 11월 16일생. 2010년 2월 한밭대 제어계측공학과 졸업. 동 대학원 제어계측공학과 석사과정.



강필순(姜弼淳)

1973년 9월 5일생. 2000년 8월 부산대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 2월 동 대학원 졸업(공학박사). 2003년 오사카대학 전기공학과 박사후과정. 2004년 9월~현재 한밭대 전기전자제어공학부 부교수.

당 학회 학술위원.