

변압기 방식 멀티레벨 컨버터의 전류제어

⁰김천식, 곽동걸*, 전중함**, 서기영, 이현우
 경남대학교, * 동해대학교, ** 대구보건대학

The Current Control with Multi-level Converter on Transformer type

⁰C. S. Kim, D. G. Kwak*, J. H. Chun**, K. Y. Suh, H. W. Lee
 Kyungnam University, * Tonghae University, ** Daegu Health College

ABSTRACT

This paper is proposed a sinusoidal input current multi-level ac-dc converter using transformer.

The multi-level converter which controls input current by combining Buck converter to improve input current characteristics.

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

The feasibility of the circuit is verified by computer simulation using PSIM

1. 서 론

교류를 직류로 변환하는 전력 변환기는 작게는 정류기에서 시작하여 고속스위칭 기술을 이용한 고성능 SMPS에 이르기까지 다양기술형태로 발전하고 있으며, 전압변동 및 고조파 장해문제등의 전원 왜란에 민감한 전력장치들이 급증함에 따라 고품질의 전력에 대한 관심이 높아지고 있다.^{[1]-[2]}

현재 많은 전기기기 및 전력장치들에 직류전원 공급기기로 많이 이용되고 있는 콘텐서 입력형 정류회로는 가격이 싸고, 구성이 간단하지만 입력 역률이 낮고, 고조파분을 많이 포함하고 있기 때문에 전원계통에 악영향을 주거나 다른 기기에 장해를 주는 등의 많은 문제가 발생하고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 입력전류가 전원전류

를 추정하도록 하는 것을 그 목적으로 하는 연구가 활발히 이루어지게 되었고, 고속 스위칭소자의 발달로 PWM 제어방식이 널리 사용되어져 왔다. 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 같은 용량의 컨버터 출력을 다중화하여 스위칭 속도를 저속화(1kHz 이하) 할 수 있고, 4중 멀티 레벨의 경우 변압기를 4개의 회로를 병렬로 구성함으로써 스위칭 소자에 흐르는 전류를 4가지 경로로 분배할 수 있으므로, 저가의 스위칭 소자로 AC-DC 컨버터를 구성할수 있다. 또한 입력 파형 개선방법으로 펄스수가 다른 PWM 컨버터를 조합 함으로서 컨버터의 입력전류를 계단과 형태로 제어하여 입력 전류를 정현적으로 제어함과 동시에 입력전압의 크기에 따라 각단 변압기의 스위칭소자가 ON/OFF되므로 복잡한 제어 알고리즘이 필요없게 된다. 이러한 변압기방식의 단상 멀티레벨 강압형 컨버터에 대하여 검토한다.

2. 본 론

2.1 4중 멀티 레벨 컨버터의 구성

여러 개의 컨버터 출력을 조합제어하는 방식의 개념은 오래 전부터 제시되어 왔지만, 구체적으로 주회로 구성이나 상세한 제어특성 등이 설명되어져 있지 않다.

그림 1은 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.

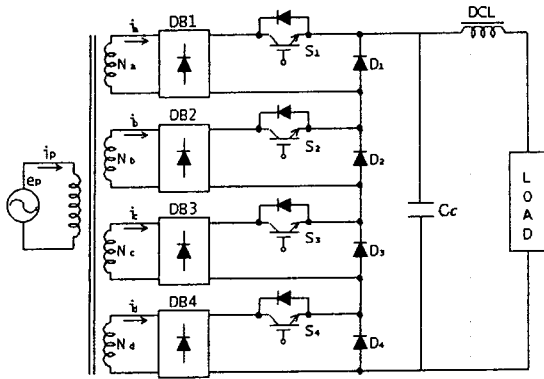


그림 1 4중 Multi-Level 컨버터 회로
Fig. 1 The quadruple Multi-Level converter

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

2.2 제어각 결정법

4 중의 컨버터 출력을 다중화하는 경우 전원 전류 i_p 는 식 (1)과 같이 된다.

$$i_p = (i_a + i_b + i_c + i_d) = (n^3 a + n^2 b + n c + d) N I_l \quad (1)$$

이때 $n=1$ 의 경우는 9Level $n=2$ 의 경우는 31Level $n=3$ 의 경우는 81 Level과 같이 대단히 많은 Level의 전류레벨이 얻어진다. 여기서, 변압기 N_a 와 N_b 의 권선비가 1 : 1 이면 $n=1$, 1 : 2 이면 $n=2$, 1 : 3 이면 $n=3$ 이다.

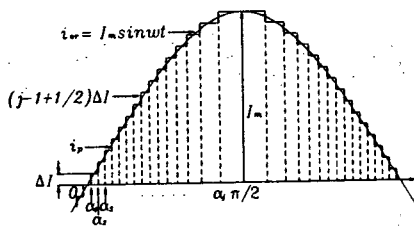


그림 2 스위칭 각도의 결정방법
Fig. 2 Control switching angel

여기서 $n=1$ 일 경우와 $n=3$ 이상일 경우에는 연속적인 Step과의 전류를 얻기 힘들고 $n=2$ 일 때를 선택하여 스위칭 타임을 선정하면 그림 2와 같이 된다.

