

멀티레벨 컨버터의 변압기 설계에 대한 연구

김천식, 권순걸, 이현우, 박성우,* 전중함**

경남대학교, 한일컨터롤** 대구보건대학**

A Study on Transformer Design of Multi-Level Converter

Chun-Sik Kim, Soon-Kurl Kwon, Hyun-Woo Lee, Sung-Woo Park*, Jung-Ham Chun**
Kyungnam Univ. Hanil control Corp.* Taegu Health College**

Abstract - This paper discusses single-phase AC-DC converter that driven by binary combination at different transformer winding ratio. It has a advantage that constructs a control system simply and obtain load current of good quality without filter circuit and free from noise or isolation for lower switching frequency. Also, this has merit that can do high power capacity. In this research, study on feedback circuit that consist for load stability of AC-DC multi-level converter.

1. 서 론

PWM 제어방식은 컨버터 회로의 주회로를 간단하게 구성할 수 있고, 고속으로 출력을 제어할 수 있기 때문에 고속 스위칭소자의 발달과 더불어 널리 사용되어져 왔다. 그러나 단독 브리지형 PWM방식의 제어에 따르는 스위칭 손실이나 소음등의 본질적인 문제점을 가지고 있으며, 대용량화하는 것이 어렵고 입력 필터의 설계가 어려운 등 문제점을 가지고 있다.

변압기의 권선수를 달리하여 Binary 조합으로 구동시킨 단상 AC/DC 멀티 레벨 컨버터는 제어방식이 간단하며 필터회로가 없이 양질의 부하전류를 구현하고 저주파 스위칭으로 손실과 소음이나 노이즈 절연에서 자유롭고 대용량화에 적용시킬 수 있다.

본 논문에서는 2승의 컨버터 출력을 중첩, 다중화 하여 한정된 수의 컨버터 출력으로부터 미세한 계단파의 과정을 얻는 방식의 단상 Multi-level AC-DC 컨버터 구성과 특성에 관해서 보고하고자 한다. 또한 멀티레벨 컨버터의 직류 출력전압의 변동에 따라 최적의 변압비를 산출하는 것에 대하여 검토하고 부하의 안정을 위하여 구성되는 케이스 회로에 대하여 검토하고자 한다.

2. 본 론

2.1 단상 다중 Multi-Level 컨버터

2^M 개의 level을 가지는 단상 다중 Multi-Level AC-DC 컨버터에 관하여 알아보자. M 개의 단상 컨버터 모듈을 사용하여 중첩 다중화 하면 입력전류 i_p 는, 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} i_p &= (i_a + i_b + i_c + i_d + \dots + i_m) \\ &= (a + n^1 b + n^2 c + n^3 d + \dots + n^{M-1} m) N I_l \quad (1) \\ \text{단, } (N &= \frac{N_a}{N_p}, \quad n = \frac{N_m}{N_{m-1}}, \quad M : \text{조합한 컨버} \\ \text{터 개수, } a, b, \dots, m &: (1, 0 \sim 1) \text{의 스위칭 함수값}) \end{aligned}$$

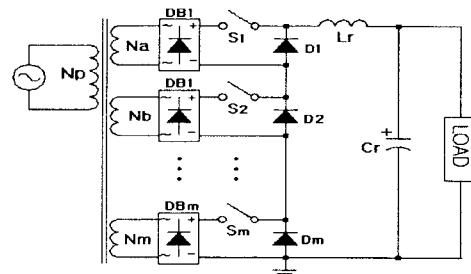


그림 1 단상 다중 AC-DC 컨버터

Fig. 1. single-phase multiply AC-DC converter

컨버터 조합의 수 M 과 입력전류 level수 N_s 는 식 (2), (3), (4)와 같다.

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

$$1.2. \quad n=2 \text{ 경우} \quad N_s = 2^{(M+1)} - 1 \quad (3)$$

$$1.3. \quad n=3 \text{ 경우} \quad N_s = 3^M \quad (4)$$

$n=3$ 인 경우는 많은 레벨을 얻을 수 있을 것처럼 기대되나 실제로는 $n=2$ 인 경우의 레벨을 불규칙적으로 얻을 수 있다.

