

고역률을 갖는 소프트 스위칭 2-스위치 공진형 AC-DC 컨버터

이신우, 도현락
서울과학기술대학교

Soft-Switching Two-Switch Resonant AC-DC Converter with High Power Factor

Sin Woo Lee, Do Hyun Lark
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

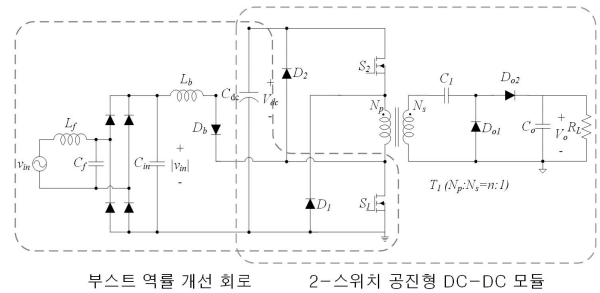
본 논문은 고역률을 갖는 소프트 스위칭 2-스위치 공진형 AC-DC 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 높은 역률을 위한 부스트 역률개선 회로와 전기적 절연을 위한 2-스위치 공진형 DC-DC 컨버터 모듈로 구성된다. 주 스위치의 최대 전압은 DC링크 전압으로 고정되며 누설 인덕터의 에너지가 DC링크 커패시터에 흡수되며 주 스위치와 출력 다이오드의 소프트 스위칭 구동으로 스위칭 손실이 크게 감소하였다. 결론적으로 전력 변환 효율이 향상되었다. 제안된 컨버터는 이론적 해석과 60[W] 하드웨어 시작품을 제작하여 검증하였다.

1. 서론

최근 수년간, 높은 효율과 낮은 고조파 왜곡을 가지는 능동형 역률개선 회로를 적용한 AC-DC 컨버터에 대한 산업의 요구가 급격히 증가하고 있다. 이러한 컨버터는 제어 기법에 따라 1단과 2단 타입으로 나뉘어진다. 2단 역률개선 컨버터는 역률개선 AC-DC 컨버터와 출력전압 제어 DC-DC 컨버터로 구성되며 고역률, 저전압 스트레스 등의 좋은 성능을 가지지만, 많은 부품수, 높은 가격, 1단 타입 대비 낮은 효율 등의 단점을 가진다. 따라서 저전력 분야에서 수많은 1단 역률개선 회로가 제안되어 왔다. [1]-[2]

기존의 부스트-플라이백 역률개선 컨버터는 단순한 구조와 낮은 비용의 장점을 가진다. 하지만 주 스위치의 큰 전압 스트레스와 하드 스위칭으로 인한 스위칭 손실이 크다. 또한 누설 인덕터에 흐르는 전류를 흡수하기 위하여 별도의 RCD스너버가 필요하다. 이는 전력변환 효율을 감소시킨다.

그림 1은 고역률을 갖는 소프트 스위칭 2-스위치 공진형 AC-DC 컨버터이다. 높은 역률을 위하여 부스트 역률개선 셀은 불연속 모드로 동작한다. 전기적 절연과 적은 스위칭 손실을 위하여 2-스위치 공진형 DC-DC 모듈은 임계 모드로 동작한다. 또한, 2-스위치 구조로 기존 대비 스위치의 전압 스트레스가 절반으로 감소되며 2차측이 LC공진 탱크를 갖는 전압-더블러로 구성되어 출력다이오드의 영전류 스위칭을 만족시켜 출력다이오드의 역회복 손실이 완화된다. 또한 누설 인덕터의 에너지는 스너버 다이오드에 의해 DC링크 커패시터에 흡수되었다가 출력단으로 전달된다. 본 논문에서는 높은 역률과 효율 향상을 증명하기 위하여 제안된 회로의 동작원리를 설명하고, 시작품의 실험 결과를 분석한다.



