

다단 출력전압 형성을 위한 변형된 풀-브리지 기반의 인버터

李相赫^{*}, 姜弼淳[†], 朴晟濬^{**}

Modified Full-bridge based Inverter for Synthesizing Multilevel Output Voltage

Sang-Hyeok Lee, Feel-Soon Kang and Sung-Jun Park

요 약

본 논문에서는 풀-브리지 인버터의 앞단에 DC 전압원과 스위치를 추가하여 다단의 출력전압을 형성시킬 수 있는 멀티레벨 인버터를 제안한다. 제안된 회로에서 풀-브리지 인버터는 출력전압의 극성을 결정하게 되고 추가된 스위치의 동작에 의해 출력전압의 레벨 수를 정의할 수 있다. 제안된 방식은 동일 레벨의 출력전압을 형성시키는 경우 기존 멀티레벨 인버터에 비해 스위치 소자수를 저감시킬 수 있는 장점을 가진다. 제안된 인버터의 타당성 검증을 위해 시뮬레이션 및 시작품을 이용한 실험 결과를 제시한다.

ABSTRACT

In this paper, we proposes a multilevel inverter which can synthesize multi output voltage levels by adding DC voltage sources and switch components. In the proposed circuit topology, full-bridge inverter determines the output polarity and the number of output voltage levels are defined by the operation of the additional switches. It can reduce the number of switch devices compared with the conventional approaches when they generate the same number of output voltage levels. To verify the validity of the proposed multilevel inverter, we present simulation and experimental results using a prototype.

Key Words : Full-bridge inverter, Multilevel inverter, Total harmonic distortion

1. 서 론

한정적인 에너지를 효율적으로 관리하고 사용하기 위한 전력전자 기술의 지속적인 성장은 전력변환 시스템에 많은 발전을 갖고 왔다. 전력변환 기술에서 주요

한 관점으로는 에너지 변환 효율과 가격이며 최근 차세대 에너지원으로 주목받고 있는 신재생에너지와 접목되어 보다 안정적이고 효율적인 에너지를 생산하고 관리하는데 많은 연구가 이루어지고 있다. 신재생에너지 중에 각광 받고 있는 태양광 에너지는 태양광 모듈(Photovoltaic Modules)을 사용하여 DC 전압을 얻을 수 있고 인버터를 통해 AC 전압으로 변환하여 기존의 전력계통과 연계된다. 여기서 사용되는 인버터의 전력 변환 효율을 높이기 위해 다양한 구조와 방법이 연구 중이며 최근에는 멀티레벨 인버터가 관심을 받고 있다^[1,2]. 일반적으로 멀티레벨 인버터는 고전압용에 적용하

[†]교신저자 : 정회원, 한밭대 전기전자제어공학부 조교수
E-mail : feelsoon@hanbat.ac.kr

^{*}학생회원, 전남대 전기공학과 박사과정

^{**}정회원, 전남대 전기공학과 부교수

접수일자 : 2009. 4. 7 1차 심사 : 2009. 5. 11
2차 심사 : 2009. 6. 26 심사완료 : 2009. 7. 4

여 스위치 스트레스를 저감시키는 용도로 주로 사용되었으나 최근 태양광 발전용 인버터에 적용하여 PWM 인버터의 스위칭 손실을 줄이기 위한 목적으로 응용되기도 한다.

멀티레벨 인버터는 다수의 독립적인 커패시터 DC 전압을 합성하여 왜곡이 적은 대용량 AC 전압을 손쉽게 만들 수 있다. 또한 전압 레벨 수를 증가함으로써 THD를 감소시킬 수 있고 스위치의 정격 전압과 스위칭 손실을 줄여 우수한 출력 전압을 얻을 수 있는 특징을 갖고 있다.

본 논문에서 제안하는 멀티레벨 인버터는 기존의 고전압을 목표로 하는 멀티레벨 인버터와 달리 저전압 응용에서 출력전압 파형 개선에 있어 효율적인 구성이 가능한 멀티레벨 인버터를 제안한다. 제안된 멀티레벨 인버터는 기존의 멀티레벨 인버터 보다 스위칭 소자수가 적고 간단한 구조로 손쉽게 응용이 가능하며 우수한 출력 전압을 얻을 수 있는 특징을 갖고 있다.

본 논문에서 제안하는 멀티레벨 인버터는 기존의 다단 멀티레벨 인버터와 PSpice를 통하여 시뮬레이션으로 비교/분석하였고 시작품을 제작하여 제안된 구조의 타당성과 우수성을 검증하였다.

