

능동필터를 이용한 저에너지 축적 단상 고역률 정류기

윤인근^o 이광원
아주대학교 제어계측공학과

A Single-phase High Power Factor Rectifier
With Low Energy Storage Using Active Filter

In-Geun Yun^o Kwang-Won Lee
Dept. of Control & Instrumentation Engineering, Ajou University

Abstract

In this paper, a single-phase high power factor rectifier with low-energy requirements for filtering elements is proposed. By switching control, the current containing the 3rd-harmonic component is to flow into the rectifier. Properly selecting the amplitude of the 3rd-harmonic component, it is possible to reduce the stored energy in the rectifier. Boost converter is used for power-factor control while active filter absorbs the 3rd-harmonic component. Simulation results are presented to show low stored energy of the proposed rectifier.

1. 서론

전통적으로 AC-DC 변환에 다이오드 정류기나 위상제어 정류기를 사용해 왔다. 그러나 이러한 정류기들은 입력전류의 비정현성, 협소한 전류 도통각에 의한 높은 입력 전류, 낮은 입력역률, 그리고 이에 따른 큰 용량의 L, C가 필요하다는 등의 문제가 있다[1-2]. 이러한 문제들을 해결하기 위하여 공진형 컨버터, 초퍼, 능동필터 등을 응용한 다양한 역률제어 방법들이 논의되고 있다[3-7].

AC-DC컨버터는 스위치 제어를 통해 에너지를 컨버터 내의 필터소자에 축적하며, 필요시 방전함으로써 교류전력을 직류전력으로 바꾸어 준다. 따라서 에너지 축적 소자의 사용이 필연적이며 고용량일수록 큰 것을 필요로한다[8].

본 논문에서는 정류기가 부담하는 에너지 축적량을 줄일 수 있는 방법을 제안한다. 역률제어를 통해 정류기에 전원전압과 동상인 정현파 전류와 제3고조파 전류를 흐르게 할 수 있으며, 제3고조파의 진폭을 적절히 선택함으로써 정류기 내의 에너지 축적량을 줄일 수 있음을 보인다. 역률제어를 위해 Boost컨버터를 사용하며, 제3고조파 전류를 흡수하기 위해 능동필터를 이용한 다.

시뮬레이션을 통해, 정류기의 저에너지 축적에 의한 동작, 능동필터의 제3고조파 흡수 그리고 FFT프로그램에 의한 고역률 동작을 확인한다.

2. 저에너지 축적 원리

정류기의 구조 및 각 부분의 파형은 그림1과 같다. 기본파 성분과 제3고조파 성분의 곱의 평균은 영이므로, 컨버터 전류에 제3고조파 성분을 포함시킨다해도 평균 출력전력에는 영향을 주지 않는다. 능동필터는 컨버터 전류에 포함된 제3고조파 성

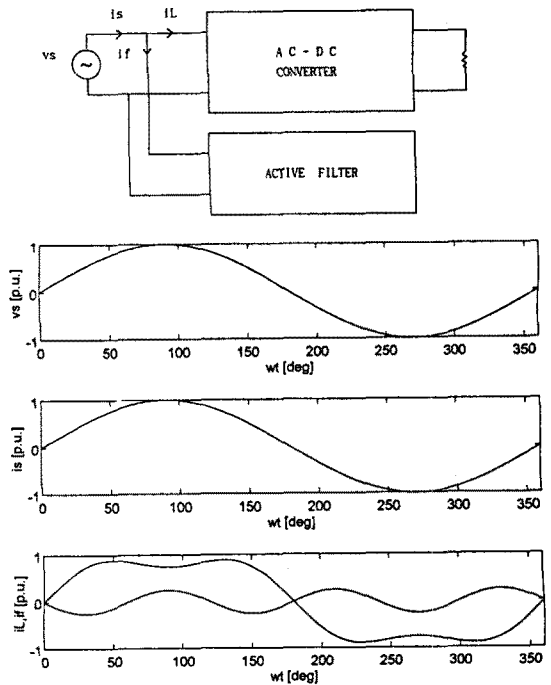


그림1. 정류기의 구조 및 각 부분의 파형

분을 흡수하기 위해 사용된다. 이렇게 함으로써, 전원전류의 파형은 정현파가 되며 전원전압과 동상이 된다.

