

저 손실형 소프트 스위칭 승압형 컨버터

박소리*, 장수진*, 원충연*, 정용채**
성균관대학교*, 남서울대학교**

Low Loss Soft Switching Boost Converter

So-Ri Park, Su-Jin Jang, Yong-Chae Jung, Chung-Yuen Won
Sungkyunkwan University*, Namseoul University**

ABSTRACT

A new soft switching boost converter is proposed in this paper. The conventional boost converter generates switching losses at turn on and off. Because of that, the whole system efficiency is reduced. The proposed converter utilizes soft switching method using an auxiliary switch and resonant circuit. Thus, the converter reduces switching losses lower than ones of hard switching method. The proposed soft switching boost converter can be applied to photovoltaic system, power factor correction circuit and so on.

1. 서론

최근 스위칭 전원장치가 소형 경량화 됨에 따라 스위칭 주파수를 증가시키는 추세에 있다. 그러나 스위칭 주파수가 고주파화 됨에 따라 스위치 턴-온, 오프 시에 주기적으로 생기는 스위칭 손실 또한 증가하게 된다. 이는 시스템 전체의 손실을 증가시키는 결과를 가져오게 된다. 따라서 스위칭 손실을 감소시키는 방법에 관하여 공진을 이용한 컨버터의 연구가 활발히 진행되고 있다^[1-2].

특히 최근에는 공진을 이용하여 영전압 및 영전류 스위칭 동작을 동시에 할 수 있는 ZVZCS 컨버터에 대한 연구 결과가 많이 나오고 있다. 그러나 이러한 컨버터는 공진을 이루기 위한 보조회로의 구성이 복잡하고 이에 따라 보조회로를 구성하기 위한 비용이 상승됨에 따라 실제로 구현하는데 많은 어려움이 따른다^[1].

또한 일반적인 보조스위치를 이용한 공진형 컨버터에서 주 스위치는 소프트 스위칭을 하지만 보조스위치는 하드 스위칭을 하여 이러한 컨버터를 사용하였을 때에 오히려 보조 스위치의 스위칭 손실 때문에 회로구성에 들어가는 비용에 비해 전체 시스템의 효율을 향상시키지 못하는 경우가 있다^[2].

본 논문에서는 보조 스위치와 공진 회로를 이용한 새로운 소프트 스위칭 승압형 컨버터를 제안한다. 사용된 공진 회로는 공진 인덕터와 공진 커패시터 그리고 다이오드와 보조스위치로 구성되며 주 스위치가 영전압 부근에서 소프트 스위칭을 하기 위해 부분적인 공진을 한다. 보조 스위치 또한 공진 회로에 의해 소프트 스위칭을 한다.

따라서 다른 소프트 스위칭 컨버터에 비하여 스위칭 손실을 줄여 같은 주파수에서 기존의 컨버터를 사용할 때 보다 전체

시스템 효율을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 IGBT를 이용한 1.6[kW], 30[kHz] 승압형 컨버터를 시뮬레이션 하였다.

2. 제안된 소프트 스위칭 승압형 컨버터

2.1 제안된 컨버터의 구성

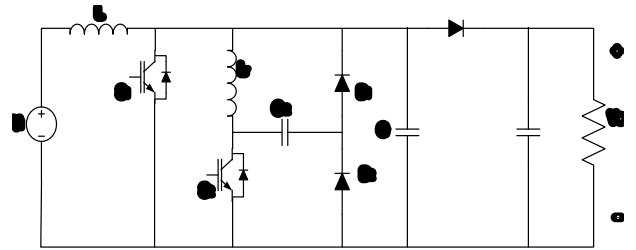


그림 1 제안된 소프트 스위칭 승압형 컨버터의 구성

그림 1은 제안된 컨버터의 회로이다. 기본적인 승압형 컨버터에 보조스위치와 공진 커패시터 2개, 공진 인덕터와 다이오드 두 개가 더해져 주 스위치 및 보조 스위치의 소프트 스위칭을 가능하게 한다.

