

출력 전압 제어 가능한 부스트 컨버터 적용 절연형 시그마 컨버터

배인애, 차헌녕
경북대학교

Boost Converter Based Isolated Sigma Converter with Output Voltage Regulation Capability

Inae Bae, Honnyong Cha
Kyungpook National University

ABSTRACT

본 논문에서는 출력 전압 제어를 위해 부스트 컨버터를 적용한 시그마 컨버터를 제안한다. 기존 시그마 컨버터는 출력 전압 제어를 위해 벽 컨버터를 적용하였다. 벽 컨버터를 적용할 경우, 보조 변압기로 승압한 후 벽 컨버터로 강압하기 때문에 비효율적인 측면이 있다. 제안하는 시그마 컨버터에는 부스트 컨버터를 적용하여 기존의 비효율적인 방식을 개선하였다. 컨버터의 성능을 PLECS 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

1. 서론

LLC 공진형 컨버터는 LLC의 직렬 공진 주파수에서 동작시킬 때 가장 높은 효율을 가진다. LLC 컨버터의 제어를 위해 DC-DC 컨버터를 사용한 기존의 two-stage 구조는 DC-DC 컨버터에 전체 입력 전력이 인가된다. 반면 절연형 시그마 컨버터의 경우, 두 변압기의 1차 측은 직렬로 연결하고 2차 측은 병렬로 연결하여 대부분의 전력은 주 변압기에 의해 부하로 전달되고, 그 외 나머지 전력만이 보조 변압기와 cascaded DC-DC 컨버터를 통해 부하로 전달되므로 기존 방식에 비해 높은 효율을 갖는다.

본 논문에서는 기존에 소개된 시그마 컨버터의 cascaded DC-DC 컨버터에 벽 컨버터 대신 부스트 컨버터를 적용하였다.^[1] 보조 변압기를 통해 승압 후 다시 강압시키는 벽 컨버터와는 달리, 부스트 컨버터 적용 시 보조 변압기는 단지 절연의 기능만 수행한다. 부스트 컨버터의 전류 모드 제어(Current-mode control)를 이용한 출력 전압 제어 성능은 서로 다른 세 가지 입력 전압에 대한 시뮬레이션 결과를 통해 검증한다.

2. 부스트 컨버터가 적용된 절연형 시그마 컨버터

2.1 회로 구조 및 특징

그림 1은 제안하는 시그마 컨버터의 회로를 나타낸다. 두 변압기 TR1과 TR2의 1차 측은 직렬로 연결하는 반면, TR2의 2차 측은 부스트 컨버터의 입력과 종속적으로 연결되고, 부스트 컨버터의 출력은 다이오드 정류기를 지난 TR1의 2차 측 출력과 병렬로 연결된다. S1과 S2의 스위칭 주파수는 L_r 와 C_r 의 공진 주파수와 같으며 0.5의 고정 듀티 비로 동작시킨다. 반면

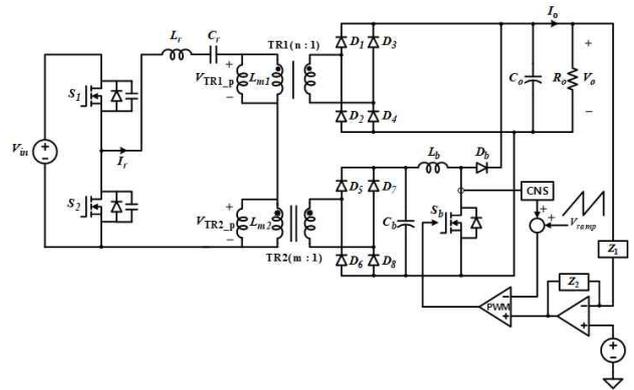


그림 1 부스트 컨버터가 적용된 절연형 시그마 컨버터
Fig. 1 Boost converter based isolated sigma converter

