새로운 영전류영전압 스위칭 승압 DC-DC 컨버터의 성능 해석

한병문*, 백승택*, 김재홍*, 김현우**
*명지대학교 전기제어계측공학부, **경민대학 소방안전관리과

A NOVEL SOFT-SWITCHING BOOST-TYPE PWM CONVERTER TOPOLOGY

Byung-Moon Han*, Seung-Taek Baek*, Jae-Hong Kim*, Hyun-Woo Kim**
*Myongji University, **Kyungmin Junior College

Abstract - A novel soft-switching pulse-width modulated boost-type DC-DC converter topology is presented in this paper. The conventional "boost" switch is replaced by a switching cell that is comprised of two switch-diode pairs being linked by an inductor for zero-current switching turn-on. The diodes commutate the current that is flowing through th soft-switching inductor when the two switch turn-off. The capacitor is placed in parallel with the two switches during turn-off, thus providing zero -voltage switching turn-off. Simulation results are presented to support the theoretical considerations.

1. 서 론

PWM DC-DC 컨버터는 컴퓨터, 통신기기, 의료용전자기기, 항공용전자기기 등에서 널리 사용되어 왔다. PWM DC-DC 컨버터는 전류를 차단 또는 도통 시키면서 전력을 조절하는데 이때 스위칭소자에는 구형파 형태의 전류 또는 전압의 스트레스가 가해진다. 이와 같이 하드스위칭을 실시하면 스위칭 소자에서 열손실을 초래하고 소자의 수명에도 막대한 영향을 준다. 80년대 말경부터 L-C 공진회로를 DC-DC 컨버터에 결합하여 전류나 전압이 영점을 지날 때 턴온 또는 턴오프 함으로 스위칭손실과 스트레스를 감소하는 연구가 많이 진행되어 왔는데 이러한 컨버터를 소프트스위칭 컨버터라 한다.

소프트스위칭 방식에는 영전류스위칭과 영전압스위칭이 존재하고 반도체 스위칭소자의 스위칭 특성을 개선하기 위해 모든 스위칭컨버터에 다양하게 적용되고 있다. 영전류스위칭은 스위치를 통해 흐르는 전류가 거의 영일 때 그리고 영전압스위칭은 스위치 양단에 걸리는 전압이 거의 영일 때 턴온과 턴오프를 수행한다. 영전류스위칭을 위해서는 스너버회로를 인덕터로만 구성하고 영전압스위칭을 위해서는 스너버회로를 캐패시터로 만 구성한다. 그리고 스위치의 턴온은 역방향 다이오드가 도통 중일 때 실시한다.

전방향 DC-DC 컨버터의 소프트스위칭 턴오프를 위해 흥미있는 스위칭모듈이 제안되었는데, 여기서는 완전히 충전된 캐패시터를 변압기의 누설인덕턴스를 통해 방전하고 턴오프시 영전압스위칭을 실시한다. 유사한 스위칭모듈이 승압 PWM DC-DC 컨버터에 제안된 적이 있으나 이 경우 스위칭모듈은 턴오프 동안은 영전압 스위칭을 제공하나 턴온손실을 줄이기 위해 직렬로 연결되는 인덕터를 요하거나 불연속 동작을 요한다.

본 논문에서는 연속동작을 하는 소프트스위칭 DC-DC 컨버터를 제안하고 그 동작원리를 모드별로 나누어 등가회로를 도출하여 이론적으로 해석한다. 또한 동작을 검증하기 위해 PSPICE를 이용한 시뮬레이션을 실시하였으며, 1kW급 하드웨어를 제작하여 컨버터의 동작을 실험적으로 분석하고 그 결과를 시뮬레이션 결과와 비교 분석을 한다.

2. 본 론

2.1 소프트 스위칭 DC-DC 컨버터

그림 1에 나타낸 것처럼 제안된 영전압영전류 스위칭DC-DC 컨버터는 DC 공급전압 Vin, 스위칭 소자 S1과 S2, 두 개의 다이오드는 D1 과 D2, 턴온시 소프트스위칭을 위한 인덕터 Ls, 그리고 턴오프시 소프트스위칭을 위한 캐패시터 Cs, 승압용인덕터 L_B, 승압용다이오드 D_B, 필터 캐패시터 C_F, 그리고 부하저항 R로 구성되어있다. 인덕터Ls와 캐패시터 Cs의 공진동작으로 스위칭 소자들이 영전압, 영전류 스위칭을 하므로써 스위칭 손실 저감과 기생진동 및 스위칭 노이즈를 저감시킬 수 있다. 각 동작모드의 효과적인 해석을 위해 다음 가정을 하였다.

