

환류다이오드의 전압스트레스가 강하된 Soft-Switching Buck 컨버터

이 건 행 김 영 석 김 명 오
 인하대학교 인하대학교 인하대학교

Soft-Switching Buck Converter dropped Voltage Stress of Free-Wheeling Diode

Gun-Haeng Lee Young-Seok Kim Myung-O Kim
 Inha University Inha University Inha University

Abstract - This paper presents a buck circuit topology of high-frequency with a single switching element. It solved the problem which arised from hard-switching in high-frequency using a resonant snubber and operating under the principle of ZCS turn-on and ZVS turn-off commutation schemes. In the existing circuit, it has the voltage stress which is twice of input voltage in free-wheeling diode. But in the proposed circuit, it has voltage stress which is lower than input voltage with modifying a location of free-wheeling diode. In this paper, it explained the circuit operation of each mode and confirmed the waveform of each mode with simulation result. Also the experiment result verified the simulation waveform and compared the existing voltage stress of free-wheeling diode with the proposed voltage stress of that. Moreover, it compares and analyzes the proposed circuit's efficiency with the hard-switching circuit's efficiency according to the change of load current.

1. 서 론

최근들어, PWM DC-DC 컨버터는 고전력 출력과 제어의 용이성 때문에 넓은 범위에서 다양하게 사용되고 있다. 스위칭 주파수의 증가는 더욱더 작은 크기의 인덕터와 캐패시터를 사용하게 한다. 그러나, 스위칭 주파수의 증가는 스위칭 손실이나 EMI 노이즈를 발생시킨다.[1,2] 고주파시 hard-switching으로 구동하게 되면 스위칭 손실은 더욱더 증가하게 되고, 안정도가 불안해진다.[3] 반면에 soft-switching PWM 기술은 턴온, 턴오프시 영전류 또는 영전압 스위칭 구동을 하기 때문에 이러한 문제를 충분히 해결한다. 스위칭 문제와 관련하여 SMPS의 기능을 향상시키기위해 다양한 방식의 soft-switching 회로가 제안되었다.[4] 그러나, 이러한 대부분의 회로는 주 스위칭 소자의 공진모드를 만들기 위해서 보조 스위칭 소자를 사용하였다. 이러한 회로는 제어방법이 복잡해지고, 복잡한 회로를 구성할 뿐만 아니라, 높은 전압, 전류 스트레스를 가지게 된다.

본 논문에서는 보조 스위칭소자 없이 주 스위칭 소자만을 가지고 soft-switching으로 구동하는 회로를 제안하였다. 또한 제안된 회로는 기존의 회로가 가지는 환류다이오드의 높은 전압스트레스를 입력 전압 이하로 감소시켰다. 동작모드는 시뮬레이션을 통하여 검증하였고, 최대출력 250W까지 회로를 제작하여, 100kHz에서 실험하여 검증하였다.

2. 본 론

2.1 제안된 Soft-Switching Buck 컨버터

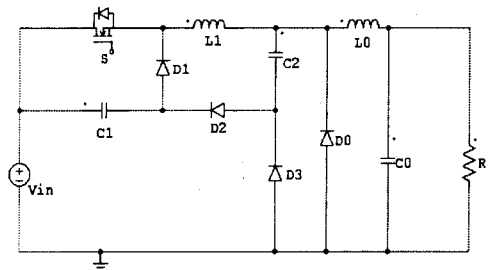


그림 1. 기존의 Buck 컨버터회로

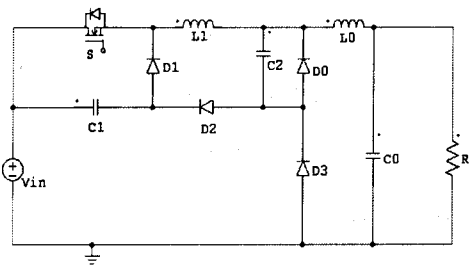


그림 2. 제안된 Buck 컨버터회로

그림 2의 제안된 Buck 컨버터회로는 그림 1의 기존의 Buck 컨버터회로[5]에 비해서 회로의 부품수는 같으나, 환류다이오드의 전압스트레스가 $V_{D0}=V_{C2}$ 이므로 기존의 Buck 컨버터 회로의 환류다이오드 전압스트레스 $V_{D0}=V_{D3}+V_{C2}$ 에 비해서 입력전압 이하로 떨어지게 된다. 다이오드의 전압스트레스가 떨어지게 되면 다이오드의 내압이 작은 것을 사용할 수 있으므로, 대량의 SMPS를 제작할 때는 경제적으로 큰 이익을 볼 수 있다.

