

바이너리 조합에 의한 단상 AC/DC 컨버터의 제어

°박성우, 전중함*, 우정인**, 김준홍, 이현우
경남대학교, 대구보건대학*, 동아대학교**

The Control of Single Phase AC/DC Converter by using Binary Combination

°S.W.Park, J.H.Chun*, J.I.Woo**, J.H.Kim, H.W.Lee
KyungNam University, *Taegu Health Coll., **DongA University

Abstract - This paper proposed the single phase multi-level PWM AC/DC converter using binary combine which controls input current by combining buck converters 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, has the advantage of being able to control unit power factor of input current and reducing of the problem caused by high frequency switching, and applying to high power converter because filter is not necessary etc.

1. 서 론

입력파형 개선방법으로 펄스 수가 다른 PWM 컨버터를 조합하여 입력전류를 계단과 형태로 제어하는 binary 조합을 이용한 단상 Multi-level PWM AC/DC 컨버터를 제안한다.

이 컨버터는 각각의 단상 컨버터를 직렬접속하여 구성되어있다. 컨버터 입력전류의 레벨수는 직렬접속한 컨버터 수와 제어 방법에 따라 달라지게 된다.

본 논문에서는 m개의 스위칭 소자로 m비트 2^m레벨의 전류파형 제어가 가능한 멀티 레벨을 실현하는 제어법에 대해서 알아보려고 한다.

2. 바이너리 조합에 의한 단상 AC/DC 컨버터

2.1 이상적 변압기

다중 컨버터는 여러개의 컨버터를 조합하여 계단과 입력전류를 얻는 방법이다. 이때 변압기의 권선 방법에 따라 얻을 수 있는 입력전류의 형태가 달라지게 된다.

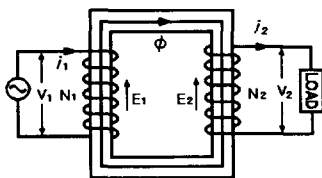


그림 1 이상적 변압기 회로

변압기 손실 $P_w=0$, 누설자속 $\phi_L=0$, 여자전류 $I_o=0$ 라 가정하면,

$$v_1 = e_1 = N_1 \frac{d\psi}{dt} \dots\dots\dots(1)$$

$$v_2 = -e_2 = -N_2 \frac{d\psi}{dt} \dots\dots\dots(2)$$

식 (1), (2)에서 식 (3)을 얻을 수 있다.

$$\frac{v_1}{v_2} = -\frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots(3)$$

식 (3)을 실효치로 표시하면 다음과 같다.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \dots\dots\dots(4)$$

이때 a 는 일차 권선과 이차 권선의 권수비이다. 그림 2.2에서 처럼 이차 단자 외부에 부하를 연결하면 2차 권선에 E_2 의 유기전압에 의해 전류 i_2 가 흐른다.

$$i_2 = \frac{E_2}{R+jX} \dots\dots\dots(5)$$

이 전류에 의하여 다음과 같이 기자력이 발생한다.

$$F = N_2 \cdot i_2 [A \cdot T] \dots\dots\dots(6)$$

이 기자력에 의해 발생한 자기적 불평형을 회복하기 위해 일차 권선에 i_1' 의 새로운 전류가 흘러 불평형을 유발하는 기자력을 상쇄시켜 1, 2차 권선의 유도작용이 정상적으로 이루어진다.

$$N_1 i_1' + N_2 i_0 = 0$$

$$i_1' = -\frac{N_2}{N_1} i_2 = -\frac{1}{a} i_2 \dots\dots\dots(7)$$

이때, 이상적 변압기라 가정하면, 변압기 입력전류는 다음과 같다.

$$i_1' + i_0 = i_1$$

$$i_1 = -\frac{N_2}{N_1} i_2 = -\frac{1}{a} i_2 \dots\dots\dots(8)$$

위의 식에서 변압기 입력전류는 출력전류와 방향은 반대이고 변압기 권수비에 반비례한다는 것을 알 수 있다.

2.2 단상 2중컨버터 입력전류

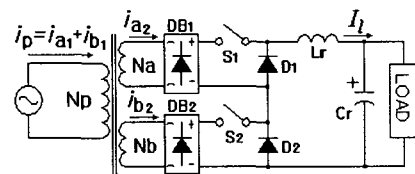


그림 2 단상 2중 컨버터

그림 2은 두 조의 컨버터를 조합한 2중 컨버터이다. 두 조의 컨버터를 조합하여 2중 컨버터를 구성하였을 경우, 변압기 일차 입력전류를 i_b , 컨버터 2차 부하 직

류전류를 I_l , 변압기 일차 권선비를 N_p , 변압기 각 2차 권선의 권선비를 N_a , N_b 로 했을 때 각각의 변압기 2차측 권선에 흐르는 전류를 1차로 환산한 전류를 i_{a1} , i_{b1} 라 하면, 변압기 일차 입력전류 i_p 는 다음과 같다.

