

## 변압기를 사용한 정현파 입력전류 Multi-Level Converter

\*김천식, 이현우, 서기영, 전중함, 한호동, 박우현\*\*  
 (경남대학교, \*대구보건대학, \*\*한성엔지니어링, \*\*\*나라기술단)

### A Sinusoidal Input Current Multi-Level Converter Using Transformer

C.S. Kim, H. W. Lee, K. Y. Suh, J. H. Chun, H. D. Han, W. H. Park\*\*\*  
 (Kyungnam Univ., \*Daegu Health College, \*\*Hansung ENG., \*\*\*NaRa Consul.&Archi.

**Abstract** - This paper is proposed a sinusoidal input voltage Multi-level AC-DC Converter using transformer. In this paper Multi-level PWM Control converter which controls input current by combining buck Converters together to improve input current characteristic, and confirmed its validity throughout simulation and experiment

This method, which is multiplying and duplicating output of converter of equal capacity, is able to control unit power factor of input current, reduce the problem caused by high frequency switching, and apply to high power converter because filter is not necessary.

#### 1. 서 론

AC/DC 전력변환장치는 2차 직류출력 특성을 향상시키는데 목적을 두는 경우와 1차 입력전원 특성을 고려한 경우 두 가지로 크게 분류할 수 있다. 2차 직류 출력 특성의 향상은 직류전압의 안정성, 출력전압의 다양성, 절연성 등에 그 목적을 둔다. 최근에는 직류전원의 다양화 및 대전력이 요구되는 경우가 많으며, 전자파 방해(EMI : electromagnetic interference)의 규제 등이 강화되어 전원전류의 정현화, 전압의 자유화 및 저노이즈화가 요구된다.

현재 고압용 고속 스위칭소자의 발달로 PWM 제어방식이 널리 사용되고 있다. 그러나 PWM 제어방식은 제어에 따르는 손실이나 소음 등의 본질적인 문제점을 가지고 있으며, 단독 브리지형 컨버터회로에서는 대용량화가 어렵고 필요에 따라서 저역필터 또는 능동필터가 필요한 경우가 대부분이다.

본 논문에서는 변압기를 사용하여 입력 펄스수를 2진 조합한 PWM 컨버터를 다중으로 접속하여 컨버터의 입력전류를 계단파 형태로 제어하는 방식으로 입력 전류를 정현화시킨 단상 Multi-level 컨버터에 관해서 검토하여, 4조의 컨버터를 연결하여 입력 필터 없이 31레벨의 계단파 입력전류를 얻을 수 있는 강압형 단상 Multi-level Converter에 대하여 입·출력 특성을 시뮬레이션을 통하여 타당성 여부를 확인하고자 한다.

#### 2. 다중 Multi-Level 컨버터의 해석

##### 2.1 2<sup>M</sup>개 Multi-Level 컨버터

AC/DC 컨버터에서 입력전류를 전압과 동위상 형태의 정현파로 만들기 위해 많은 연구가 되어지고 있다. 단위 역률로 제어하기 위한 하나의 방법으로 입력전류를 계단파 형태로 만드는 방식에 관한 개념은 오래 전부터 제시되고 있다. 이 중에서 본 연구는 입력전류를 계단파로 제어하기 위하여 변압기를 사용하여 M개의 컨버터를 조합하여 2<sup>M</sup>개의 level을 가지는 Multi-Level 컨버터 회로로 구성하였다.

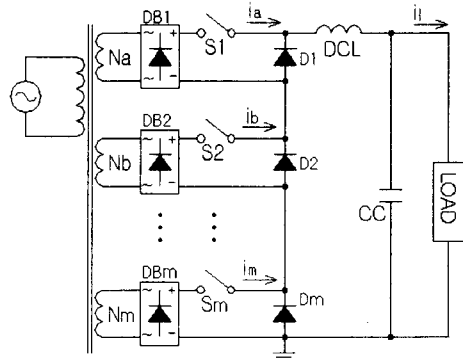


그림 1 2<sup>M</sup> 레벨 Multi-Level 컨버터  
 Fig. 1 The Multi-Level converter with 2<sup>M</sup>

그림 1은 M개의 컨버터 출력을 조합하여 각 컨버터의 출력을 중첩·다중화시켜 입력전류를 계단파로 제어하는 방식의 Multi-level 컨버터이다.