2.2 동작원리 및 회로 해석

제안된 Buck 컨버터회로의 전체적인 동작은 그림 3과 같이 9개의 동작 모드로 나눌 수 있고, 각 모드별 주요 파형은 그림 4와 같다. 모드별 정상상태 해석을 위해서, 모든 반도체 소자들은 이상적이며, 출력전류(I_o)는 일정

하고,공진 캐패시터 C₁의 전압은 출력전압 V₀와 동일하다고 가정한다.

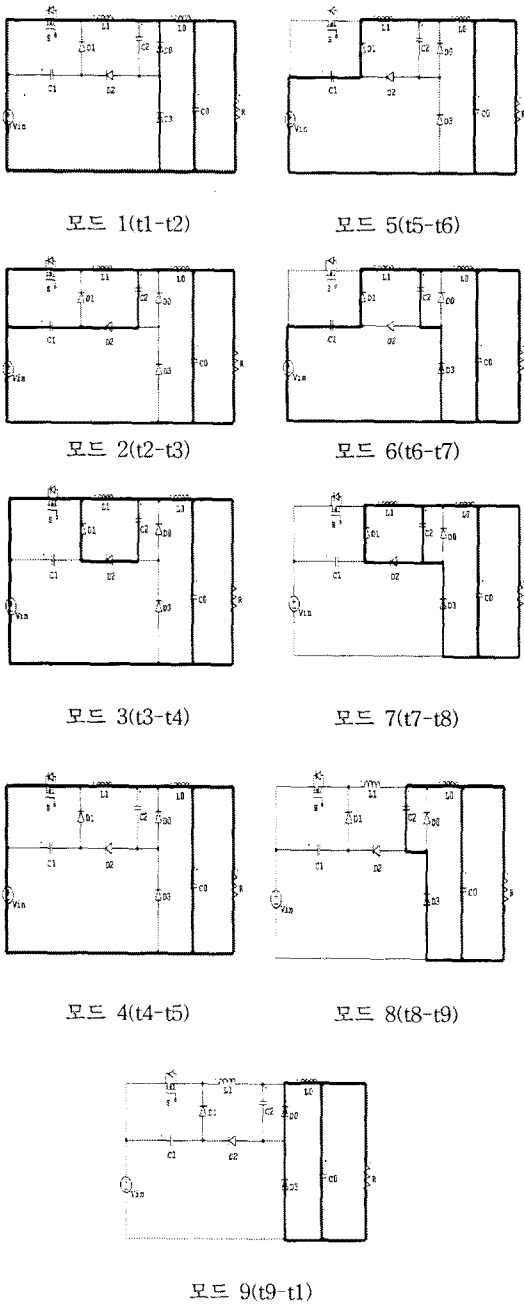


그림 3.제안된 Buck 컨버터회로의 동작모드

MODE 1(t₁-t₂) : t=t₁ 인 시점에서 스위칭 소자가 영전류 조건에서 턴 온 되면, 공진 인덕터의 전류 I_{L1}은 선형적으로 증가하게 되고,반면 환류다이오드의 전류 I_{DO}는 선형적으로 감소하게 된다. 출력 인덕터 L₀에 저장된 에너지는 D₃,D₀를 통해서 부하로 전달된다. 이 때,

