

전류불연속 모드 절연형 벡-부스트 컨버터에 관한 연구

곽동걸, 이봉섭, 김춘삼, 심재선, 박영직
강원대학교

A Study on Isolated Buck-Boost Converter by Discontinuous Conduction Mode

D. K. Kwak, B. S. Lee, C. S. Kim, J. S. Shim, Y. J. Park
Kangwon National University

ABSTRACT

In this paper, authors propose a new buck-boost converter of discontinuous conduction mode (DCM) added electric isolation. The proposed converter with DCM eliminates the complicated circuit control requirement and reduces the size of components. The general converters of high efficiency are made that the power loss of the used switching devices is minimized. To achieve the soft switching operation of the used control switches, the proposed converter uses a lossless snubber capacitor. The proposed converter achieves the soft-switching for all switching devices without increasing their voltage and current stresses. The result is that the switching loss is very low and the efficiency of converter is high. The soft switching operation of the proposed converter is verified by digital simulation and experimental results.

1. 서론

최근 반도체 제조기술의 발달은 전력용 스위치의 고속 스위칭을 가능케 하였다. 이에 의해 전력변환장치들은 스위칭 주파수를 높임으로써 변환기의 소형화, 경량화 그리고 저잡음화 등을 성취하였다. 그러나 이들 변환기에 사용된 스위치들은 높은 스위칭 주파수에 의해 스위칭 손실이 크며 많은 스트레스를 받게 되어 변환기의 효율을 현저히 감소시킨다. 또한 전력변환기들은 스위치를 보호하기 위해서 스위치 주변에 스너버 회로를 이용하여 보완하지만 출력전류가 증가할 경우 스너버 손실이 크게 되어 효율은 더욱 감소된다. 최근 친환경적이면서 부족자원들을 해결하기 위한 신재생 에너지 개발에 많은 관심을 보이고 있으며, 특히 연료전지나 태양전지 발전시스템에 많은 연구개발이 이뤄지고 있다.^[1] 이러한 시스템들에 출력된 직류전압은 부하가 요구하는 전압으로 승압 또는 강압되어 공급되며, 이때 신재생 에너지의 출력을 최대 효율로 활용하기 위해서는 고효율 전력 변환기가 요구된다. 또한 연료전지나 태양전지 발전시스템에서 입력단과 부하단을 보호하고 출력전력을 최대화하기 위해서 입력단과 부하단 사이에 필수용 변압기를 이용하여 전기적 절연을 부가한 전력변환기들이 개발된다. 그리고 이들 컨버터들의 전력변환은 스위치의 PWM제어에 의해 실현되고, PWM제어에 의해 벡-부스트 인덕터에 흐르는 전류는 연속모드(CCM) 또는 불연속모드(DCM)로 제어된다. 전류불연속 모드 제어방식은 인덕터 전류를 불연속으로 제어하는 방식으로 일정한 스위칭 주

파수로 동작되고, CCM 제어방식에서 사용되는 센서전류 동기화 제어회로가 필요치 않는 이점이 주어진다. 그 결과 전류 불연속 제어는 제어방식이 간단하고 또한 사용된 제어스위치의 턴-온 동작이 인덕터 전류가 영전류에서 스위칭되어 스위칭 손실이 없는 장점이 주어진다. 그러나 스위치의 턴-오프 동작은 스위칭 시점의 최대 인덕터 전류에서 동작되는 하드 스위칭으로 되므로 스위칭 주파수의 증가와 더불어 스위치 스트레스와 손실이 증대되는 문제점이 있다. 이를 개선하기 위해 본 논문에서는 제어스위치 주위에 공진 회로를 적용한 소프트 스위칭으로 동작시키는 회로 토폴로지를 개발하여 제안한다. 공진 회로는 기존 컨버터의 스위치 보호용으로 이용되는 스너버 회로를 공진회로로 설계한 새로운 로스레스 스너버 회로^[2]를 제안하여 제어스위치들의 소프트 스위칭을 이룬다.

