

## 출력전압 레벨 수와 전류정격을 고려한 PWM 다중레벨 인버터

박노식, 서종준, 박성준, 김광현, 조수억\*, 김철우\*  
 전남대학교 전기공학과, 부산대학교 전기공학과\*

### Multi-level PWM Inverter Considering the number of Output Voltage level and Current rating

N-S Park, J-J Seo, S-J Park, K-H Kim, S.E. Cho\*, C-U Kim\*  
 Chonnam Univ., Busan Univ.\*

#### ABSTRACT

In this paper, we proposed the novel hybrid multi-level inverter using combination of the output voltage of transformers to reduce the THD(Total Harmonic Distortion) and improve the waveform of output voltage. The proposed multi-level inverter used the output of transformer which is 1times, 2times, 4times of input of the transformers. So we increased the output voltage from the reduce the number of switching component and transformer. Also, we tested the proposed prototype 15-level inverter to clarify the proposed electric circuit and reasonableness of control signal for the proposed multi -level PWM inverter.

Key Words : common arm, H-Bridge Inverter, multi-level PWM inverter.

#### 1. 서론

최근 다중레벨 인버터를 사용하여 인버터 자체에서 발생하는 고조파 성분을 억제하려는 시도가 이루어지고 있다[1-4]. 다중레벨 인버터는 인버터의 출력 전압 레벨 수가 증가함에 따라 스위칭 소자 수는 증가하나 적은 고조파성분과 낮은 dv/dt를 갖는 장점으로 인하여 기존의 PWM(pulse width modulation) 인버터의 단점을 극복할 수 있는 대안으로 산업체의 적용이 활발해지고 있다. 비절연형 HBML(H-Bridge multi level) 인버터는 각 H-Bridge 인버터에 독립된 전원을 사용함으로써, 직류링크전압의 불균형의 문제가 발생하지 않고, 다중레벨인버터의 확장성이 용이한 장점이 있다. 그러나 비절연형 HBML 인버터가 기존의 PWM인버터에 비해 다수의 전력용 독립전원이 필요한 단점이 있다. 그리고 THD저감을 위해 레벨 수를 증가시킬 경우 스위칭 소자수가 증가되는 단점을 안고 있다.

본 논문에서는 다수의 전력용 독립전원이 필요한 비절

연형 HBML의 단점은 H-Bridge 인버터와 변압기의 조합으로 다중레벨 인버터 전력회로를 구성함으로써 해결하였다. 그리고 스위칭 소자 수가 증가되는 다중레벨인버터의 단점은 공통암을 사용함으로써 스위칭 소자 수를 대폭 줄일 수 있었으며, THD 저감을 위해 다수의 출력 전압 레벨을 사용하는 단점을 보완하기 위하여 레벨 인버터의 변압기 정격을 기존변압기의 2배 및 4배 정격의 변압기로 조합하여 15 레벨까지 가능하도록 하였으며, 또한 PWM인버터의 스위칭 방법을 변경하여 변압기 사용 수를 4개에서 3개로 저감하였다.

#### 2. 변압기를 사용한 다중레벨 인버터

##### 2.1 기존의 공통암을 이용한 PWM 혼용 1:1:1:1의 변압기 정격을 가지는 HBML 인버터

공통암을 이용함으로써 HBML 인버터의 스위칭 소자 수를 줄일 수 있는 전력회로는 그림 1에 나타나 있다. 된다.

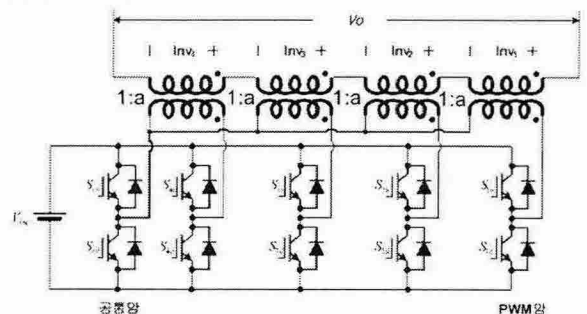


그림 1. 1:1:1:1의 변압기를 이용한 PWM 혼용 공통암 HBML 인버터의 구성

Fig. 1 The configuration of the hybrid type HBML inverter with PWM using the 1:1:1:1 transformers.

