

입력 변압기 없는 3상 멀티-펄스 컨버터의 고조파 저감

Harmonic Reduction of Three Phase Multi-Pulse Converter Circuit without Input Transformer

박현철*, 김영민, 황종선, 김종만

(HyunChul Park*, YeongMin Kim, JongSun Hwang, JongMan Kim)

Abstract

In this paper, a new method for reducing harmonic in input AC line currents of converter presents, which is the multi-pulse converter circuit without the input transformer. This system can reduce the harmonic like conventional 12-pulse converter. Both the bridge circuits are controlled with the shifted firing angle and connected 2 tap inter-phase reactor. Using 2 tap changing on inter-phase reactor, the input current is controlled with the different two values in order to make the input current waveform 12 pulses.

Key Word : reducing harmonic, multi-pulse, 12-pulse converter, inter-phase reactor

1.장 서론

고전압 대전력 반도체 스위칭 소자기술 발달과 더불어 전력전자기술의 비약적 발전으로 산업 현장 전반에 제어성, 경제성이 우수한 정지형 전력 변환 장치의 수요가 날로 증가하고 있다. 그러나 이러한 정지형 전력 변환 장치는 반도체 소자의 스위칭 동작에 의해 많은 고조파 문제가 발생하여 전력계통 및 부하측에 심각한 영향을 미친다.^[1,2]

최근에 고조파 장해를 억제 또는 저감하기 위한 방법으로는 필터를 사용하는 방법, PWM 제어법 및 입력 전류의 멀티-펄스화하는 방법에 대한 연구가 진행되고 있다. 기존의 2중 접속 12 스텝 컨버터에서는 고조파 발생 문제를 저감하기 위해 1차측에 Δ , 2차측에 Δ -Y로 결선된 입력 변압기를 사용하고, 상간리액터의 탭 변환 장치의 추가로 입력 전류의 스텝수를 증가시키는 멀티-펄스화 방법이 중점

적으로 고찰되었다. 그러나 이는 부하 용량의 증대에 따라 입력 변압기의 용량 또한 증대되어야 하므로 시스템이 대형화되고 가격 역시 고가가 되어 전체 시스템이 경제적이지 못한 단점이 있었다. 그러므로 본 논문에서는 기존의 2중 접속 12 스텝 컨버터가 가지고 있는 이러한 단점들을 개선하기 위해서 입력 변압기가 없는 2탭 절환방식을 이용하여 상간리액터 전류를 제어함으로써 입력 전류를 효과적으로 멀티-펄스화시킬 수 있는 고조파 저감법에 대해 고찰하고, 이 방법을 기존의 입력 변압기를 사용한 2중 접속 12 스텝 컨버터 시스템과 비교하여 거의 동등한 고조파 저감 효과를 갖는 시스템을 제안한다.

제안된 시스템은 각각의 다이리스터 브리지 컨버터에 일정한 위상차를 가지고 제어하고, 이것을 다시 2탭 절환 사이리스터에 의해 직류 전류를 다른 두 값으로 제어하여 입력 변압기 없이도 입력 전류의 스텝수를 12 스텝으로 멀티-펄스화시킬 수 있었다. 본 시스템의 장점은 먼저 고조파 저감 효과는 기존 시스템과 거의 동등하면서도 가격 상승의 주원인인 입력변압기를 생략할 수 있다는 점과 시스템의 규모가 소형화된다는 점이다.

* 정인대학 정보통신계열

(전북 정주시 시기동 정인대학

Fax: 063-532-3768

E-mail :uvh2200@mail.chongin.ac.kr)