M개의 단상 컨버터 모듈을 사용하여 중첩 다중화 하면 입력전류  $i_p$ 는, 식 (1)과 같다.

$$i_p = (i_a + i_b + \dots + i_m) \quad (1)$$

$$= (n^{M-1}a + n^{M-2}b + \dots + M)N I_l$$

N은 변압기 출력의 가장 낮은 권선에 대한 변압기 1차와 2차권선의 변압비이다. 또  $I_l$ 은 직류출력측 부하전류이고, n은 그 때의 가장 낮은 권선을 기준으로 하여 그 다음으로 높은 권선과의 비이며, 식 (2)와 같다.

$$n = N_M / N_{M-1} \quad (2)$$

컨버터 수  $M$ 과 입력전류 level수  $N_s$ 는 아래의 식 (3), (4), (5)와 같다.

$$1.1. n=1 \text{ 경우 } N_s=2M+1 \quad (3)$$

$$1.2. n=2 \text{ 경우 } N_s=2^{(M+1)}-1 \quad (4)$$

$$1.3. n=3 \text{ 경우 } N_s=3^M \quad (5)$$

여기서, 변압기  $N_a$ 와  $N_b$ 의 권선비가 1 : 1 이면  $n=1$ , 1 : 2 이면  $n=2$ , 1 : 3 이면  $n=3$  이라고 하면,  $n=3$ 인 경우는 제어의 정밀도가  $n=2$ 인 경우보다 정밀 제어가 가능하며, 일반적으로 컨버터수가 많을수록 정밀제어가 가능해지지만 사용 소자가 증가함으로 적절한 단수를 사용하여야 한다.

## 2. 2 제어각의 결정법

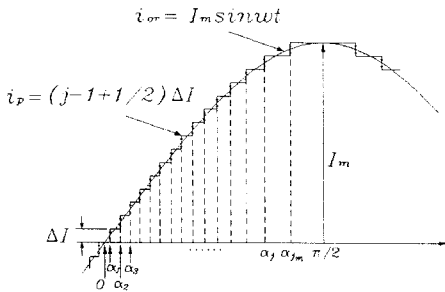


그림. 2 스위칭 제어각  
Fig. 2 The angle of switching control

그림 2는 기준 정현파( $i_{or}$ )와 컨버터 입력전류( $i_p$ )를 계단파로 만들기 위한 Multi-Level 컨버터의 스위칭 제어각을 나타낸다. 기준 정현파와 계단 파형의 최대편차가 일정하게 최소 전류폭의 1/2이 유지 되도록 각 펄스의 스위칭 시간을 결정한다.

기준 정현파  $i_{or}$  이라고 하면, 식 (6)과 같다.

$$i_{or}(\omega t) = I_m \sin \omega t \quad (6)$$

다중 조합 컨버터의 계단과 입력전류  $i_p$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$i_p(\omega t) = (j-1+1/2)\Delta I \quad (7)$$

$$(\alpha_j < \omega t < \alpha_{j+1})$$

컨버터의 입력전류  $i_p$ 의 최소 스텝 폭을  $\Delta I (= NI_j)$  이라고 하면, 기준 정현파  $i_{or}$ 의 진폭  $I_m$ 은 다음과 같다.

$$I_m = (2^M - 1)\Delta I \quad (8)$$

조합하는 컨버터의 수를 무수히 늘여서 계단과 입력전

류  $i_p$ 가 기준 정현파  $i_{or}$ 과 같다고 하면, 식 (7), (8)을 정리하여 다음과 같이 나타낸다.

$$I_m \sin \omega t = (j-1+1/2)\Delta I$$

$$\sin \omega t = \frac{(j-1+1/2)\Delta I}{I_m} \quad (9)$$

$$= \frac{(j-1+1/2)\Delta I}{(2^M - 1)\Delta I}$$

따라서, 0으로부터  $j$ 번째의 제어각  $\alpha_j$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\therefore \alpha_j = \sin^{-1} \left[ \frac{(j-1/2)\Delta I}{I_m} \right] \quad (10)$$

여기서,  $j$ 는  $\sin \alpha_j < 1$ , 0부터 1까지 다음 식을 만족하는 범위의 정수로 다음과 같다.

$$j < \frac{I_m}{\Delta I} + \frac{1}{2} \quad (11)$$

또, 전류 제어율  $\Delta I$ 는 다음과 같다.

$$\Delta I = \frac{I_m}{M_s} = \frac{I_m}{\{(N_s - 1)/2\}} \quad (12)$$

## 2. 3 전압·전류 특성

Multi-Level AC/DC 컨버터의 조합하는 컨버터 수를 늘여 갈수록 입력전류의 파형 레벨 수가 무수히 많아져서 정현파로 등가화 시킬 수 있다. 또한, 미세한 입력 파형 제어를 할 수 있으며, 그 전류와 전압은 식으로 근사 표현할 수 있다.