2.1.1 제어각의 결정법

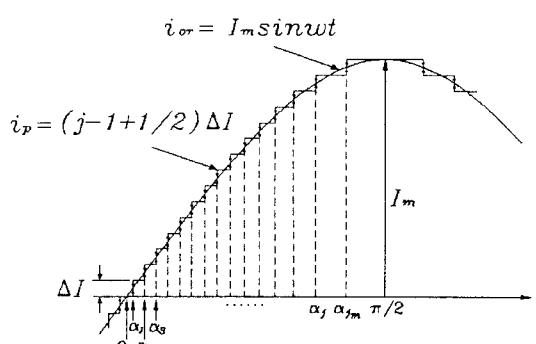


그림 2 제어각의 결정

Fig. 2. Determination of control angle

그림 2는 기준 정현파와 컨버터 입력전류와 여러 레벨의 전류 파형과의 관계를 보여주고 있다. 기준 정현파와 계단 과정의 최대편차가 일정하게 최소 전류폭의 1/2이 유지 되도록 각 스위칭 시간을 결정한다. 기준 정현파 i_{or} 의 진폭을 I_m , 컨버터의 입력전류 i_b 의 최소 step 폭을 $\Delta I = (N_l)$ 이라고 하면 $I_m = (2^M - 1)\Delta I$ 가 되고, 0으로부터 j 번째의 제어각 α_j 는 식(7)과 같다..

$$i_{or} = I_m \sin \omega t \quad (5)$$

$$i_b = (j - 1 + 1/2)\Delta I \quad (\alpha_j < \theta < \alpha_{j+1}) \quad (6)$$

$$\therefore \alpha_j = \sin^{-1}(j - 1/2)\Delta I / (I_m) \quad (7)$$

여기서, j 는 $\sin \alpha < 1$, 0부터 1까지 다음 식을 만족하는 범위의 정수이다.

$$j < I_m / \Delta I + 1/2 \quad (8)$$

또, 전류제어율 ΔI 는 식 (9)에서 구할 수 있다.

$$\Delta I = I_m / M_s = I_m / ((N_s - 1)/2) \quad (9)$$

2.2 단상 4중 Multi-Level 컨버터

그림 3은 여러 개의 컨버터 출력을 조합하여 각 컨버터의 출력을 중첩·다중화하여 입력전류를 계단파 형태로 제어하는 방식인 binary 조합을 이용한 단상 컨버터 중에서, 4개의 컨버터를 직렬로 조합한 4중 Multi-level 강압형 컨버터로서 입력전류의 파형이 31 레벨의 경우로 제어하는 회로도이다. 변압기 1차 i_a, i_b, i_c, i_d 권선에 대한 2차 권선비는 전원전류 i_L 에 각각 가 2승수의 비율로 가산하기 위해서 권선비를 $N_a : N_b : N_c : N_d = 1:2:4:8$ 로 선정하였다.

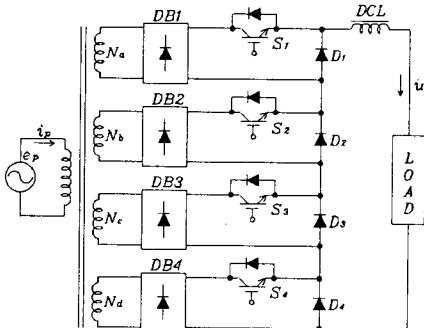


그림 3 단상 4중 멀티레벨 AC-DC 컨버터

Fig. 3. Single-phase quadruple multi-level AC-DC converter

2.3 실험 및 결과

그림 4와 같이 실제 실험회로를 구성하였다. 실험에 사용된 변압기의 2차측 전압은 2V, 4V, 8V, 16V이고 용량은 100VA이고 인덕터는 400mH/2A이고 용량은 100VA이다. 그림 5는 A/D 컨버터 회로도이다. 입력전압과 동위상의 계단파 입력전류를 얻기 위하여 입력전압을 변압기로 강압한 후 전파 정류하여 비교기로 비교하여 입력전압의 크기에 따라 스위칭 신호를 발생시킨다. A/D컨버터의 출력은 포토 커플러를 통하여 절연된 형태로 제어 스위치를 구동하게 된다.