2. 회로구성 및 동작원리

제안한 전류불연속 모드 절연형 컨버터의 주 회로도를 그림 1에 나타낸다. 회로구성은 제어스위치 S_1 , S_2 , 승강압과 소프트 스위칭을 위한 공진용 소자 L_r 과 C_r 그리고 주변소자들과 절연을 위한 출력측 필스변압기로 구성된다.

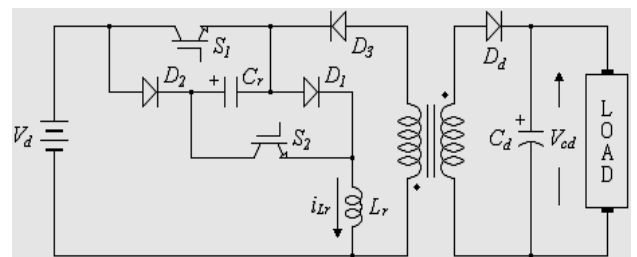


그림 1 제안한 절연형 벡-부스트 컨버터
Fig. 1 A proposed isolated buck-boost converter

공진 회로부는 기존의 전력변환기들에 사용되는 스너버회로를 변형 설계한 구조로써 로스레스 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 유사공진회로의 동작에 의한 커패시터 C_r 의 전압이 영으로 될 때 동작되어 영전압 스위칭으로 된다. 또한 제안한 컨버터는 일정한 스위칭 주파수 제어방식에 의한 DCM으로 동작된다. 그 결과 제안한 컨버터는 소프트 스위칭에 의해 고효율로 동작되고 DCM 스위칭 제어에 의한 제어기법과 제어회로가 간단한 장점이 주어진다. 그림 2는 스위칭 1주기(T_c)에 대한 각 동작모

드별 등가회로를 나타내고 있으며 4가지 동작모드로 구분된다. 컨버터의 초기조건으로 스위치 S_1, S_2 는 오프, 커패시터 C_r 에는 입력전압 V_d 와 출력측 C_d 의 전압 V_{cd} 의 합으로 충전되어 있다.

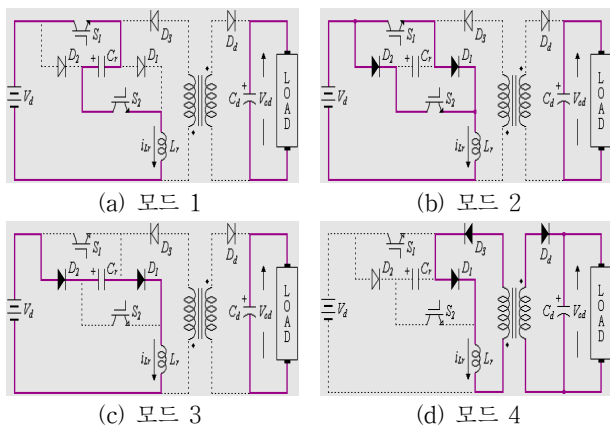


그림 2 스위칭 1주기에 대한 모드별 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuits in one cycle switching

모드 1 ($T_1, t_0 \sim t_1$): 시각 t_0 에서 스위치 S_1 과 S_2 를 동시에 턴-온하면, 회로경로는 $V_{d+}-S_1-C_r-S_2-L_r-V_{d-}$ 의 직렬 공진회로가 형성된다. 스위치 턴-온 직전의 인덕터 L_r 에 흐르는 전류 i_{Lr} 은 영이므로 스위치 S_1, S_2 는 영전류 스위칭으로 동작된다. 그리고 공진에 의해 입력전압 V_d 와 커패시터 충전전압 v_{cr} 의 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 과 D_2 가 도통되는 모드이다. 제어스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터 L_r 의 전류는 S_1-D_1 과 D_2-S_2 의 두 경로로 분류된다. 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 $D_2-C_r-D_1$ 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_3 를 통하여 변압기 2차측과 부하측으로 전송된다. 이 모드에서 인덕터 전류는 직선적으로 감소되고 부하커패시터 C_d 를 충전시키게 된다. 이 모드는 인덕터 전류가 영으로 되면 끝나고, 제어스위치들은 다음의 턴-온 동작에 대기한다.