$$i_p = i_{a1} + i_{b1} \dots\dots\dots(9)$$

식 (2-9)에서 각 컨버터의 일차 환산전류는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$i_{a1} = -\frac{N_{a2}}{N_p} I_l$$

$$i_{b1} = -\frac{N_{b2}}{N_p} I_l \dots\dots\dots(10)$$

이때, 컨버터 직류출력 측 부하 전류 I_l 이 일정하다면 다음과 같다.

$$-\frac{N_p}{N_{a2}} i_{a1} = -\frac{N_p}{N_{b2}} i_{b1}$$

$$\frac{1}{N_{a2}} i_{a1} = \frac{1}{N_{b2}} i_{b1} \dots\dots\dots(11)$$

식 (10)에서 i_a , i_b 를 변형하면 다음과 같이 된다.

$$i_{a1} = aN_a I_l = aN I_l \dots\dots\dots(12)$$

$$i_{b1} = bN_b I_l = nN I_l \dots\dots\dots(13)$$

$$\text{단, } (N = \frac{N_a}{N_p}, n = \frac{N_b}{N_p}$$

$a, b : (1, 0 -1)$ 의 스위칭 함수 값)

2.3 단상 2중컨버터의 제어방법

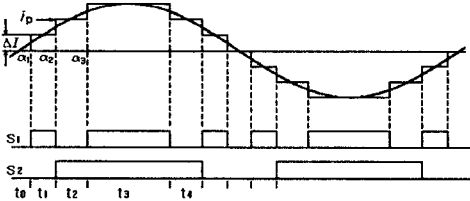


그림 3 단상 이중컨버터의 스위칭 신호와 입력전류

그림 2는 기준 정현파와 컨버터 입력전류, 스위칭 신호를 보여주고 있다. 기준 정현파와 계단 파형의 최대편차가 일정하게 최소 전류 폭의 1/2이 유지 되도록 각 스위칭 시간을 결정한다.

변압기 권선 $N_a : N_b$ 의 비가 1 : 2 이인 $n=2$ 에서는 각각의 변압기 일차 환산전류가 $2i_{a1} = i_{b1}$ 가 되고 그림 3 과 같은 7레벨의 입력전류를 얻을 수 있다. 여기서 얻을 수 있는 입력전류 레벨수를 N_s 라 하면 다음 식과 같이 나타 낼 수 있다.

$$N_s = 2^{(M+1)} - 1 \dots\dots\dots(14)$$

기준 정현파 i_{or} 이라고 하면, 식 (15)과 같다.

$$i_{or}(\omega t) = I_m \sin \omega t \dots\dots\dots(15)$$

다중 조합 컨버터의 계단과 입력전류 i_b 는 다음 식으로 주어진다.

$$i_b(\omega t) = (j-1+1/2)\Delta I \dots\dots\dots(16)$$

$$(j=1, 2, 3)$$

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.

$$I_m = 3 \cdot \Delta I \dots\dots\dots(17)$$

i_b 와 i_{or} 과 같다고 하면, 식 (16), (17)을 정리하여 다음과 같이 나타낸다.

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

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

$$= \frac{(j-1+1/2)\Delta I}{3 \cdot \Delta I} \dots\dots\dots(18)$$

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

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

$$= \sin^{-1} \left[\frac{(j-1/2)}{3} \right] \dots\dots\dots(19)$$

식 19에 의해서 제어각은 각각 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$\alpha_1 = \sin^{-1} \left[\frac{1}{6} \right], \alpha_2 = \sin^{-1} \left[\frac{3}{6} \right], \alpha_3 = \sin^{-1} \left[\frac{5}{6} \right]$$

2.2 단상 4중 컨버터

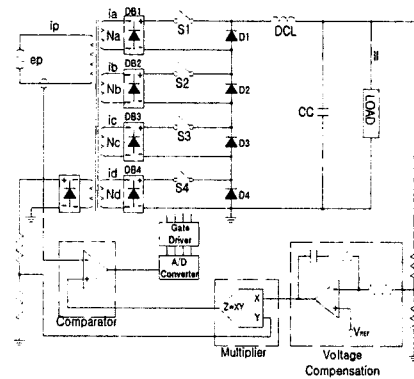


그림 4 단상 4중 컨버터 블록선도

그림 4는 단상 4중 컨버터의 블록선도 이다. 단상 4중 컨버터의 제어각은 다음과 같다.

