

## 위상 변위제어기법을 이용한 저주파 다중레벨 스위칭 방식

우도, 문채주, 박성준\*, 남해곤\*, 권순재\*\*

목포대학교 전기공학과, 전남대학교 전기공학과\*, 부경대학교 기계공학과\*\*

### Low frequency Multi-level Switching Strategy based on Phase-Shift Control

Yu Tao, C-J Moon, S-J Park\*, H-K Nam\*, S-J Kwon\*\*

Pukyong Univ., Chonnam Univ.\*, Pukyong Univ.\*\*

#### ABSTRACT

In this paper, we proposed the electric circuit using one common arm of H-Bridge Inverters to reduce the number of switching component in multi-level inverter combined with H-Bridge Inverters and Transformers. and furthermore we suggested the new multi-level PWM inverter using PWM level to reduce THD(Total Harmonic Distortion). and we used the switching method that can be same rate of usage at each transformer. Also, we tested the proposed prototype 9-level inverter to clarify the proposed electric circuit and reasonableness of control signal for the proposed multi-level PWM inverter.

#### 1. 서 론

인버터의 출력 전압 레벨 수가 증가시켜 인버터자체에서 발생하는 고조파성분을 저감할 수 있는 다중레벨 인버터는 기존의 PWM(pulse width modulation) 인버터의 단점을 극복할 수 있는 대안으로 산업체의 적용이 활발해지고 있다. 다수의 전력용 독립전원 및 스위칭 소자 수가 필요한 비절연형 HBML 인버터의 단점을 극복할 대안으로 공통암을 이용한 절연형 다중레벨 인버터가 제안되었다<sup>[1]</sup>. 그러나 H-Bridge 인버터와 변압기의 조합으로 구성된 절연형 다중레벨 인버터는 비절연형 HBML(H-Bridge multi level) 인버터에 비하여 스위칭 소자수를 줄일 수 있거나 동일한 변압기를 사용하기 위해서는 스위칭 주파수의 증가하는 단점을 갖고 있다.

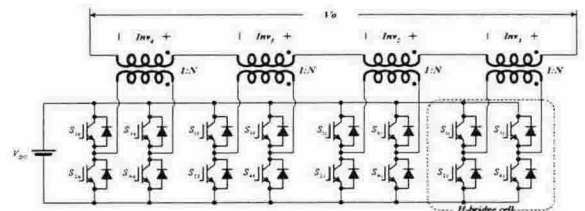
본 논문에서는 동일한 변압기를 사용하는 공통암 타입의 절연형 다중레벨 인버터에서 스위칭 주파수를 저감하기 위해 새로운 위상변위제어기법을 제안하였다. 제안된 스위칭 방식은 기본주파수당 한번만을 스위칭을 하는 스텝 펄스파 방식과 동일한 스위칭 주파수를 유지할 수 있었다. 또한 제안된 방식의 타당성을 검증하기 위해 3kW

급 프로토타입 절연형 다중레벨 인버터를 제작하여 실험을 행하였다.

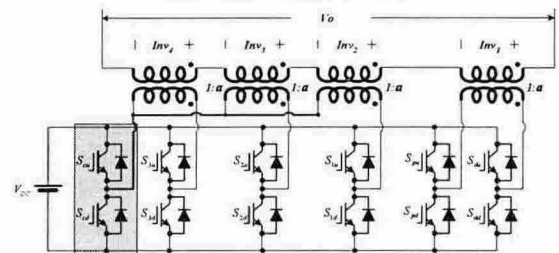
#### 2. 변압기를 사용한 다중레벨 인버터

##### 2.1 절연형 다중레벨 인버터

그림 1(a)는 4개의 H-bridge와 변압기의 조합에 의한 절연형 다중레벨 인버터로 변압기 1차 측은 전원전압에 대하여 병렬로 구성되며, 2차 측은 직렬로 구성되어 있다.



(a) 기존의 HBML 인버터



(b) 공통암을 이용한 HBML 인버터

그림 1 변압기를 이용한 9레벨 HBML 인버터의 구성  
Fig. 1 Configuration of 9-level HBML inverter using transformers

각 H-bridge 인버터는 스위칭함수에 따라 영 전압 및 정, 부의 dc-link 전압을 발생할 수 있으며, 최종 출력전압  $V_o$ 는 직렬로 연결된 각 H-bridge 인버터의 출력전압의 합이 된다. 그림 1(b)의 변압기를 이용한 절연형 HBML 인버터는 각 H-bridge 인버터의 출력이 지령전압 극성에 따라 결정되며, 동일한 지령전압 극성영역에서 H-bridge 인버터 극성이 반대극성이 나타나지 않는다

다. 이러한 조건을 갖는 인버터에서는 극성을 결정하는 압의 신호는 동일한 형태가 된다. 극성 결정신호가 동일하고, 동일한 DC-Link전원을 사용한다며, 각 H-bridge 인버터의 극성결정 압은 서로 공유할 조건이 된다. 따라서 그림 1(b)는 그림 1(a)에서 각 H-bridge 인버터의 극성을 결정하는 압을 공유하는 형태가 된다.