2.2 동작모드 분석

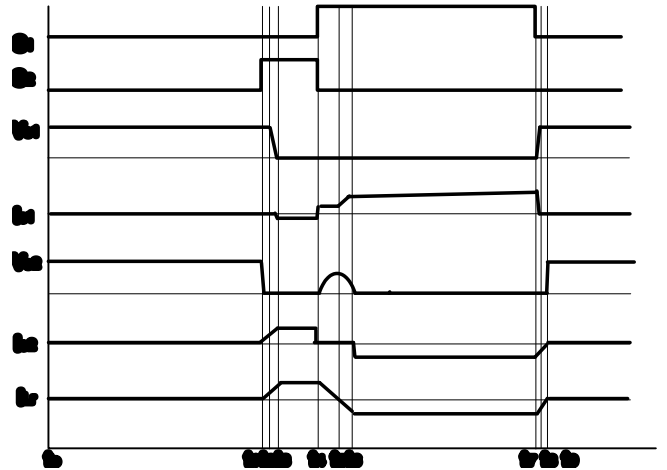


그림 2 제안된 회로의 동작 파형

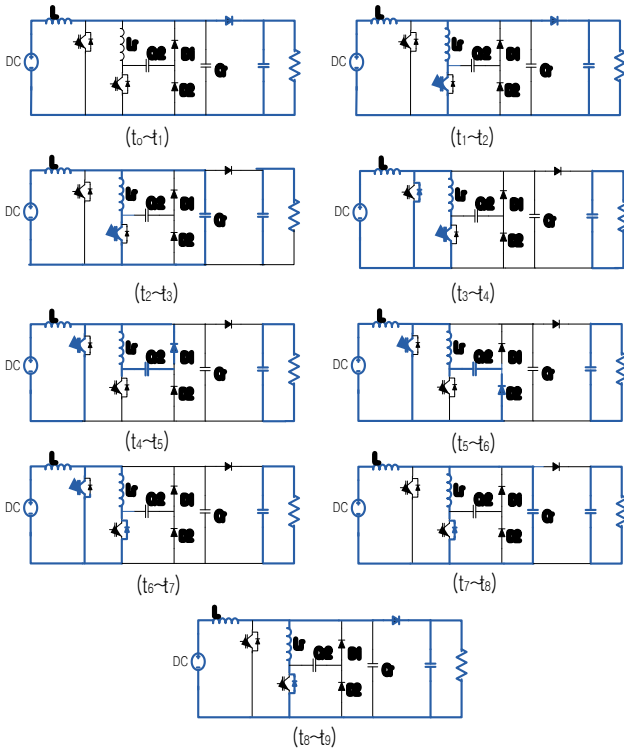


그림 3 제안된 회로의 동작모드

그림 2는 제안된 컨버터의 동작 파형이고, 그림 3은 이에 대한 동작 모드별 회로도를 도시한 것이다.

2.2 동작모드 설명

- 모드 1 ($t_0 - t_1$) : 모든 스위치가 오프되어 승압용 인덕터 L 에 축적된 에너지가 주 다이오드 D 를 통해 부하단으로 전달된다. 이때 보조 스위치가 턴-온 하면 모드 2가 시작 된다.
- 모드2 ($t_1 - t_2$) : 보조 스위치를 턴-온 하면 공진 인덕터 L_r 을 통해 전류가 흐르게 되고 공진 인덕터에 흐르는 전류는 선형적으로 증가하게 된다. 공진 인덕터에 흐르는 전류의 양이 승압용 인덕터에 흐르는 양과 같아지게 되면 이 모드는 종료된다.
- 모드3 ($t_2 - t_3$) : 모드 3은 공진인덕터와 승압용 인덕터에 흐르는 전류의 양이 같아지는 순간에 시작된다. 이때 주 다이오드는 차단되며 공진 커패시터 C_r 과 공진 인덕터는 공진하게 된다. 이 커패시터의 공진으로 인한 방전이 모두 끝나 커패시터의 전압이 0이 되고 이 모드는 끝나게 된다.

t_2 에서 공진 인덕터의 전압은 출력 전압 V_o 와 같으므로 공진 인덕터에 흐르는 전류가 승압용 인덕터에 흐르는 양과 같아지는

시간은 $t_{12} = \frac{I_{Lm}}{(V_o/L_r)}$ 이 된다. 이때 공진 인덕터와 공진

커패시터의 공진 주기는 $t = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{L_r C_r}$ 이 된다.

- 모드 4 ($t_3 - t_4$) : 공진 커패시터 C_r 과 공진 인덕터 L_r 이 공진을 하여 C_r 의 전압이 0이 되면 주 스위치의 역병렬 다이오드가 도통하며 이 모드가 시작된다. 역병렬 다이오드가 도통을 하게 되면 주 스위치에 걸리는 전압은 0이 되고 이 상태에서 스위치 on신호를 인가하여 주면 주 스위치는 영전압

구간에서 스위칭을 하는 것이 된다.

