

커플 인덕터 방식의 무손실 스너버를 이용한 고효율 역률 보상 정류기

김호성*, 백주원**, 류명효**, 정지훈**, 김효성***, 김희제*

*부산대학교, **한국전기연구원, ***공주대학교

A high efficiency PFC rectifier with lossless snubbers using couple inductor methods

Hosung Kim*, Juwon Baek**, Myunghyo Ryu**, Jeehoon Jung**, Hyosung Kim***, Heeje Kim*

*Pusan National University, **KERI, ***Kongju National University

ABSTRACT

대용량 역률 보상 정류기의 스위칭 손실 최소화하기 위해서 인덕터 커플링 방식의 새로운 무손실 스너버 회로를 적용한 역률 보상 정류기 회로를 제안한다. 대용량 역률 보상 정류기 구현에 적합한 CCM 부스트 컨버터의 다이오드 역회복 특성에 따른 문제점을 극복하기 위해서 커플 인덕터를 이용해서 다이오드 턴 오프시 전류의 기울기를 감소시켜 역회복 전류를 줄여 줌으로써 주 스위치의 턴 온 손실을 줄였다. 또한 스위치 턴 오프시 발생하는 손실을 최소화하기 위해서 다이오드와 콘덴서를 이용한 무손실 스너버 회로를 설계하였다. 단상 3.3kW 역률 보상회로의 시제품을 제작하여 제안하는 무손실 스너버 회로를 가진 역률보상 정류기의 성능을 검증하였다.

1. 서론

대부분의 전력 공급 장치는 상용 라인 전압을 입력으로 사용하기 때문에, 입력단에는 반드시 AC/DC 정류를 위해 전파 정류기와 평활 콘덴서가 있는 콘덴서형의 정류회로가 필요로 한다. 대부분이 커패시터 입력형의 정류회로를 사용함으로써 상용 전원의 피크치 부근의 짧은 기간 동안만 정류기가 도통하여 폭이 좁은 펄스성 전류 파형을 발생하게 한다. 이러한 펄스성 전류는 계통 전압의 왜곡을 발생시켜 전도성 전자파 장애를 일으키는 등 전력 계통에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 이에 대한 대책으로 IEC61000 3 2와 IEEE519등과 같은 규격을 제정하여 고조파 전류를 규제하고 있다. 이러한 규제를 만족하기 위해 가장 널리 쓰이는 정류 방식은 역률 개선을 위한 역률 보상회로인 PFC(Power Factor Correction)단과 출력 전압 조정을 위한 DC/DC 컨버터 단으로 구성된 2단형 정류 구조이다.

대용량의 PFC 단의 경우 주로 CCM (Continuous Current Mode) Boost 컨버터가 사용되고 있다. CCM boost 컨버터는 구조가 간단하며 입력 전류가 연속적이므로 PFC단으로 적합하지만, 하드스위칭 및 다이오드의 역회복 특성에 의한 문제점들을 가지고 있다. 특히나 다이오드의 역회복 특성은 과도한 스위치의 전류 켜지를 야기하여 스위치의 전류 첨두치를 더욱 증가시키고, 역회복 전류에 의한 스위칭 손실 및 발열문제를 심화시키므로 대용량 정류기 개발을 위해서는 반드시 해결해야할 문제이다.

이런 다이오드의 역회복 특성을 극복할 수 있는 방법에는 다음에 같이 크게 두가지 방법이 있을 수 있다. 첫째는 무손실

스너버 회로를 이용하는 방법과 둘째는 역회복 전류가 존재하지 않는 SiC 다이오드를 사용하는 방법이다. SiC 소자를 이용할 경우 현상이 발생하는 원천적인 원인을 제거할 수 있지만, 소자의 가격적인 문제가 연구 개발에서 고려되어야 한다.

일반적으로 다이오드의 역회복 전류는 다이오드의 턴 오프시 흐르던 전류 값과 전류의 기울기에 비례한다. 여기서 더 중요한 요소는 전류의 턴 오프 기울기이다. 다이오드의 턴 오프 전류의 기울기가 100A/us 이하가 되면 다이오드의 역회복 전류를 줄일 수 있는 것이 널리 알려져 있다. 즉, 무손실 스너버 설계를 통해 다이오드의 역회복 전류를 줄일 수 있다면 스위치의 턴 온 손실을 줄일 수 있다.