2. 장 본 론

2.1. 시스템 구성

그림1은 제안된 12 스텝 듀얼 다이리스터 콘버터를 나타내고 있다. M_1, M_2 는 A-B, C-D, A-D 와 C-B 간의 평균 전압을 모두 같은 값으로 하여 i_1, i_2 와 i_1', i_2' 를 평형화하기 위한 상간리액터를 구성한다. 여기에 상간리액터 권수비는 $N=1:1:1$ 로하며, Th_1, Th_2 의 2탭을 제어하여 입력전류 파형을 개선한다. 또 L은 직류 전류를 평활화하기 위한 리액터이다. 입력 변압기 없이 입력 전류의 고조파를 저감하기 위해서 그림2에서 브리지 1의 지연각은 α , 브리지 2의 지연각은 $\alpha + \theta$ 되고, θ 는 변압기 결선에서 Δ -Y의 권수비가 $1:\sqrt{3}$ 이므로 θ 는 30° 로 결정하였으며, 브리지1과 브리지2의 위상차가 30° 발생해서 입력전류 파형은 6스텝이 된다. 또한 상간리액터에 Th_1, Th_2 는 30° 씩 위상차를 가지고 ON, OFF 동작하고, 전류(commutation)시에 발생하는 에너지 손실은 L의 누설리액터스에 의한 것이므로 매우 작은 값이 된다.

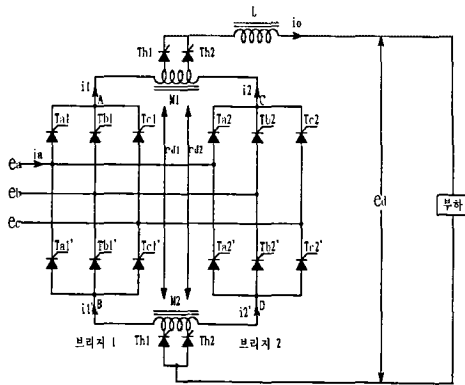


그림 1. 3상 입력 변압기가 없는 12펄스 콘버터
Fig.1 The multi-Pulse Rectifier Circuit without 3-Phase Input Transformer

2.2. 전류제어 특성

12펄스 파형에 대한 푸리에 급수에 의해 계산된 입력전류 파형에서의 각 고조파 크기는 식 (1)과 같다.

$$a_n = \frac{4}{\pi} \left[\int_{\alpha}^{\alpha + \pi/6} (I + \Delta I) \cdot \sin n\omega t \cdot d\omega t \right. \\ \left. + \int_{\alpha + \pi/6}^{\alpha + \pi/3} 2I \cdot \sin n\omega t \cdot d\omega t \right. \\ \left. + \int_{\alpha + \pi/3}^{\alpha + 5\pi/12} 2 \cdot (I + \Delta I) \cdot \sin n\omega t \cdot d\omega t \right] \quad (1)$$

이때 출력 전류는 다이리스터 Th_1, Th_2 의 교번 동작에 의해 $I, I + \Delta I$ 의 두 값으로 제어되고, 전류 제어율(link current control factor) $\Delta I/I$ 는 식 (1)에서 $a_n = 0$ 라 할 때 식(2)를 구할 수 있다.

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{\cos(n\pi/4) + \cos(n\pi/12)}{\cos(n\pi/4) - \cos(n\pi/12) - 2\cos(5n\pi/12)} \quad (2)$$

그림2는 각 고조파 차수에 대한 $\Delta I/I$ 의 변화 값을 나타낸 것으로 $\Delta I/I=0.155$ 일 때 가장 넓은 범위의 고조파를 제거할 수 있음을 보인다. 이때 완전히 제거되는 고조파 차수는 5, 7, 17, 19...이다. 결과적으로 $\Delta I/I$ 은 저차 고조파가 가장 많이 제거될 때 얻어진다.

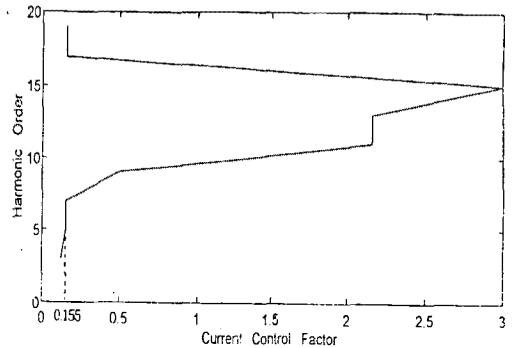


그림 2. $\Delta I/I$ 의 변화에 따른 고조파 저감특성
Fig.2 The harmonics reduction characteristic varying with $\Delta I/I$

