

고 전력밀도 모듈형 전력컨버터를 위한 무손실 스너버

신정민, 김수산, 박철완, 권기현*, 허태원*, 류동균*, 최홍균*, 김희욱*, 한상규†
국민대학교 POESLA, 삼성전기*

Lossless snubber for high power density modular power converter

Jung-Min Shin, Su-San Kim, Chul-Wan Park, Gie-Hyoun Kweon*, Tae-Won Heo*,
Dong-Kyun Ryu*, Heung-Gyoon Choi*, Hugh Kim* and Sang-Kyoo Han†

Power Electronics System Laboratory, Kookmin University, Samsung Electro-mechanics Co. LTD*

ABSTRACT

본 논문은 무손실 스너버 회로를 적용함으로써 스위치의 온/오프 시 발생하는 스위칭 손실을 저감시킬 뿐만 아니라 출력 다이오드의 역 회복 특성을 개선하여 보다 향상된 효율을 갖는 강압형 컨버터를 제안한다. 또한 스위칭 손실을 줄여 고 주파수 구동을 가능하게 하고, 이를 통해 전원회로의 고 전력밀도 구현을 목적으로 하고 있다. 제안된 무손실 스너버의 타당성 검증을 위해 이론적 분석과 실험결과를 제시한다.

1. 서론

최근 전자기기의 소형화 추세에 따라 스위칭 전원회로의 고 전력밀도가 요구되고 있으며 이를 위해 회로 내에서 가장 큰 부피를 차지하는 리액티브 소자의 크기 축소를 위해 고 주파수 구동이 요구되고 있다. 일반적으로 전원장치에 구비되는 전력용 반도체 스위칭 소자는 턴 온 및 턴 오프 시 스위칭 손실이 발생하게 된다. 따라서 일반적인 강압형 컨버터를 고 주파수로 구동 할 경우, 동작 주파수에 비례한 스위칭 손실이 발생하기 때문에 스위칭 소자 발열이 불가피하며, 이에 따라 고밀도 전원 구현에 한계가 있다. 뿐만 아니라 출력 다이오드의 역 회복 특성에 의한 손실이 발생하며, 이 또한 스위칭 주파수에 비례하여 증가한다. 이를 위해 기존에는 다양한 무손실 스너버가 제안된 바 있으나 대부분 직렬 연결된 여러 개의 다이오드가 Freewheeling시 도통함에 따라 효율이 감소하는 단점이 있다.^[1] 따라서 본 논문은 스위치 턴 온/오프 시 소프트 스위칭이 가능하고 출력 다이오드 오프 시 역 회복 문제를 해결할 수 있으며 특히 Freewheeling시 다이오드의 도통 손실 저감이 가능한 새로운 방식의 무손실 스너버를 제안한다.

2. 제안된 무손실 스너버

그림 1은 본 논문에서 제안하는 무손실 스너버가 적용된 벡 컨버터를 보이고 있다. 기존 벡 컨버터의 경우 스위치 온/오프 시 주파수에 비례하여 스위칭 손실이 증가하기 때문에 효율이 저하되고, 다이오드의 역 회복 특성 문제가 존재 한다. 이를 해결하기 위해

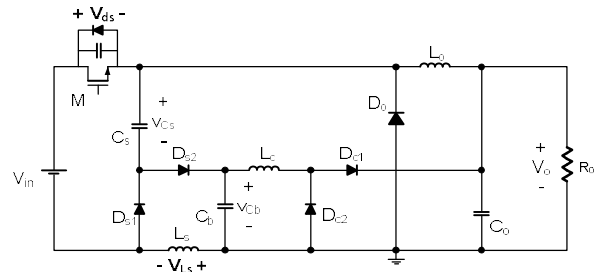


그림 1 제안하는 무손실 스너버를 가진 벡 컨버터
Fig. 1 Buck converter with proposed lossless snubber

무손실 스너버를 적용하여 스위치의 전류 및 전압의 기울기를 감소시켜 스위칭 손실을 줄이고, 출력 다이오드 오프 시 다이오드에 흐르는 전류를 서서히 감소시켜 역 회복 문제를 해결한다. 또한 Freewheeling 구간에서 1개의 다이오드만 도통하기 때문에 기존의 무손실 스너버에 비하여 도통 손실을 줄일 수 있다.^[2]

3. 동작 모드 분석

그림 2는 제안회로의 모드 별 동작을 보이고 있다.