- 모드 5 ($t_4 - t_5$) : 모드 4에서 전류가 다이오드를 통해 환류하게 되면 커패시터 C_r 의 전압이 0이 되는 동시에 주 스위치는 영전압 조건에서 턴온하게 된다. 이때 보조스위치가 영전압 조건에서 오프되면 이 모드가 시작된다. 이 모드에서 공진 인덕터 L_r 과 C_r 가 공진을 시작한다. 커패시터와 인덕터가 반주기 공진 후 공진 L_r 의 공진 전류가 0이 되면 종료 된다. 이 때 공진 커패시터 C_r 는 공진으로 인해 커패시터가 충전된 상태가 된다.
- 모드 6 ($t_5 - t_6$) : 모드 5가 끝나게 되면 공진 인덕터 L_r 에 전류가 반대방향으로 흐르면서 모드 6이 시작된다. 모드 6에서는 C_{r2} 가 충전되어 있는 상태에서 주 스위치와 D_2 를 통해 모드 5와는 반대방향으로 공진이 시작된다. 이때 커패시터 C_r 는 공진이 되면서 충전되어있던 전압이 0으로 떨어진다. 이 커패시터의 전압이 완전히 0이 되면 커패시터와 인덕터의 공진주기가 모두 끝나게 되고 모드 6은 종료된다.
- 모드 7 ($t_6 - t_7$) : 모드 6이 끝나면 공진 커패시터 C_r 의 전압이 0이 되고 보조 스위치의 역 병렬 다이오드가 도통 할 수 있는 조건이 된다. 이때 전류는 보조 스위치의 역병렬 다이오드와 공진 인덕터 그리고 주스위치를 통해서 환류된다. 이 모드의 끝은 주 스위치가 오프 되는 시점이다.
- 모드 8 ($t_7 - t_8$) : 주 스위치가 영전압 조건에서 오프되면 모드 7이 끝나고 모드 8이 시작된다. 모드 8은 보조 스위치의 역병렬 다이오드에 흐르던 전류가 회복되는 구간으로 이 전류는 승압용 인덕터에 흐르는 전류와 함께 공진 커패시터 C_r 을 충전시키고 이 전압이 출력전압과 같아지면 모드는 종료된다.
- 모드 9 ($t_8 - t_9$) : 모드 9는 공진 커패시터의 충전이 끝나면 주 다이오드가 도통하는 구간이다. 보조 스위치에 흐르는 전류가 완전히 회복된 후 이 모드는 끝나게 되고 다시 모드 1로 돌아가게 된다.

그림 3에서 보는 것처럼 본 논문에서는 영전압 구간에서 이루어지는 소프트 스위칭 소자로 IGBT를 사용하였다.

보통 ZVS 방법은 스위치의 턴-온 전이 과정시 영전압 구간에서 스위칭 동작을 하여 기생 커패시턴스에 의한 턴-온 손실이 큰 MOSFET에 적절한 스위칭 방식으로 알려져 있다. 그러나 이러한 MOSFET의 경우 정격이 고압이나 고출력으로 갈수록 가격은 상승하게 되며 소자특성상 정격 전류가 커지면 $R_{DS(ON)}$ 의 증가로 인하여 도통 손실이 증가하게 되어 공진형 토폴로지에 적지 않은 문제점이 발생한다^[1].

따라서 본 논문에서는 소프트 스위칭에 의한 효율향상을 더욱 부각시키기 위하여 MOSFET보다 도통 손실이 적은 IGBT를 사용하였다.

3. 시뮬레이션 결과

표 1. 시뮬레이션에 사용된 각 파라미터 값

입력전압	V_i	200[V]
출력전압	V_o	400[V]
스위칭 주파수	f_s	30[kHz]
공진 커패시터	C_r	3.3[nF]
공진 커패시터	C_{r2}	30[nF]
공진 인덕터	L_r	20[μH]
승압용 인덕터	L_m	560[μH]

표 1은 시뮬레이션에 사용된 각 파라미터 값이다. 본 논문에서는 POWERSIM사의 PSIM 6.0을 사용하여 시뮬레이션을 하였다.

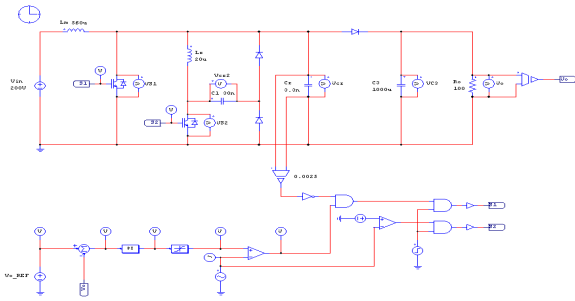


그림 4 시뮬레이션 전체 회로도

그림 4는 제안된 컨버터의 시뮬레이션 전체 회로도이다. 입력 전압을 200[V] 인가하였으며, 스위칭 주파수 30[kHz]의 조건 하에서 시뮬레이션 되었다. 출력전압을 제어하기 위하여 출력 전압을 센싱 받았으며 주 스위치를 영전압 구간에서 스위칭 하기 위하여 공진 컨버터 C_r 에 걸리는 전압을 검출 받아 제어를 하였다. 주 스위치가 공진 커패시터 C_r 의 전압이 0이 된 후에 턴-온이 이루어져야 하므로 공진 커패시터의 전압검출과 함께 곱해진 후에 최종 PWM신호가 형성된다.