본 연구에서는 다이오드의 역회복 특성에 의한 스위칭 소자의 전류 스트레스를 줄이기 위해서 인덕터 커플링 방식의 새로운 방식의 턴 온 및 턴 오프 동작이 가능한 무손실 스너버 회로를 설계하였다. 단상 3.3kW 역률 보상회로 시제품을 제작하여 제안하는 무손실 스너버 회로를 가진 역률보상회로의 성능을 검증하였다.

2. 제안하는 역률보상회로

그림 1은 본 연구에서 제안하는 무손실 회로를 가진 역률 보상회로의 회로도이다. 부스트 컨버터의 인덕터 L1을 감은 코어에 L2와 L3를 커플 인덕터로 감아서 Cx와 Dx1, Dx2 그리고 Dx3를 이용하여 스위치 턴 온 스너버를 설계하였다. 또한 Cs와 Ds1 그리고 Ds2를 이용하여 스위치 턴 오프 스너버를 설계하였다.

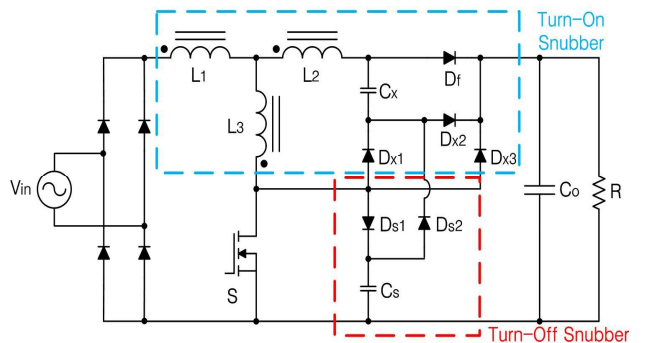


그림 1 제안하는 무손실 스너버를 가진 PFC 부스트 컨버터
Fig. 1 Proposed PFC boost converter with lossless snubber.

3. 동작 모드 분석

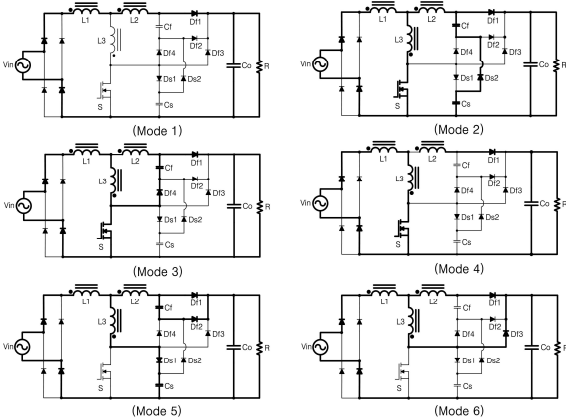


그림 2 제안된 정류기의 6개 동작모드
Fig. 2 Six operating mode of the proposed rectifier.

그림 2는 제안하는 무손실 스너버를 가진 부스트 컨버터의 동작 모드를 나타낸다. 총 6개의 동작 모드를 나타내며 다음과 같이 동작모드를 분석 할 수 있다.

Mode 1 : 부스트 컨버터의 스위치 S가 턴 오프 된 상태로, Df1이 턴 온 되고 입력 전원인 Vin과 입력 인덕터 L1에 저장된 에너지가 더해져서 출력 측으로 전력을 전달한다.

Mode 2 : 스위치 S가 턴 온 되는 순간, Df1이 턴 오프 되면서 다이오드의 역회복 특성에 의해 스위치 쪽으로 순간적으로 과전류가 흐른다. 이때 커플 인덕터 L2와 L3에 의해서 전류의 기울기가 감소하여 소자에 더해지는 전류 스트레스를 감소시킨다. 그리고 이때, 이미 충전되어 있던 Cs의 에너지가 Ds2에 의해서 비어 있던 Cf를 충전한다. 이 구간이 끝나면 Cs의 에너지는 모두 방전한다.

Mode 3 : 커플 인덕터 L3에 흐르던 전류가 Df4를 거쳐서 Cf를 충전하면서 에너지를 리셋한다.