그림 1의 변압기를 이용한 절연형 HBML 인버터는 각 H-bridge 인버터의 출력이 지령전압 극성에 따라 결정되며, 동일한 지령전압 극성영역에서 H-bridge의 인버터 극성은 반대극성이 나타나지 않

는다. 이러한 조건을 갖는 인버터에서는 극성을 결정하는 암의 신호는 동일한 형태가 된다. 극성 결정 신호가 동일하고, 동일한 DC-Link 전원을 사용하면, 각 H-bridge 인버터의 극성결정 암은 서로 공유할 조건이 된다. N개의 H-bridge 인버터를 사용하여 다중레벨 인버터를 사용할 경우 공통암을 이용하는 그림 1의 전력회로를 사용할 경우 스위칭 소자의 저감 개수는 식 1의 P와 같다.

$$p = 2(N - 1) \quad (1)$$

다중레벨을 사용하여 출력전압을 형성할 경우 출력레벨의 수가 많지 않으면 출력전압의 THD는 커지게 된다. 제한된 출력레벨 수로 적은 THD를 구현하기 위해서는 다중레벨용 H-bridge 인버터 중 하나를 PWM인버터로 사용하여야 한다. 공통 암을 사용하는 9레벨 인버터에서 출력전압의 THD를 저감하기 위해 PWM 혼용 HBML 인버터를 그림 1과 같이 구성하였다. 4개의 H-bridge 인버터 중 3개는 레벨 발생용 인버터를 사용하고, 나머지 1개는 PWM인버터를 사용하였다. PWM 혼용 9레벨 HBML인버터를 사용할 경우 각 H-bridge 인버터의 출력전압 발생 패턴은 그림 2에 나타나 있다

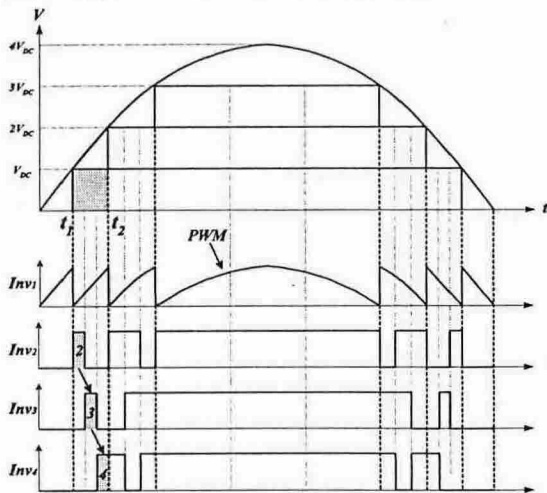


그림 2. 1:1:1:1의 변압기를 이용한 HBML PWM 인버터의 스위칭 함수  
Fig. 2 The switching function of HBML PWM inverter using the 1:1:1:1 transformers

### 2.2 제안한 1:2:4의 변압기를 이용한 15 레벨 PWM 혼용 HBML 인버터

그림 3에는 제안한 방식인 1:2:4의 변압기를 이용한 15 레벨 절연형 PWM 혼용 HBML 인버터의 구성을 나타내었다. Inv1은 PWM 암으로 구성되어 있으며 1:1a의 변압기로 구성되었다. Inv2 및 Inv3는 레벨 인버터로써 각각 1:2a, 1:4a의 변압기로 출력레벨을 결정한다. 그림 4는 제안한 방식의 스위칭 패턴 동작 원리를 나타내었다. Inv1은 PWM 스위칭

파형을 생성하며 -Vdc 와 +Vdc로 교번하여 스위칭 함으로써 기존의 +Vdc로 스위칭하는 것보다 2배로 레벨 수를 증가시킨다. Inv2 및 Inv3는 레벨 인버터로써 1:2a 및 1:4a의 변압비로 구성되어 Inv1의 PWM 출력과 조합하여 15 레벨로 출력 전