2. 기존의 멀티레벨 인버터

멀티레벨 인버터는 다수의 커패시터 DC 전압을 합성하여 정현파 전압에 가깝게 출력함으로써 고조파를 감소시킬 수 있다. 여기서 출력전압의 레벨의 수가 많을수록 고조파는 감소하여 필터의 크기가 줄어들고 PWM 인버터에 비해 스위칭 주파수가 낮아지므로 고효율의 출력파형을 얻을 수 있다.

멀티레벨 인버터는 승압 회로 없이도 출력 전압을 입력 전압보다 높일 수 있으며 스위칭 손실, THD 감소, 낮은 스위칭 주파수를 사용함으로써 효율적인 출력 전압을 얻을 수 있다. 일반적으로 멀티레벨 인버터는 다이오드-클램프, 플라잉-커패시터, 다단 멀티레벨 인버터로 구분할 수 있으며 구조에 따라 고유의 장·단점을 갖고 있다^{[2]-[4]}.

2.1 다이오드-클램프 멀티레벨 인버터

그림 1은 다이오드-클램프 멀티레벨 인버터 (Diode-Clamped Multilevel Inverter: DCMLI)로 레벨수가 높으면 필터가 필요 없을 정도로 고조파 성분이 매우 낮고 모든 소자들이 기본 주파수로 스위칭 되기 때문에 인버터 효율이 높으며 제어가 간단한 장점을 갖고 있

다. 하지만 레벨수가 높을수록 다수의 클램핑 다이오드가 필요하며 입력 커패시터 전압의 불균형이 발생하여 이를 극복하기 위한 복잡한 스위칭 알고리즘이 필요하다^{[3],[5]}.

2.2 플라잉-커패시터 멀티레벨 인버터

그림 2는 플라잉-커패시터 멀티레벨 인버터 (Flying-Capacitor Multilevel Inverter)로 다이오드-클램프 멀티레벨 인버터와 비슷한 구조로 다이오드 대신 커패시터를 이용함으로써 내부 전압 레벨이 여유를 얻을 수 있어 안정적인 전원 공급이 가능하다. 또한 유효·무효 전력을 모두 제어할 수 있고 하이 레벨에서 필터가 필요 없을 정도로 우수한 출력 파형을 생성할 수 있다. 하지만 레벨수가 올라갈수록 제어가 복잡해지고 스위칭 손실이 크며 다수의 커패시터가 필요하고 구조상 그룹화 시키기 어렵다는 단점을 갖고 있다^[6].

2.3 다단 멀티레벨 인버터

그림 1은 다단 멀티레벨 인버터(Cascaded Multilevel Inverter)는 다수의 H-bridge 인버터를 직렬로 연결한 구조로 기존의 클램핑 다이오드나 플라잉 커패시터가 불필요하다. 따라서 기존의 다른 멀티레벨 인버터보다 최소 부품으로 구성이 가능하며 소프트 스위칭 기법을 사용함으로써 스위칭 손실을 줄일 수 있다. 또한 H-bridge 단위로 그룹화가 가능하여 확장이나 제어가

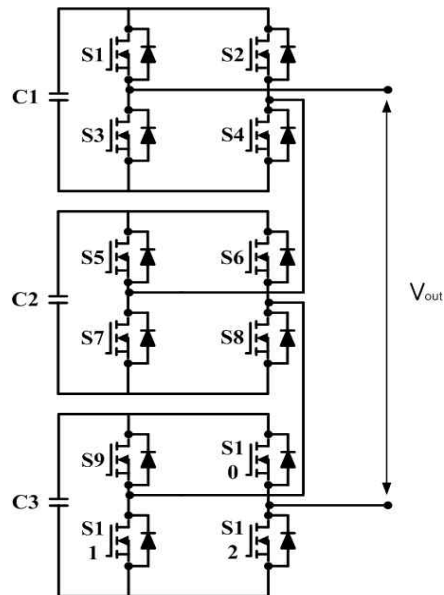


그림 1 다단 멀티레벨 인버터
Fig. 1 Cascaded Multilevel Inverter

용이하며 전압 불균형 문제가 발생하지 않는다^{[3][4][6]}. 다단 멀티레벨 인버터는 독립적인 DC 전원이 요구되어 적용에 제한적일 수도 있지만 이 구조에서는 전압 불균형 문제가 발생하지 않기 때문에 각각의 DC 전압의 크기가 달라도 상관없다. 최근에는 태양광, 풍력, 연료전지 같은 신재생 에너지와 접목되어 많은 연구가 이루어지고 있다^{[8][9]}.

