

3상 컨버터의 Passive Filter와 Notch에 의한 저고조파 저감

홍성태* 배영호* 김은수** 임근희**
이현우*** 권순걸*** 서기영***

영진전문대학* 경북산업대학교* 한국전기연구소** 경남대학교***

Harmonic reductions of three-phase phase-controlled converter

S. T. HONG* Y. H. BAE* E. S. KIM** G. H. RIM**
H. W. LEE*** S. K. KWON*** K. Y. SUH***

*Yeungjin Junior college *Kyungpook Sanup Univ
KERI *Kyungnam univ

ABSTRACT

Line-current harmonics resulting from AC to DC power conversion interfere with power system operation and reduce power factor, hence resulting in increasing power source unnecessarily.

This paper investigates the harmonic reduction methods of a three-phase phase-controlled converter on AC and DC sides using passive filters and notches.

1. 서론

3상 교류 전원에서 직류 전원을 얻고자 할 때는 diode 정류기를 이용하여 손쉽게 얻을 수 있지만, DC 전원측에 가변 전압이 요구되는 통상용 전원장치나 풍력발전, 태양광발전, energy recovery 기능을 가지는 DC motor control, 가변주파수 전원의 상용주파수 전원 interface[1] 또는 유도가열 장치 등의 속도제어 등에는 thyristor를 이용하여 triggering angle을 제어하는 기법이 널리 사용되고 있다. 그러나 6 pulse converter를 사용하면 그 비선형 동작에 의해 5, 7차 및 11, 13차 등의 전류 harmonic을 낳게 되고 직류측에도 6의 정수배 고조파의 전압 ripple이 생긴다. 따라서 battery energy storage system 등 중·대용량의 경우에는 다상 bridge converter wave shaping을 시도 하기도 한다.[2]

본 연구에서는 6펄스 converter의 저 고조파 대책에 대해 살펴 보고 지상, 진상 전류제어가 가능한 converter topology를 사용한 wave shaping과 그 영향등에 대해 살펴 보고자 한다.

2. 저고조파 저감

2.1 Diode 정류기와 passive filter

Diode 정류기는 일반적으로 3상 교류전원, diode bridge 및 LC 필터로 구성되며 각 diode는 120°의 도통기간을 가지며 한번에 2개의 diode를 통해 전류가 흐른다. 이러한 diode 정류기는 직류측의 capacitor의 영향 때문에 짧은 기간의 peak 형태의 전류를 교류측에 흘리게 되어 rms 전류값이 커져 전체 효율이 낮아지고 전원측 전압 파형의 distortion을 가져 오기도 한다. 이를 개선 하기 위해서는 큰 인덕턴스를 필요로 하여 cost나 부피 증가 등의 문제점이 야기 된다. 한편 이에 대한 개선책으로서 교류측에 그림1과 같이 6고조파에서 Pole을 가지는 LC-passive filter를 삽입하여 교류측의 최저 고조파인 5, 7차 고조파를 제거하여

입력파형과 효율개선을 시도 하기도 한다.[3]

이러한 diode-bridge rectifier는 displacement factor가 거의 1이 되고 간편 견고 하다는 장점도 있으나 출력 전압에 가변성이 요구되는 경우에는 사용할 수 없다.

2.2 6-Pulse phase-controlled converter

3상 교류 전원에서 직류 전원을 얻고자 할 때는 diode 정류기를 이용하여 쉽게 얻을 수 있지만, DC 전원측에 가변 전압이 요구될 때는 대부분 thyristor를 사용한 triggering angle을 제어하는 기법이 널리 사용되고 있다. 그러나 이 방법에서는 교류측에 기본파의 5, 7차 및 11, 13차 등의 고조파 전류성분을 발생하게 되고 또 기본파 및 고조파에 의한 reactive power 문제가 뒤따른다. 특히 thyristor를 사용하여 DC 출력측에 가변 전압을 얻고자 할 때는 triggering angle을 증가 시키는데 이 때문에 기본파 전류 위상이 항상 전압에 비해 뒤지게 되어 교류 전원측에서 볼때 유도성 부하로 작용하게 되어 필요 이상으로 reactive power를 공급해야 하는 문제점을 야기 시킨다. 반도체의 특성이나 제어의 용이성 때문에 가장 일반적인 가변 정류장치로 쓰이고 있다. 또 출력측에는 6의 정수배 고조파를 갖는 직류 전압이 발생 하기도 하는데 특히 낮은 직류 전압을 얻기 위해 triggering angle을 증가 시키면 이러한 부정적인 특성들이 입·출력 측

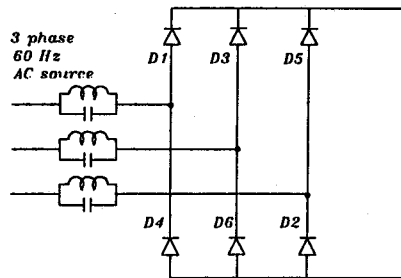


Fig. 1. Diode bridge with a tuned passive filter

에서 모두 증가된다. 기본파에 의한 무효전력과 출력전압의 고조파 성분은 $\sin\alpha$ (여기서 α 는 triggering angle)에 비례하여 증가한다.