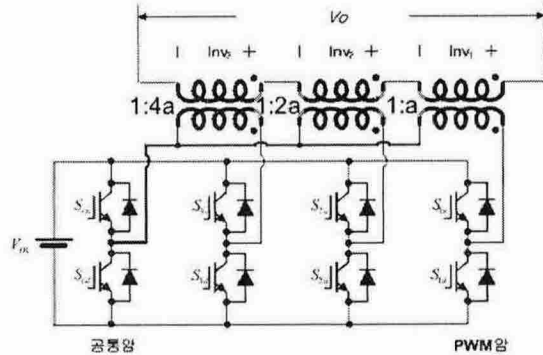


그림 3. 1:2:4 변압기를 이용한 PWM 혼용 공통암 HBML 인버터의 구성  
Fig. 3 The configuration of the hybrid type HBML inverter with PWM using the 1:2:4 transformers

압이 형성 된다. 기존 방식과 비교하면 다중 레벨은 9 레벨에서 15 레벨로 동일 DC\_LINK 전압 대비 출력 전압이 75[%] 증가하였으며 동일 출력 전압 대비 THD특성이 75[%] 개선되었다. 제안된 방식에 사용된 소자수는 그림 1에서 보여지는 바와같이 기존 방식이 10개 사용되어졌으나 제안된 방식은 8개 사용되어 20[%] 절감되어졌고, 변압기 수량도 4개에서 3개로 절감되었다.

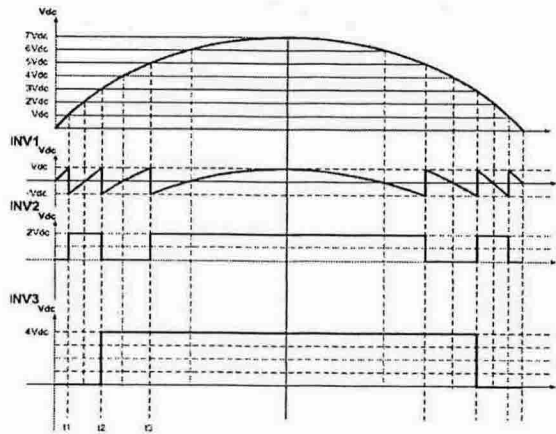


그림 4. 1:2:4 변압기 정격을 사용한 HBML PWM 인버터의 스위칭 함수  
Fig. 4 The switching function of HBML PWM inverter using the 1:2:4 transformers

### 3. 실험 결과

그림 5는 제작된 시제품 인버터의 사진으로 그 구성은 (a)케이트 앰프 및 3개의 H-Bridge 인버터 부, (b)사용되

어진 3개의 직·병렬 변압기 부,(c)DSP 2812 컨트롤부로 구성되어 있다. 제어를 위해 사용된 프로세서는 DSP(TMS320F2812)를 사용하였다.

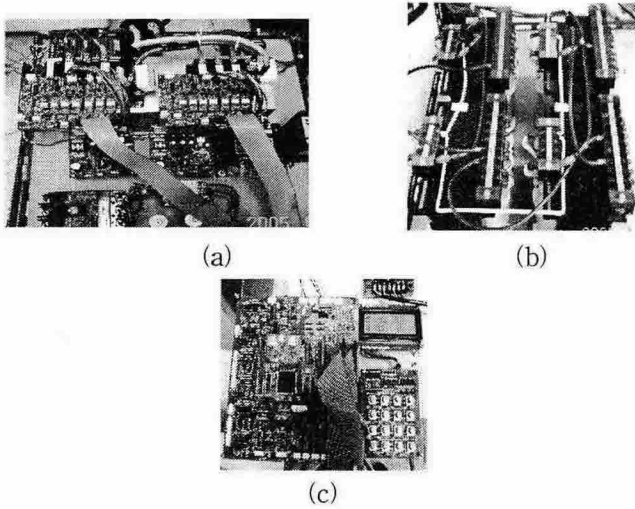


그림 5. 제작된 시제품 인버터의 사진  
 (a) 게이트 앰프 및 인버터부 (b) 변압기부  
 (c) DSP 2812 컨트롤부  
 Fig. 5 The photograph of prototype inverter  
 (a) gate\_amp and inverter part (b) transformer part  
 (c) DSP 2812 control part