Mode 0: 스위치가 턴 온 상태이며, 일반적인 벡 컨버터의 턴 온 동작과 같다. 이 때 스너버 캐패시터 C_s 가 V_{in} 만큼 충전이 되어 있다.

Mode 1: 스위치가 턴 오프 시 시작된다. C_s 의 임피던스가 C_{ds} 의 임피던스보다 작기 때문에 L_s 에 흐르는 전류는 대부분 C_s 로 흐르며, C_s 는 방전이 된다. 따라서 스위치의 전류가 서서히 증가하고, 스위치 양단 전압이 서서히 감소하여 소프트 턴 오프 동작이 가능하다.

Mode 2: C_s 의 전압이 0이되고 C_{ds} 의 전압이 V_{in} 과 같을 때 시작된다. 이 때 방전을 하고 있던 C_s 가 역 방향으로 충전 되면서 출력 다이오드 D_0 의 양단 전압이 대지전압으로 같아져 도통 한다.

Mode 3: C_s 의 전압이 L_s 의 전압보다 커지게 되면 다이오드 D_{S1} 이 오프가 되고, 이 때 다이오드 D_{S2} 가 도통 시 시작된다. 이 때 L_s 의 에너지가 C_b 에 전달되며 L_s 에 흐르는 전류가 음의 기울기를 가지고 감소하고, 0이 되었을 때 종료된다.

Mode 4: C_b 의 전압이 C_o 보다 커져 D_{S2} 가 도통하지 않는다. 이후 일반적인 벡 컨버터의 턴 오프 동작과 같으며, Freewheeling하는 구간이다. 또한 기존의 무

손실 스너버에 비해 Freewheeling 구간에서 다이오드가 1개만 도통 되기 때문에 효율이 증가한다.

Mode 5: 스위치가 턴 온 시 시작한다. L_o 에 흐르던 전류가 L_s 로 흐르기 때문에 0으로 리셋 되어있던 I_{Ls} 는 서서히 증가한다. 이 때 I_{Ls} 와 I_{ds} 은 같은 경로에 있고, I_{Ls} 는 서서히 증가하기 때문에 I_{ds} 도 서서히 증가하므로 스위치는 소프트 턴 온 동작을 한다. 또한 D_o 의 흐르는 전류가 서서히 감소하여 다이오드의 역 회복 문제를 해결한다. 이후 I_{Ls} 가 I_{Lo} 와 같아질 때 모드가 종료된다.

Mode 6: I_{Ls} 증가하여 I_{Lo} 보다 커질 경우, 그 차이만큼 C_s 와 C_b 에 전류가 흐른다. 따라서 C_s 는 0V로 방전, C_b 는 출력 전압만큼 충전이 된다.

Mode 7: C_b 가 출력 전압 이상 충전이 되면 다이오드 DC_1 이 도통되고, C_s 가 입력 전압만큼 충전이 된다.

Mode 8: 다이오드 DS_1 이 도통 시 시작된다. I_{Ls} 가 C_b 에 흘러 들어오고, I_{Ls} 와 I_{Lo} 가 같아질 때 종료된다.

