

보조 스너버 회로가 없는 고효율의 1단 부스트-플라이백 역률개선 컨버터

양재원, *도현락
국방과학연구소, *서울과학기술대학교

High Efficient Single-Stage Boost-Flyback PFC Converter Without Additional Snubber Circuit

Yang Jae Won, *Do Hyun Lark
Agency for Defense Development, *Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 보조 스너버 회로가 없는 고효율의 1단 부스트-플라이백 역률개선 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 높은 역률을 위한 부스트 역률개선 셀과 전기적 절연을 위한 플라이백 DC-DC 모듈로 구성된다. 입력전력의 일부는 출력단으로 직접 전달되기 때문에 효율이 증가한다. 그리고 누설인덕터의 에너지가 DC링크 캐패시터에 흡수되기 때문에 별도의 스너버 회로가 필요하지 않다. 제안된 컨버터는 이론적 해석과 100[W]하드웨어 시작품을 제작하여 검증하였다.

1. 소개

최근에 높은 효율과 역률을 개선하기 위하여 능동형 역률개선 회로를 적용한 수많은 AC-DC 컨버터가 소개되어 왔다. 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. 이러한 이유로 인하여 저전력 분야에서 수많은 1단 역률개선 회로가 제안되어 왔다.^{[1]-[2]}

기존의 부스트-플라이백 역률개선 컨버터에서는 DC링크 캐패시터가 입력단과 출력단의 버퍼 역할을 하기 때문에 높은 역률, 적은 리플의 출력전압이 만족된다. 하지만 누설 인덕터에 흐르는 전류를 흡수하기 위하여 별도의 RCD스너버가 필요하다. 이는 전력변환 효율을 감소시킨다. [1]에서 제시된 컨버터는 누설 인덕터의 에너지를 입력 캐패시터로 이동하여 효율을 증가시키고 스위치의 전압 스트레스를 감소시켰다. [2]에서는 높은 역률을 위하여 마그네틱 스위치를 이용한 Quasi 능동형 역률개선 회로를 제안하였다. 그리고 누설인덕터의 에너지를 출력단으로 전달하기 위하여 추가 DC-DC 모듈이 사용되었다.

그림 1은 제안하는 1단 부스트-플라이백 역률개선 컨버터이다. 높은 역률을 위하여 부스트 역률개선 셀은 불연속 모드로 동작한다. 전기적 절연과 적은 스위칭 손실을 위하여 플라이백 DC-DC 모듈은 임계 모드로 동작한다. 입력전력의 일부는 출력단으로 직접 전달되고, 나머지 전력은 DC링크 캐패시터에 저장된다. 누설 인덕터의 에너지는 스너버 다이오드에 의해 DC링크 캐패시터에 흡수되었다가 출력단으로 전달된다. 본 논문에서는 높은 역률과 효율 향상을 증명하기 위하여 제안된 회로의 동작원리를 설명하고, 시작품의 실험 결과를 분석한다.