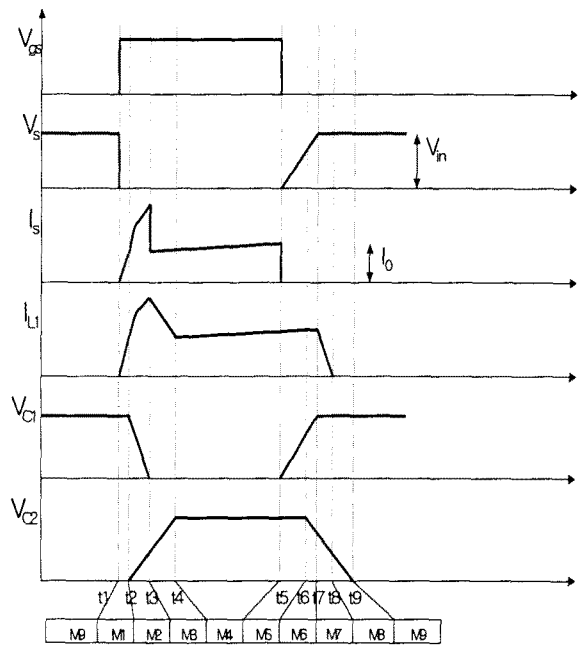


그림 4.제안된 Buck 컨버터회로의 각 부 파형

$$V_{C1}(t_1)=V_{in} , \quad V_{C2}(t_1)=0$$

$$I_{L1} = I_S = \frac{V_0}{L_1}(t_2-t_1) \quad (1)$$

t=t₂에서 환류다이오드의 전류 I_{DO}가 0이 되고,I_{L1}=I₀가 된다.

MODE 2(t₂-t₃) : 다이오드 D₀,D₃에 흐르는 전류가 0이 되면서, D₀,D₃는 오프되고,다이오드 D₂는 영전압에서 턴 온이 된다. C₁에 저장된 에너지는 C₁-S-L₁-C₂ 루프를 통해 방전된다. 그 결과로 L₁에 흐르는 전류는 출력전류 I₀와 공진전류의 합으로 나타난다.

MODE 3(t₃-t₄) : C₁이 완전히 방전되면서 영전압에서 D₁이 온되면서 모드 3가 시작된다.L₁에 흐르는 전류가 I₀가 될 때까지 모드 3는 계속된다.

MODE 4(t₄-t₅) : L₁에 흐르는 전류가 I₀가 되면서 conventional 박모드의 턴 온 상태와 같아진다.

MODE 5(t₅-t₆) : t₅에서 스위칭 소자를 오프하면 스위칭 소자의 전류는 C₁과 D₁을 통해서 부하측으로 흐르게 된다.L₁에 흐르는 전류는 계속 I₀로 일정하게 된다.

MODE 6(t₆-t₇) : t₆에서 V_{C1}=V_{in}-V_{C2} 가 되면서 D₃가 영전압에서 온이된다. 이 때 C₂에 저장된 에너지는 부하측과 D₃를 통해서 방전을 하게 된다.

MODE 7(t₇-t₈) : t₇에서 V_{C1}=V_{in}이 되면서 D₂가 영전압에서 온이 되고,L₁에 흐르는 전류는 부하측과 D₂,D₃를 통해서 전달되고,선형적으로 감소하게 되며,C₂에서는 방전을 계속하게 된다.

MODE 8(t₈-t₉) : L₁에 흐르는 전류가 0으로 떨어지면, D₁, D₂는 영전류에서 오프하게 되고, C₂의 방전이 끝날 때까지 모드는 계속된다.

MODE 9(t9-t1) : C2에 전압이 0이 되면서 환류다이오드 D0는 영전압에서 온이된다.이 모드는 conventional 벡모드의 오프 상태와 같아진다.

표 1. 스위칭소자의 스위칭 소자의 조건

반도체 소자	턴 온 상태	턴 오프 상태
주 스위칭	ZCS	ZVS

2.3 시뮬레이션 및 실험결과

제안된 벡 컨버터의 동작과형을 확인하기 위해서,본 논문에서는 PSpice를 이용하여 시뮬레이션을 하였고,스위칭 주파수 100kHz로 구동되는 시스템을 제작하였다.실험에 사용된 부품의 명칭과 수치는 표 2와 같다.

표 2. 실험에 사용된 소자의 파라미터

Component	Value/Model
입력 전압(V _{in})	50[V]
출력 전압(V _o)	25[V]
출력 전류(I _o)	1~10[A]
최대 출력(P _o)	250W
공진 캐패시터(C1)	60nF
공진 캐패시터(C2)	110nF
공진 인덕터(L1)	2uH
출력 캐패시터(C0)	20uF
출력 인덕터(L0)	1.3mH
스위칭 소자(S)	IRF640
정류용 다이오드	PBS 2506
다이오드(D0,D1,D2,D3)	D33-02C

그림 5에서는 제안된 벡컨버터 스위칭소자의 시뮬레이션 전압,전류파형을 보여준다. 그림에서 보던 영전류/영전압 조건에서 턴온/턴오프 합을 보여준다.