3. 제안하는 멀티레벨 인버터

본 논문에서는 기존의 고압용으로 사용되는 멀티레벨 인버터와 달리 저전압용으로 다수의 독립적인 DC 전원이 필요한 신재생 에너지 분야에 적합한 구조를 제안한다. 동일한 출력전압 레벨을 생성시킬 경우 제안된 멀티레벨 인버터 구조는 기존의 다단 멀티레벨 인버터보다 스위칭 소자가 적어 스위칭 손실, 노이즈 감소, 시스템 크기, 비용을 감소시킬 수 있으며 구조 또한 간단하여 확장 및 유지 보수가 용이하다. 그림 2는 본 논문에서 제안하는 멀티레벨 인버터 구조로 7-레벨의 출력전압을 생성시키기 위한 예이다. 풀-브리지용 스위치들(S1~S4)은 출력파형의 극성을 조절하며 왼쪽에 추가된 스위치들(S5~S8)이 출력전압의 레벨수를 결정한다.

표 1은 제안하는 멀티레벨 인버터의 동작 모드에 따른 스위치 상태를 나타내며 상태조건 1은 스위치 오픈, 상태조건 0은 스위치 차단을 의미한다.

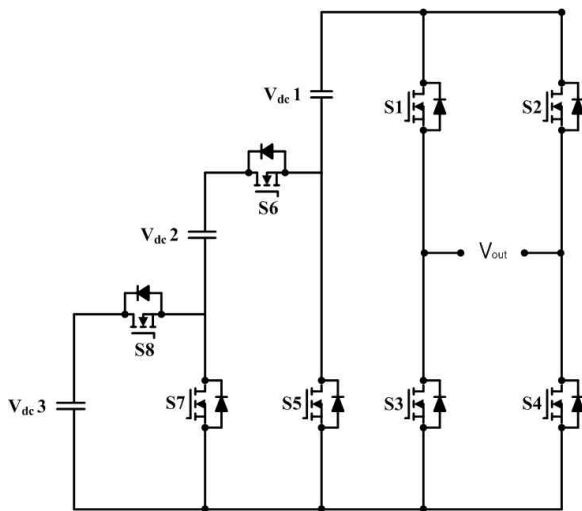


그림 2 제안된 멀티레벨 인버터 (7-레벨)
Fig. 2 Proposed Multilevel Inverter, 7-level

표 1 제안된 멀티레벨 인버터 스위치 동작
Table 1 switching function of the proposed multi-level inverter

Mode	Output		Switch State							
	Voltage	Level	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
1	Vdc	3	0	1	1	0	1	0	0	0
2	2Vdc	5	0	1	1	0	0	1	1	0
3	3Vdc	7	0	1	1	0	0	1	0	1
4	2Vdc	5	0	1	1	0	0	1	1	0
5	Vdc	3	0	1	1	0	1	0	0	0
6	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
7	-Vdc	3	1	0	0	1	1	0	0	0
8	-2Vdc	5	1	0	0	1	0	1	1	0
9	-3Vdc	7	1	0	0	1	0	1	0	1
10	-2Vdc	5	1	0	0	1	0	1	1	0
11	-Vdc	3	1	0	0	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0

본 논문에서 제안한 멀티레벨 인버터의 주요 특징은 다음과 같다.

a. 스위치 소자수 저감 : 기존의 다단 멀티레벨 인버터의 표 2와 같이 스위치 개수는 $2(m-1)$ 개 필요한 반면 제안된 멀티레벨 인버터의 스위치 개수는 $(m+1)$ 개가 필요하다. 따라서 레벨 수를 증가시켜 정현적인 출력전압을 생성시키는 경우 제안된 인버터가 보다 효율적인 구성이 가능하다.

표 2 제안된 인버터와 다단 인버터와의 구성품 비교
Table 2 Components comparison between cascaded and the proposed inverter

멀티레벨 인버터 구조	다단 멀티레벨	제안된 멀티레벨
스위치 부품	$2(m-1)$	$m+1$
다이오드	$2(m-1)$	$m+1$
입력 커패시터	$(m-1)/2$	$(m-1)/2$
클램핑 다이오드	0	0

* m=출력전압 레벨수

b. 간단한 구조 : 제안된 멀티레벨 인버터는 오른쪽에 위치한 스위치들로 출력 파형의 극성을 결정하고 왼쪽에 위치한 스위치로 출력파형의 레벨 수를 결정한다. 기존의 멀티레벨 인버터 구조 보다 간단하여 손쉽게 출력전압레벨의 변경이 가능하고 확장, 유지 보수가 용이하다.