Mode 4 : 부스트 컨버터의 스위치 S가 턴 온 된 상태로 인덕터 L1에 에너지를 저장한다.

Mode 5 : 스위치가 턴 오프 할 때 스위치로 흐르던 에너지가 비어있던 Cs에 L3의 에너지가 Ds1을 통해서 충전되면서 소프트 턴 오프 동작을 한다. 이때, Df2를 통해 Cf의 에너지도 방전된다.

Mode 6 : 커플인덕터 L3에 남아 있던 에너지가 Df3를 통해서 방전한다.

3. 실험결과

제안된 정류기의 타당성을 입증하기 위하여 다음과 같은 사양으로 시제품 정류기를 설계하고 제작 및 실험하였다.

- AC 입력전압 $V_{in,rms} = 220V$
- 출력 DC 전압 $V_o = 380V$
- 출력 전류 $I_o = 8.7A$
- 최대 출력 $P_{o,max} = 3.3kW$
- 스위칭 주파수 $f_s = 50kHz$
- 평균 시비율 $D = 0.42$

그림 3과 4는 제안된 정류기 스위치의 턴 온 및 턴 오프 시 전압과 전류의 실험결과 파형이다. 실험 파형을 통하여 스너버 동작을 통한 손실 감소를 확인하였다. 그림 5는 3.3kW 정류기 시제품의 효율 그래프이다.

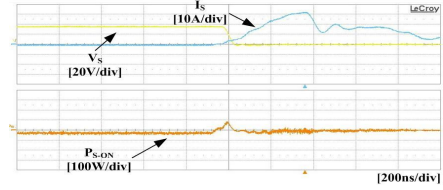


그림 3 정격 부하 턴-온 스위칭 파형
Fig. 3 Measured waveforms of turn-on switching at rated power

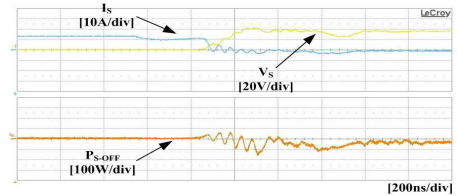


그림 4 정격 부하 턴-오프 스위칭 파형
Fig. 4 Measured key waveforms of turn-off switching at rated power

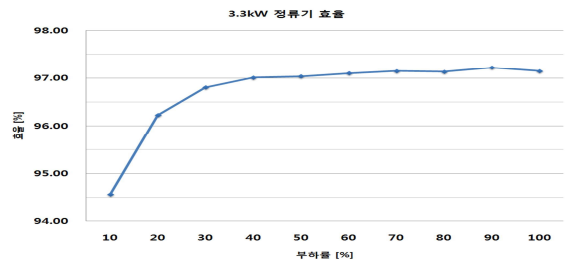


그림 5 시제품의 출력 효율 그래프
Fig. 5 Measured efficiency of the experimental rectifier

4. 결론

본 논문에서 대용량 역률 보상 정류기의 스위칭 손실 최소화하기 위해서 인덕터 커플링 방식의 새로운 무손실 스너버 회로를 적용한 역률 보상 정류기를 제안하였다. 커플인덕터와 다이오드 및 콘덴서를 이용한 무손실 스너버를 설계하여 주 스위치의 턴 온 및 턴 오프시 발생하는 스위칭 손실을 최소화 하였다. 제안된 정류기는 단상 3.3kW로 설계하였으며 실험을 통하여 무손실 스너버의 동작을 확인하였다. 제안한 컨버터는 정격 AC 입력에서 효율이 97.2%였다.

참고 문헌

- [1] Yungtaek Jang and Milan M. Jovanovi, "A New, Soft Switched, High Power Factor Boost Converter with IGBTs", IEE Trans. on Power Elec., vol 17, no. 4, pp. 469 476, Jul. 2002.
- [2] K. I. Hwu, Chien Li Tsai, and Kuo Fan Lin, "A Simple Passive ZCS Circuit for PFC Converter", APEC 2008, pp. 1022 1026, Feb. 2008.
- [3] Milan M. Jovanovic and Yungtaek Jang, "State of the Art, Single Phase, Active Power Factor Correction Techniques for High Power Applications An Overview", IEEE Trans. on Industrial Elec., vol 52, no. 3, pp. 701 708, June 2005.