

배전압 셀을 이용한 비절연형 고승압 컨버터

이상혁, 최세완, 김표수*

서울과학기술대학교, *포스코 ICT

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

Sanghyuk Lee, Sewan Choi, Pyosoo Kim*

Seoul National University of Science and Technology, *Posco ICT co.

ABSTRACT

본 논문에서는 변압기 없이 작은 듀티로 큰 승압비를 얻을 수 있는 고승압 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터는 배압회로의 단 수를 적절히 선정하여 소자의 전압정격을 줄이거나 소자 선택 폭을 넓힐 수 있다. 구조가 간단한 하드스위칭 방식과 영전압 스위칭이 가능한 소프트스위칭 방식의 두 가지에 대한 설계 비교·분석과 1kW 시작품에 대한 실험적 분석을 수행하였다.

1. 서론

최근 직류전원 백업을 위한 무정전 전원장치, 자동차 HID 램프, 연료전지 및 태양광을 이용한 전원장치 등 고승압·고효율 DC DC 컨버터에 대한 요구가 증대되고 있다. 승압만의 목적으로 고주파 변압기를 사용하는 컨버터의 경우 변압기로 인한 손실, 부피 및 가격이 높아 전기적인 절연이 요구되지 않는 응용에서는 고승압 비절연형 컨버터가 유리하다.

일반 부스트 컨버터는 입·출력 전압차가 큰 응용에서 스위치 및 다이오드의 전압 및 전류 스트레스가 커지고 역방향 회복 특성에 의한 다이오드 스위칭 손실 등의 문제로 스위칭 주파수 및 승압비가 제한되게 된다. 따라서 높은 승압비를 가지는 부스트 컨버터가 제안되었는데, 인덕터를 커플링한 방식 등의 기존 고승압 DC DC 컨버터^[1, 3]는 승압비가 커지면 소자의 전압과 전류 스트레스가 커지고, 입력전류 및 출력전압 리플도 커져 수동소자의 부피가 커지는 단점이 있다. 한편, 변압기 없이 작은 듀티로 큰 승압비를 얻을 수 있는 고승압 컨버터^[4, 5]가 제안되었는데 이 방식은 배전압 셀의 수를 적절히 조정하여 스위치의 전압정격을 감소시키고 소자 선택 폭을 넓힐 수 있다.

본 논문에서는 구조가 간단한 하드스위칭 방식과 영전압 스위칭이 가능한 소프트스위칭 방식의 두 가지에 대한 설계 분석과 1kW 시작품에 대한 실험적 분석을 수행하였다.

2. 제안하는 두 방식의 컨버터

그림 1은 제안하는 두 방식의 컨버터 회로를 나타낸다. 그림 2는 하드스위칭 방식의 동작 파형을 나타내는데 스위치 S_{M1} 과 S_{M2} 를 동일한 시비율 D 로 180° 위상차를 가지고, 인터리빙하여 출력전압을 제어한다. 또한 스위칭의 오버랩이 필요하여 $0.5 < D < 1$ 의 듀티영역이 제한되지만 기존 부스트 컨버터에 비해 2 배 높은 승압비를 가진다. 배압회로를 적용한 하드스위칭 방식 컨버터의 전압전달비는 다음과 같다.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{2N}{1-D}, \quad 0.5 < D < 1 \quad (1)$$

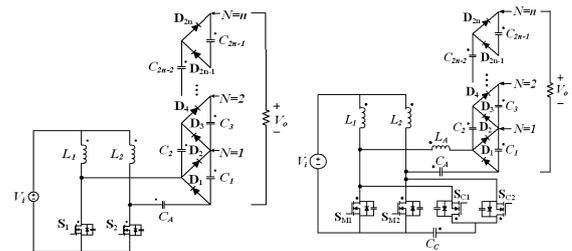
여기서 N 은 커패시터 2개와 다이오드 2개로 이루어진 배압회로의 기본 단위를 말한다. 그림 3은 소프트스위칭 방식의 동

작 파형이며, 스위치 S_{M1} 과 S_{M2} 은 동일한 시비율 D 로 180° 위상차를 가지고 메인스위치와 클램프스위치는 서로 상보적 스위칭을 한다. 또한 이 클램프스위치로 인하여 $0 < D < 1$ 의 전 듀티를 사용할 수 있다. $N=1$ 인 경우 소프트스위칭 방식 컨버터의 전압전달비는 다음과 같다.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{D-1 + \sqrt{(1-D)^2 + 16k}}{4k}, \quad D > 0.5 \quad (2)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{D(D - \sqrt{D^2 + 16k})}{4k(D-1)}, \quad D < 0.5 \quad (3)$$

여기서, $k = \frac{L_A \cdot f_s}{R}$ 이다.