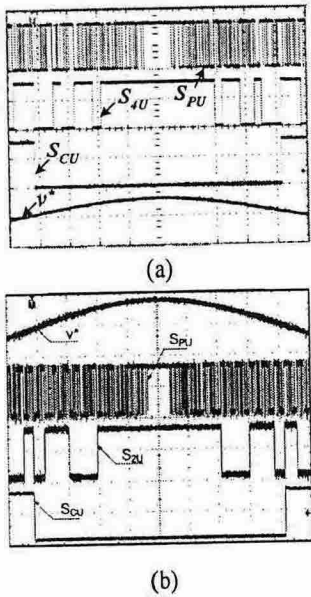


그림 6. 지령전압 및 각 스위칭 신호  
 (a) PWM 혼용 9레벨 인버터 (b) PWM 혼용 15레벨 인버터  
 Fig. 6 Reference voltage & each switching signal  
 (a) 9-level hybrid type inverter with PWM  
 (b) 15-level hybrid type inverter with PWM

그림 6은 4개의 변압기를 사용한 PWM 혼용 9레벨 인버터 및 PWM 혼용 15레벨 인버터에서 지령전압 및 각 암의 상 스위칭 신호를 나타내고 있다. 그림 9(a)는 지령전압, 공통 암의 상신호,  $INV_4$  및  $INV_7$ 용 상신호를 나

타내고 있으며, 그림 9(b)는 지령전압, 공통 암의 상신호,  $INV_3$  및  $INV_7$ 용 상신호를 나타내고 있다. 공통암 스위칭 신호는 지령전압의 극성에 따라 상 스위칭 신호를 발생시키고 있으며,  $INV_2$   $INV_3$ 용 암은 각 레벨을 형성하는 신호를 발생하며, PWM 혼용 인버터에서  $INV_7$ 은 PWM 신호를 발생하고 있다.

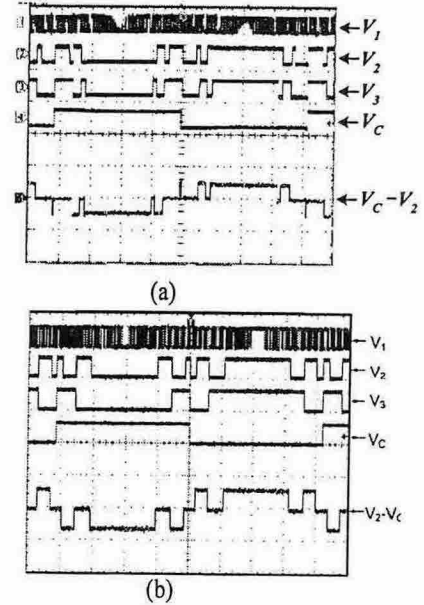


그림 7 각 암의 출력파형 및 인버터 출력파형  
 (a) PWM 혼용 9레벨 인버터 (b) PWM 혼용 15레벨 인버터  
 Fig. 7 Output voltages of Each Arm & Output of inverter  
 (a) 9-level hybrid type inverter with PWM  
 (b) 15-level hybrid type inverter with PWM

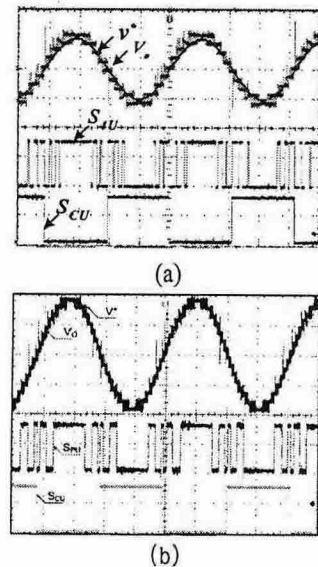
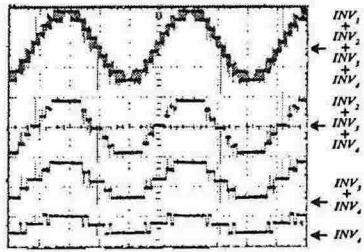
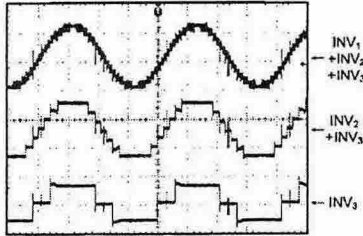


그림 8 지령전압, 출력전압, 암 스위칭 신호  
 (a) PWM 혼용 9레벨 인버터 (b) PWM 혼용 15레벨 인버터  
 Fig. 8 Waveforms of the reference voltage, multi output voltage & switching signal of each arm  
 (a) 9-level hybrid type inverter with PWM  
 (b) 15-level hybrid type inverter with PWM



