태양광 최대 전력 추종기를 위한 고효율 무손실 스너버

장두희, 정영진, 금문환, 한상규

국민대학교 전자공학과

High Efficiency Lossless Snubber for Photovoltaic Maximum Power Point Tracker

Du-Hee Jang, Young-Jin Jung, Moon-Hwan Keum, and Sang-Kyoo Han

Dept. of Electronics Engineering, Kookmin Univ.

Abstract

본 논문에서는 태양광 인버터용 최대전력점 추종기의 고 효율화를 위한 새로운 구조의 무손실 스너버를 제안한다. 제안된 무손실 스너버는 보조 인덕터 1개, 스너버 캐패시터 2개, 다이오드 2개만으로 구성되어 시스템 부피가 크게 증가하지 않는다. 또한 제안된 무손실 스너버는 보조 인덕터 및 스너버 캐패시터로 인하여 스위치의 턴 온 및 턴 오프 시 소프트 스위칭이 가능하며, 출력 다이오드의 역회복 특성에 의한 역전류 현상 또한 크게 개선할 수 있다. 또한 스너버 캐패시터에 저장된 에너지는 공진을 통하여 모두 출력측으로 회생되므로 효율이 우수한 장점을 갖는다. 제안된 무손실 스너버의 타당성 검증을 위하여 1.5kW급 부스트 컨버터의 시작품 제작을 통한 실험결과를 제시한다.

1. 서 론

기존 태양광 인버터 시스템의 최대 전력점 추종기(MPPT)는 태양광 어레이의 넓은 입력 전압 범위에서 동작 가능하고 큰 입력전류에 매우 적합한 부스트 컨버터를 주로 채용하고 있다. 그러나 대용량 MPPT용 부스트 컨버터의 경우 스위치 턴 온 시 급격한 전류 증가와 턴 오프 시 급격한 전압증가로 인해 스위칭 손실이 크며 출력 다이오드의 경우 느린 역회복 특성으로 인한 큰 역회복 전류가 발생하여 효율 및 발열 측면에서 심각한 문제점을 가질 뿐만 아니라 스위칭 주파수를 높일 수 없어 리액티브 소자의 사이즈를 줄이는데 한계가 존재한다[1][2]. 따라서 본 논문에서는 상기 문제점들을 해결할 수 있는 새로운 구조의 무손실 스너버를 제안한다. 특히 제안된 회로는 스너버 캐패시터에 저장된 에너지가 모두 출력측으로 회생되므로 시스템 효율 측면에서 매우 유리하며 작은 용량의 수동 소자만으로 구현이 가능하므로 시스템 제작단가 측면에서 유리한 장점을 가진다.

2. 제안 무손실 스너버

그림 1 은 제안된 무손실 스너버를 적용한 부스트 컨버터를 보이고 있다. 제안된 무손실 스너버는 출력다이오드 D_o 가 오프 될 때 보조 인덕터 L_s 로 인하여 다이오드의 역회복 전류를 최소화 할 수 있고, 스위치 턴 온 시 보조 인덕터 L_s 로 인하여 영전류 근처에서 스위칭이 가능하다. 또한 스위치 턴 오프 시 스위치와 병렬 접속된 캐패시터 C_S 로 인하여 스위치의 드레인-소스 양단 전압의 기울기를 크게 낮출 수 있으므로 스위치의 턴 오프 손실을 크게 줄일 수 있다. 또한 이 때 저장된 캐패시터 C_{S2}의 에너지는 스위치 온 시 L_s와의 공진을

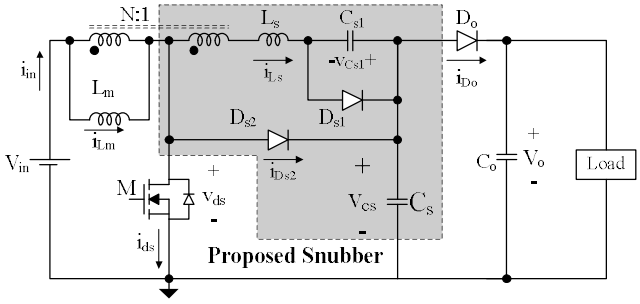

그림 1. 제안된 무손실 스너버를 적용한 부스트 컨버터

통하여 C_{s1} 에 저장했다가 스위치 오프 시 출력 측으로 모두 회생된다.

2.1 모드별 동작

제안 회로의 모드별 동작 해석의 편의를 위해 출력전압 V_o는 일정하며 모든 소자들은 그림1에 표시된 바를 제외하고 모두 이상적이다.