(a) 하드스위칭 방식 (b) 소프트스위칭 방식
그림 1 제안하는 두 방식의 컨버터

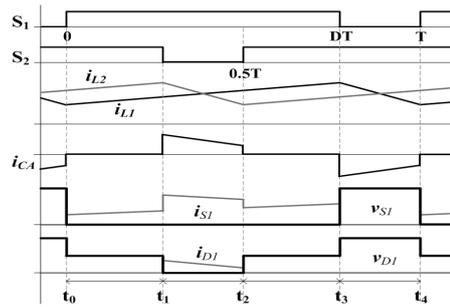


그림 2 하드스위칭 방식의 동작 파형(N=1)

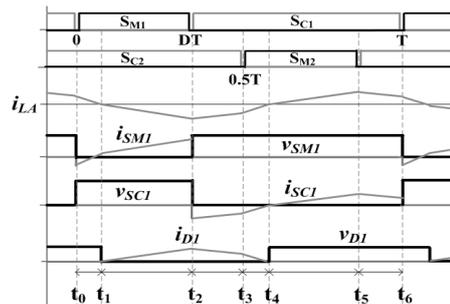


그림 3 소프트스위칭 방식의 동작 파형(N=1)

표 1. 제안하는 두 방식의 소자 전압 정격

소자명	전압 정격	
	하드스위칭 방식	소프트스위칭 방식
스위치	$\frac{V_i}{1-D} = \frac{V_o}{2N}$	$\frac{V_i}{1-D}$
보조 캐패시터 C_A		$\frac{V_o}{2N}$
다이오드	$\frac{2V_i}{1-D} = \frac{V_o}{N}$	$\frac{V_o}{N}$
필터 캐패시터 $C_f \sim C_{2N-1}$		

$N=2$ 이상이 되면 다음과 같은 전압전달비가 나온다.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{4N\{16NL_A f_s - \sqrt{(16NL_A f_s)^2 - D(D-1)R^2}\}}{(D-1)R}, \quad 0 < D < 1 \quad (4)$$

N 을 증가시키면 소자의 수는 늘어나지만 동일 듀티에 대해서 높은 출력전압을 낼 수 있고 스위치, 다이오드 및 커패시터 등의 모든 소자 전압정격이 감소된다. 표 1에 N 에 따른 각 소자의 전압 정격을 정리하였다. 하드스위칭 방식의 경우 구조가 간단하나 하드스위칭 하는 단점이 있다. 소프트스위칭 방식의 경우 소자 수는 증가하나 메인스위치와 클램프스위치 모두 ZVS 턴온 및 다이오드 ZCS 턴오프를 한다. 그림 4와 5는 각각 두 방식의 전압 게인 그래프이다. 소프트스위칭 방식은 k 값이 커질수록 전압 게인 상승률이 줄어드는 것을 볼 수 있다.

3. 실험 결과

제한한 컨버터의 타당성을 입증하기 위해 $N=2$ 인 경우 다음의 설계사양으로 제작한 후 실험파형을 그림 6,7에 나타낸다.

· $P_o = 1kW$ · $V_i = 48V$ · $V_o = 380V$ · $f_s = 50, 80kHz$
 · $L_{1,2} = 120\mu H$ · $C_C = 6\mu F$ · $C_A = 9\mu F$ · $C_{f-3} = 6\mu F$

그림 6는 하드스위칭 고출압 컨버터의 실험파형이다. 그림 6(a)는 입력전류의 인터리빙 효과를 보여주며 그림 6(b),(c)는 메인스위치와 다이오드가 하드스위칭 하는 것을 보여준다. 그림 7은 소프트스위칭 고출압 컨버터의 실험파형이다. 그림 7(a),(b)는 메인스위치와 클램프스위치가 ZVS 턴온하는 것을 보여주며 그림 7(c)는 다이오드가 ZCS 턴오프 하는 것을 보여준다.