2.3 진상 및 지상 역률 조정이 가능한 Topology

본 연구에서 사용되는 converter topology는 그림2와 같으며, 이러한 converter topology는 leading/lagging power

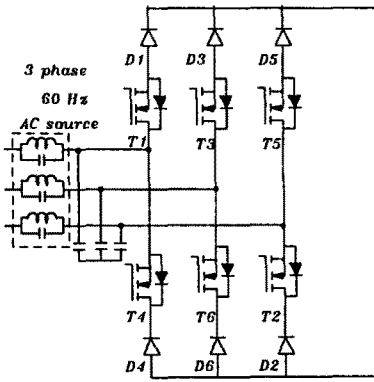


Fig. 2. The converter topology used in the study

factor 제어가 가능하고 또한 notch를 쉽게 실현 시킬 수 있는 topology이다. 한편 상전압에 대한 기본파 상전류의 위상차를 도시하면 그림3, 그림4와 같이 되는데 triggering angle에 따라 기본파 전류가 지상 또는 진상이 된다.

그림3은 $\alpha = -30^\circ$ 로 제어될 경우로서 이때는 leading power factor제어가 이루어지며, 그림4는 $\alpha = 30^\circ$ 로서 이 때는 lagging power factor제어가 가능하여 진다.

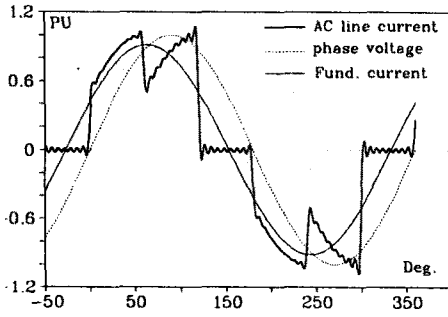


Fig. 3. Input AC line-current for $\alpha = -30^\circ$

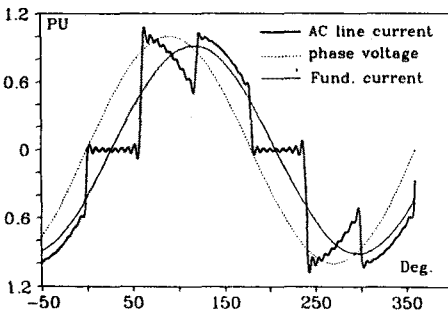


Fig. 4. Input AC line-current for $\alpha = 30^\circ$

이상적인 회로조건에서 교류전원측에 발생하는 기본파, 5차, 7차, 11차, 13차의 전류성분을 triggering angle의 함수로 나타내면 그림5와 같다. 즉 triggering angle의 변화량에 따라 기본파의 크기는 0° 를 중심으로 대칭적으로 변화함을 알 수 있다. 그리고 5차, 7차, 11차, 13차등의 고조파는 triggering angle의 변화에도 불구하고 고조파 성분의 크기는 불변하는현상을 보인다.

따라서 6-pulse phase-controlled converter의 triggering angle에 따른 입력파형의 변화는 harmonic 성분의 크기 변화

에 의한것이 아니라 기본파 성분의 크기 변화와 각 고조파 성분의 상대적 위상차에 의한 것임을 알 수 있다.

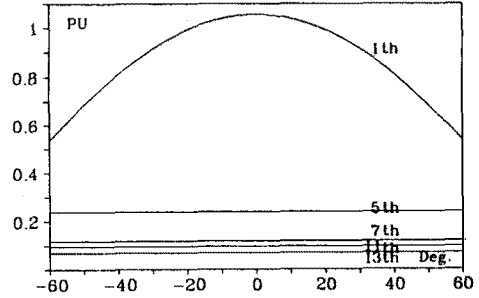


Fig. 5. Harmonic magnitudes vs. triggering angle

2.3.1 Notch에 의한 출력 전압 파형 개선

본 topology 특성은 thyristor를 이용한 경우와는 달리 converter의 on, off 동작이 임의의 점에서 가능한 장점이 있다. 따라서 notch를 이용해 입력 전류파형이나 출력 파형에 나타나는 임의의 harmonic 제거가 가능하게 되어 파형 개선이 가능하게 된다. [4]

그림6과 7은 각각 triggering angle이 -30° 인 조건에서 DC출력측의 6고조파를 삽입 제거한 후의 직류 측 전압 파형과 입력측 전류 파형을 도시한 것이며 이에 대한 harmonic spectrum 변화를 그림8, 9에서 보여 준다.