## 2.2 기존의 절연형 다중레벨 스위칭 신호

그림 2는 정의 지령전압에 대한 각 변압기에 인가되는 전압을 나타내고 있다. 제안된 방식은 스텝 펄스와 방식을 사용한 스위칭 함수를 기본으로 하여 각 레벨단위에서 각 변압기에 인가되는 전압적분이 같도록 세분화하여 스위칭함수를 발생하는 것이다. 위와 같이 변압기 이용률을 동일하게 스위칭 하는 방법은 다양하게 존재할 수 있으나, 그 기본법칙은 동일하게 된다. 우선 각 레벨이 인가되는 주기  $T_n$ 를 다시 인버터의 개수에 해당하는 세분화되는 주기를 나눈다.

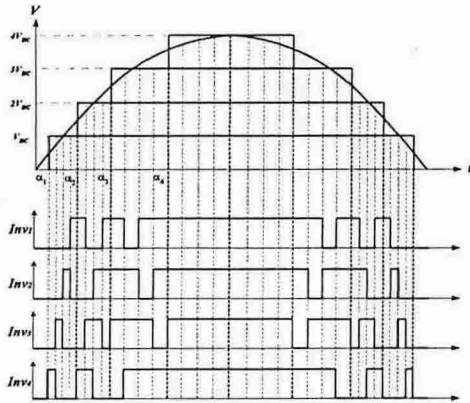


그림 2. 동일한 변압기 정격을 사용한 HBML 인버터의 스위칭  
Fig. 2 The switching function of HBML inverter using the same rating transformers

$$T_{mn} = \frac{T_n}{N} \quad (1)$$

각 레벨  $n$ 이 인가되는 주기  $T_n$ 에서 인가되는 전압의 폭이 같기 위해서는  $n$ 개의 정의 전압이 나타나도록 각 레벨에서의 스위칭 구간을 변압기의 수와 같이 나누어 교번적으로 스위칭 하게 하였다. 제안된 방식의 스위칭 방식을 사용할 경우 각 변압기의 최대 자속은 동일하다. 그림 2와 같은 스위칭 방식은 각 변압기의 용량을 동일하게 하기 위해 스위칭 주파수를 증가시킨 결과를 초래하는 단점을 갖고 있다

## 2.3 위상변위 제어기법 의한 새로운 스위칭 신호

그림 3은 4개의 변압기를 사용한 경우의 위상변위 제어기법을 이용한 HBML 인버터의 스위칭 신호를 나타내고 있다. 각 인버터의 스위칭 신호는 각 레벨을 형성

하기 위해 온 되었던 인버터의 순서와 동일하게 오프되는 인버터의 순서를 정하게 된다. 제안된 스위칭 방식은 동일한 변압기를 사용하는 공통압 타입의 절연형 다중레벨 인버터에서 스위칭 주파수를 저감하기 위해 새로운 위상변위 제어기법으로 기본주파수당 한번만을 스위칭을 하는 스텝 펄스파 방식과 동일한 스위칭 주파수를 유지할 수 있었다.

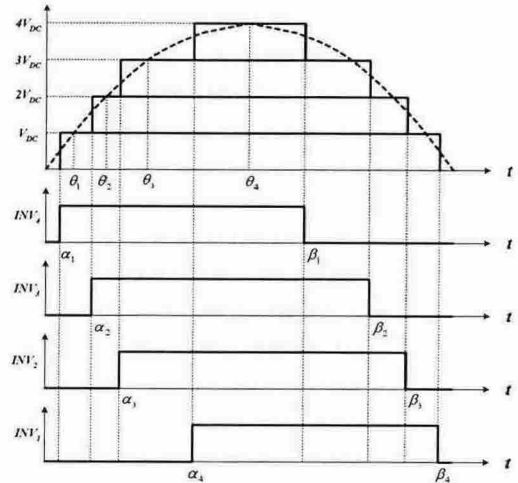


그림 3 위상변위 제어기법을 이용한 HBML 인버터의 스위칭  
Fig. 3 Multi-level switching strategy based on phase-shift control

그림 3의 각 인버터의 도통각을 결정하는 스위칭 함수의 발생을 위한 기본 개념도이다. 각 레벨의 전압과 정현적인 지령전압과의 교점은 다음과 같다.