- 입력전압 V_{IN}은 리플이 없는 것으로 가정
- 인덕터 L_B의 값은 Ls의 값에 비해 대단히 큰 것으로 가정
- C_F의 값은 Cs의 값에 비해 대단히 커 부하전류 Io는 리플이 없는 것으로 가정
- 스위칭 시작시 캐패시터 Cs의 전압은 출력전압 Vout과 같은 것으로 가정
- 스위칭 시작시 인덕터 Ls는 완전히 방전된 것으

로 가정

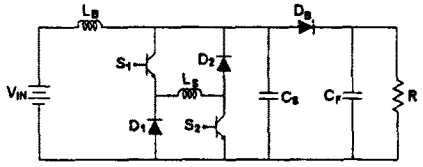


그림 1. 소프트 스위칭 DC-DC 컨버터

2.2 소프트 스위칭 DC-DC 컨버터의 동작원리

제안하는 스위칭컨버터의 동작모드는 스위치가 도통 상태일 때의 3개의 모드와 차단 상태일 때의 3개 모드가 존재한다. 모드별 등가회로는 그림 2와 같다.

(1) 스위치 도통상태

모드 1 : 이 모드의 시작점에서 스위치 S_1과 S_2는 턴온되고 이때 방전된 스위치와 직렬로 연결된 인덕터 Ls는 영전류스위칭을 제공한다. 다이오드 D_1과 D_2는 역방향으로 바이어스되고 Ls를 통해 흐르는 전류는 di/dt가 제어되면서 상승한다. Ls와 L_B를 통해 흐르는 전류가 동일하게 되면 Cs에 걸리는 전압이 부하에 걸리는 전압보다 높게 상승하면서 승압용 다이오드 D_B는 역방향으로 바이어스 된다.

모드 2 : 스위치 S_1과 S_2는 도통되고 승압인덕터 L_B를 충전한다. 이것은 공진모드로 캐패시터 Cs는 방전한다. 캐패시터가 완전히 방전되면 다이오드 D_1과 D_2는 전방향으로 바이어스 된다.

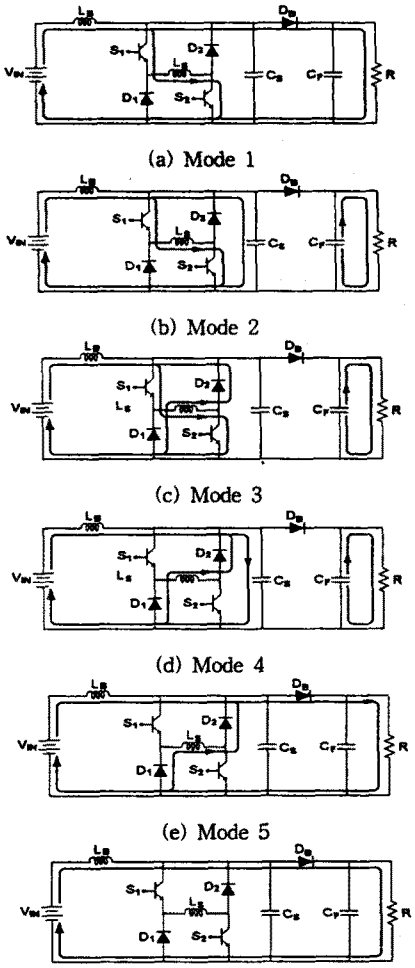
모드 3 : 스위치 S_1과 S_2 그리고 다이오드 D_1과 D_2 모두가 도통된 상태로 존재하고 에너지는 인덕터 L_B에 저장된다. 스위치 S_1과 S_2는 이 모드 마지막 순간에 턴오프 된다.

(2) 스위치 차단상태

모드 4 : 완전히 방전된 캐패시터 Cs는 인덕터 Ls의 전류를 연속적으로 도통하는 다이오드 D_1과 D_2를 통해 영전압스위칭을 제공한다. 이때 인덕터 Ls는 di/dt를 제어하면서 방전한다.

모드 5 : 캐패시터 Cs의 전압이 출력전압의 크기에 도달하면 다이오드 D_B는 전방향으로 바이어스 된다. 이때 인덕터 Ls에 저장된 잉여에너지는 부하로 전달된다. 인덕터 Ls의 모든 에너지는 부하에 의해 소모될 때 다이오드 D_1과 D_2는 역방향으로 바이어스 된다.

