

로스레스 스너버 커패시터를 이용한 새로운 스텝 업-다운 컨버터에 관한 연구

곽동걸, 이봉섭, 김춘삼, 심재선, 정원석, 손재현*
강원대학교, 강릉영동대학*

A Study on Novel Step Up-Down Converter using Loss-Less Snubber Capacitor

D. K. Kwak, B. S. Lee, C. S. Kim, J. S. Shim, W. S. Jung, J. H. Son*
Kangwon National University, Gangneung Yeongdong College*

ABSTRACT

This paper is study on a novel high efficiency step up down converter using loss less snubber capacitor. The proposed converter is accomplished that the turn on operation of switches is on zero current switching (ZCS) by DCM. The converter is also applicable to a new quasi resonant circuit to achieve high efficiency converter. The control switches using in the converter are operated with soft switching, that is, ZVS and ZCS by quasi resonant method. The control switches are operated without increasing their voltage and current stresses by the soft switching technology. The result is that the switching loss is very low and the efficiency of the converter is high.

1. 서 론

직류전원은 전기, 전자 및 통신기기 등의 산업용에서 가정용에 이르기까지 폭넓은 분야에서 이용되고 있다. 특히 전력변환을 취급하는 스위칭 모드 전력변환 회로에서는 DC DC 컨버터가 중요한 부분을 차지한다. 이렇게 출력된 직류전압은 부하가 요구하는 전압으로 승압, 강압 또는 승강압되어 공급되고, 이때 신재생 에너지의 출력을 최대로 활용하기위해서 고효율 DC DC 컨버터가 요구된다.

현재 많이 사용되는 승강압용 DC DC 컨버터는 에너지 축적용 인덕터와 단락용 제어스위치를 이용하여 스위치의 PWM (Pulse width modulation) 제어에 의해 실현된다. PWM 제어에 의해 승강압용 인덕터에 흐르는 전류는 연속모드 (CCM) 또는 불연속모드 (DCM)로 제어된다.^[1]

전류불연속 모드 컨버터의 경우 전류연속 모드와 비교하여 승압율의 한계는 주어지나 제어회로 구성이 간단하고 듀티율 일정제어가 가능하여 제어방법이 용이한 장점이 주어진다. 특히 DCM 컨버터는 사용된 제어용 스위치의 턴 온 동작이 영전류에서 스위칭되어 스위치의 턴 온 손실이 없는 특징이 있다. 그러나 스위치의 턴 오프 동작은 승강압용 인덕터의 최대 전류에서 스위칭되므로 스위칭 주파수의 증가와 더불어 스위칭 스트레스와 손실이 증대되는 문제점이 주어진다. 이를 보완하기 위해 스위치 양단에 스너버(snubber) 회로를 사용하여 스위치를 보호하지만 상당한 스너버 손실에 의한 컨버터의 효율을

감소시키는 요인이 된다.^[2]

이를 개선하기위하여 본 논문에서는 로스레스 스너버 커패시터를 이용한 새로운 유사공진 회로를 접목시킨 스텝 업 다운 컨버터를 제안한다. 유사공진 회로는 기존의 컨버터에 사용되는 스너버 회로를 유사공진 회로로 변형 설계한 새로운 무손실 스너버 회로로써, 회로구성이 간단하며 유사공진으로 인한 공진용 소자들의 손실과 스트레스를 감소시킨다. 또한 유사공진용으로 이용된 커패시터는 기존의 스너버용 커패시터와 달리 무손실로 동작되어 출력전압을 증대시키는 이점을 가진다.

2. 제안한 스텝 업-다운 컨버터

제안한 스텝 업 다운 DC DC 컨버터의 주 회로도를 그림 1에 나타낸다. 회로구성은 승강압용 제어스위치 S_1 , S_2 , 승강압과 소프트 스위칭을 위한 유사공진용 소자 L_r 과 C_r 그리고 주변소자들로 구성된다.