$$\theta_n = \sin^{-1}\left(\frac{n V_{DC}}{V_p}\right) \quad (2)$$

만일 식 (2)를 만족할 만족하는  $n$  번째의 교점이 존재하면 인버터의 도통각은 아래 수식으로 결정된다.

$$\alpha_n = \theta_n - \frac{1}{V_{DC}} \int_{\theta_{n-1}}^{\theta_n} (V_p \sin(\theta) - n V_{dc}) d\theta \quad (3)$$

단,  $\theta_0 = 0$

만일 식 (2)가 만족되지 않는다면  $n$  번째 인버터의 도통각은 아래 수식으로 결정된다.

$$\alpha_n = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2 V_{DC}} \int_{\theta_{n-1}}^{\pi - \theta_{n-1}} (V_p \sin(\theta) - n V_{dc}) d\theta \quad (4)$$

또한 소호각 결정은 아래와 같이 된다.

$$\beta_n = 180 - \alpha_{N-n} \quad (5)$$

### 3. 시뮬레이션 및 실험 결과

제안된 다중레벨 인버터의 다당성을 검증하기 위해 시뮬레이션 및 실험을 행하였다.

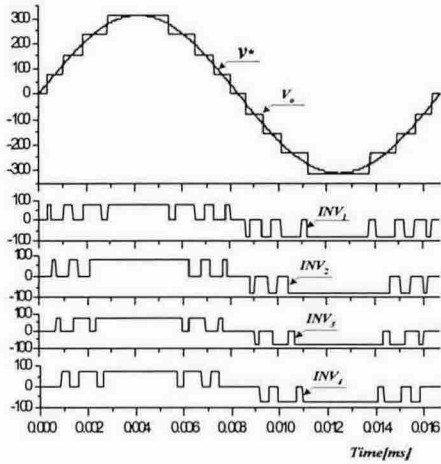


그림 4 9레벨 인버터의 시뮬레이션 출력전압 및 각 변압기 단의 출력파형

Fig. 4 Output voltage & terminal output waveforms of each transformer in 9-level inverter

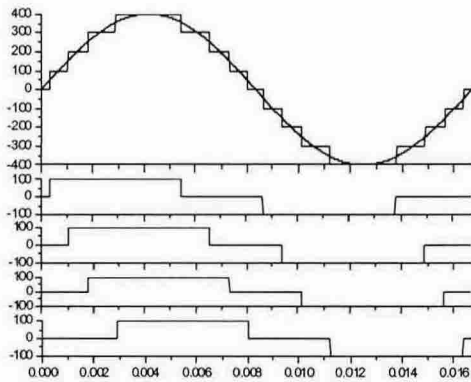


그림 5 제안된 9레벨 인버터의 시뮬레이션 출력전압 및 각 변압기 단의 출력파형

Fig. 5 Output voltage & terminal output waveforms of each transformer in proposed 9-level inverter

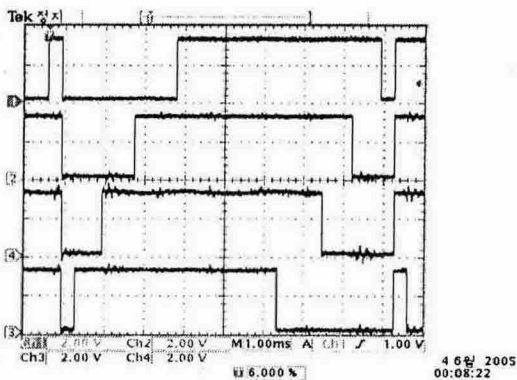


그림 6 각 스위칭 신호  
Fig. 6 Each switching signal

그림 6은 4개의 변압기를 사용한 9레벨인버터에서 변조지수가 1일 때의 각 암의 상 스위칭 신호를 나타내고 있다. 본 스위칭 방식은 위상변위제어기법으로 기본주파수당 한번만을 스위칭을 하는 스텝 펄스파 방식과 동일한 스위칭 주파수임을 알 수 있다.

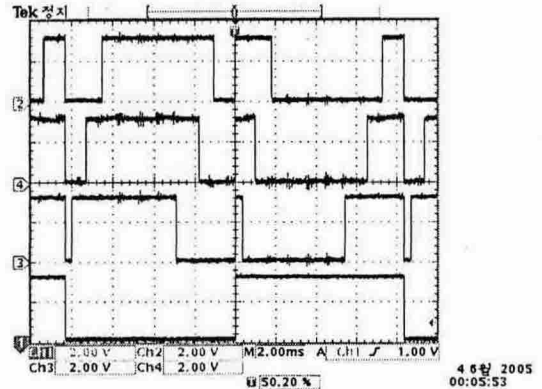


그림 7 공통암 및 각 스위칭 신호  
Fig. 7 Common arm & each switching signal

그림 7의 공통암 스위칭 신호는 지령전압의 극성에 따라 상 스위칭 신호를 발생시킨다.