결국, 제3고조파 성분의 진폭을 바꾸면 정류기에 축적되는 에너지를 줄일 수 있으며, 이것을 적절히 선택하면 저장되는 에너지를 최소화할 수 있게된다.

제3고조파 성분의 진폭은 정류기에 축적되는 에너지를 최소화하기 위한 값으로 결정한다.

이상적인 스위치를 가정하면, 능동필터에 의해 소비되는 평균전력

$$\overline{v_s i_f} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_s i_f d\omega t = 0 \quad (1)$$

부하에서 소비되는 평균전력

$$P = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_s i_L d\omega t = \frac{VI}{2} \quad (2)$$

전원으로부터의 공급전력

$$\overline{v_s i_s} = \overline{v_s i_L} = \frac{VI}{2} \quad (3)$$

필터소자에 축적되는 에너지는 AC-DC컨버터 및 능동필터에서의 순시전력과 관계가 있으므로, 이 값의 제곱에 평균을 취한 식을 이용한다.

$$\begin{aligned} & \overline{(v_s i_L - p)^2} + \overline{(v_s i_L)^2} \\ &= \frac{V^2}{8} (I^2 - 2II_f + 4I_f^2) \\ &= \frac{(VI)^2}{8} \left[1 - 2\left(\frac{I_f}{I}\right) + 4\left(\frac{I_f}{I}\right)^2 \right] \end{aligned} \quad (4)$$

따라서, 에너지 축적을 최소화하기 위한 전원전류와 제3고조파 성분의 비 및 이 때의 값은 다음과 같다.

$$S \equiv \overline{(v_s i_L - p)^2} + \overline{(v_s i_L)^2} \quad (5)$$

$$S_{\min} = \frac{3}{4} \times \frac{(VI)^2}{8}, \text{ where } \frac{I_f}{I} = \frac{1}{4} \quad (6)$$

제3고조파 성분을 포함시키지 않았을 경우

$$S_{(I_f=0)} = \frac{(VI)^2}{8} \quad (7)$$

제3고조파 성분예 의한 정류기내의 에너지 변화를 그림2에 나타냈다.

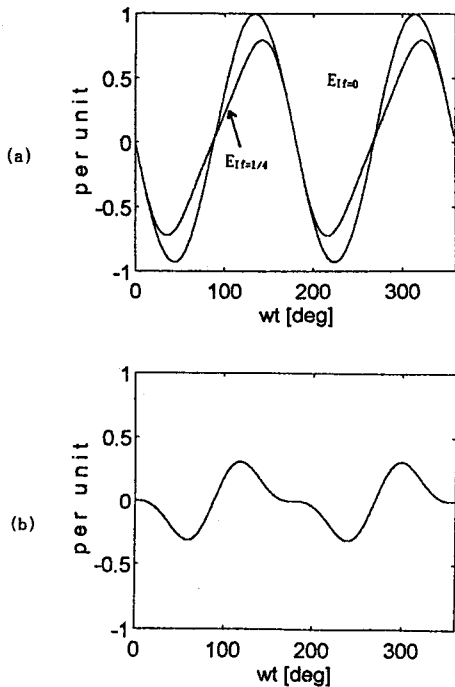


그림2. (a) $I_f/I = 0$ 일때와 $1/4$ 일때의 파형($E_{I_f=0}$, $E_{I_f=1/4}$)
(b) 능동필터내의 에너지 변화 파형 ($I_f/I = 1/4$)

결국, 컨버터 전류에 제3고조파 성분을 포함시킴으로 정류기 내의 축적 에너지를 줄일 수 있으며, 이 값은 제3고조파 성분의 진폭이 전원전류의 1/4이 될 때 최소화된다는 것을 알 수 있다.

3. 정류기 구조

정류기의 주회로는 그림3과 같다.

역률제어를 위해 Boost컨버터를 사용했으며 인덕터에 흐르는 전류의 평균을 제어함으로써 출력을 가변시킬 수 있다. 능동필터는 전류주입형 인버터와 정전류원으로 구성되어 컨버터와 병렬로 연결되어 제3고조파 성분의 전류를 흡수한다. 저역통과 필터는 능동필터의 스위칭 전류를 필터링한다.