모드 6 : 다이오드 D_B는 전방향 바이어스 상태로 이를 통해 전원과 승압용 인덕터 L_B의 전압은 부하



(a) Mode 1

(b) Mode 2

(c) Mode 3

(d) Mode 4

(e) Mode 5

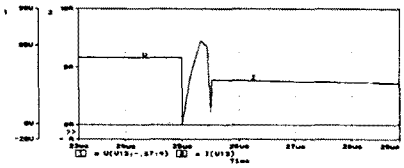
(f) Mode 6

그림 2. 스위칭 컨버터의 동작모드

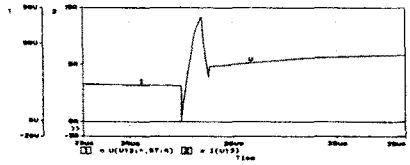
에 인가되어 전력을 공급한다

2.3 시뮬레이션 결과

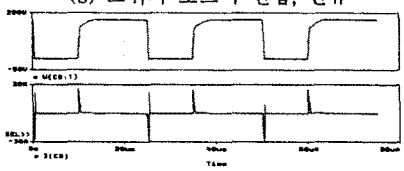
본 논문에서 제안한 소프트 스위칭 DC-DC 컨버터 동작 특성을 시뮬레이션을 통해서 확인하였다. 그림 3은 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 그림 3a는 스위치가 턴온될 때 영전류 스위칭을 나타낸 것이고, 그림 3b는 스위치가 턴오프될 때 영전압 스위칭을 나타낸 것이다. 그림 3c는 캐패시터 Cs의 전압, 전류 파형을 나타낸 것이다.



(a) 스위치 온시 전압, 전류



(b) 스위치 오프시 전압, 전류



(c) 캐패시터 Cs의 전압, 전류

그림 3. 시뮬레이션 결과

2.4 실험결과

본 논문에서 제안된 소프트 스위칭 DC-DC 컨버터 동작 특성을 실험을 통해 확인하였다. 스위칭 소자로는 MOSFET(IRFP250,200[V],24[A])를 사용하였다. 실험에 사용된 회로정수는 표 1과 같다.

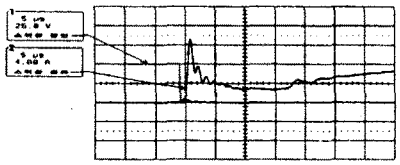
표 1. 회로정수

Input voltage(V_{IN})	50V
Switching frequency(f_{sw})	10khz
Soft-switching inductor(L_S)	25μH
Soft-switching capacitor(C_S)	0.05μF
"Boost" inductor(L_B)	1.5mH
Duty cycle(D)	0.4

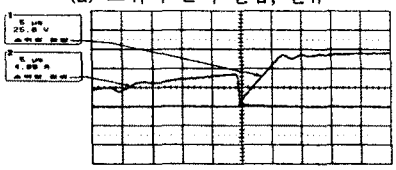
그림 4는 하드웨어 실험결과를 나타낸 것이다. 그림 4a는 스위치가 턴온될 때 스위치와 직렬로 연결된 인덕터 Ls에 의한 영전류 스위칭을 나타낸 것이다. 그림 4b는 스위치가 턴오프될 때 스위치와 병렬로 연결된 캐패시터 Cs에 의한 영전압 스위칭을 나타낸 것이다. 그림 4c는 캐패시터 Cs의 전압, 전류 파형을 나타낸 것이다. 이상의 결과는 앞의 시뮬레이션 결과와 거의 일치하는 것을 알 수 있다.

2.5 설계시 고려사항

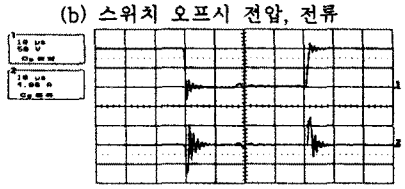
제안하는 DC-DC 컨버터는 하드스위칭 방식으로 작하는 전형적인 승압컨버터와 동일한 방법으로 설계된다. 영전류 턴온에 필요한 인덕터 Ls 그리고 영전압 턴오프에 필요한 Cs는 di/dt와 dv/dt를 제어할 수 있도록 설계되어야 한다.



(a) 스위치 온시 전압, 전류



(b) 스위치 오프시 전압, 전류



(c) 캐패시터 Cs의 전압, 전류

그림 4. 실험 결과

3. 결 론

본 논문에서는 새로운 소프트스위칭 DC-DC 승압컨버터를 제안하고 그 동작을 시뮬레이션과 하드웨어 실험에 의해 확인하였다. 제안하는 컨버터는 턴온 시는 영전류스위칭을 그리고 턴오프 시는 영전압스위칭을 하여 컨버터의 스위칭손실과 스트레스를 최소화하였다. 제안하는 시스템은 구조가 간단하고 고속스위칭이 가능하여 실용성이 클 것으로 보인다.

[참 고 문 헌]

[1] F.C. Lee, "High-Frequency Quasi-Resonant Converter Technologies," Proceedings IEEE, Vol. 76, No. 4, April 1988, pp.377-390.

[2] G. Hua and F.C. Lee, "Soft-Switching Techniques in PWM Converter," IEEE IECON 1993, pp.637-643.

[3] V.G. Agelidis, "A Soft-Switching PWM DC-DC Step-Up Converter Topology," in Conf. Rec. of IEEE Symposium on Power Electronics Circuits 1994, Hong Kong, pp.13-16.

[4] J.H. Mulkern and N. Mohan, "A Sinusoidal Line Current Rectifier Using a Zero-Voltage Switching Step-up Converter," IEEE IAS Annual Meeting 1988, pp.767-771.