

변압기의 공진인덕터 전압 제한을 이용한 비절연형 소프트 스위칭 컨버터

김승주*, 유광민*, 신철준*, 권순만*, 이병권*, 박정건**, 김동락**, 이준영*
 명지대학교 전기공학과*, 삼성SDI**

Non-Isolated Soft-switching Converter using transformer resonant-inductor voltage limits

Seung Joo Kim*, Kwang Min Yoo*, Chul Jun Shin*, Sun Man Kwon*, Byung Kwon Lee*,
 Jeong Kurn Park**, Dong Rak Kim**, Jun Young Lee*

Department of Electrical Engineering, Myongji University*, SAMSUNG SDI Co. Ltd.**,

ABSTRACT

기술이 발전함에 따라 전력변환기의 소형화 고효율화가 요구되어지고, 이를 위해 고주파 스위칭 전력변환기가 필요로 하게 된다. 하지만 스위칭 주파수와 비례적으로 스위칭 손실이 증가하기 때문에 시스템의 효율이 감소한다.

이러한 문제를 해결하기 위해 DCM방식이나 공진을 이용한 ZVZCS(Zero Voltage Zero Current) 컨버터가 제안되고 있으나 소자의 정격용량이 커지는 단점을 갖는다.

또한 ZVT(Zero Voltage Transition)를 포함한 소프트 스위칭 기법을 적용하는 다양한 컨버터가 제안되고 있으나 공진전류의 첨두에서 보조스위치가 스위칭을 하게 되어 보조스위치 스위칭 손실이 큰 단점이 있다.

본 논문에서는 변압기로 공진인덕터의 전압을 제한시켜 보조스위치가 영전압/영전류 스위칭을 하게 함으로서 스위칭 손실을 발생시키지 않는 소프트 스위칭 구조를 제안한다.

구성된다. 이 외에 공진을 위한 공진인덕터 L_r 과 M_1, M_2 스위치 양단에 동일한 캐패시터 $C_r/2$ 을 가지고 있다. 이에 관한 회로 구성도는 그림1에 나타내었다.

공진회로의 경우 공진캐패시터 전압 V_{M2} 는 V_{in} 전압의 2배까지 상승하게 된다. 하지만 벽 컨버터의 구조상 V_{M2} 전압은 V_{in} 전압으로 Clamp가 되므로 공진전류는 공진전류의 첨두치에서 Freewheeling하게 되고 이로 인해 M_s 스위치의 스위칭 손실이 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해 변압기 T1을 사용하여 공진시 V_1 의 전압을 조절한다.

1. 서 론

Low Voltage DC/DC 컨버터는 저전압 대전류의 특성을 갖는 컨버터이고 일반적으로 출력 전압 12~24V, 출력 전류는 50~200A정도가 요구 된다. 이를 위해 주로 동기정류기를 사용하는 벽 컨버터를 사용하게 되는데, 이 때 Hard Switching으로 인한 스위칭 손실이 발생하며 패턴 설계에 따른 기생 인덕턴스와 스위치 내부의 기생 캐패시턴스와의 공진으로 스위치 drain source 간에 전압 스파이크가 발생하게 된다. 이러한 현상은 저전압 대전류의 특성을 갖을 때 더욱 심해지게 된다.

본 논문에서는 스위치와 공진인덕터, 공진인덕터에 전압 제한을 위한 변압기, 다이오드로 구성된 보조회로를 통해 보조스위치에 스위칭 손실을 발생시키지 않고 소프트 스위칭을 달성하는 1.2kW급 컨버터를 제작 및 실험하여 검증 한다.

2. 제안한 소프트 스위칭 벽 컨버터

제안한 소프트 스위칭 컨버터의 스위치 M_1 과 M_2 는 L_o 와 함께 벽 컨버터를 구성하고 있다. 또한 소프트 스위칭을 위한 보조회로로 M_s 스위치와 공진 인덕터에 걸린 전압을 제한시키기 위한 변압기 T1, 다이오드 D2, 변압기의 reset을 위한 D1로