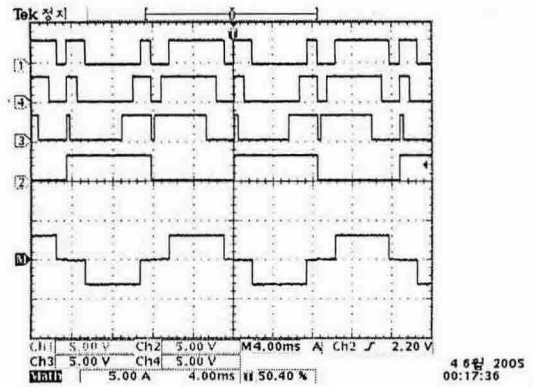


그림 8 각 암의 출력파형 및 한 인버터 출력파형  
Fig. 8 Output voltages of Each Arm & Output of an inverter

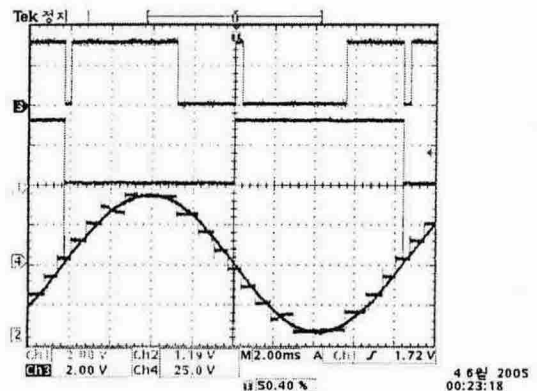


그림 9 지령전압, 출력전압, 암 스위칭 신호  
Fig. 9 Waveforms of the reference voltage, multi output voltage & switching signal of each arm

그림 8은 공통암의 특성을 분석하기 위하여 DC-Link 전압의 절반을 기준으로 한 각 암의 출력파형 및 공통암 출력파형과 다른 한 암의 출력파형의 차를 나타내고 있다.

그림 9는 출력전압 지령치에 대한 HBML 인버터의 최종 출력파형과 그때의 공통암과 다른 암의 상신호 파형을 나타내고 있다. 파형에서 알 수 있듯이 출력전압레벨은 9레벨로 양호하게 나타남을 알 수 있었다.

그림 10은 출력전압과 출력전압 고조파분석을 나타낸 파형이다.

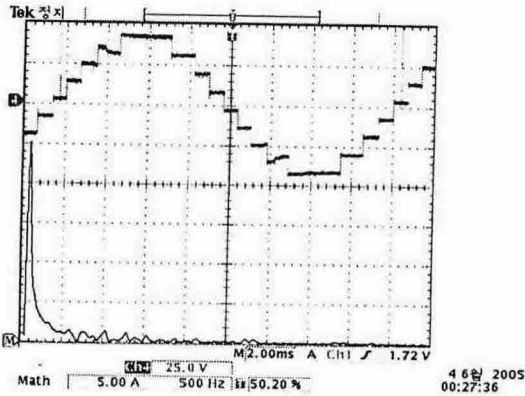


그림 10 출력전압 및 고조파 분석 파형  
 Fig. 10 Output voltage & FFT analysis

#### 4. 결 론

본 연구는 H-Bridge 인버터와 변압기 조합에 의한 다중레벨 인버터로 구성함에 있어 스위칭 소자 수 저감을 위해 각 인버터의 한 암을 공통으로 사용하였으며, 각 인버터에 연결된 변압기의 이용률을 동일하게 할 수 있는 스위칭 방식으로 레벨 발생용 변압기의 용량을 동일하게 하였다. 제안된 스위칭 방식은 기본주파수당 한번만을 스위칭을 하는 스텝 펄스파 방식과 동일한 스위칭 주파수를 유지할 수 있었다.

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

#### 참 고 문 헌

[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.  
 [4] 박성준, 강필순, 박노식, 김철우, "변압기 직렬 결합을 이용

한 새로운 멀티 레벨 인버터", 전력전자학회 논문지, 제 8권, 제 1호, PP. 9-16, 2003년 2월.

[5] Fu-San Shyu, Yen-Shin Lai, Virtual Stage Pulse-Width Modulation Technique for Multilevel Inverter/Converter, IEEE Trans. Vol17, No3 May 2002  
 [6] 김윤호, 문현욱, 김수홍, 광영찬, 원충연, "멀티레벨 컨버터를 기반으로하는 고출력 연료 전지 시스템의 전압강하 대책", 전력전자학회 학술대회 논문집, pp. 696-700, 2003년 7월.