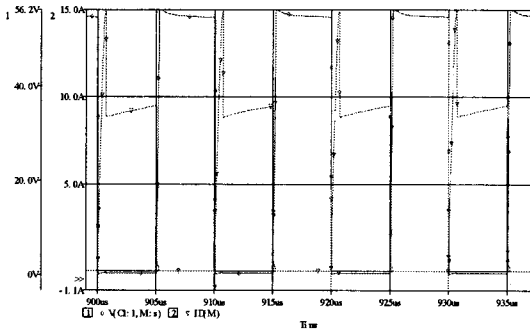


그림 5.제안된 Buck 컨버터회로의 시뮬레이션 스위칭 소자 전압,전류 파형

그림 6은 스위칭 소자 전압,전류 실험파형을 나타내고,턴온과 턴오프시를 좀더 자세히 보기위해 시간 간격을 줄여 본 파형이 그림 7,8에 나타내었다. 그림 9는 기존의 벡컨버터의 환류다이오드 D0가 가지는 전압 스트레스 파형을 나타낸 것이고,그림 10은 제안된 벡컨버터의 환류다이오드 D0의 전압스트레스 파형이다. 그림에서 볼 수 있듯이,제안된 회로의 전압스트레스는 입력 전압 이하의 값을 가지나, 기존의 회로는 입력전압의 두 배 정도의 높은 전압스트레스를 가지게 된다. 그림 11은 제안된 벡컨버터 회로와 conventional 벡컨버터의 부하 변화에 따른 효율 변화를 보여 준다. 그림에서 볼 수 있

듯이 제안된 회로가 conventional 벡컨버터에 비해 2-3%의 효율이 높은 것으로 나타난다.부하전류가 증가하면서 효율이 증가하는 것은 Soft-Switching의 경우, 출력 전력이 증가하는 동안 스위칭 손실은 거의 변화가 없기 때문이다.

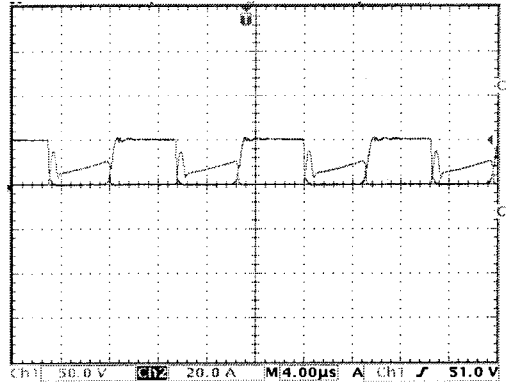


그림 6.제안된 Buck 컨버터회로의 시뮬레이션 전압,전류 파형(4us/div)

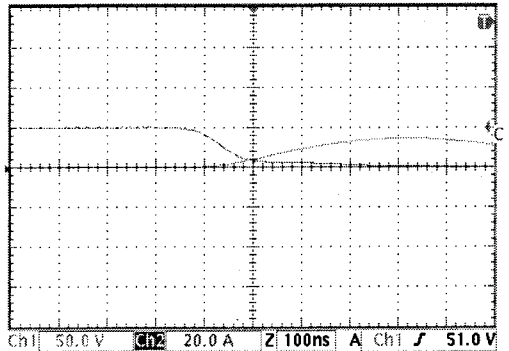


그림 7.턴 온시 스위칭 소자 전압,전류 파형(100ns/div)

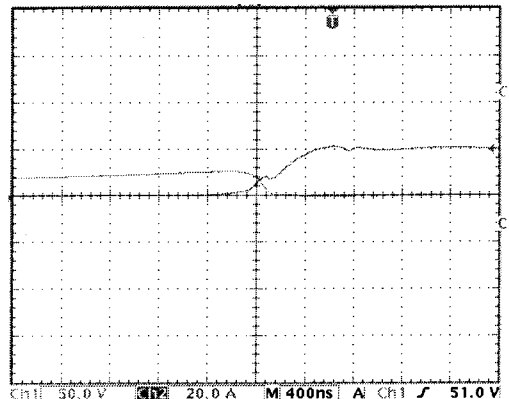


그림 8.턴 오프시 스위칭 소자 전류,전압 파형(400ns/div)