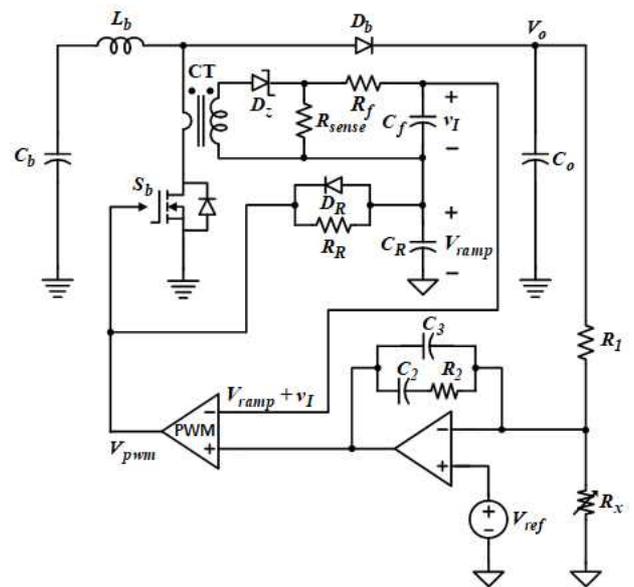


그림 2 부스트 컨버터 전류 모드 제어 회로
Fig. 2 Circuit diagram for current-mode controlled boost converter

부스트 컨버터의 듀티 비는 출력 전압 제어를 위한 페루프 피드백을 통해 결정된다.

그림 2는 부스트 컨버터의 전류 모드 제어 회로를 나타낸다. 전압 모드 제어와는 달리, 전류 모드 제어는 변류기(CT)를 통

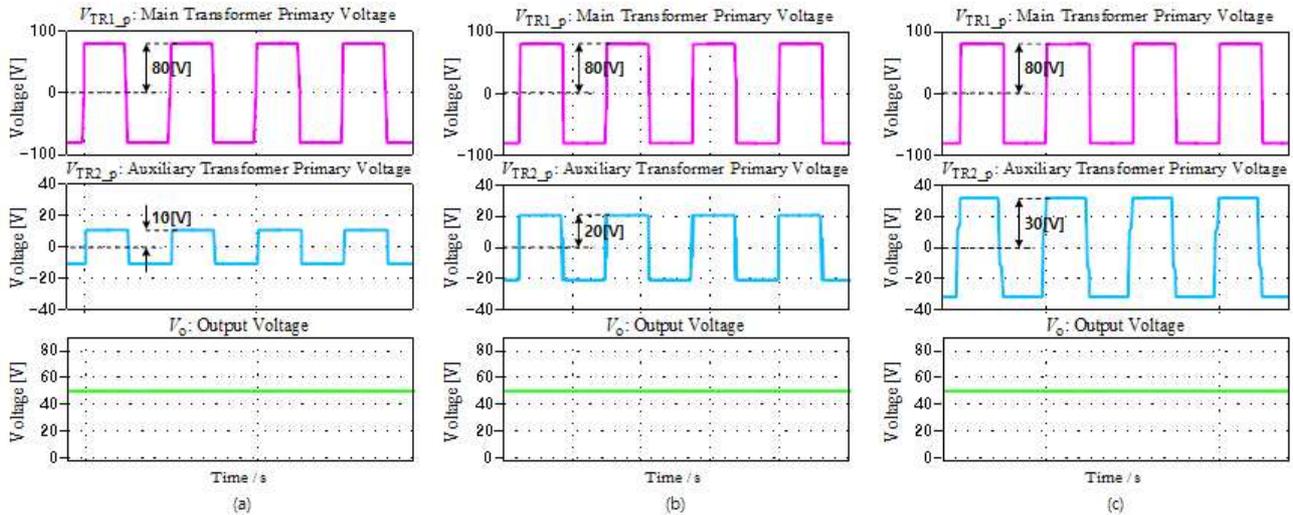


그림 3 페루프 동작 시 입력 전압 변화에 따른 주요 전압 파형 (a) $V_{in} = 180[V]$ (b) $V_{in} = 200[V]$ (c) $V_{in} = 220[V]$
 Fig. 3 Key voltage waveforms as input voltage changes during closed-loop operation