4. 시뮬레이션 및 고찰

본 논문에서 제안된 멀티레벨 인버터의 타당성을 검증하기 위해 PSpice를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 5~8 레벨까지 기존의 다단 멀티레벨 인버터와 제안된 멀티레벨 인버터의 스위치 개수, 스위치 손실, THD를 비교/분석함으로써 제안된 구조의 우수성을 검증하였다. 또한 동일한 조건하에 전압 100 [V], 스위칭 소자 IRF540, 부하저항 100 [Ω]을 사용하고 출력 파형은 상용 주파수 60 [Hz] 출력이 나오도록 스위칭 하였으며 출력단의 추가적인 필터는 고려하지 않았다. 또한 출력 전압의 레벨 수를 동일하게 비교하기 때문에 출력전압의 THD 결과는 동일한 상태이다.

제안된 멀티레벨 인버터 구조는 기존의 다단 멀티레벨 인버터와 비교하여 그림 3 스위치 개수와 그림 4 스위치 손실이 레벨이 증가할수록 차이가 점점 벌어지

는 것을 볼 수 있다. 이는 사용되는 스위치의 개수가 증가할수록 스위칭 함수가 복잡해지며 도통되는 스위치 개수의 증가에 따른 스위칭 손실이 증가함을 보여준다. 본 논문에서 제안하는 멀티레벨 인버터 구조는 출력전압 레벨수를 증가시킬수록 정현파에 가까운 출력전압을 생성시킬 수 있으며 기존 멀티레벨 인버터와 비교하여 더 효율적인 구성이 가능함을 알 수 있다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 멀티레벨 인버터 구조는 기존의 다단 멀티레벨 인버터와 비교하여 스위치 개수가 적어 스위치 손실, 노이즈 감소, 시스템 크기, 비용을 줄일 수 있는 구조이다. 하지만 제안된 멀티레벨 인버터 구조는 출력 단에 H-bridge 구조를 갖고 있어 고전압용으로 사용할 경우 스위치의 전압 스트레스가 증가한다는 단점을 갖고 있다. 따라서 220 [V] 상용전원에 연계하는 태양광 발전과 같은 저전압용으로 적합하며 다수의 독립 DC 전원을 응용하는 멀티레벨 인버터에 적합한 구조임을 확인할 수 있다.

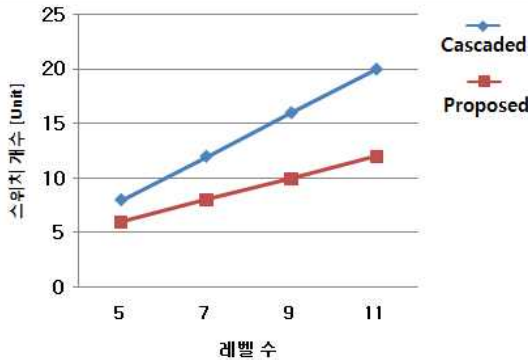


그림 3 스위치 개수 비교
Fig. 3 Comparison of the number of switches

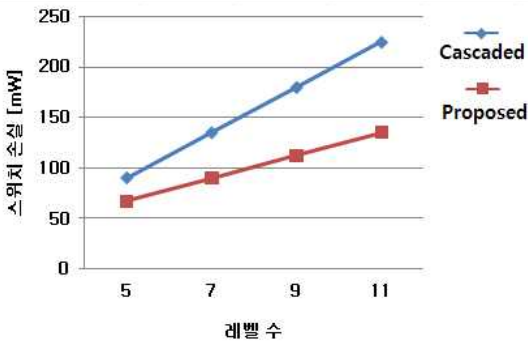


그림 4 스위치 손실 비교
Fig. 4 Comparison of switching losses

5. 실험 및 고찰

본 논문에서 제안하는 멀티레벨 인버터 구조는 시뮬레이션을 통하여 타당성 및 구현 가능성을 검증하였고 시작품을 제작하여 실험을 수행하였다. 시뮬레이션에서 사용했던 부품과 동일하게 스위치는 Power MOSFET IRF530A, 부하저항은 100[Ω]을 사용하였으며 입력 전압은 25 [V] 배터리 3개를 이용하여 50 [W]급으로 구성하였다.