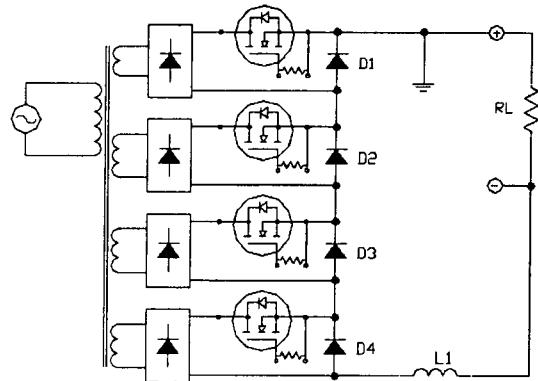


그림 4 실험 주회로

Fig. 4. Experimental circuit

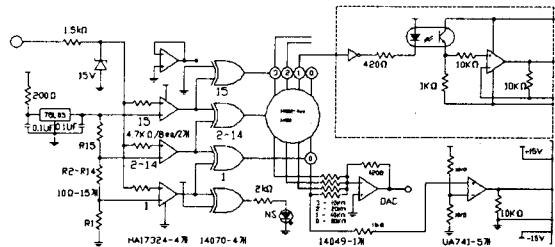


그림 5 A/D 컨버터 회로

Fig. 5. A/D converter circuit

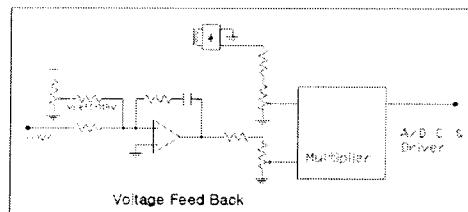


그림 6 전압케이블 회로

Fig. 6. Circuit of Voltage Feedback

그림 6은 멀티레벨의 직류 출력을 일정히 유지하기 위하여 정전압 케이블 회로이다. 표 1은 실험회로에서 평활용 리액터와 전원용 변압기의 회로정수를 나타낸다. 표 2은 브리지 정류일때와 스위치를 모두 코드화 했을 때 그리고 정전압 케이블 회로를 적용했을 경우의 부하단 전압 전류 및 평활용 인덕터의 전압 그리고 맥동의 피크치를 나타내었다. 결과 표1에서 직류 전압이 9V를 유지하기 위한 2차측 권선전압은 표1의 회로 정수에서 보여준 2차 권선의 전압의 합이 30V가 됨을 알 수 있다. 물론 인덕터의 인더던스 용량을 증가 시키면 더욱 큰 전압을 필요로 하게 될 것이다. 결과에서 권선의 실효값 전압의 합은 직류출력 전압의 3배가 되고 권선의 전류용량은 직류 출력의 1/3로 설계해야 함을 알 수 있다.

표 1 회로 정수

Table 1 Circuit Parameter

구분	단위	값
리액터	mH	400
전원트랜스	V	16/8/4/2

표 2 부하 측정값

Table 2 Value of Load Measure

구분	단위	스위치 모두ON 브리지 정류상태		OPEN LOOP 스위치 모두 code화			CLOSE LOOP 정전압채환				
		무부 하	0.4	3.3	무부 하	0.3	1.8	2.7	0.4	1.5	2.5
부하 전류	A										
직류 출력	V	25.0	21.0	11.5	18.8	16.0	11.5	9.0	9.0	9.0	
직류 액동	V _p p	39.2	4.5	3.8	37.6	4.9	4.0	3.4	1.8	2.4	3.4
L의 전압	V _p p	0.0	35.4	32.6	0.0	36.6	35.0	33.2	28.2	31.6	36.4