Boost컨버터는 스위치가 한 개이므로 제어가 비교적 간단하다. 히스테리시스 전류제어를 통해 제3고조파 성분을 포함한 전류가 인덕터를 연속적으로 흐르도록 전류궤환을 했으며 출력DC전압의 리플을 줄이기 위해 전압궤환을 시작했다. 궤환된 전압은 기준전압과 비교되어, PI제어를 통해 히스테리시스 전류제어의 진폭을 제어함으로써 인덕터 전류의 평균값을 조절하게 된다.

전체적인 제어기의 블록도는 그림4와 같다.

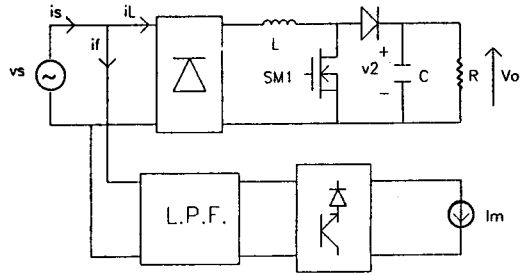


그림3. 정류기 주회로도

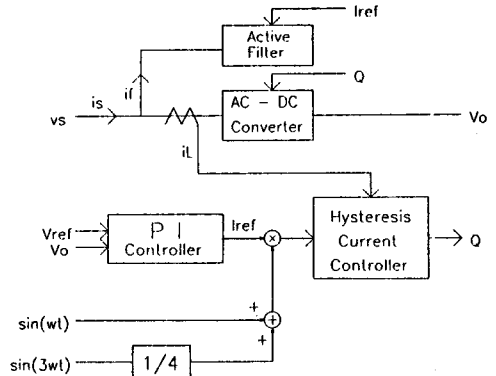


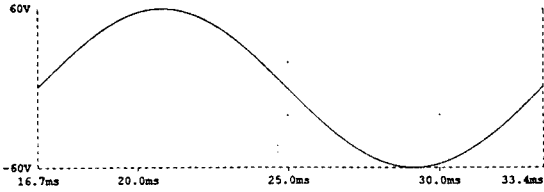
그림4. 제어기 구조

4. 시뮬레이션

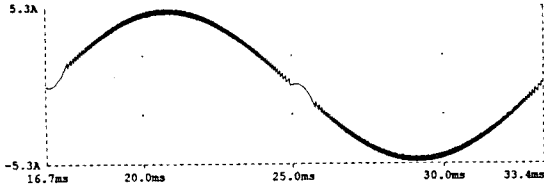
시뮬레이션 결과 그림5(a)~(h) 파형을 얻었다.

회로정수 : $L=2.2mH$ $C=800\mu F$ $R=76\Omega$

AC-DC컨버터 입력전류에 제3고조파 성분이 포함되어 있으며 이 성분은 능동필터에 의해 흡수되었다. 그림5(f),(g)를 통해서, 정류기의 순시전력 진폭이 제3고조파 성분예 의해 줄었음을 확인할 수 있었으며, 입력전류 파형의 FFT분석 결과 고역률 동작을 확인할 수 있었다.



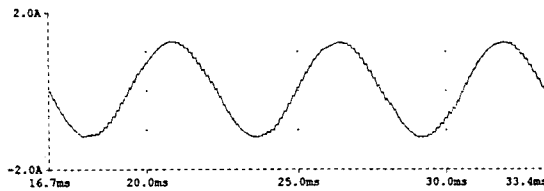
(a) 전원전압(v_s)



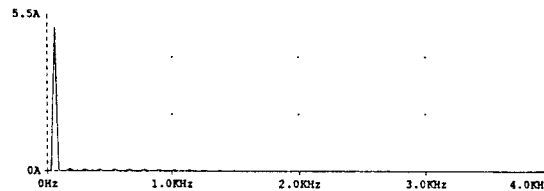
(b) 입력전류(i_s)