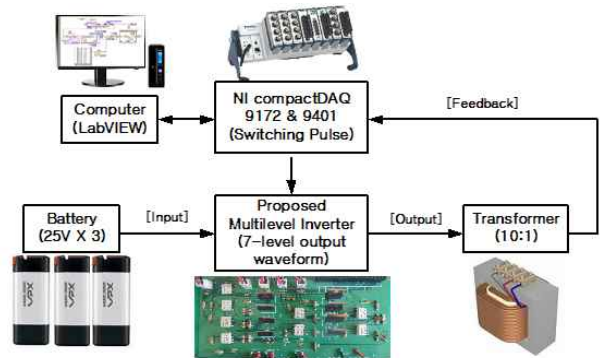


그림 5 실험 구성도
Fig. 5 The experimental setup

스위칭 펄스는 계산된 스위칭 각도에 맞추어 NI사의 LabVIEW를 사용하여 Digital Pulse를 생성하였다. NI사의 Compact DAQ-9172 Chassis와 High Speed DIO

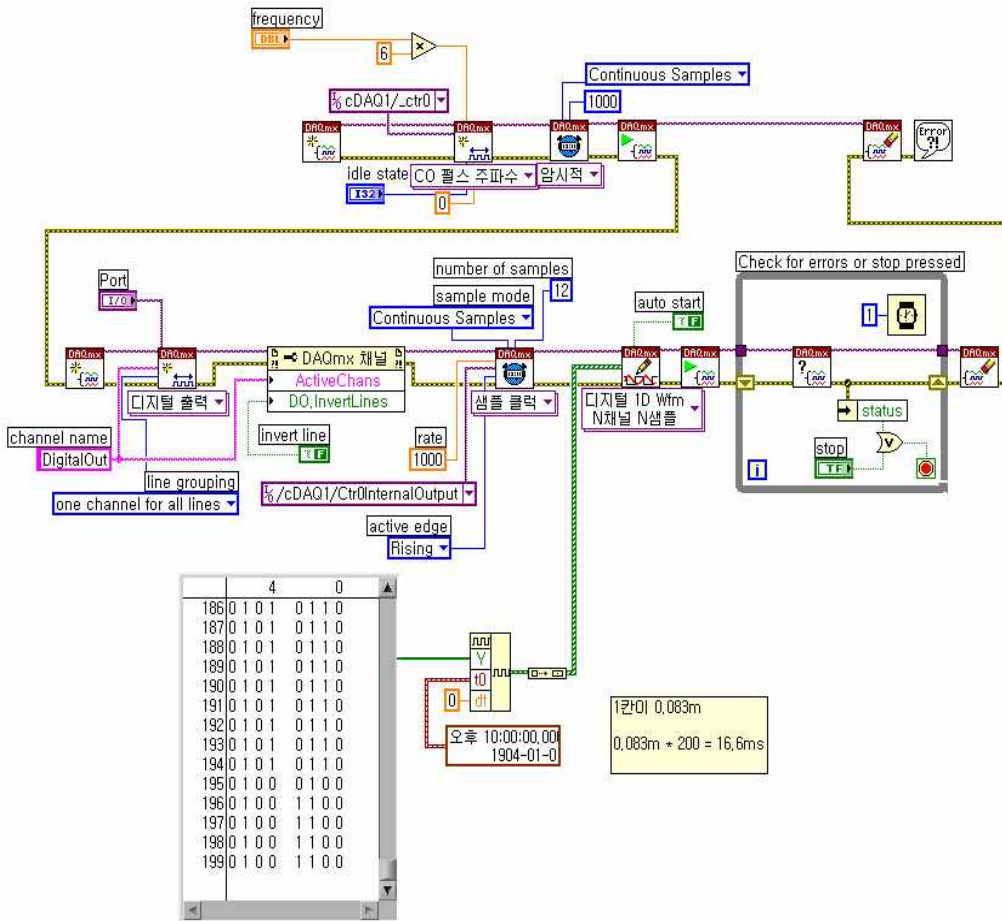


그림 6 스위칭 펄스 생성 프로그램
Fig. 6 Switching pulse generation program

9401 모듈을 LabVIEW로 컨트롤함으로서 스위칭 펄스를 생성하였고 출력 파형을 측정, 저장, 분석함으로서 다양한 기능을 통합적으로 관리하여 실험을 수행하였다.