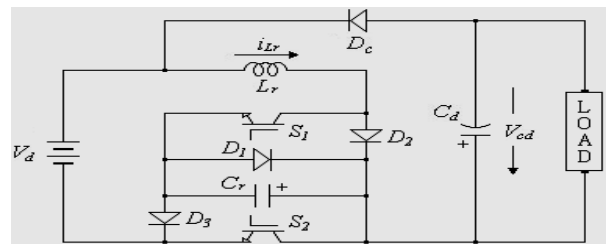


그림 1 제안한 스텝 업-다운 DC-DC 컨버터
Fig. 1 A proposed step up-down DC-DC converter of DCM

유사공진 회로부는 기존의 전력변환기들에 사용되는 스너버 회로를 변형설계한 구조로써 무손실 스너버로 동작한다. 스위치 S_1 , S_2 의 동작을 살펴보면, 스위치 턴 온은 인덕터 L_r 의 전류가 불연속적으로 제어되므로 영전류 스위칭으로 되고, 턴 오프는 유사공진 회로의 동작에 의한 커패시터 C_r 의 전압이 영으로 될 때 동작되어 영전압 스위칭으로 된다. 또한 제안한 컨버터는 PWM 스위칭 제어에 의해 출력전압이 조정되고 일정한 스위칭 주파수 제어방식에 의한 DCM으로 동작된다. 그 결과 제안한 컨버터는 소프트 스위칭에 의해 고효율로 동작되고 DCM 스위칭 제어에 의한 제어방법과 제어회로가 간단한 장점이 주어진다.

그림 2는 스위칭 1주기(T_s)에 대한 각 동작모드별 등가회로

를 나타내고 있으며 4가지 동작모드로 구분된다. 유사공진 회로부의 초기조건으로 스위치 S_1, S_2 는 오프, 커패시터 C_r 에는 입력전압 V_d 와 출력측 커패시터 C_d 의 전압 V_{cd} 의 합(V_d+V_{cd})으로 충전되어 있다.

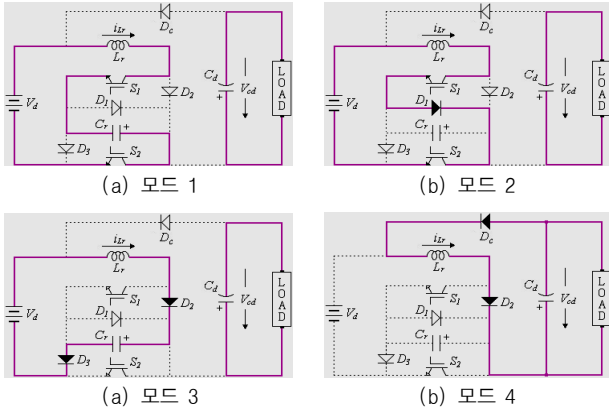


그림 2 스위칭 1주기에 대한 모드별 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit modes in one cycle switching

모드 1 ($T_1, t_0 \sim t_1$): 시각 t_0 에서 스위치 S_1 과 S_2 를 동시에 턴 온하면, 회로경로는 $V_d \rightarrow L_r \rightarrow S_1 \rightarrow C_r \rightarrow S_2 \rightarrow V_d$ 의 직렬 공진회로가 형성된다. 스위치 턴 온 직전의 인덕터 L_r 에 흐르는 전류 i_{Lr} 는 영이므로 스위치 S_1, S_2 는 ZCS로 동작된다. 그리고 공진에 의해 입력전압 V_d 와 커패시터 충전전압 v_{cr} 와의 합이 인덕터에 인가되고 커패시터 C_r 은 방전한다.

모드 2 ($T_2, t_1 \sim t_2$): 이 모드는 커패시터 전압 v_{cr} 이 영으로 되어 다이오드 D_1 이 도통되는 모드이다. 제어스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터 L_r 의 전류는 $S_1 \rightarrow D_1 \rightarrow S_2$ 의 회로경로로 흐른다. 이 모드동안 인덕터 L_r 은 에너지를 축적하며 인덕터 전류 i_{Lr} 은 직선적으로 증가한다.

모드 3 ($T_3, t_2 \sim t_3$): 시각 t_2 에서 스위치 S_1, S_2 를 오프하면, 인덕터 전류 i_{Lr} 은 $D_2 \rightarrow C_r \rightarrow D_3$ 을 통하여 흐르고 인덕터 L_r 과 커패시터 C_r 은 다시 직렬공진을 하여 C_r 을 충전시킨다. 커패시터와 병렬로 배치된 스위치들의 턴 오프 동작은 공진초기에 커패시터의 전압이 영이므로 ZVS로 동작한다. 커패시터 전압이 V_d+V_{cd} 로 될 때 이 모드는 끝난다.

모드 4 ($T_4, t_3 \sim t_4$): 커패시터 C_r 의 충전이 끝나면, 인덕터 전류는 다이오드 D_c 를 통하여 부하측으로 유입되는 모드이다. 이 모드에서 인덕터 전류 i_{Lr} 은 직선적으로 감소되고 부하측 커패시터 C_d 를 충전시키게 된다. 전송모드는 인덕터 전류가 영으로 되면 끝나고, 커패시터 C_d 의 방전이 유지된다.