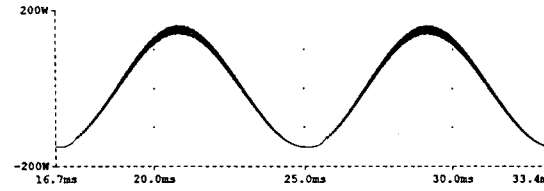
(c) 정류기 입력전류(i_L)



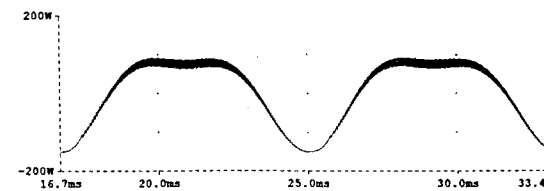
(d) 능동필터전류(i_r)



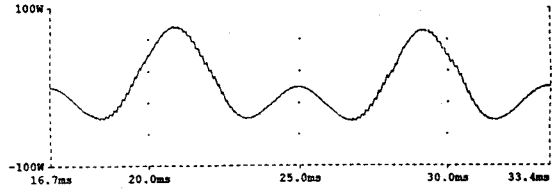
(e) FFT 파형(i_r)



(f) 정류기의 순시전력($i_r/1=0$ 일때)



(g) 정류기의 순시전력($i_r/1=1/4$ 일때)



(h) 능동필터의 순시전력($v_s i_r$)

그림5. 시뮬레이션 결과

5. 결론

본 연구에서는 정류기의 필터소자에 축적되는 에너지를 줄일 수 있는 방법을 제시했고 시뮬레이션을 통해 이의 타당성을 입증했다.

제3고조파를 사용할 경우 그렇지 못한 경우보다 필터소자에 축적되는 에너지량은 줄어들었지만 이를 위해 능동필터를 사용해야했다. 현재, 에너지 필요량의 감소가 실제로 필터소자의 값을 어느 정도까지 줄일 수 있으며 이것이 능동필터 추가에 따른 비용의 상승을 얼마나 상쇄할 수 있을지에 대해 연구중이다.

출력이 증가하면 필터소자의 크기가 커지며 따라서 정류기의 부피가 커진다는 문제가 생긴다. 능동필터는 부피를 적게 차지 하면서 필요 에너지를 줄일 수 있으므로 이러한 문제해결에 유용할 것이라 생각된다.

참고문헌

- [1] S. B. Dewan, "Optimum Input and Output Filters for a Single-Phase Rectifier Power Supply," IEEE Trans. Ind. Appl., Vol.17, No.3, pp.282-288, 1981.
- [2] A.R. Prasad, P.D. Ziogas and S.Maniyas, "A Novel Passive Waveshaping Method For Single-Phase Diode Rectifier," IEEE Trans. Ind. Electron., Vol.37, No.3, pp.521-530, 1990
- [3] J.B. Klaassens, M.P.N. van Wessenbeeck and H.K. Lauw, "Series-resonant single-phase AC-DC power supply with control of reactive power," IEEE Trans. Power Electronics, Vol.7, No.1, pp.111-118, Jan. 1992.
- [4] H. Endo, T. Yamashita and T. Suglura, "A High-power-factor buck converter," IEEE PESC Record, pp.1071-1076, 1992.
- [5] W.I. Tsai, Y.Y. Sun, and W. S. Shieh, "Modelling and control of Single phase switching mode rectifiers with near-optimum dynamic regulation," IECON'91, pp. 501-506.
- [6] C. Pan and T. Chen, "Modeling and design of an AC to DC converter," IEEE Trans. Power Electronics, Vol.8, No.4, pp.501-508, Oct. 1993.
- [7] G. H. Choe and M. H. Park, "Analysis and control of active power filter with optimized injection," IEEE Trans. Power Electronics, Vol.4, No.4, pp.427-433, Oct. 1989.
- [8] M.H.Rashid, *Power Electronics circuits, devices, and applications*, Prentice-Hall International, Inc., 1988.
- [9] L. Salazar and G. Joos, "PSPICE simulation of three-phase inverters by means of switching functions," IEEE Trans. Power Electronics, Vol.9, No.1, pp.35-42, Jan. 1994.