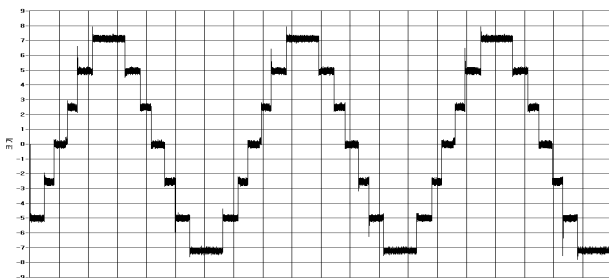


그림 7 제안된 멀티레벨 인버터의 출력전압 (7-레벨)
Fig. 7 Output voltage of the proposed multilevel inverter, 7-level

제안된 멀티레벨 인버터의 실험 구성도는 그림 5와 같으며 스위칭 펄스는 그림 6과 같이 LabVIEW를 이용하여 Digital Pulse를 생성하였다. 실험에 사용된 NI 9401 모듈은 8~30 [MHz] 출력이 가능하며 동시에 8 개의 펄스를 출력할 경우 최대 8 [MHz] 펄스를 출력할 수 있으며 테이블에 1, 0을 넣어줌으로서 손쉽게 펄스를 생성할 수 있다.

그림 7은 제안된 멀티레벨 인버터가 7-레벨의 출력 전압을 생성시킬 경우의 파형을 Lecroy사의 오실로스코프와 AP031 감쇄기(Attenuator)를 사용하여 1/10로 축소시킨 결과이다.

멀티레벨 인버터의 출력파형은 대칭적인 계단과 형태로 푸리에 급수를 적용함으로서 멀티레벨 스위칭 각들에 대한 고조파 방정식을 식 (1)과 같이 유도할 수 있다.

$$B_n = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{4}{n\pi} (V_{dc1}) \sin(nwt) d(wt) + \int_{\theta_2}^{\theta_3} \frac{4}{n\pi} (V_{dc2}) \sin(nwt) d(wt) + \int_{\theta_3}^{\frac{\pi}{2}} \frac{4}{n\pi} (V_{dc3}) \sin(nwt) d(wt) \quad (1)$$

여기서 B_n 은 n 차 고조파 전압의 크기이고 θ 는 스위칭 각도, V_{dc} 는 DC 전압, n 은 홀수 고조파 차수이다. 일반적으로 멀티레벨 인버터의 출력 크기를 조절하기 위해서는 스위칭 각을 변경하여 변조비를 조절할 수 있지만 좁은 변조비 범위를 갖게 되는 문제점이 발생한다. 기존의 다단 멀티레벨 인버터의 변조비는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$M_i = \frac{h_1}{mV_{dc}} \quad (2)$$

여기서 M_i 는 변조비이고 h_1 는 기본 주파수의 크기, m 는 스위칭 각의 개수이다.

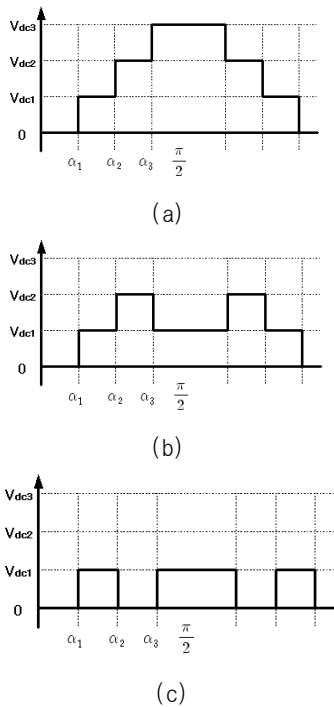


그림 8 변조패턴, (a)고변조, (b)중변조, (c)저변조
Fig. 8 Modulation pattern, (a)high, (b)middle, (c)low

본 논문에서는 변조 범위가 넓고 THD를 효과적으로 줄이기 위해 그림 8(a)~(c)와 같이 변조비를 High, Middle, Low Modulation index로 구분하여 설정된 변조비에 따라 출력 파형을 변화시키는 방법을 적용하였다^[10].

스위칭 각을 구하기 위해서는 Newton-Raphson법과 같은 반복법을 사용하여 비선형 방정식을 계산할 수 있다. 얻어진 스위칭 각들은 변조비 레벨에 따라 표 3과 같이 구분하였다.