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

$$= 15 \cdot \Delta I \dots\dots\dots(20)$$

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

$$= \sin^{-1} \left[\frac{(j-1/2)}{15} \right] \dots\dots\dots(21)$$

(단 $0 < j < I_m/\Delta I + 1/2$)

이때, 입력전류는 다음 식과 같다.

$$i_b = (i_a + i_b + i_c + i_d)$$

$$= (a + n^1b + n^2c + n^3d)NI_l \dots\dots\dots(22)$$

$$\text{단, } (N = \frac{N_a}{N_p}, n = \frac{N_m}{N_{m-1}} = 2,$$

$a, b, c, d : (1, 0 -1)$ 의 스위칭 함수 값)

4중 컨버터조합시 얻을 수 있는 입력전류는 아래 식에서 구할 수 있다.

$$N_s = 2^{(M+1)} - 1$$

$$= 2^{(4+1)} - 1 = 32 \dots\dots\dots(22)$$

2.4 단상 4중 컨버터 시뮬레이션

표 1의 회로 정수를 이용하여 4중 컨버터를 PSIM으로 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

표 1 시뮬레이션에 대한 파라미터

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

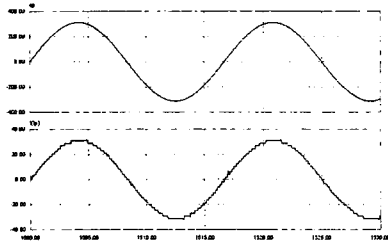


그림 5 입력 전압·전류 시뮬레이션 파형

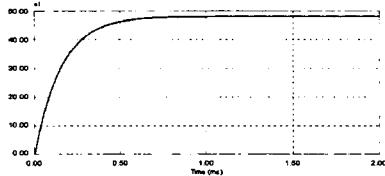


그림 6 출력 전압 시뮬레이션 파형

2.4 단상 4중 컨버터 실험

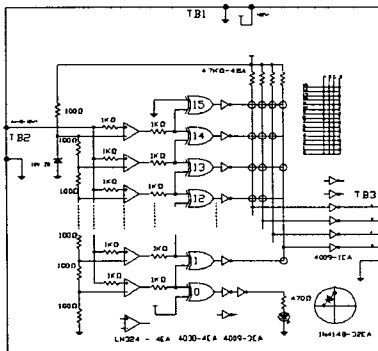


그림 7 A/D 컨버터 회로

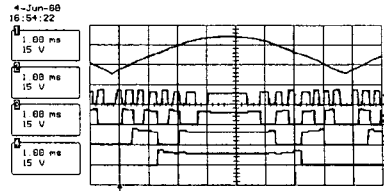


그림 8 A/D 컨버터 출력파형

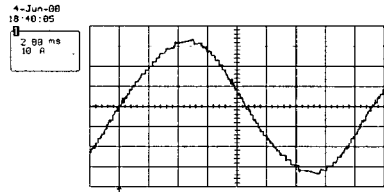


그림 9 4중 컨버터 출력파형

그림 7은 A/D 컨버터 논리회로이다. 그림 12의 4중 컨버터의 4개의 스위치를 구동하기 위하여 2⁴비트의 게이트 구동신호를 만들어 낸다. 입력전압을 감압 전파정류하여 기준전압과 비교하여 게이트 구동신호를 만들어 낸다. 그림 8은 A/D 컨버터 출력파형이고, 그림 9는 4중 컨버터 입력전류 파형이다.

3. 결 론

입력전류를 동위상의 계단파로 제어하는 binary 조합을 이용한 단상 Multi-level PWM AC/DC 컨버터의 제어법에 대해 알아 보았다.

이컨버터는 각각의 단상 컨버터를 직렬접속으로 구성 되어있다. 컨버터 입력전류의 레벨수는 직렬접속한 컨버터 수와 제어방법에 따라 달라지게 된다.

제안하는 제어방법은 입력전압과 비교하여 2^m비트의 이진화 신호로 m개의 스위칭 소자를 제어하여, $N_s = 2^{(M+1)} - 1$ 레벨의 동위상의 계단파 입력전류의 멀티 레벨을 실현하고, 조합하는 컨버터수가 늘어나도 제어회로를 간단히 구성할 수 있는 큰 장점이 있다.

본 연구는 2000(제8차)년도 산·학·연 공동기술개발 경남지역권 소사업 사업에 의한 것임.

(참 고 문 헌)

1. 김희준 : "공진형 컨버터의 기술현황 및 향후과제", 한국통신회 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 : "單相降壓チョップパを多重化した三相高力率コンバータの過渡調特性", 電氣學會研究會資料, SPC-97-37, 1997
4. 松本 昇, 木村 紀之, 森實 俊充, 谷口 勝則 : "二重化マルチ레벨變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
5. 안일매, 이현우 외 "단상 Multi Level AC-DC 컨버터", 전력전자학회 발표논문집, pp.354-357, 1999.7.21-24
6. 박성우, 이현우 외 : "대용량을 위한 멀티레벨 컨버터의 최적설계", 대한전기학회 부산 경남 울산 합동발표회 논문집, pp.120-124, 1999.12.4.