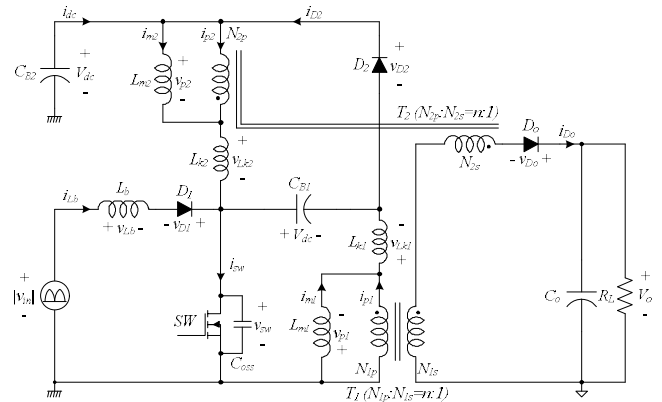


그림 1. 제안하는 컨버터의 등가 회로

2. 이론적 해석

이론적 해석의 편의를 위하여 입력 필터와 브릿지 다이오드는 생략한다. 입력전압은 정류된 전압 $|v_{in}|$ 으로 표기한다. 부스트 역률개선 셀은 부스트 인덕터 L_b , 역저지 다이오드 D_1 , 스위치 SW 로 구성된다. 플라이백 DC-DC 모듈은 결합 인덕터 T_1 , T_2 와 DC링크 캐패시터 C_{B1} , C_{B2} , 스너버 다이오드 D_2 , 출력 다이오드 D_o , 출력 캐패시터 C_o 로 구성된다. 제안하는 컨버터의 결합 인덕터와 DC링크 캐패시터는 $T_1 = T_2$, $C_{B1} = C_{B2}$ 로 동일하다고 가정한다. 결합인덕터 $T_1 (= T_2)$ 는 자화 인덕터 $L_{m1} (= L_{m2})$, 누설 인덕터 $L_{k1} (= L_{k2})$, 그리고 $n:1 (= N_{1p}:N_{1s} = N_{2p}:N_{2s})$ 의 턴비를 가지는 이상적인 트랜스포머로 모델링하였다. DC링크 캐패시터와 출력 캐패시터 전압은 V_{dc} 와 V_o 로 가정한다.

모드 1 [t_0 , t_1] : 누설 인덕터 L_{k1} , L_{k2} 와 기생 캐패시터 C_{oss} 에 의해 공진이 발생하고, 스위치의 드레인 전압이 최소일 때, 스위치가 켜진다. L_b 와 L_{k1} 에 걸리는 전압은 각각 V_{in} , $L_{k1}V_{dc}/(L_{m1}+L_{k1})$ 이 되어 전류가 증가한다.

모드 2 [t_1 , t_2] : 스위치가 꺼지면 C_{oss} 에 걸리는 전압은 $2V_{dc}$ 가 될 때까지 증가한다. C_{oss} 의 값이 매우 작기 때문에 t_1 과 t_2 의 시간 간격은 매우 짧아서 생략 가능하다.

모드 3 [t_2 , t_3] : 스위치 전압이 $2V_{dc}$ 에 도달하면 D_2 는 도통된다. v_{Lb} 는 $-(2V_{dc} - V_{in})$ 이므로 전류 i_{Lb} 는 감소한다. L_{m1} 과 L_{k1} 에 걸리는 전압은 각각 $-nV_o/2$, $-(V_{dc} - nV_o/2)$ 가 된다.

모드 4 [t_3, t_4] : D_2 가 꺼지면 이 모드가 시작된다. L_b 와 L_{kl} 에 걸리는 전압은 각각 $-2L_b(V_{dc}+nV_o/2-V_{in})/(2L_b+L_{kl})$, $L_{kl}(V_{dc}+nV_o/2-V_{in})/(2L_b+L_{kl})$ 이 되어 i_{Lb} 는 감소하고, i_{Lkl} 은 증가한다.

모드 5 [t_4, t_5] : t_4 에서 i_{Lb} 가 0이 되고 D_1 은 영전류 스위칭 조건에서 꺼진다. i_{Do} 는 $-n2V_o/(2L_{m1})$ 의 기울기로 감소한다.

모드 6 [t_5, t_6] : t_5 에서 i_{Lm1} 과 i_{Lm2} 는 0이 되고 D_0 는 영전류 스위칭 조건에서 꺼진다. v_{sw} 는 C_{oss} 와 $L_{m1}+L_{kl}(=L_{m2}+L_{k2})$ 의 공진에 의해 비선형으로 감소한다.