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 (2)과 같다.

$$i_{or}(\omega t) = I_m \sin \omega t \quad (2)$$

다중 조합 컨버터의 계단파 입력전류 i_p 는 다음 식으로 주어진다.

$$i_p(\omega t) = (j-1+1/2)\Delta I \quad (3)$$

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

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

$$I_m = (2^M - 1)\Delta I \quad (4)$$

조합하는 컨버터의 수를 무수히 늘여서 계단파 입력전류 i_p 가 기준 정현파 i_{or} 과 같다고 하면, 식 (3), (4)을 정리하여 다음과 같이 나타낸다.

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

$$\sin \omega t = \frac{(j-1+1/2)\Delta I}{I_m} \quad (5)$$

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

따라서, 0으로부터 j 번째의 제어각 α_j 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\therefore \alpha_j = \sin^{-1} \left[\frac{(j-1/2)\Delta I}{I_m} \right] \quad (6)$$

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

$$j < \frac{I_m}{\Delta I} + \frac{1}{2} \quad (7)$$

또, 전류 제어율 ΔI 는 다음과 같다.

$$\Delta I = \frac{I_m}{M_s} = \frac{I_m}{\{(N_s - 1)/2\}} \quad (8)$$

표 1은 그림 2에서 나타내어진 전류파형의 스위칭 각도를 표로 나타낸 것이다. 표 1에서 16개의 전류 Level을 갖는 전류를 확인 할 수 있다. 스위치 모두를 닫은 상태에서는 최대 전류값을 가지게 된다.

표 1 전원전압 반주기의 스위칭 각도
Table 1 The switching angle a half cycle of AC source

정현파 입력 스위칭 각	S1	S2	S3	S4	전류값
0.00°	0	0	0	0	0
1.91°	0	0	0	1	1I
5.73°	0	0	1	0	2I
9.59°	0	0	1	1	3I
13.49°	0	1	0	0	4I
17.45°	0	1	0	1	5I
21.51°	0	1	1	0	6I
25.67°	0	1	1	1	7I
30.00°	1	0	0	0	8I
34.15°	1	0	0	1	9I
39.29°	1	0	1	0	10I
44.42°	1	0	1	1	11I
50.05°	1	1	0	0	12I
56.44°	1	1	0	1	13I
64.15°	1	1	1	0	14I
75.16°	1	1	1	1	15I

2.3 변압기 용량선정

본 논문에서 제안한 멀티 레벨 컨버터는 스위칭 소자의 선정보다는 고품질의 변압기의 선정 및 권수비의 결정이 더욱 중요하다.

전원전류의 최대치를 I_M 이라 하면 이 전류의 1/2이 최대 권수의 컨버터 전류 진폭이 되어, 이하 각 변압기 2차권선의 전류진폭은 이 전류의 1/2씩 반감하게 된다.

각 컨버터 입력전류의 최대 통전폭은 주기의 거의 $2\pi/3$ 가 된다. 따라서, 각 변압기 2차권선에 이러한 최대 스텝 전류 ($=I_M/2$)를 발생하는 컨버터 권선전류를 1차로 환산한 실효치는 다음과 같이 된다.

$$I_t = \sqrt{2/3} I_M / 2 = I_M / \sqrt{6} = I_p / \sqrt{3} \quad (9)$$

부하전류는 직렬접속에 의해 같은 전류가 흐르기 때문에, 최대 스텝폭을 주는 변압기 2차 권선의 소요용량은 다음과 같이 산출한다.

$$kVA = I_t E_p \times 10^{-3} = I_p E_p / \sqrt{3} \times 10^{-3} \quad (10)$$

그리고, 입력용량에 차지하는 가장 큰 변압기 2차 권선용량의 비율은 60% 정도이다. 다른 변압기 2차 권선용량은, 이 용량의 1/2씩 반감한다.

3. 시뮬레이션

각 컨버터를 조합한 수와 제어방법에 따른 입력전류와 전 고조파 성분을 시뮬레이션으로 알아보았다. 그림 1의 Multi-Level 컨버터 회로를 사용하였고, $n=2$ 의 방법으로 표 2의 회로 정수를 이용하여 2⁴ 컨버터 즉, 4중 Multi-Level 컨버터를 PSIM으로 시뮬레이션 하였다.