부스트 역률 개선 회로 2-스위치 공진형 DC-DC 모듈

그림 1. 제안하는 컨버터의 회로

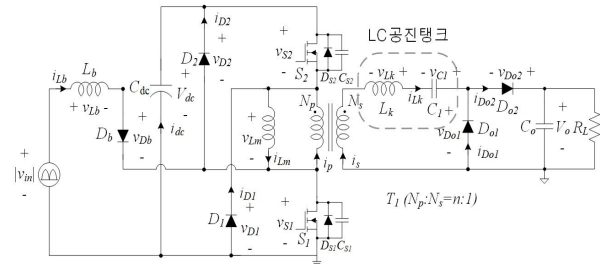


그림 2. 제안하는 컨버터의 등가 회로

2. 이론적 해석

이론적 해석의 편의를 위하여 입력 필터와 브릿지 다이오드는 생략하고 입력전압은 정류된 전압 $|v_{in}|$ 으로 표기한다. 부스트 역률개선 회로는 부스트 인덕터 L_b , 역저지 다이오드 D_b , 스위치 S_1 로 구성된다. 2-스위치 공진형 DC-DC 모듈은 결합 인덕터 T_1 를 기준으로 1차측에는 DC링크 커패시터 C_{dc} , 스너버 다이오드 D_1, D_2 , 스위치 S_1, S_2 로 구성되며 2차측에는 공진 커패시터 C_1 , 출력 다이오드 D_{o1}, D_{o2} , 출력 커패시터 C_o 로 구성된다. T_1 의 결합인덕터 T_1 는 자화 인덕터 L_m , 누설 인덕터 L_k , 그리고 $n:1 (=N_p:N_s)$ 의 턴비를 가지는 이상적인 트랜스포머로 모델링 하였다. 누설 인덕터 L_k 는 LC공진 탱크의 공진 인덕터로 사용된다. DC링크 커패시터와 출력 커패시터 전압은 V_{dc} 와 V_o 로 가정한다.

모드 1 [t_0, t_1] : 누설 인덕터 L_k 와 기생 커패시터 C_{s1}, C_{s2} 에 의해 공진에 의해, 스위치의 드레인 전압이 최소일 때, 스위치가 켜진다. L_b 와 L_m 에 걸리는 전압은 각각 V_{in}, V_{dc} 로 전류가 증가한다. 또한, 출력 다이오드 D_{o2} 의 도통이 시작되고, L_k 와 C_1 과 공진이 발생한다. 공진 전류 i_{Lk} 는 다음과 같다.

$$i_{Lk}(t) = \frac{V_{dc}/n + V_{C1} - V_o}{Z_0} \sin \omega_0(t - t_0), \quad (1)$$

$$Z_0 = \sqrt{L_k/C_1}, \quad (2)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_k C_1}}. \quad (3)$$

모드 2 [t_1, t_2] : 누설 인덕터의 공진 전류 i_{Lk} 가 0이 되면 이 모드가 시작되며 D_{o2} 는 영전류 스위칭 조건에서 꺼진다.

모드 3 [t_2, t_3] : 스위치가 꺼지면 스너버 다이오드 D_1, D_2 에 의해 각 스위치 S_1, S_2 에 걸리는 전압은 V_{dc} 로 고정되며 누설 인덕터의 에너지가 DC링크 커패시터로 흡수된다. D_1 에 의해 L_b 에 걸리는 전압은 $-(V_{dc} - |v_{in}|)$ 이 되어 전류가 감소한다

모드 4 [t_3, t_4] : 누설 인덕터의 에너지가 모두 DC링크 커패시터로 전달되면 스너버 다이오드 전류가 0이 되고 D_2 가 꺼지며 이 모드가 시작된다. L_m 에 걸리는 전압은 $-(V_{Lk} + v_{C1})$ n 이 되어 전류가 감소한다.

모드 5 [t_4, t_5] : t_4 에서 i_{Lb} 가 0이 되고 D_b, D_1 은 영전류 스위칭 조건에서 꺼진다.

모드 6 [t_5, t_6] : t_5 에서 i_{Lm} 는 0이 되고 D_{o1} 은 영전류 스위칭 조건에서 꺼진다. v_{s1} 과 v_{s2} 는 C_{S1} 와 C_{S2} L_m 의 공진에 의해 비선형으로 감소한다.