고조파에 대한 주파수 성분은 푸리에 급수를 이용함으로써 비선형 방정식을 구할 수 있다. 이 방정식은 실시간 연산이 불가능하기 때문에 Off line에서 Newton-Raphson법과 같은 반복법에 의해 계산되고 스위칭 각을 Look-up 테이블 형태로 메모리에 저장하여 사용한다. 표 3과 같이 계산에 의해 구해진 스위칭 각도에 따른 스위칭 펄스는 LabVIEW 프로그램에 저장되어 0.05~1에 해당하는 변조비를 출력한다. 변조비에 따라 출력되는 출력파형의 형태는 그림 9과 같이 변조비가 작아질수록 출력 파형 면적이 줄어들어 출력 파형 크기가 감소한다.

표 3 적용된 멀티레벨 스위칭 각도
Table 3 Applied switching angle for the proposed multi level inverter

Modulation Index Level	Modulation Index, M	α_1	α_2	α_3
High	1.0	11.68°	31.18°	58.58°
	0.85	22.77°	49.38°	64.57°
	0.7	38.43°	53.93°	73.96°
	0.6	39.43°	58.58°	83.10°
Middle	0.5	19.32°	66.11°	80.18°
	0.4	44.17°	74.43°	87.40°
	0.36	45.85°	79.87°	88.62°
Low	0.3	29.23°	39.24°	52.51°
	0.2	50.92°	63.36°	73.19°
	0.1	55.85°	63.43°	83.02°
	0.05	57.98°	61.86°	86.6°

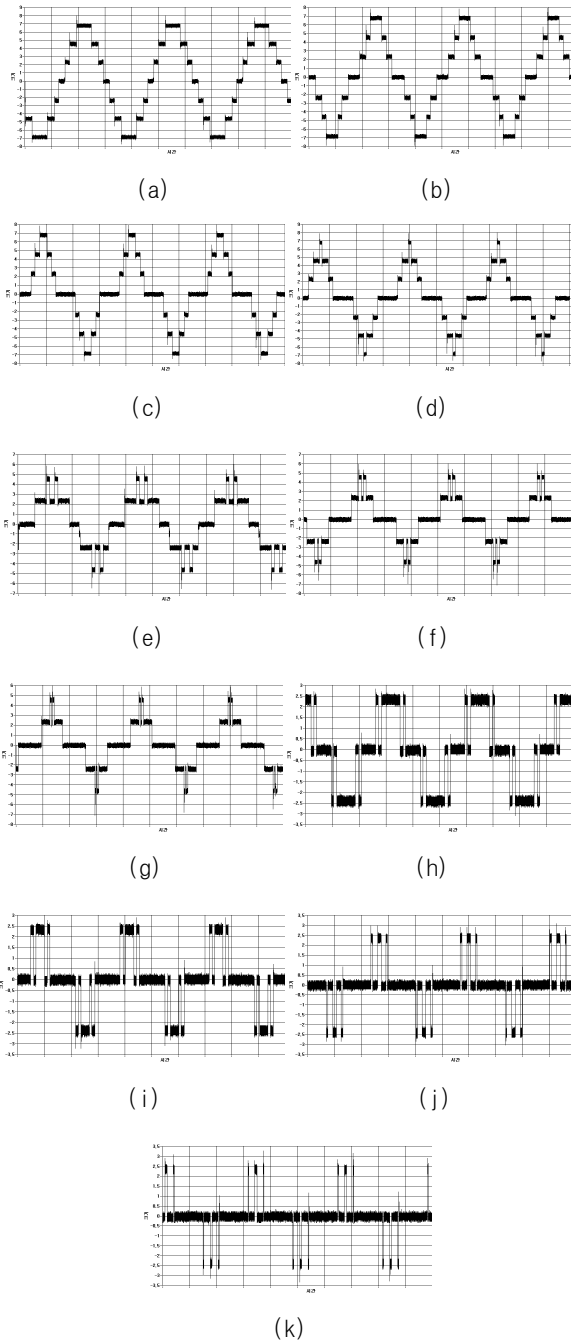


그림 9 변조비에 따른 출력 파형, (a) 고 M=1, (b) 고 M=0.85, (c) 고 M=0.7, (d) 고 M=0.6, (e) 중 M=0.5, (f) 중 M=0.4, (g) 중 M=0.36, (h) 저 M=0.3, (i) 저 M=0.2, (j) 저 M=0.1, (k) 저 M=0.05

