

배전압 셀을 이용한 비절연형 소프트스위칭 고승압 컨버터

김표수, 최세완
서울산업대학교

Non-isolated Soft-Switching High Step-up Converter Using Voltage Multiplier Cells

Pyosoo Kim, Sewan Choi
Seoul National University of Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 배터리를 이용한 직류전원 백업장치, HID 램프, 연료전지 시스템 등 고승압이 요구되거나 절연이 필요 없는 응용을 위한 새로운 비절연 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터는 인터리빙이 적용되고 CCM에서 모든 스위치의 ZVS 턴온과 다이오드의 ZCS 턴온·턴오프가 가능하며, 최적의 소자 선택이 되도록 배압회로의 수를 적절히 선정하여 회로구성이 가능한 장점이 있다. 1kW 시작품으로 동작원리를 확인하였으며 최고 효율 96.1%를 달성하였다.

1. 서론

최근 직류전원 백업을 위한 무정전 전원장치(UPS), 자동차의 HID 램프, 연료전지 및 태양광을 이용한 전원장치등 고승압·고효율 DC-DC 컨버터에 대한 요구가 증대되고 있다. 승압만의 목적으로 고주파 변압기를 이용하는 컨버터의 경우 변압기로 인한 손실, 부피 및 가격이 높아 전기적인 절연이 요구되지 않는 응용에서는 고승압의 비절연 컨버터가 유리하다.

일반 부스트 컨버터는 입·출력 전압차가 큰 응용에서 스위치 및 다이오드의 전압 및 전류 스트레스가 커지고 역방향 회복 특성에 의한 다이오드 스위칭 손실등의 문제로 스위칭 주파수 및 승압비가 제한되게 된다. 따라서 높은 승압비를 가지는 부스트 컨버터가 제안되었는데, 인덕터를 커플링한 방식등 기존의 고승압 DC-DC 컨버터^[1-4]에서는 승압비가 커지면 소자의 전압과 전류 스트레스가 커지고, 입력전류 및 출력전압 리플도 커져 수동소자의 부피가 커지는 단점이 있다.

한편, 2개의 인덕터-스위치 레그와 N개의 배전압 셀을 이용한 컨버터^[5]가 제안되었는데 인터리빙이 가능하고 스위치 전류 부담이 줄어 기존의 고승압 방식에 비해 높은 용량에 적용이 가능하다. 또한 배전압 셀의 수를 증가시키면 스위치의 동작 듀티가 작아져서 스위치의 전압정격은 감소하며 기존의 고승압 방식에 비해 적은 배압회로 단으로 동일한 승압비를 얻을 수 있어 소자의 수가 절감된다. 그러나 하드스위칭으로 인하여 주파수가 제한되는 단점이 있었다.

본 논문에서는 이 방식에 능동 클램핑을 적용하여 CCM에서도 모든 스위치의 ZVS 턴온과 다이오드의 ZCS 턴온·턴오프가 가능한 소프트스위칭 고승압 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터로 스위칭주파수를 더욱 높일 수 있으므로 위에서 언급한 고승압 응용에서 부피 및 EMI 문제를 개선할 수 있다.

2. 제안한 컨버터의 동작원리

그림 1에 제안하는 컨버터의 구성을 나타낸다. 그림 2에 제안하는 컨버터의 주요 동작과형을 나타내는데 스위치 S_{M1} 과 S_{M2} 는 동일한 시비율 D로 180° 위상차를 가지고 인터리빙하고 각각의 메인스위치와 클램프 스위치는 서로 상보적 스위칭으로 출력전압을 제어한다.

$t_5 \sim t_6$ 구간에서 S_{M2} 로 흐르는 큰 전류가 S_{C2} 의 내부 커패시턴스를 방전시키기 때문에 S_{C2} 과 S_{C1} 스위치는 전구간에서 ZVS 턴온한다. $t_7 \sim t_0$ 구간에서 보조 인덕터에 흐르는 전류가 S_{M1} 의 내부커패시터를 방전하기 때문에 S_{M1} 과 S_{M2} 스위치는 보조인덕터의 크기에 의해 ZVS 턴온 영역을 조절할 수 있다. 다이오드는 C_1 의 충전전에 ZCS 턴온·턴오프 스위칭이 이루어지기 때문에 역방향 회복에 의한 서지 현상이 거의 발생하지 않는다. 제안된 컨버터는 이와같이 스위칭에 의한 손실이 저감되므로 높은 주파수를 사용하여 수동소자의 부피를 감소시킬수 있는 장점이 있다.

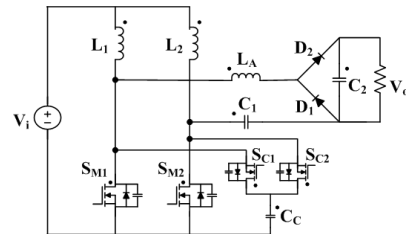


그림 1 제안하는 고승압 컨버터(N=1)

제안한 컨버터의 입·출력 전압 전달비는 D와 k값에 의해 결정되며 그 식은 아래와 같다.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{N \left\{ (D-1) + \sqrt{(1-D)^2 + 16k} \right\}}{4k}, \quad \left(k = \frac{L_A \cdot f_s}{R} \right) \quad (1)$$

제안된 회로는 그림 3과 같이 여러단의 배전압셀을 이용하여 더욱 높은 전압전달비를 얻을 수 있다. 전압전달비는 배전압 셀 수 N에 비례하여 증가되며 다이오드와 커패시터의 수가 증가하는 반면 각 소자의 정압정격이 감소되므로 소자의 수와 전압정격을 적절히 Trade-off 하여 N을 선정한다.