2.3. 출력전압 특성

각 브리지의 출력전압 및 출력전류는 상간리액터 권수비 $N=1:1:1$ 이므로 그 값은 식 (3), (4)와 같이 된다. Th_1 ON하고 Th_2 ON하면 각각

$$e_{Th1} = (2e_{d1} + e_{d2})/3 \quad I_d = 2i_{d1} + i_{d2} \quad (3)$$

$$e_{Th2} = (e_{d1} + 2e_{d2})/3 \quad I_d = i_{d1} + 2i_{d2} \quad (4)$$

브리지 1, 2에 Th_1, Th_2 의 ON, OFF시 출력 전압을 계산하면 식(5)와 같이된다..

$$e_d = \frac{3Em}{4\pi} [(2 + \sqrt{3}) \times \cos \alpha - \sin \alpha] \quad (5)$$

여기서 Em 은 선간 전압의 피크치이고, α 는 점호각이다. 그림3는 점호각 α 의 변화에 따른 직류 출력 전압의 특성을 나타낸다. $\alpha = 75^\circ$ 를 기준으

로 순변환과 역변환 동작이 행해진다. 이 때 본 정류 회로에서 입력측 선간전압(E_m)에 대한 직류 링 크전압(E_d)비의 최대치와 최소치는 각각 ± 0.891 이다.

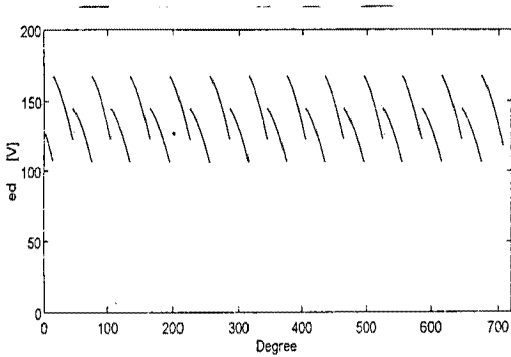


그림 3. 직류 출력전압 특성
Fig.3 DC output voltage characteristics

3.장 시뮬레이션 및 실험

본 논문에서 제시한 3상 입력 변압기가 없는 멀티스텝 정류 회로는 입력 전류를 12 스텝으로 멀티-펄스화하여 고조파를 저감하는 방법이다. 실험에 사용된 실험 상수는 $E = 200[V]$, $L = 3.5[mH]$, $M = 25[mH]$, $k=0.95$ 이다. 그림4는 중앙 상간리액터 탭 절환 방식으로 제어되는 본 시스템의 출력전압 파형을 나타낸다.

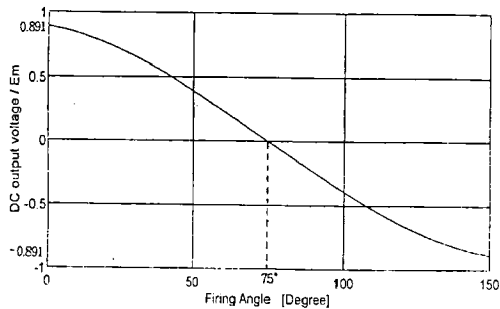
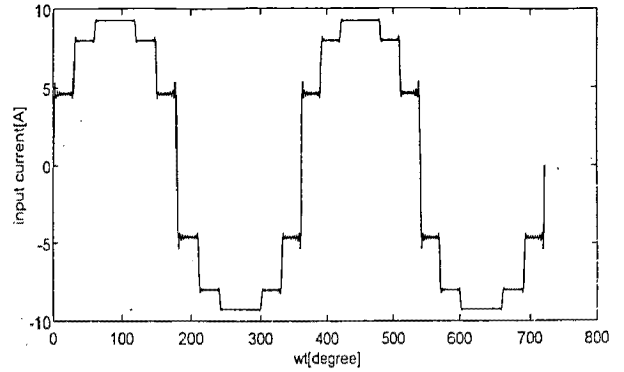
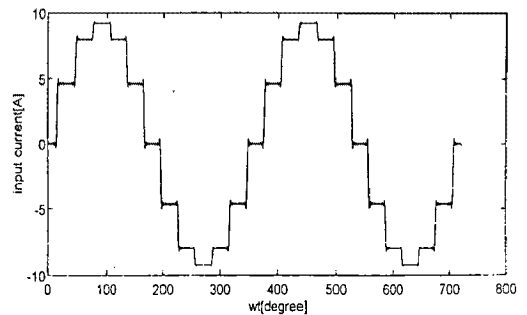


그림 4. 출력전압 파형
Fig.4 The output voltage waveform

그림5 (a), (b)는 기존 방식의 입력 전류 파형과 제안된 방식의 12 스텝 입력전류 파형을 비교하여 나타내고 있다.