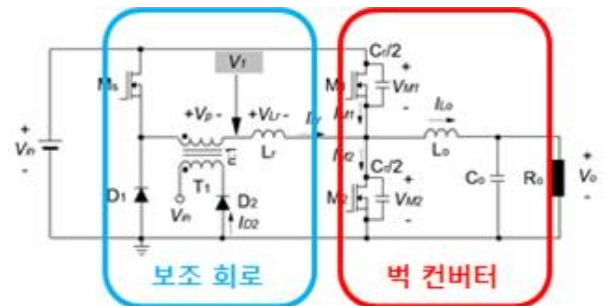
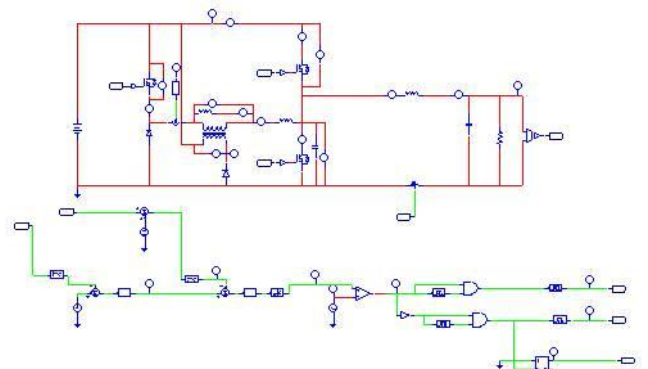


그림 1 제안한 소프트 스위칭 벽 컨버터
 Fig. 1 Proposed Soft-Switching Buck Converter

그림2는 제안된 소프트 스위칭 벽 컨버터의 시뮬레이션 회로 및 파형이다. 제안된 회로를 검증하기 위하여 설계식에 따라 L_r 은 1uH, C_r 은 130nF, 변압기 자화인덕턴스 20uH로 설계한다. 이 때 입력전압은 80V, 출력전압은 25V, 1.2kW용량으로 설계한다.



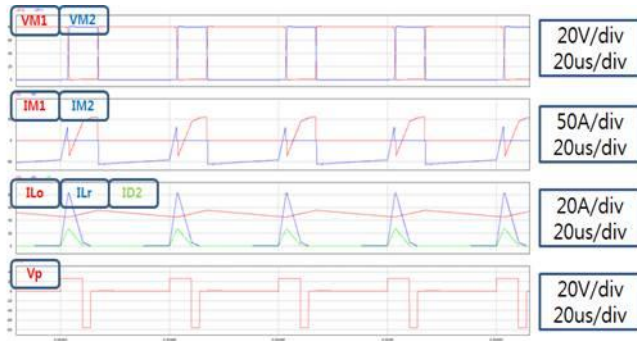


그림 2 제안한 소프트 스위칭 벅 컨버터 시뮬레이션 회로 및 파형
Fig. 2 Simulation for proposed Soft-Switching Buck Converter

M2스위치가 off되기 전 Ms스위치가 켜지면 공진인덕터의 전류 I_{Lr} 이 M2스위치로 흐르게 되고 이로 인해 D2가 on되어 변압기 1차측에는 V_{in}/n 의 전압이 흐른다. 이 구간 동안 공진인덕터 양단 전압 V_{Lr} 은 V_{in} , V_{in}/n 이므로 공진전류는

$$I_{Lr} = \frac{V_{in} - V_{in}/n}{L_r}(t - t_0)$$

위의 식과 같이 선형적으로 증가한다. 이 후 공진인덕터 전류가 출력전류와 같아지면 스위치 양단의 공진캐패시터와 공진을 시작하며 그 전류는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$I_{Lr} = \frac{V_{in} - V_{in}/n}{Z_r} \sin \omega(t - t_1) + I_{Lo}$$