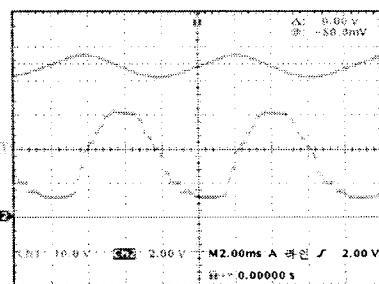
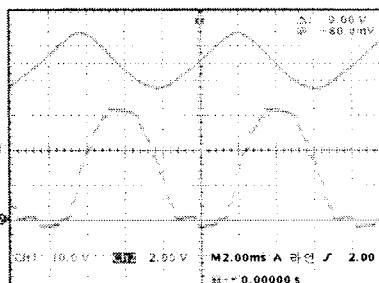
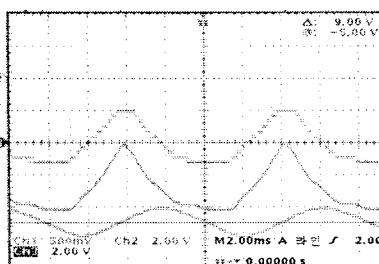
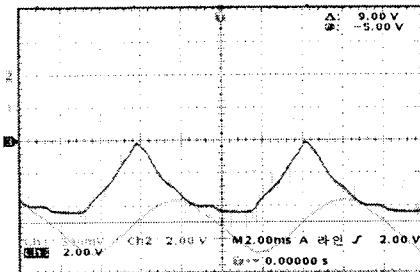
그림 7 전압채환 인덕터스 단자전압
(부하 9V/0.4A)Fig. 7. Inductance Voltage at
Voltage Feedback (Load
9V/0.4A)그림 8 전압채환 인덕터스 단자전압
(부
하 9V/2.5A)Fig. 8. Inductance Voltage at Voltage
Feedback (Load 9V/2.5A)그림 9 AC Vref 전압과 드라이브 신호의
아날로그 패형 (부하 9V/0.4A)Fig. 9. AC Vref Voltage and Analog
Driver Waveform(Load
9V/0.4A)그림 10 AC Vref 전압과 드라이브 신호의
아날로그 패형 (부하 9V/2.5A)Fig. 10. AC Vref Voltage and Analog
Driver Waveform(Load 9V/2.5A)

그림 7은 직류 출력 9V로 하여 부하전류를 0.4A로 하였을 때의 인덕터 전압을 보여 주며 그림 8은 같은 조건에서 전류만 2.5A로 하였을 때 인덕터 전압을 준다. 이 결과는 표 2와 같은 결과이다. 이때의 이때 인덕터 전압의 진폭은 부하에 비례함을 나타낸다. 그림 9와 10은 그림 3,4에서와 같은 조건에서 Multiplier 출력단 전압과 스위칭을 Driver 신호를 Analog로 변환한 파형을 보여 준다. 두 그림에서 Multiplier 출력단 전압과 스위칭을 Driver 신호 두 파형은 불변하나 출력의 Ripple이 증가함을 볼 수 있다. 이것은 출력이 증가함으로서 입력의 높은 전압을 요구하고 있음을 나타낸다.

3. 결 론

본 논문에서는 여러개의 컨버터를 조합하여 계단파 형태의 입력 전류를 얻을 수 있는 binary 조합을 이용한 단상 Multi-level AC-DC 컨버터를 제안하였다. 위의 실험 결과에서의 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다. 먼저 변압기 2차측 권선은 각각 동일한 것으로 하여야 하고 전류의 Ripple을 줄이기 위하여 인덕터는 충분히 커야 한다. 그리고 인덕터가 를 수록 변압기 2차측 전압은 충분히 커야 한다. 향후 과제로는 직류 출력 전압과 변압기의 권선전압과 전류를 수식적으로 해석하는 것과 대용량에서의 출력 Ripple 전압에 대한 고찰이 남아 있다.

이 논문은 경남대 전기에너지 철학 연구센터의 지원
으로 수행되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] F.C. Lee, "Novel Zero-Voltage-Transition PWM Converters," IEEE PESE, (1992)
- [2] 奥井 芳明, 水野 勉, 山田 一: "單相降圧チョッパを多重化した三相高力率コンバータの過変調特性", 電気學會研究會資料, SPC-97-37, 1997
- [3] 김천식, 이현우, "변압기를 사용한 정현파 입력전류 Multi-Level Converter", 대한 전기학회 춘계학술대회 논문집, (2001)
- [4] C.S. Kim, H.W. Lee, "A Study on the Multi-Level PWM Converter for Telecommunications Power Equipment", ICEE 2002, (2002)