(a)



(b)

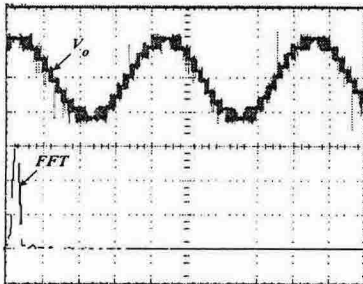
그림 9. 제안된 15레벨 인버터의 출력전압 및 각 변압기 단의 출력파형

(a) PWM혼용 9레벨 인버터 (b) PWM혼용 15레벨 인버터

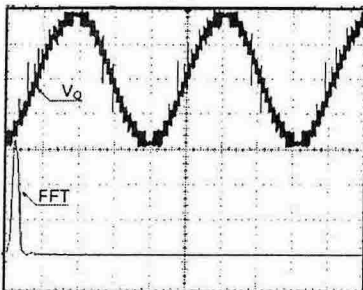
Fig. 9. Experimented output voltage & terminal output waveforms of each transformers in proposed 9-level inverter

(a) 9-level hybrid type inverter with PWM

(b) 15-level hybrid type inverter with PWM



(a)



(b)

그림 10 출력전압 및 고조파 분석 파형

(a) PWM혼용 9레벨 인버터 (b) PWM혼용 15레벨 인버터

Fig. 10 Output voltage & FFT analysis

(a) 9-level hybrid type inverter with PWM

(b) 15-level hybrid type inverter with PWM

그림 7은 공통암의 특성을 분석하기 위하여 PWM 혼용 9레벨 인버터 및 PWM 혼용 15레벨 인버터에서 DC-Link 전압의 절반을 기준으로 한 각 암의 출력파형 및 공통암

출력파형과 다른 한 암의 출력파형의 차를 나타내고 있다.

그림 8은 PWM 혼용 9레벨 인버터 및 PWM 혼용 15레벨 인버터에서 출력전압 지령치에 대한 HBML 인버터의 최종 출력파형과 그때의 공통암과 다른 암의 상신호 파형을 나타내고 있다. 파형에서 알 수 있듯이 출력전압레벨은 15레벨로 양호하게 나타남을 알 수 있었다. 그림 9는 PWM 혼용 9레벨 인버터 및 PWM 혼용 15레벨 인버터에서 각 변압기 출력단 전압파형을 나타내고 있다.

그림 10은 PWM 혼용 9레벨 인버터 및 PWM 혼용 15레벨 인버터에서 출력전압과 출력전압 고조파분석을 나타낸 파형이다. PWM 혼용 15레벨 인버터가 고조파 분석 결과 기존의 방법보다 우수함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구는 H-Bridge 인버터와 변압기 조합에 의한 다중레벨 인버터로 구성함에 있어서 제안한 방식은 PWM 스위칭 파형을 생성함에 있어서  $-V_{dc}$  와  $+V_{dc}$ 로 교번하여 스위칭 함으로써 기존의  $+V_{dc}$ 로 스위칭하는 것보다 2배로 레벨 수를 증가시켰으며, 레벨 인버터를 1:2a 및 1:4a의 변압비로 구성하여 PWM 출력과 조합하여 15 레벨로 출력 전압을 형성하였다. 기존 방식과 비교하면 다중 레벨은 9레벨에서 15 레벨로 동일 DC\_LINK 전압 대비 출력 전압이 75[%] 증가하였으며, 동일 출력 전압 대비 THD특성이 75[%] 개선되었다. 제안된 방식에 사용된 소자 수는 기존 방식이 10개 사용되어졌으나 제안된 방식은 8개 사용되어 20[%] 절감되어졌고, 변압기 수량도 4개에서 3개로 절감되었다. 제안된 15 다중레벨 PWM 인버터의 전력회로 및 제어신호의 타당성을 입증하기 위해 프로토타입 15레벨 인버터에 대하여 실험을 행하였다.

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성·지원 사업에 의해 작성되었습니다.

#### 참고 문헌

- [1] Abraham I. Pressman, Switching Power Supply Design, McGraw-Hill, Inc., 1991.
- [2] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, Power Electronics: converters, applications, and design, John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- [3] B. K. Bose, Power Electronics and Variable Frequency Drives: Technology and Applications, IEEE Press, 1997.