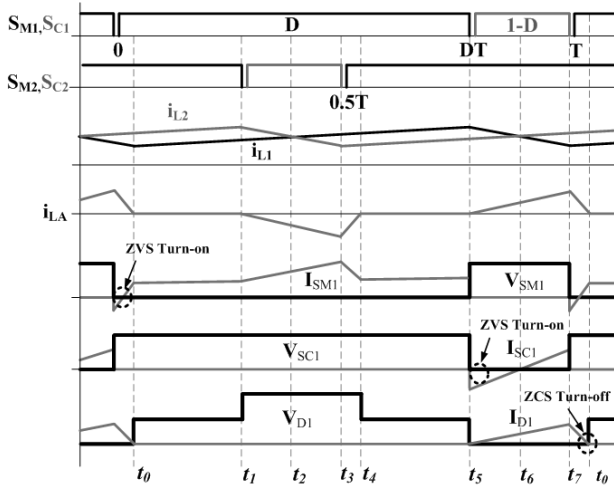


그림 2 제안하는 컨버터의 동작 파형 (N=1)

여기서 N은 커패시터 2개와 다이오드 2개로 이루어진 배전압 셀의 기본 셀 단위를 말하고 N단에 의한 전압전달비와 각 소자의 정격식은 표 1과 같다.

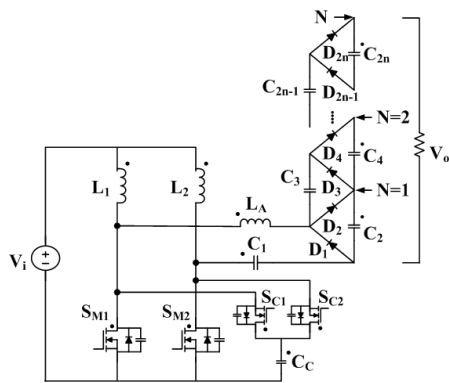


그림 3 제안하는 컨버터의 확장회로

표 1 N 증가에 따른 전압전달비와 각 소자의 전압정격

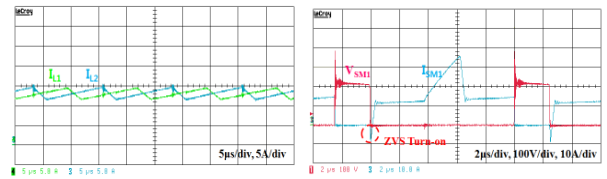
스위치 및 클램프 커패시터 C_c	커패시터 C_1	다이오드 및 커패시터 C_k ($k=1,2,3,\dots$)
$\frac{V_i}{1-D}$	$\frac{V_o}{2N}$	$\frac{V_o}{N}$

3. 실험 결과

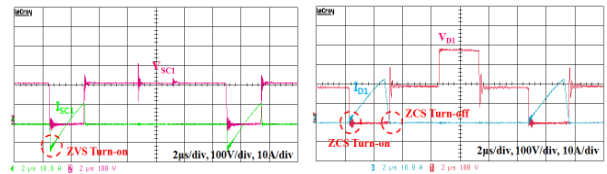
제안한 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 N=1 인 경우 다음의 설계사양으로 제작한 후 실험파형을 그림 4에 나타낸다.

$$\begin{aligned} & \cdot P_{out} = 1kW \quad \cdot V_{in} = 48V \quad \cdot V_{out} = 360V \quad \cdot f_s = 80kHz \\ & \cdot L = 140\mu H \quad \cdot C_c = 6\mu F \quad \cdot C_1 = 6\mu F \times 2EA \quad \cdot C_2 = 16\mu F \end{aligned}$$

실험파형 모두 그림 2의 동작원리 파형과 일치하는 것을 알 수 있다. 그림 5는 제안한 컨버터의 측정효율을 나타내는데 대부분의 부하영역에서 90%이상을 달성하였고 800W에서 최고 효율 96.1%가 측정되었다.



(a) 입력 인덕터 L_1 과 L_2 전류 (b) 메인 스위치 전압과 전류



(c) 클램프 스위치 전압과 전류 (d) 다이오드 전압과 전류

그림 4 실험 파형

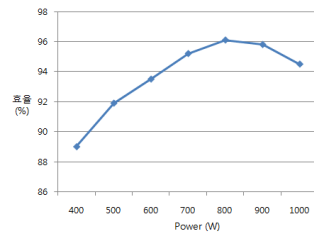


그림 5 효율



그림 6 스택 사진

4. 결론

본 논문에서는 절연이 필요하지 않고 단순히 고승압이 요구되는 응용을 위한 새로운 비절연 컨버터를 제안한다. 1kW 시작품으로 동작원리를 확인하였으며 최고효율 96.1%를 달성하였다.

참고 문헌

- [1] Qun Zhao, Fred C. Lee, "High Performance Coupled-Inductor DC-DC Converter", in Proc. IEEE APEC, pp.109-113, Feb. 9-13, 2003.
- [2] Luo. F.L, Ye. H, "Positive Output Cascade Boost Converters", IEE Trans. Electric Power Applications, Vol. 151, No.5, pp.590-606, Sept. 2004.
- [3] Prudente. M, Pfitscher. L, Bules. R, "Voltage Multiplier Cells Applied to Non-Isolated DC-DC Converters", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol. 23, pp. 871-887, March. 2008
- [4] Rosas-Caro J.C, Ramirez J.M, Garcia-Vite P.M, "Novel DC-DC Multilevel Boost Converter", in Proc. IEEE PESC, pp.2146 - 2151, June 2008
- [5] 김표수, 박성식, 최세완, "고 배전압을 위한 비절연형 DC-DC 컨버터", 전력전자학회 논문집, pp. 387-389, 2009. 6.