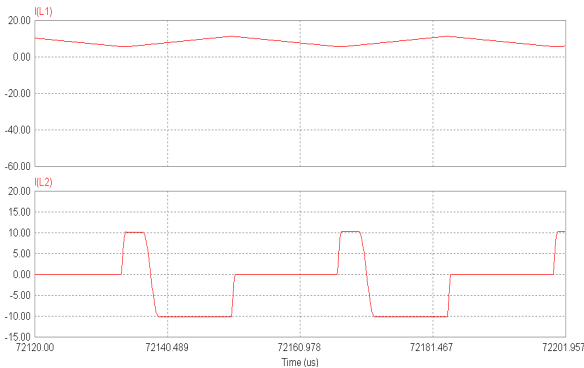


그림 5. 승압용 인덕터 전류와 공진인덕터 전류 파형

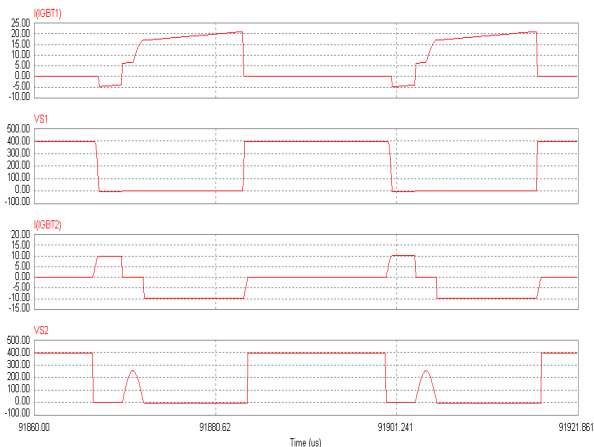


그림 6. 주 스위치와 보조 스위치의 전류, 전압 파형

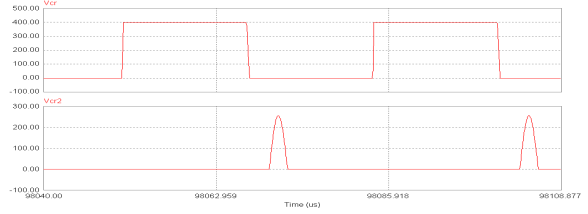


그림 7 공진 커패시터 C_r , C_2 의 전압 파형

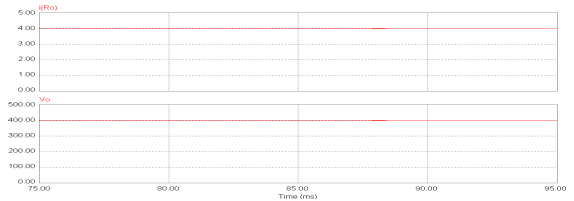


그림 8. 출력전류, 전압 파형

그림 5는 승압용 인덕터 전류와 공진 인덕터의 전류 파형이다. 주 스위치의 on-off상태에 따라 선형적으로 증가, 감소하는 것을 볼 수 있다.

그림 6은 주 스위치와 보조스위치의 전류와 전압 파형이다. 주 스위치가 영전압 구간에서 턴-온, 오프 하는 것을 볼 수 있다.

그림 7은 두 개의 공진 커패시터의 파형이다. C_{r2} 가 공진 인덕터와 공진 할 때의 파형을 확인 할 수 있다.

그림 8은 출력전류와 전압 파형이다. 입력 200[V]를 가했을때 출력전압이 400[V]로 제어 되며 1.6[kW]의 정 출력을 갖는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 보조스위치와 병렬 회로를 이용한 새로운 소프트 스위칭 승압형 컨버터를 제안하였다. 주 스위치는 공진 커패시터와 공진 인덕터에 의해 영전압 구간에서 스위칭 하여 소프트 스위칭이 이루어지며 이는 하드 스위칭을 할 때보다 많은 스위칭 손실을 줄일 수 있다. 일반적으로 ZVS가 MOSFET에 적용되는 것에 비해 본 논문에서는 IGBT를 사용함으로써 스위칭 손실뿐만 아니라 도통손실도 줄일 수 있는 효과를 얻을 수 있다.

본 논문에서 제안된 회로는 고효율 승압형 컨버터, 태양광 발전용 DC/DC 컨버터, 역률제어회로 등에 적용할 수 있다.

본 과제(결과물)는 산업자원부의 출연금으로 수행한 특성화대학원사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] 서기영, “액티브 보조 공진 스너버를 이용한 ZVT-PWM AC-DC 컨버터의 실험적 고찰”, 조명·전기설비학회 논문지 제18권 제2호 2004. 3, pp. 75 ~ 82
- [2] 김윤호, “소프트 스위칭 보조 스위치를 가지는 ZVT-PWM 부스트 컨버터”, 전력전자 학술대회 논문집 전력전자학회 1998년 학술대회 논문집 1998. 7, pp. 265 ~ 268