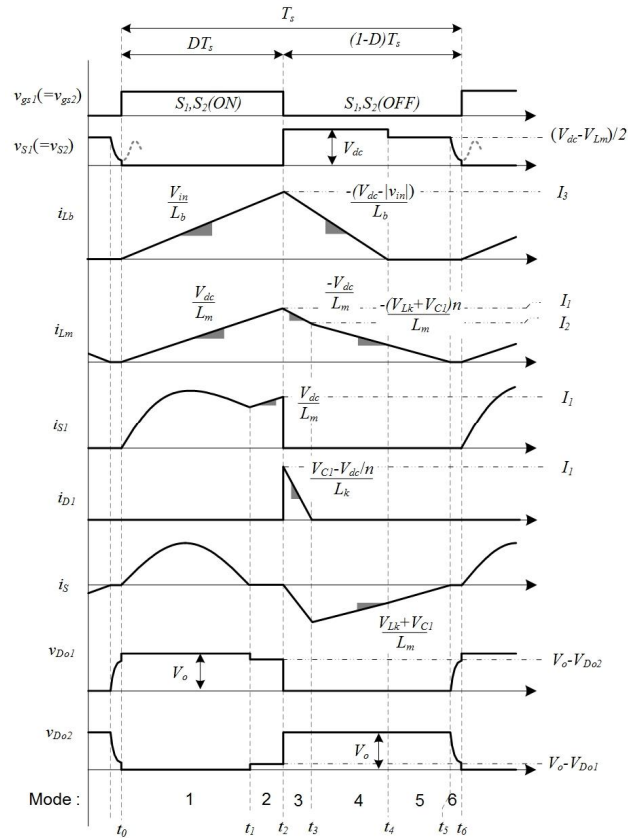


그림 3. 제안하는 컨버터의 이론적 파형

3. 실험 결과

표 1은 실험에 사용된 제안된 컨버터의 설계 사양이다. 그림 4는 입력 전압이 110[V_{ac}]일 때 주요 실험 파형을 측정된 것이다. 입력전류 파형이 정현파와 비슷하고 입력전압과 위상이 같기 때문에 높은 역률이 만족된다. 스위치 전압의 경우에는 게이트 파형이 입력되기 전에 드레인-소스 전압이 감소하여 스위칭 손실이 크게 줄어들었다. 또한 출력 다이오드가 영전류 스위칭하는 것을 확인 할 수있다. 최대부하에서 제안하는 컨버터의 효율은 110[V_{ac}]에서 91.3[%], 그리고 역률은 0.98 이상으로 측정되었다.

표 1. 실험에 사용한 컨버터의 설계사양

V_{in}	90~130[V _{ac}]	V_o	48 [V _{DC}]
$f_{sw(min)}$	90 [kHz]	P_o	60 [W]
L_b	355 [μ H]	L_m	1.48 [mH]
n	9 [Turn]	C_{dc}	47 [μ F]
C_o	1410 [μ F]		

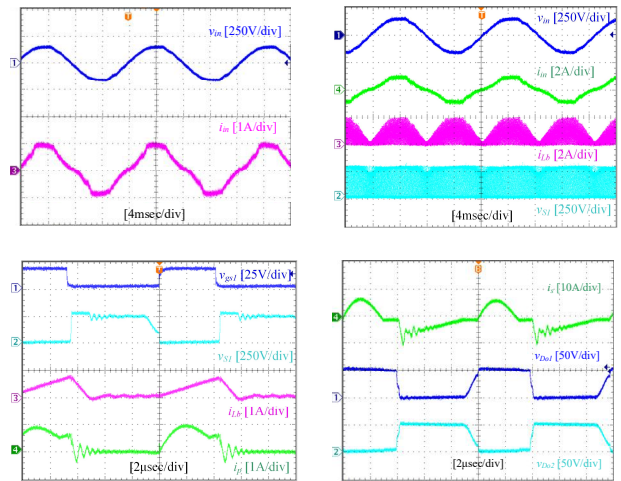


그림 4. 최대 부하에서 $v_{in}=110[V_{ac}]$ 일 때, 주요 실험 파형

4. 결론

본 논문에서는 고역률을 갖는 소프트 스위칭 2-스위치 공진형 AC-DC 컨버터를 제안하고 동작특성과 성능을 실험을 통하여 알아보았다. 부스트 셀의 불연속 모드 동작으로 높은 역률이 만족되었고, 2-스위치 공진형 DC-DC 모듈의 임계모드 동작과 출력다이오드의 공진 구동으로 스위칭 손실이 감소하였다.

참고 문헌

- [1] Y.-C. Li and C.-L. Chen, "A Novel Primary-Side Regulation Scheme for Single-Stage High-Power-Factor AC-DC LED Driving Circuit," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 60, no. 11, pp. 4978-4986, Nov. 2013.
- [2] K.-B. Park, G. W. Moon, and M.-J. Youn, "Two-Switch Active-Clamp Forward Converter With One Clamp Diode and Delayed Turnoff Gate Signal" IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 58, No. 10, pp. 4768-4772, Oct. 2011.