(a)모드 1 (t_0~t_1): 주 스위치 M이 턴 온 된 구간으로, i_{Lm}과 i_{LS}가 동일하므로 i_{ds}는 L_m과 L_s에 의해 0에서부터 서서히 증가하므로 영전류 스위칭이 이루어진다. 뿐만 아니라 D_o의 전류 또한 L_s로 인하여 서서히 감소하므로 역회복 전류의 크기를 대폭 줄일 수 있다. 모드1은 출력 다이오드 D_o가 오프 될 때까지 지속된다.

(b)모드 2 (t_1~t_2): 주 스위치 M이 켜져 있으므로 L_m에는 V_{IN}이 인가되어 i_{Lm}은 V_{IN}/L_m의 기울기를 가지고 서서히 상승한다. 또한 C_S, C_{S1}은 L_S와 C_S-C_{S1}-L_S-M의 경로로 공진하며, C_{S1}은 충전, C_S는 방전을 시작한다. 모드2는 v_{CS}가 0이될 때까지 지속된다.

(c)모드 3 (t_2~t_3): 주 스위치 M이 여전히 켜져 있으므로 i_{Lm}은 모드2와 동일하게 V_{IN}/L_m의 기울기를 가지고 상승한다. 또한 모드2에서 v_{CS}는 0이 되었으므로 D_{S2}는 도통하게 되고, L_S-D_{S2}-C_{S1}의 경로로 L_s와 C_{s1}은 공진한다. 이 때, C_{S1}은 충전되며, 모드 3은 i_{LS}가 0이 될 때까지 지속된다.

(d)모드 4(t_3~t_4): 주 스위치 M이 여전히 켜져 있으므로 i_{Lm}은 모드3과 동일하게 V_{IN}/L_m의 기울기를 가지고 상승한다. 또한 i_{Ls} 는 전류가 흐르지 않으므로 D_{S2}는 꺼지게 되고, 모드4는 주스위치 M이 꺼질 때까지 지속된다.

(e)모드 5(t_4~t_5): 주 스위치 M이 턴 오프 된 구간으로, D_{S2}가 도통되어 V_{IN}-L_m-D_{S2}-C_S의 전류경로를 가진다. 이때, i_{Lm}은 C_S를 충전하기 시작한다. 제안 무손실 스너버는 C_s로 인하여 v_{ds}의 기울기를 낮출 수 있으므로 스위치의

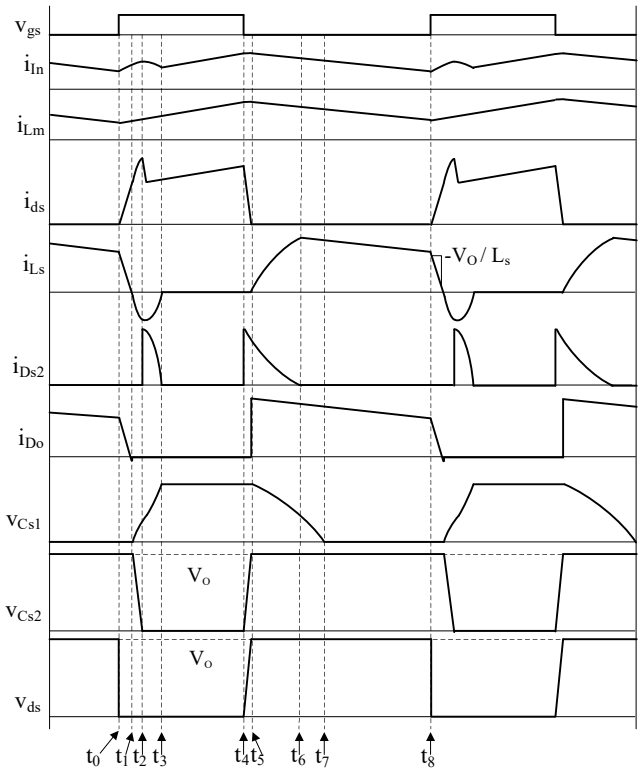

그림2. 제안된 무손실 스너버의 각 부 주요 동작파형

턴 오프손실을 줄 일 수 있다. 모드5는 v_{CS}가 출력 전압인 V_o로 충전될 때까지 지속된다.