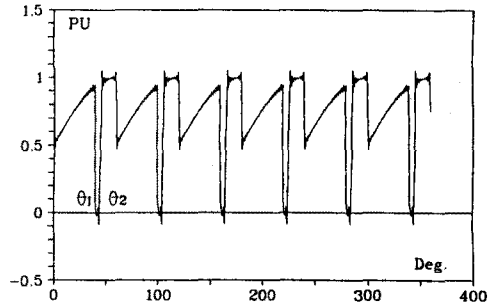


Fig. 6. DC voltage waveform with notches

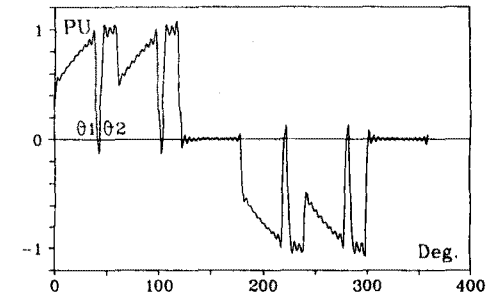


Fig. 7. AC line current with notches

2.3.2 Passive filter를 이용한 입력 전류 파형 개선

그림5에서 보여 주는 바와 같이 입력측의 5.7차 및 11.13차 고조파 성분은 triggering angle의 변화에 무관하게 그 크기가 일정하므로 triggering angle의 증가에 따른 상대적 영향은 커질 수 밖에 없다. 이에 대한 개선책으로서 크기와

부정적 영향이 큰 5,7차 고조파를 diode bridge의 경우에서와 같이 6고조파로 tuning한 passive filter를 삽입하여 5,7차 고조파의 감쇄를 통해 파형 개선을 시도 하였다.

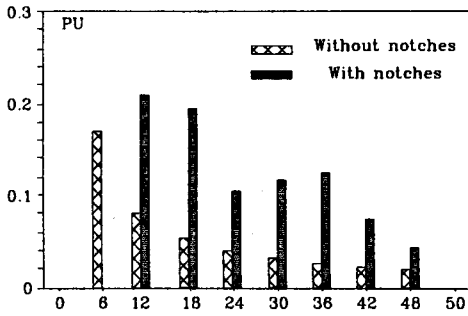


Fig. 8. Harmonic spectrum for DC voltage

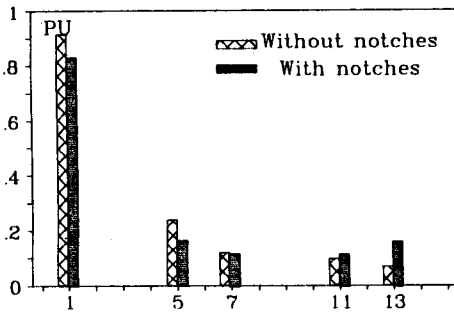
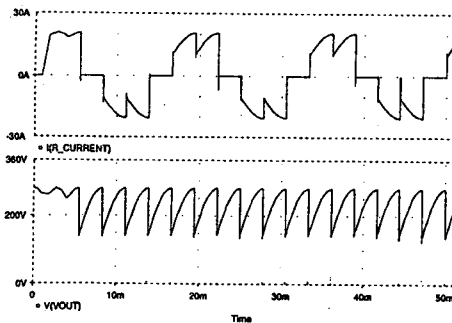


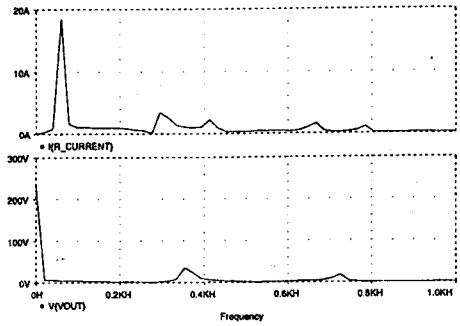
Fig. 9. Harmonic spectrum for AC line current

그림10은 $\alpha = -30^\circ$ 의 조건에 대한 입·출력 파형과 그 harmonic spectrum을 R 부하에 대해 Pspice를 이용 simulation 한 결과 이며, 그림11은 그림10의 조건에서 input측에 6고조파로 tuning한 passive filter를 삽입한 결과로서, 순수 저항 부하에 대해서는 filter의 영향을 받아 입·출력 파형에서 보여 주듯 불연속 mode가 되어 파형의 변형이 심하며 그 결과 파형에 대한 harmonic spectrum도 입력의 5,7 고조파나 출력의 6고조파가 증가 하게 된다. 그러나 R-L 부하를 사용하여 그림12의 입,출력 파형에서 보는바와 같이 연속 mode를 유지토록 해주면 그림10의 결과 보다도 개선된 파형과 spectrum의 결과를 얻을 수 있다.