입력전류 근사식  $i_p$ 는 다음과 같다.

$$i_p = \sqrt{2} I_p \sin \omega t \quad (13)$$

또한, 입력전압 근사식  $e_p$ 는 다음과 같다.

$$e_p = \sqrt{2} E_p \sin(\omega t - \phi) \quad (14)$$

여기서 입력전류와 입력전압은 동위상이기 때문에 입력전압  $e_p$ 는 다음과 같다.

$$e_p = \sqrt{2} E_p \sin \omega t \quad (15)$$

따라서, 식 (13), (15)를 조합하면 입력교류전력  $p_p$ 를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$p_p = i_p e_p$$

$$= 2 I_p E_p \sin^2 \omega t \quad (16)$$

$$= I_p E_p (1 - \cos 2\omega t)$$

그리고 컨버터의 직류 축 전압  $E_l$ 는 다음과 같이 된다.

$$E_l = \frac{I_p E_p (1 - \cos 2\omega t)}{I_l} \quad (17)$$

## 2. 4 단상 4중 Multi-Level 컨버터

그림 2-3은 여러 개의 컨버터 출력을 조합하여 각 컨버터의 출력을 중첩·다중화하여 입력전류를 계단과 형태로 제어하는 방식인 binary 조합을 이용한 단상 컨버터 중에서, 4개의 컨버터를 병렬로 조합한 4중

Multi-level 강압형 컨버터로서 입력전류의 파형이 31 Level의 경우로 제어하는 회로도이다.

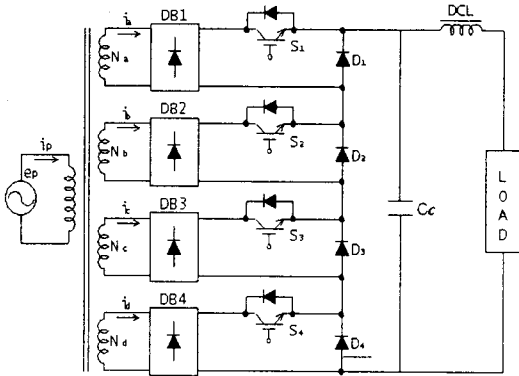


그림 3 단상 4중 Multi-Level 컨버터 회로  
Fig. 3 Single phase quadruple Multi-Level converter

변압기 1차권선에 대한 2차 권선비는 입력전류  $i_0$ 에 각각  $i_a, i_b, i_c, i_d$ 가 2승수의 비율 ( $n=2$ )로 가산하기 위해서 권선비를  $N_a : N_b : N_c : N_d = 1 : 2 : 4 : 8$ 로 선정하였다.

### 3. 회로해석 및 시뮬레이션

각 컨버터를 조합한 수와 제어방법에 따른 입력전류와 전 고조파 성분을 시뮬레이션으로 알아보았다. 그림 2-3의 Multi-Level 컨버터 회로를 사용하였고,  $n=2$ 의 방법으로 표 1의 회로 정수를 이용하여  $2^1$  컨버터 즉, 4중 Multi-Level 컨버터를 PSIM으로 시뮬레이션 하였다.

표 1 시뮬레이션에 대한 파라미터  
Table 1 Parameter for Simulation

1차 교류전압	$e_p = 220 \text{ Vrms}$	
권수비	$N_p = 100$	
	$N_a = 2$	
	$N_b = 4$	
	$N_c = 8$	
	$N_d = 16$	
Cc	5,000 $\mu\text{F}$	
Lcl	75mH	
Load	R = 0.48 $\Omega$	
사용소자	$S_1 \sim S_4$ $DB_1 \sim DB_4$ $D_1 \sim D_4$	Ideal Device

그림 4는 컨버터의 입력 전류와 입력 전압을 나타내었다. 그림에서 보여지는 바와 같이 입력 전압과 동위상인 31 레벨의 계단파와 입력 전류가 얻어진다.

그림 5는 31 레벨의 계단파와 입력전류의 고속 푸리에 변환(FFT)한 것으로서 기본파 성분이 크고, 고조파 성분이 적음을 알 수 있다.

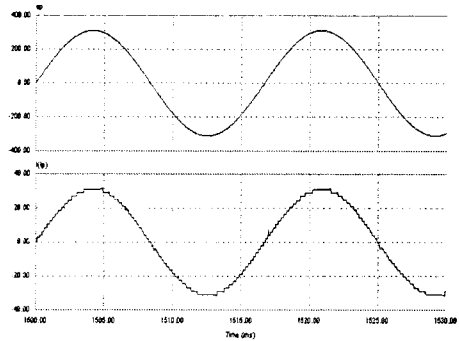


그림 4 입력 전압·전류 시뮬레이션 파형  
Fig. 4 The simulation waveform of input voltage and current