3. 시뮬레이션 결과 및 실험결과

제안한 스텝 업 다운 DC DC 컨버터의 동작특성을 분석하기 위해 PSpice시뮬레이션과 1kW급 전력변환기를 제작하여 실측을 분석하였다. 입력전압은 DC 96V, 공진 인덕터 $L_r=50\mu\text{H}$, 공진 커패시터 $C_r=40\text{nF}$, 평활용 커패시터 $C_d=40\text{nF}$ 부하저항은 100Ω , 그리고 스위칭 주파수는 40kHz , 듀티율 $D_c=30\%$ 로 설정하였다. 제안한 컨버터의 스위칭 동작에 대한 각 부의 시뮬레이션 파형을 그림 3에 나타낸다.

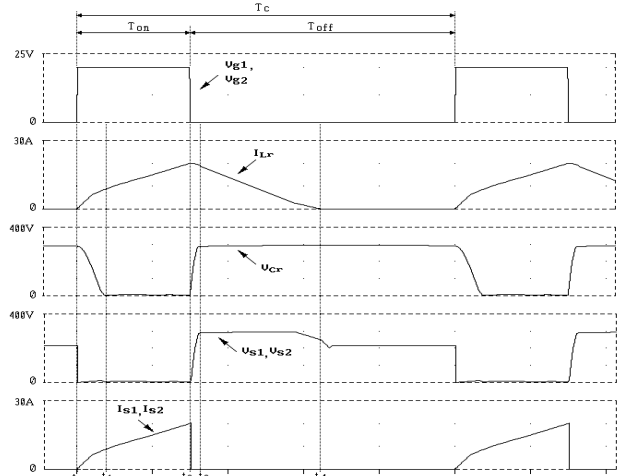


그림 3 스위칭 1주기에 대한 시뮬레이션 파형
Fig. 3 Simulation waveforms in one cycle switching

그림 3에는 공진회로의 인덕터 전류 i_{Lr} , 커패시터 전압 v_{cr} 그리고 제어스위치의 양단전압 v_{s1}, v_{s2} 와 스위치 전류 i_{s1}, i_{s2} 등 주요 동작파형들을 스위칭 1주기에 대해 각 모드별로 나타낸다. 시각 t_0 에서 스위치 S_1, S_2 를 턴 온하면 LC 직렬 공진회로에 의한 커패시터 C_r 가 방전을 시작하고 인덕터 L_r 은 에너지를 축적하게 된다. 이 시점에서의 스위치 S_1, S_2 를 흐르는 전류 i_s 는 인덕터 전류 i_{Lr} 과 같고 스위치들은 ZCS로 동작된다. 시각 t_1 에서 커패시터 전압 v_{cr} 가 영으로 되면 제어스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터 L_r 의 전류는 직선적으로 증가하며 에너지를 축적한다. 그리고 시각 t_2 에서 스위치를 오프하면 다시 LC 직렬 공진회로에 의한 커패시터 C_r 가 충전을 시작한다. 그리고 이 시점에서의 스위치 S_1, S_2 양단전압은 커패시터 전압 v_{cr} 와 같고 스위치들은 ZVS로 동작한다. 시각 t_3 에서 커패시터 전압 v_{cr} 는 입력전압 V_d 와 출력전압 V_{cd} 의 합으로 충전되고, 충전이 완료되면 인덕터 전류 i_{Lr} 은 부하측으로 유입되어 직선적으로 감소하고 시각 t_4 에서 영으로 된다.

4. 결론

제안한 컨버터는 유사공진기법이 적용된 새로운 소프트 스위칭 회로가 설계되어 회로구조와 제어기법이 간단하였다. 제안한 컨버터의 공진회로는 기존의 스텝 업 다운 인덕터와 스너버 회로를 공진회로로 변형설계한 새로운 무손실 스너버 회로 구조로써 회로구성이 간단하였으며, 사용된 제어용 스위치들의 소프트 스위칭에 의한 컨버터의 효율을 증대시켰다.

본 연구는 2012년도 중소기업청 산학연 공동기술개발 지원사업으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] D. Sadarnac, W. Abida, and C. Karimi, "The Double Discontinuous Mode Operation of a Converter: A method for soft switching", *IEEE Trans. on PE*, Vol. 19, No. 2, pp. 453-460, 2004.
- [2] D. K. Kwak, "A Study on Buck Boost DC DC Converter of Soft Switching", *Journal of Power Electronics*, Vol. 12, No. 5, pp. 394-399, 2007.