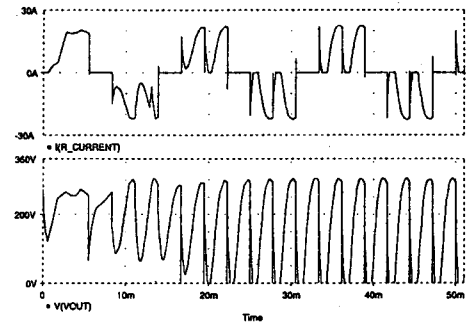
즉, 입력 측에 resonant tank 형태의 passive filter를 사용 파형개선을 시도 할때는 출력측에 인덕턴스를 삽입하여 연속 mode 회로조건을 만족 시켜야 소기의 목적을 달성 할 수 있다.



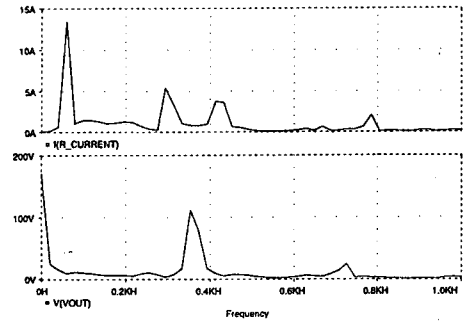
(a) Wave forms of input current and output voltage



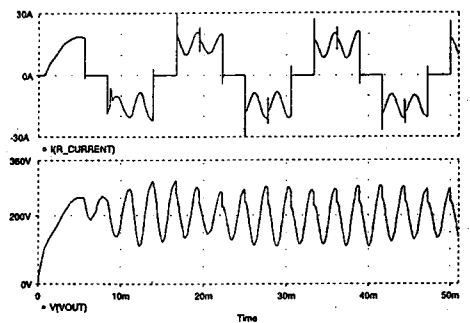
(b) Harmonic spectrum for(a)
Fig. 10. Pspice simulation results for $\alpha = -30^\circ$ (R load)



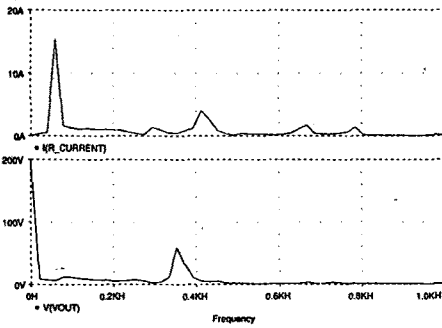
(a) Wave forms of input current and output voltage



(b) Harmonic spectrum for(a)
Fig. 11. Pspice simulation results for $\alpha = -30^\circ$ (R load) with a passive filter in the AC input side



(a) Wave forms of input current and output voltage



(b) Harmonic spectrum for(a)

Fig. 12. Pspice simulation results for $\alpha = -30^\circ$ (R-L load) with a passive filter in the AC input side

3. 결론

본 논문에서는 3상 가변 DC 컨버터에 있어서 leading/lagging power factor 제어가 가능한 converter topology를 diode bridge 및 thyristor형 converter와 비교 분석 하였으며, DC 출력전압 파형을 개선하기 위하여 notch를 삽입한 결과 6고조파가 깨끗이 제거되어 DC측 출력전압 파형이 개선되었으며, DC 출력측의 notch로 인하여 AC측 입력전류 파형의 5, 7차 저주파 harmonics도 개선되었다. AC 교류 입력전류 파형개선을 위하여 AC 입력측에 passive filter를 삽입시켜 6 고조파에 tuning한 결과 저고조파의 크기가 연속 전류 mode에서만 파형개선의 효과가 있음을 알 수 있었다.

α 변화에 따른 연속, 불연속 mode의 경계조건 연구 및 notch 삽입과 resonant filter의 병행 사용시 그 영향등에 관해 실험등이 향후 연구 분야로 남아있다.

참고 문헌

1. R. KRISHNAN, AND GEUN-HIE RIM, " Modeling, Simulation, and Analysis of Variable-Speed Constant Frequency Power Conversion Scheme with a Permanent Magnet BLDC Generator " IEEE Transactions ON Industrial electronics, Vol. 37, NO.4, AUGUST 1990. pp.291-296.
2. R. E. Owen, M. F. McGranaghan, J. R. Vivirito, "Distribution system harmonics: controls for large power converters," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-101, No. 3 March 1982. pp.644-652.
3. A.R Prasad, P.D. Ziogas and S.Manias, " A Passive input current waveshaping method for three-phase diode rectifiers."Conf. Rec. 1991 IEEE IECON. pp.319-330.
4. 홍성태, 임근희, 권순걸, " 3상 컨버터의 NOTCH법에 의한 저고조파 제거에 관한 연구", 대한전기학회 전력전자 춘계 학술 대회 논문집, 1993. pp.55-58.