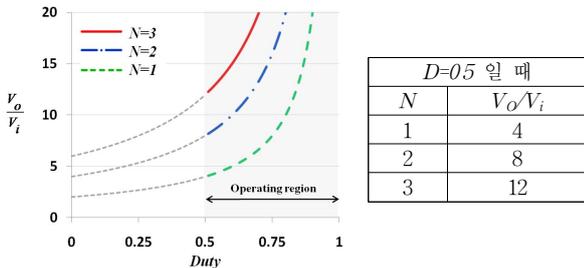


그림 4 하드스위칭 방식의 전압 게인 그래프

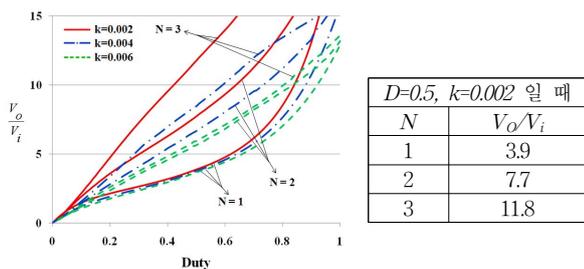
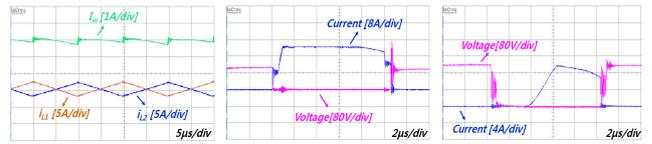
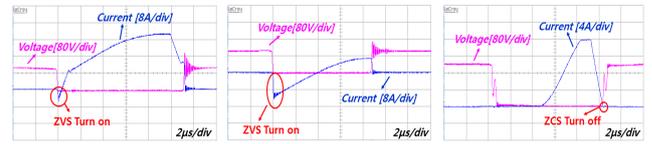


그림 5 소프트스위칭 방식의 전압 게인 그래프



(a) 입력, L_1, L_2 전류 (b) 메인스위치 (c) 다이오드

그림 6 하드스위칭 고출압 컨버터의 실험파형



(a) 메인스위치 (b) 클램프스위치 (c) 다이오드

그림 7 소프트스위칭 고출압 컨버터의 실험파형

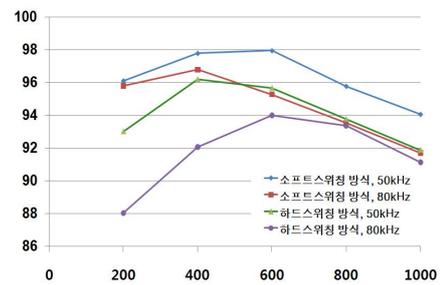


그림 8 측정 효율

그림 8은 두 방식의 실험 효율을 비교한 그래프이다. 스위치의 ZVS 턴온과 다이오드 ZCS 턴오프로 인하여 소프트스위칭 방식의 효율이 더 높다.

4. 결론

본 논문에서는 구조가 간단한 하드스위칭 방식과 영전압 스위칭이 가능한 소프트스위칭 방식의 두 가지에 대한 설계 분석과 1kW 시작품에 대한 실험적 분석을 수행하였다. 제안한 방식은 변압기 없이 작은 듀티로 큰 승압비를 얻을 수 있으며 배압회로의 단 수를 적절히 선정하여 소자의 전압정격을 줄이거나 소자 선택 폭을 넓힐 수 있는 장점이 있다.

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2011 0018025)

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] 김표수, 박성식, 최세완, "고 배전압을 위한 비절연형 DC DC 컨버터", 전력전자기술대회 논문집, pp. 387 389, 2009. 6.
- [5] 김표수, 최세완, "배전압 셀을 이용한 비절연형 소프트스위칭 고출압 컨버터", 전력전자기술대회 논문집, pp. 339 340. 2010. 7.