표 2 시뮬레이션 정수
Table 2 Parameter for Simulation

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

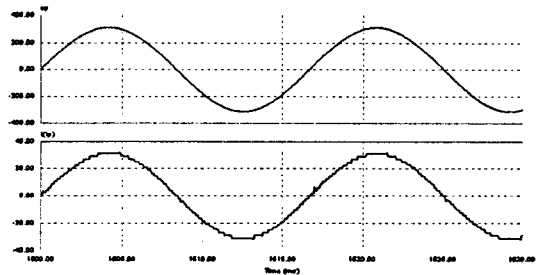


그림 3 입력 전압·전류 시뮬레이션 파형
Fig. 3 The simulation waveform of input voltage and current

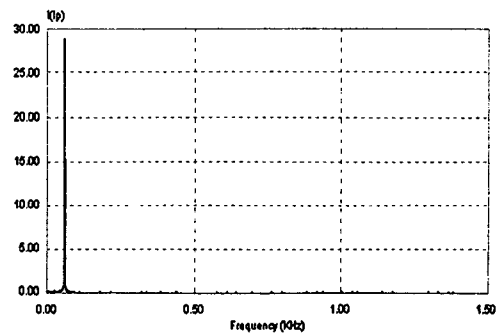


그림 4 입력전류 주파수 스펙트럼
Fig. 4 Frequency spectrum of input current

그림 3은 컨버터의 입력 전류와 입력 전압을 나타내었다. 그림에서 보여지는 바와 같이 입력 전압과 동위상인 31 레벨의 계단과 입력 전류가 얻어진다.

그림 4는 31 레벨의 계단과 입력전류의 고속 푸리에 변환(FFT)한 것으로서 기본파 성분이 크고, 고조파 성분이 적음을 알 수 있다. 그림 5는 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 6은 Multi-level 강압형 컨버터의 출력 전압을 나타낸다. 그림 7은 부하 변동에 따른 입력전압·전류를 나타내었다. 부하변동 시에도 입력전압과 전류가 동위상으로 동작함을 알 수 있다.

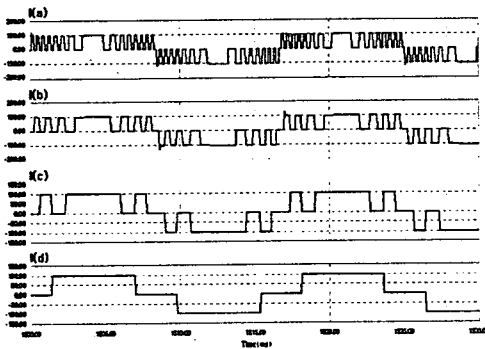


그림 5 각 변압기 2차 전류 시뮬레이션 파형
Fig. 5 Simulation waveform of each secondary transformer Current

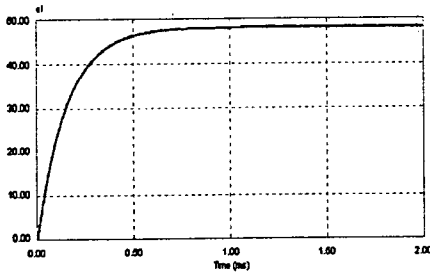


그림 6 출력 전압 시뮬레이션 파형
Fig. 6 Simulation waveform of output voltage

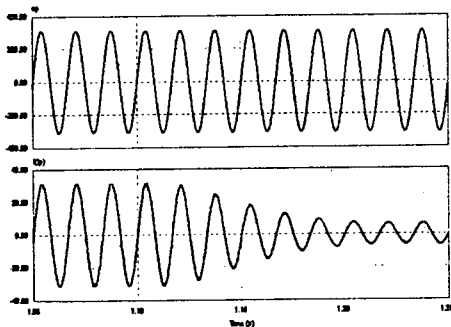


그림 7 부하변동에 대한 입력 전압·전류
Fig. 7 Input voltage and current with load variation

4. 결 론

본 논문에서는 4개의 컨버터를 조합하여 정현파 입력 전류를 얻을 수 있는 변압기 방식의 Multi-Level 강압형 컨버터를 구성하였다. 4중 Multi-Level 컨버터는 4개의 컨버터로 31스텝을 가진 입력전류를 얻을 수 있으므로 입력 전류가 보다 정현적인 제어가 가능하고, 입력 전압과 동위상으로 제어됨으로 해서 역률 향상을 취할수 있으며, 다른 PAM이나 부등 PWM제어 방식에 비해 간단한 제어 알고리즘을 가진다. 향후 과제는 병렬 컨버터 단수를 추가하여 레벨수를 높여 스위칭 소자의 증가에 따른 손실과 회로의 효율 및 역률의 관계를 적절한 해석이 필요하며, 최적의 변압기 설계 또는 입력 측에 외란 발생시의 대책에 대하여 연구가 필요하다.

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

참 고 문 헌

- [1] H.Akagi, A. Nabae, "Instantaneous Reactive Power Compensator Comprising Switching Devices without Energy Strage Components", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. IA-20, No. 3, 1984.
- [2] F.C.Lee, : "Novel Zero-Voltage-Transition PWM Converters", IEEE PESE, pp. 55~61 1992
- [3] 김천식, 이현우 외3 : "변압기를 사용한 정현파 입력 전류 Multi-Level Converter", 대한전기학회 춘계학술대회, pp. 250~254, 4, 2001.