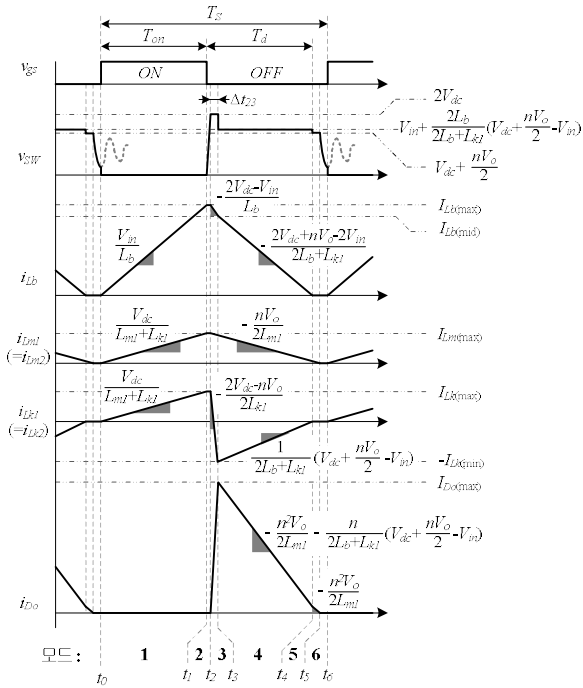


그림 2. 제안하는 컨버터의 이론적 파형

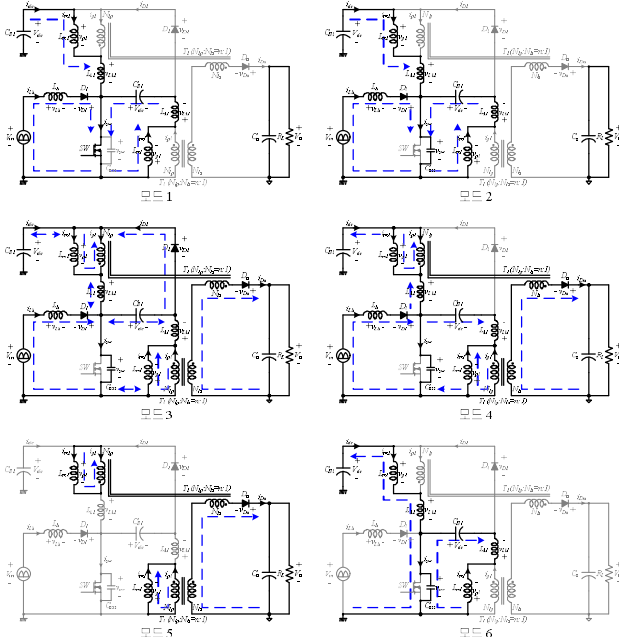


그림 3. 제안하는 컨버터의 동작 모드

표 1. 실험에 사용한 컨버터의 설계사양

V_{in}	100~230[V _{ac}]	V_o	48[V _{DC}]
$f_{sw(min)}$	30[kHz]	P_o	100[W]
L_b	438[μ H]	L_{m1}, L_{m2}	907[μ H]
n	3[Turn]	C_{B1}, C_{B2}	47[μ F]
C_o	1410[μ F]		

3. 실험 결과

표 1은 실험에 사용된 제안된 컨버터의 설계 사양이다. 그림 4와 5는 입력전류가 각각 100, 230[V_{ac}]일 때의 입력전류와 동작파형을 측정된 것이다. 입력전류 파형이 정현파와 비슷하면서 입력전압과 위상이 같기 때문에 높은 역률이 만족된다. 스위치 전압의 경우에는 게이트 파형이 입력되기 전에 드레인-소스 전압이 감소하여 스위칭 손실이 크게 줄어들었다. 최대부하에서 제안하는 컨버터의 효율은 100[V_{ac}]에서 90.7[%], 230[V_{ac}]에서 91.92[%], 그리고 역률은 0.956 이상으로 측정되었다.

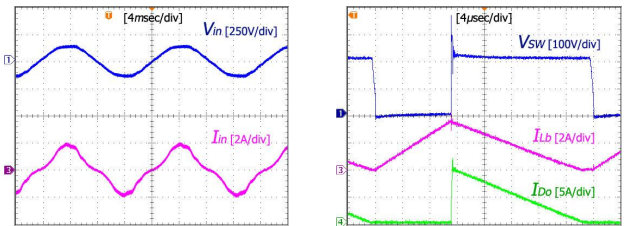


그림 4. $v_{in}=100$ [V_{ac}]일 때, 입력전류와 동작파형

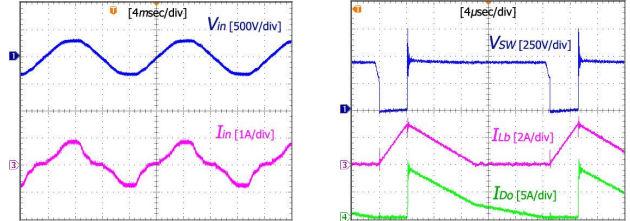


그림 5. $v_{in}=230$ [V_{ac}]일 때, 입력전류와 동작파형

4. 결론

본 논문에서는 보조 스너버 회로가 없는 고효율의 1단 부스트-플라이백 역률개선 컨버터를 제안하고 동작특성과 성능을 실험을 통하여 알아보았다. 부스트 셀의 불연속 모드 동작으로 높은 역률이 만족되었고, 플라이백 모듈의 임계모드 동작으로 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] H. S. Athab, D. D.-C. Lu, A. Yazdani, and B. Wu, "An Efficient Single-Switch Quasi-Active PFC Converter With Continuous Input Current and Low DC-Bus Voltage Stress," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 4, pp. 1735-1749, April. 2014.