이 때 VM2 양단의 전압은

$$V_{M2} = \left(V_{in} - \frac{V_{in}}{n} \right) (1 - \cos \omega(t - t_1))$$

이 상태로 V_{M2} 양단의 전압은 V_{in} 과 같아질 때까지 상승하게 된다. V_{M2} 의 전압은 공진 반주기가 끝나기 전까지 V_{in} 전압까지 상승하도록 설계한다. V_{M2} 의 전압과 V_{in} 전압이 같아지게 되면 공진인덕터의 전류는 M1스위치 바디 다이오드를 통해 흐른다. 이 때 M1스위치를 on시켜 소프트 스위칭을 달성한다. D2다이오드는 여전히 도통되어 있으며 V_{M2} 가 V_{in} 전압으로 유지하고 있으므로 공진인덕터 전류는 V_{in}/n 의 기울기를 가지고 선형적으로 감소하게 된다. 공진인덕터 전류가 자화전류와 같아질 때까지 지속된다. 공진인덕터의 전류가 자화전류와 같아지면 D2다이오드가 차단이 되며 변압기 1차측 양단 전압은 0이 되어 자화전류가 Ms스위치와 변압기, 공진인덕터 그리고 M1의 바디다이오드를 통해 Freewheeling하게 된다. Ms스위치가 off되면 다이오드 D1이 도통되고 변압기 1차측에는 V_{in} 전압이 인가되어 자화전류가 V_{in}/L_M 의 기울기를 가지고 0까지 떨어져 변압기가 reset된다.

공진인덕터와 공진캐패시터는 데드타임 T_{dead} 동안에 공진을 발생시켜 ZVS를 달성한다. 이를 위해 공진인덕터 전류는 데드타임이 끝나기 전에 출력 인덕터 전류에 도달해야 한다. 공진인덕터 전류가 출력 인덕터 전류에 도달하는 시간을 T_{dead} 의 몇%로 설계하는지는 설계자의 선택이다. 여기서 그 비율을 K라고 하면 공진인덕터의 설계식은 다음과 같다.

$$L_r = \frac{V_{in} - V_{in}/n}{I_{Lo}} K T_{dead}$$

K를 너무 작게 설계하면 L 값이 작아져 공진전류 침투치가 커지고 너무 크면 소프트 스위칭하는 시간이 부족하게 된다.

3. 실험 결과

표 1 Soft-Switching Buck Converter 주요소자

Table 1 Key devices of Soft-Switching Buck Converter

Soft Switching Buck Converter	
V_{in}	80V _{dc}
P_o	25V _{dc} /50A (1.2KW)
스위칭 주파수	50KHz
변압기	Core : PQ3230 2차측 L_M : 19.57uH 2차측 L_r : 0.56uH
공진 인덕터	0.6uH

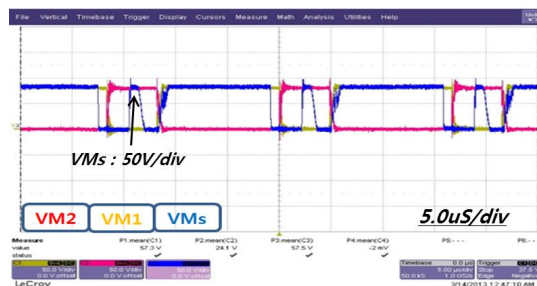
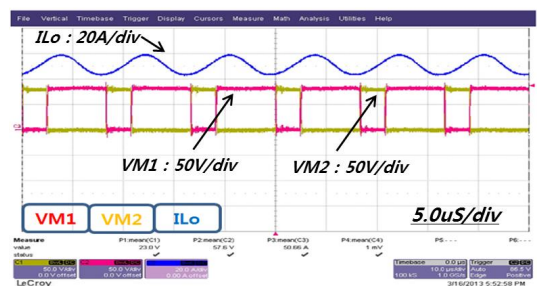


그림 3 제안한 소프트 스위칭 벅 컨버터 하드웨어 측정 파형

Fig. 3 Hardware measurement wave of Soft-Switching Converter

4. 결론

본 논문에서는 1.2kW급 Soft Switching Buck Converter를 설계 및 실험 검증 하였다. 효율은 900W에서 최대효율 95%이다. 스위칭 손실저감으로 차량용 저압 배터리 충전기 등의 전력변환기로서의 유용성을 확인 하였다.

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2011T100200280)

참고 문헌

- [1] Chul Jun Shin, Seung Hee Park, Kwang Min Yoo, Jun Young Lee. "변압기를 사용하는 비절연형 소프트 스위칭 컨버터" 전력전자학회, 전력전자학회 2012년도 하계학술대회 논문집, 2012.7, page(s):9 10
- [2] Jun Young Lee et. al, "The Current Injection Method for AC Plasma Display Panel(PDP) Sustainer," Vol.51, No.3, 2004, IEEE IE