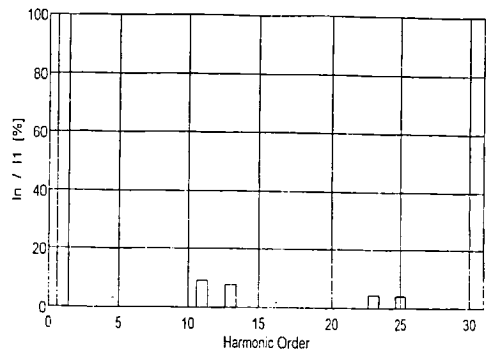


(a) 기존 방식의 입력전류 파형

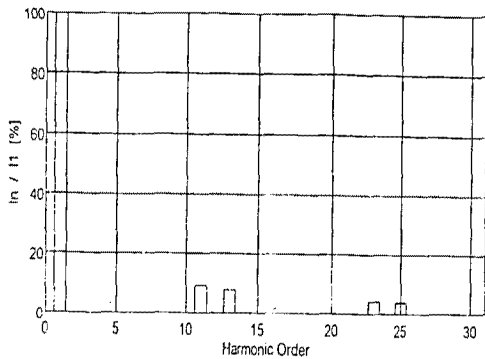


(b) 제안된 방식의 12 스텝 입력 전류 파형

그림 5. 12 스텝 입력 전류 파형 비교
Fig.5 Comparison of the 12 pulses input current waveform



(a) 기존 방식의 고조파 스펙트럼



(b) 제안된 방식의 고조파 스펙트럼

그림 6. 고조파 스펙트럼의 비교

Fig.6 Comparison of the harmonic spectrums

그림 6 (a), (b)에서는 기존 방식과 제안된 방식의 고조파 차수에 대한 고조파 함유율을 스펙트럼을 통해 비교하고 있다.

표 1. 고조파 함유율의 비교

(Tab.1 Comparison of the harmonic factor)

고조파차수	고조파 함유율 (%)	
	기존방식	제안 방식
3		0.0097
5		0.0069
7		
9		
11	9.0909	9.0909
13	7.6923	7.6923
15		
17		0.0028
19		0.0025
21		
23	4.3478	4.3478
25	4.0000	4.0000
27		
29		0.0017
31		0.0016
THD	13.2935	13.2935

4.장 결 론

본 논문에서는 듀얼 콘버터를 소형화하기 위해 입력측에 변압기를 제거하였고, 전원 전류의 고조파 저감 효과를 극대화하기 위하여 최적의 제어각과 권수비를 설정하여 시스템을 구성하였다.

입력측 변압기를 제거하여 시스템의 소형, 경량화 및 설치 공간이 감소하였고, 제품 비용을 저감할 수 있어 경제성이 우수하다. 또한, 변압기가 제거되어 변압기 손실을 줄일 수 있으며 기존 입력 변압기를 가진 12 스텝 콘버터와 거의 동등한 고조파 저감 효과를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

1. R. P. Stratford, "Rectifier Harmonics in Power Systems ", IEEE Trans . Ind. Appl. vol.IA-16, no. 2, Mar. /April, 1980.
2. D. D. Shipp, "harmonic Analysis and Suppression for Electrical Systems Supplying Static Power Converters and Other Nonlinear Loads ", IEEE Trans. Ind. Appl. vol. IA-15, no.5, Sept./Oct. 1979.
3. R.P. Statford, "Analysis and Control of Harmonic Current in Systems with Static Power Converters", IEEE Trans. Ind. Appl. vol.Ia-17, no. 1, Jan. Feb., 1981
4. H. Nakano, I. Takahashi "A Novel Type of Thyristor Converter with Interphase Reactor" Pesc '88 record mc-6(1988)