3. 시뮬레이션 결과 및 실험결과

제안한 소프트 스위칭에 의한 절연형 박-부스트 컨버터의 동작특성을 분석하기 위해 PSpice시뮬레이션과 1kW급 전력 변환기를 제작하여 실측을 분석하였다. 입력전압은 DC 100V, 공진 인덕터 $L_r=60\mu\text{H}$, 공진 커패시터 $C_r=50\text{nF}$, 변압기 권선비는 1:1, 부하저항은 100Ω, 그리고 스위칭 주파수는 40kHz, 듀티율 $D_c=30\%$ 로 설정하였다. 제안한 컨버터의 스위칭 동작에 대한 각 부의 시뮬레이션 파형을 그림 3에 나타낸다. 각 모드별 동작파형들은 앞서의 이론적 해석과 잘 일치하고 있다.

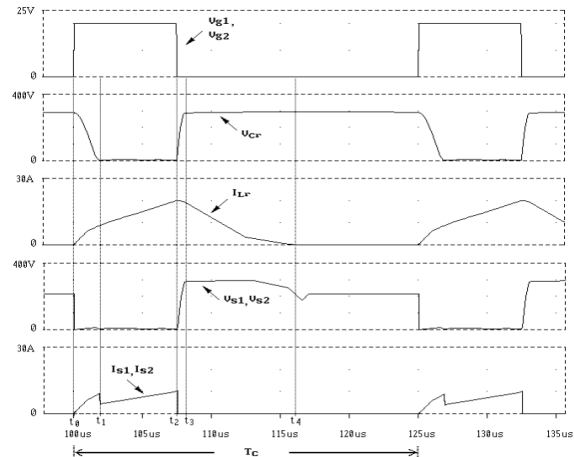


그림 3 스위칭 동작에 의한 시뮬레이션 파형
Fig. 3 Simulation waveforms for switching operation

그림 4는 공진과 소프트 스위칭 동작을 확인하기 위하여 듀티율 30%인 스위치 제어신호에 대한 인덕터 전류 i_{Lr} 와 커패시터 전압 v_{cr} 그리고 스위치 S_1, S_2 에 흐르는 전류 i_s 와 스위치 양단 전압 v_s 의 실험파형을 나타낸다. 실험파형에서 제어스위치들은 공진동작에 의해 영전류에서 턴-온되며 영전압에서 턴-오프되는 소프트 스위칭 동작을 보인다.

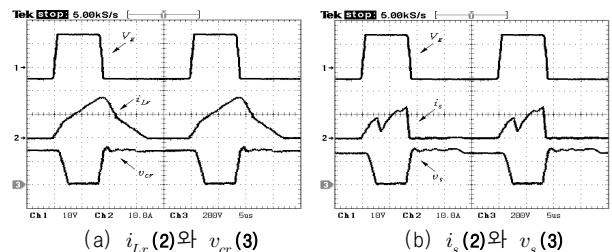


그림 4 스위치 제어신호 V_g 에 대한 각 부의 실험파형
Fig. 4 Experimental waveforms of each part for switching signal

4. 결론

제안한 컨버터는 전류불연속 모드에 의한 공진기법이 적용된 새로운 절연형 박-부스트 컨버터가 설계되어 회로구조와 제어기법이 간단하였다. 제안한 컨버터의 공진회로는 기존의 승강압용 인덕터와 스너버 회로를 공진회로로 변형 설계한 새로운 로스레스 스너버 회로구조로써 회로구성이 간단하였으며, 사용된 제어용 스위치들의 소프트 스위칭에 의한 컨버터의 효율을 증대시켰다.

- 감사의 글 -

본 연구는 2010년도 중소기업청 산학연 공동기술개발 지원사업으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] Y. M. Choi, J. Y. Lim, "A Study on Optimal Design of Photovoltaic System for Efficiency Progress", *Journal of IKEEE*, Vol. 13, No. 2, pp. 175-180, 2009.
- [2] Y. T. Jang, M. Jovannovic, et al., "High-Power-Factor Soft-Switched Boost Converter", *IEEE Trans. on PE*, Vol. 21, No. 1, pp. 98-104, 2006.