표 1 시뮬레이션 사양
 Table 1 Simulation parameters

Input voltage	$V_{in} = 180 - 220V$
Output	$V_o = 50V, P_o = 1kW$
LLC switching frequency	$f_{sw_LLC} = 40kHz$
Resonant parameters	$L_r = 15.1\mu H, C_r = 998nF$
Transformer TR1	$n = 1.6, L_{m1} = 75.5\mu H$
Transformer TR2	$m = 1, L_{m2} = 19\mu H$
Boost converter parameters	$f_{sw_b} = 15kHz, L_b = 150\mu H$

해 감지한 부스트 컨버터의 스위치(Sb) 전류를 페루프 PWM 제어에 활용한다. RHP 영점이 존재하는 부스트 컨버터의 경우, 전류 모드 제어 방식이 동특성 향상에 적합하다.

2.2 컨버터 설계 시 고려사항

제안하는 컨버터는 두 변압기의 1차 측이 직렬로 연결되어 있으므로 두 변압기의 1차 측에 흐르는 전류는 같고, 주 변압기(TR1)와 보조 변압기(TR2)를 통해 부하로 전달되는 전력 비는 두 변압기의 1차 측 전압 비와 같다.^[2]

$$\frac{P_{main}}{P_{aux}} = \frac{V_{TR1_p}}{V_{TR2_p}}, \quad I_{TR1_p} = I_{TR2_p} = I_r \quad (1)$$

입력 전압 변화에 따른 출력 전압 제어 시, 주 변압기 1차 측 전압은 출력 전압에 종속적이므로 일정한 반면, 보조 변압기 1차 측 전압은 다음과 같이 결정된다.

$$V_{TR2_p} = \left(\frac{V_{in}}{2}\right) - V_{TR1_p} = \left(\frac{V_{in}}{2}\right) - n V_o \quad (2)$$

3. 시뮬레이션 결과

제안하는 시그마 컨버터 동작의 타당성을 검증하기 위해 PLECS 시뮬레이션을 진행하였다. 표 1은 시뮬레이션 사양을 나타낸다.

그림 3은 제안하는 시그마 컨버터의 페루프 피드백 동작 시 시뮬레이션 파형으로 입력 전압의 변화에 따른 각 변압기 1차 측 전압 및 출력 전압을 나타낸다.

시뮬레이션 결과, 180[V]–220[V] 범위의 입력 전압 변화에도 주 변압기 1차 측 전압은 80[V]로 일정하게 유지되는 반면, 보조 변압기 1차 측 전압은 식 (2)에 따라 10[V]–30[V]까지 변하는 것을 확인할 수 있다. 출력 전압 또한 부스트 컨버터의 전류 모드 제어에 의해 입력 전압의 변화에도 50[V]의 일정한 전압으로 유지되는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 출력 전압 제어를 위해 부스트 컨버터를 적용한 절연형 시그마 컨버터를 제안하였다. 부스트 컨버터의 출력 전압 제어 능력을 검증하기 위해 페루프 동작 시 시그마 컨버터의 입력 전압 변화에 따른 주요 전압 파형을 PLECS 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

참고 문헌

- [1] X. Wu, H. Chen and Z. Qian, "1-MHz LLC Resonant DC Transformer (DCX) With Regulating Capability," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 63, no. 5, pp. 2904–2912, May 2016
- [2] M. Ahmed, C. Fei, F. C. Lee and Q. Li, "High-efficiency high-power-density 48/1V sigma converter voltage regulator module," 2017 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Tampa, FL, USA, 2017, pp. 2207–2212