(f) 모드 6(t_5~t_6): 주스위치 M은 여전히 꺼져 있으며, 모드5에서 v_{CS}는 V_O까지 상승 하였으므로 D_O는 도통된다. 또한 L_s는 보조권선에 의하여 양의 전압이 인가 되므로 i_{Ls}는 서서히 상승하고 C_{S1}은 방전하기 시작한다. 또한 i_{Lm}과 i_{Ls}는 같지 않으므로 i_{Ds2}는 i_{Lm}과 i_{Ls}의 차이만큼 흐르게 된다. 따라서 V_{IN}-L_m-L_s-C_{s1}-D_o-C_o와 V_{IN}-L_m-D_{s2}-D_o-C_o의 두 개의 전력 전달 경로가 형성된다. 모드 6은 i_{Ls}와 i_{Lm}이 같아질 때까지 지속된다.

(g) 모드 7(t_6~t_7): 모드 6에서 i_{LS}와 i_{Lm}은 같으므로 D_{s2}는 꺼지게 되고, C_{s1}은 계속 방전된다. 이 때, 전류경로는 V_{IN}-L_m-L_s-C_{s1}-D_o-C_o 의 전력 전달 경로만 남게 된다. 모드 7은 v_{CS1}이 0으로 떨어질 때까지 지속된다.

(h) 모드 8(t_7~t_8): 모드 7에서 v_{cs1}이 0이 되었으므로 C_{S1}에 병렬로 연결된 D_{S1}은 도통된다. 따라서 V_{IN}-L_m-L_s-C_{s1}-D_o-C_o의 경로로 전력전달이 이루어지며, 모드 8은 주 스위치 M이 턴 온 할 때까지 지속된다.

3. 실험 결과

제안된 회로의 타당성 검증을 위해 1.5kW급 시작품을 제작하였고 실험에 사용된 소자들은 다이오드 D_o, D_{S1}= RURG3060(600V/30A), D_{s2}=MUR460(600V/4A), 스위치 M= IKW50N60T(600V/50A), C_{S1}=22nF, C_S=3.3nF, C_o=1.36mF, L_m=600uH, L_s=6.6uH, 커플링 인덕터 턴비 N:1= 7.9:1 이다.

그림 3은 제안된 무손실 스너버의 적용 전과 적용 후 부스트 컨버터의 주요 동작파형을 비교한 것으로 스위치 턴 온 시 인덕터 L_s에 의해 스위치 전류 기울기와 스위치 턴 오프 시 캐패시터 C_s에 의해 스위치 전압 기울기가 기존대비 매우 낮아짐을 알 수 있다. 이로 인해 스위치 전압과 전류가 서로 겹쳐 발생하는 스위칭 손실이 매우 개선됨을 예측할 수 있다. 또한 출력 다이오드 D_o의

그림 3. 제안된 무손실 스너버의 적용 전(좌)과 적용 후(우)의 부스트 컨버터 주요 파형비교

전류파형으로부터 인덕터 L_s에 의해 역회복 전류 또한 크게 개선됨을 확인할 수 있다.이를 통하여 효율은 1.5kW구동 시 기존 96.1%, 제안 98.2%로 기존 대비 약 2%의 효율 개선효과가 나타남을 확인 하였고, 스위치 발열 비교 시 기존 82℃, 제안 65℃로 기존 대비 약 17℃의 발열 개선효과가 있음을 확인 하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 1.5kW급 태양광 인버터용 최대전력점 추종기를 위한 고효율 무손실 스너버를 제안하였다. 제안된 무손실 스너버는 수동 소자만으로 구성되어 시스템 제작단가 상승이 크지 않으며 스위치 턴 온 및 턴 오프 시 스위칭 손실을 대폭 저감할 수 있는 장점을 갖는다. 특히 제안된 회로는 스위치의 턴 온 및 턴 오프 시 스위치 전류 및 전압의 상승 기울기와 출력 다이오드의 역회복 전류를 대폭 저감함을 실험을 통해 확인하였고 그 결과 에너지 변환효율이 기존 96.1%에서 98.2%로 약 2% 개선되었으며 스위치 발열 또한 기존 82℃에서 65℃로 약 17℃ 개선됨을 확인하였다. 따라서 제안된 무손실 스너버는 태양광 최대전력점 추종기를 비롯해 다양한 전력변환기에 적합하게 적용 가능할 것으로 판단된다.

Acknowledgment

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2012-H0301-12-2007)

Reference

[1] A. Elasser, M. H. Kheraluwala, M. Ghezzo, et al, “A comparative evaluation of new silicon carbide diodes and state-of-the-art silicon diodes for power electronic applications,” IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 39, No. 4, pp. 915-921, July 2003.

[2] A. Elasser and D. A. Torry, “Soft switching active snubbers for dc/dc converters,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 11, pp. 710–722, Sept. 1996.