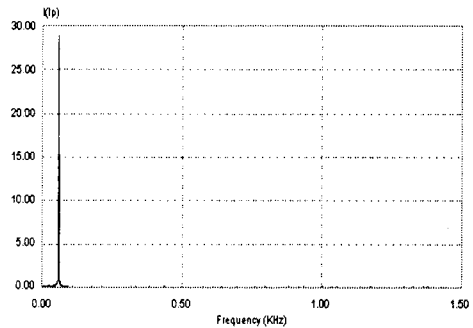


그림 5 입력전류 주파수 스펙트럼  
Fig. 5 Frequency spectrum of input current

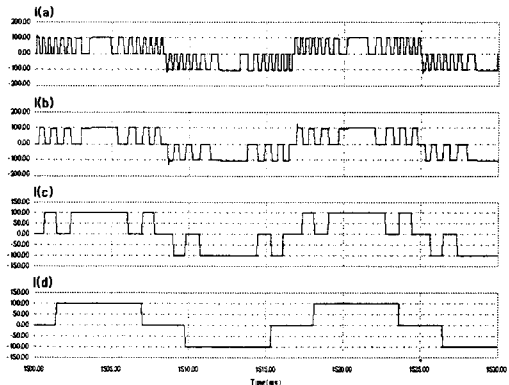


그림 6 각 변압기 2차 전류 시뮬레이션 파형  
Fig. 6 Simulation waveform of each secondary transformer Current

그림 6은 각 변압기 2차 전류 시뮬레이션 파형 나타내고 있다. 입력 전류  $i_p$ 는 각 컨버터의 전류  $i_a, i_b, i_c, i_d$ 의 합으로 됨을 알 수 있다. 그림 7은 Multi-level 강압형 컨버터

의 출력 전압을 나타낸다.

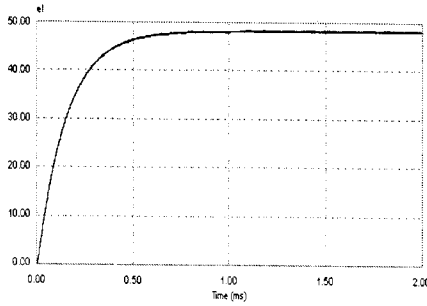


그림 7 출력 전압 시뮬레이션 파형  
Fig. 7 Simulation waveform of output voltage

#### 4. 결 론

본 논문에서는 M개의 컨버터를 조합하여 정현파 입력 전류를 얻을 수 있는 2진 조합으로 변압기를 사용한 단상 Multi-Level 강압형 컨버터를 구성하였다. 단상 4중 Multi-Level 컨버터는 4개의 컨버터로  $N_s = 2^{(4+1)} - 1$  개의 스텝 즉 31스텝을 가진 입력전류를 얻을 수 있으므로 입력 전류가 보다 정현적인 제어가 가능해지고, 또한 입력 전압과 동위상으로 제어됨으로써 역률 향상을 취할 수 있으며, 입력전류를 푸리에 변환(FFT)시켜 고조파의 성분들이 기본파에 비해 현저히 적게 함유됨에 따라 효율 향상 및 전자파 장애(EMI : electromagnetic interference)를 줄일 수 있다. 또한 소폭의 전류변동폭을 가질 수 있고, 소용량의 스위칭소자가 사용 가능하고, 스위칭 속도가 빠르지 않아서 기존의 PWM 방식의 컨버터 보다 스위칭의 손실을 줄일 수 있으며, 맥동율을 작게 할 수 있는 장점이 있다.

향후 과제는 병렬 컨버터 단수를 추가하여 레벨수를 높여 스위칭 소자의 증가에 따른 손실과 회로의 효율 및 역률의 관계를 적절한 해석이 필요하며, 또한 전류형 컨버터로의 적용에 관해 연구하고자 한다.

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(1999-2-302-014-3)지원으로 수행되었음.

#### [참 고 문 헌]

1. 김희준 : "공진형 컨버터의 기술현황 및 향후과제", 한국통신학회 학회지, pp.2407-2418, 梯 15卷 第 8號 1998
2. 大西徳生 : "多機能高品質單相PWM制御電源", IEE Japan, Vol. 115-D, No.1, 1995
3. 奥井 芳明, 水野 勉, 山田 一 : "單相降壓チョップを多重化した三相高力率コンバータの過変調特性", 電氣學會研究會資料, SPC-97-37, 1997
4. Kimura, Matsumoto, Morizame, Taniguchi : "Control strategy for multilevel converter applied for electric power system", 7th European Conference on Power Electronics and Application Proceeding, pp85-288
5. 松本 晃, 木村 紀之, 森實 俊充, 谷口 勝則 : "二重化マルチレベル変換器の分壓コンデンサ電壓特性解析", 電氣學會研究會資料, SPC-98-10
6. 안일배, 이현우 외 "단상 Multi Level AC-DC 컨버터", 전력전자학회 발표논문집, pp.354-357, 1999.7.21-24
7. 안일배, 박성우, 이현우 외 : "대용량을 위한 멀티레벨 컨버터의 최적설계", 대한전기학회 부산 경남 울산 합동발표회 논문집, pp.120-124, 1999.12.4.