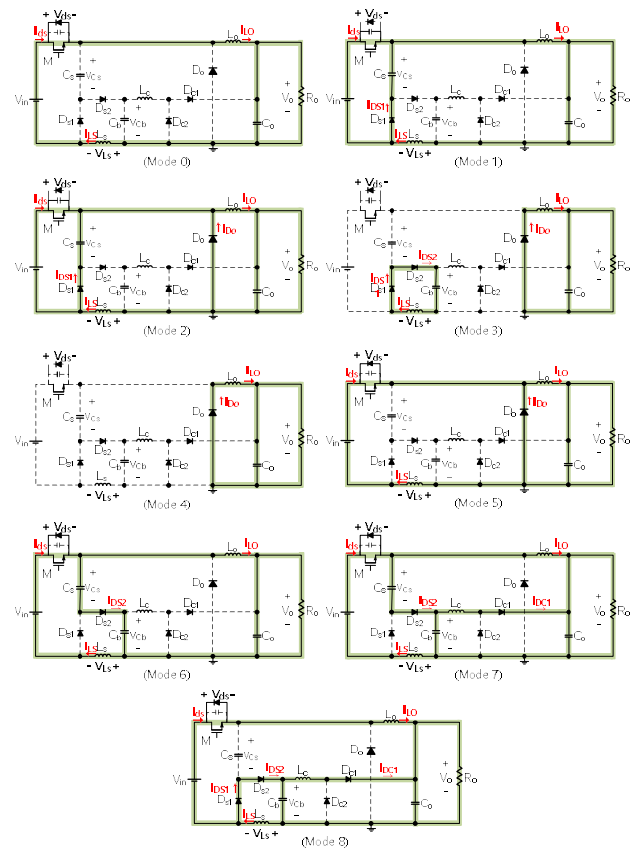


그림 2 제안된 회로의 모드 별 동작 모드
Fig. 2 Operational mode of the proposed circuit

3. 실험 결과

제안 회로의 타당성을 검증하기 위해서 표 1에 제시된 사양으로 제작된 시작품을 통해 실험한 결과를 제시한다. 그림 3은 제안된 무손실 스너버의 주요 동작 파형으로 이론에서와 같이 스위치 턴 온 시 I_{ds} 가 서서히 증가하는 소프트 턴 온 동작과 턴 오프 시 V_{ds} 가 서서히 증가하는 소프트 턴 오프 동작을 확인하였다. 따라서 스위칭 구간 동안 발생하는 손실을 저감하여 1MHz 대역의 고 주파수 구동이 가능함을 확인할 수 있다.

표 1 제안된 구동 회로의 사양

Table 1 The specifications of the proposed circuit

입력 전	25V	C_b	7nF
출력 전압	12.8V	C_s	40nF
출력 전류	12A	C_o	30uF
스위칭 주파수	1MHz	L_o	1.3uH

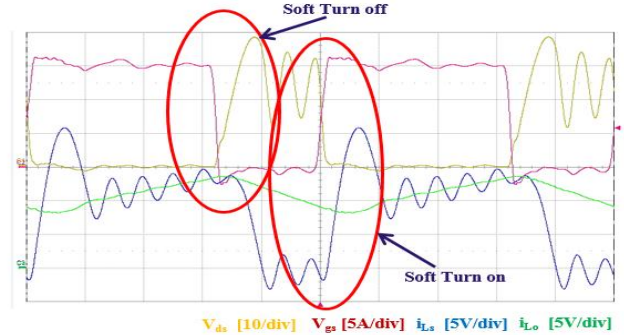


그림 3 제안된 컨버터의 주요 실험 파형

Fig. 3 Key experimental waveforms of proposed converter

제안 회로는 고 주파수 구동을 하기 때문에 리액티브 소자의 크기를 감소시킬 수 있다. 따라서 출력 인덕터의 경우 1.3uH의 매우 작은 공심 인덕터로 구현이 가능하며, 스너버 인덕터는 10nH로서 회로의 도선이나 패턴 내부에서 발생하는 기생 인덕턴스를 통해 구현할 수 있었다. 따라서 본 논문은 고 주파수 구동을 통한 회로의 고 밀도화에 유리한 장점을 가지며 출력 다이오드의 역 회복 손실을 줄여 효율 증대 및 회로의 고밀도화의 적합성을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 논문은 새로운 무손실 스너버를 적용하여 스위치의 소프트 턴 온/오프 구동을 통해 스위칭 손실을 최소화 하고 출력 다이오드의 역 회복 특성 문제를 해결하였다. 또한 스위치의 턴 온/오프 시 발생하는 스위칭 손실이 줄어들기 때문에 고 주파수 구동에 용이하여 리액티브 소자의 부피를 효과적으로 줄일 수 있다. 따라서 제안된 컨버터는 전자 기기의 소형화 추세에 따른 스위칭 전원회로의 고 전력밀도 모듈화에 적합한 장점을 갖는다.

본 연구는 삼성전자(주)의 연구비 지원에 의하여 수행되었음

참고 문헌

- [1] Ching-Jung Tseng and Chern-Lin, "A Passive Lossless Snubber Cell for Nonisolated PWM DC/DC Converters", Proceedings of the IEEE, Vol. 45, No. 4, pp. 593-601, 1998, August.
- [2] River T.H.Li and Henry S.H.Chung, "A Passive Lossless Snubber Cell with Minimum Stress and Wide Soft-Switching Range", Proceedings of the IEEE, Vol. 25, No. 7, pp. 1725-1738, 2010, July.