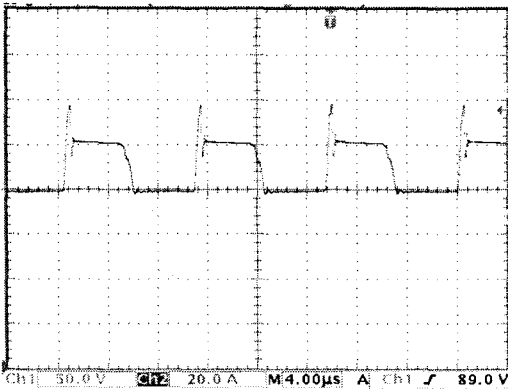


그림 9. 기존의 Buck 컨버터회로의 환류다이오드 전압스트레스 파형(4us/div)

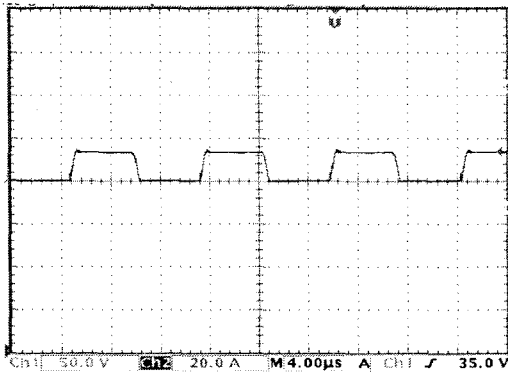


그림 10. 제안된 Buck 컨버터회로의 환류다이오드 전압스트레스 파형(4us/div)

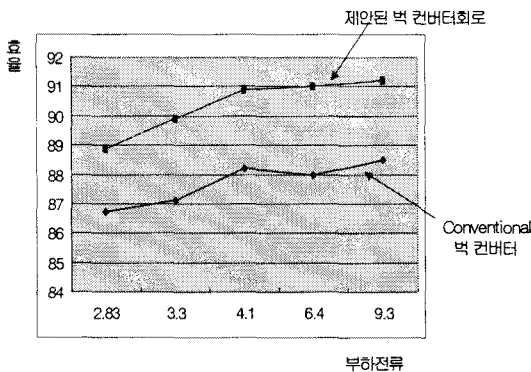


그림 11. 부하 변화에 따른 효율 비교

3. 결 론

본 논문에서는 기존의 소프트 스위칭 Buck 컨버터와 부품 수는 갖게 설계하면서 환류다이오드의 전압스트레스를 두 배 이하로 강하시킨 개선된 소프트 스위칭

Buck 컨버터를 제안하였다. 그러므로써, SMPS 제작사 내압이 작은 다이오드를 사용해서 경제적 이익을 얻을 수 있다. 250W, 100kHz 소프트 스위칭 Buck 컨버터를 설계하여 실험 파형을 제시하였으며, 이를 이론적인 결과 및 시뮬레이션 파형과 비교함으로써 제안된 회로의 유용성을 입증하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] A.Pietkiewicz and D.A.Tollik, "Snubber circuit and mosfet paralleling considerations for high power boost- based power-factor correctors", in proceeding of INTELEC'95, pp 41-45, 1995
- [2] Ching-Jung tseng, etc, "A Passive lossless Snubber cell for Nonisolated PWM DC/DC Converters", IEEE Trans. on IE, Vol.45, No4, pp 593-601, Aug. 1998
- [3] Xuezhong WU, Xinmin JIN, Lipei HUANG and Guang FENG, "A Lossless Snubber for DC-DC Converter and Its Application in PFC", Proceedings of IPEMC 2000, Vol.3, pp 1144-1149, 2000
- [4] Masa-aki Shimada and Mantaro Nakamura, "Single-Switch Auxiliary Resonant Converters", Proceeding of PCC-nagasaki, Japan, pp 811-814, 1997
- [5] Nakamura, M, Shimada, M, Myoui, T, Sadakata, H, Missev, S and Nakaoka, M, "Performance Evaluations on Soft-Switching Boost Power Converter with a Single Auxiliary Passive Resonant Snubber", Power Electronics Specialists Conference, 2001. PESC. 2001 IEEE 32nd Annual, Volume: 2, Pages:1057 - 1062, 17-21 June 2001