Fig. 9 Output waveform according to modulation index, (a) High M=1, (b) High M=0.85, (c) High M=0.7, (d) High M=0.6, (e) Middle M=0.5, (f) Middle M=0.4, (g) Middle M=0.36, (h) Low M=0.3, (i) Low M=0.2, (j) Low M=0.1, (k) Low M=0.05

6. 결 론

본 논문에서 제안한 멀티레벨 인버터 구조는 태양광 발전과 같이 저전압용으로 다수의 독립적인 DC 전원이 필요한 신재생 에너지 분야에 적합한 구조로 PWM 대신 멀티레벨을 사용하여 스위칭 주파수가 낮고 기존의 멀티레벨 인버터 보다 스위치 소자의 개수가 적은 새로운 멀티레벨 인버터 구조를 제안하였다. 제안된 멀티레벨 인버터 구조는 기존의 다단 멀티레벨 인버터 보다 스위칭 소자가 적어 스위칭 손실, 노이즈 감소, 시스템 크기, 비용을 감소시킬 수 있으며 구조 또한 간단하여 확장 및 유지 보수가 용이하다. 하지만 제안된 멀티레벨 인버터 구조는 출력 단에 H-bridge 구조를 갖고 있어 고전압용으로 사용할 경우 스위치의 전압 스트레스가 증가한다는 단점을 갖고 있다. 따라서 220 [V] 상용전원에 연계하는 태양광 발전과 같은 저전압용으로 적합하며 다수의 독립 DC 전원을 응용하는 멀티레벨 인버터에 적합한 구조임을 확인할 수 있다. 제안된 멀티레벨 인버터는 기존의 다단 멀티레벨 인버터와 PSpice를 통하여 시뮬레이션으로 비교/분석하고 7-level 멀티레벨 인버터 시작품을 제작하여 제안된 구조의 타당성과 우수성을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] Muhammad H. Rashid, "Power Electronics Circuit, Devices, And Applications", Pearson Prentice Hall, 2004.
- [2] N. S. Choi et al., "A General Circuit Topology of Multilevel Inverter", *IEEE Power Electronics Specialist Conference*, pp. 96-103, 1991, June.
- [3] Rodriguez J et al., "Multilevel Inverters: A Survey of Topologies, Controls, and Applications", *IEEE Industry Electronics*, Vol 49, pp.724-738, 2002, Aug.
- [4] Jih-Sheng Lai et al., "Multilevel Converters-A New Breed of Power Converters", *IEEE Industry Electronics*, vol. 32, pp. 509-517, 1996, May-June.
- [5] Xiaoming Yuan, "Fundamentals of a New Diode Clamping MultilevelInverter", *IEEE Power Electronics*, vol. 15, pp. 711-718, 2000, July.
- [6] T. A. Meynard, and H. Foch, "Multi-level Conversion: High Voltage Coppers and Voltage-Source Inverters," in Proc. IEEE PESC'92 Conf., pp. 397-403, 1992.
- [7] M. Leon et al., "Multilevel Converters for Large Electric Drives", *IEEE Industry Applications*, vol. 35, pp. 36-44, 1999, Jan-Feb.

- [8] A. R. Being et al., "A Novel Fifteen Level Inverter for Photovoltaic Power Supply System", *IEEE Industry Applications Conference*, pp. 1165-1171, 2004, Oct.
- [9] F. S. Kang et al., "A new control scheme of a cascaded transformer type multilevel PWM inverter for a residential photovoltaic power conditioning system", *Solar Energy*, Vol. 78, Issue 6, Pages 727-738, 2005, June.
- [10] S. Sirisukprasert, "Optimum harmonic reduction with a wide range of modulation indexes for multilevel converters", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol 49, pp. 875-881, 2002, Aug.

저 자 소 개



이상혁(李相赫)

1981년 7월 19일생. 2007년 2월 한밭대 제어계측공학과 졸업. 2009년 2월 한밭대 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2009년 3월~현재 전남대 전기공학과 박사과정.



강필순(姜弼淳)

1973년 9월 5일생. 2000년 8월 부산대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 2월 동 대학원 졸업(공학박). 2003년~2004년 오사카대학 전기공학과 Post-doc. 2004년 9월~현재 한밭대 전기전자제어공학부 조교수. 당 학회 학술위원.



박성준(朴晟濬)

1965년 3월 20일생. 1991년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2002년 동 대학원 지능기계공학과 졸업(공학박). 1996년~2000년 거제대학 전기과 조교수. 2000년~2003년 동명대학 전기과 조교수. 2003년 8월~현재 전남대 전기공학과 부교수.