높은 전압전달비를 가지는 DC-DC 부스트 컨버터

박종문*, 유두희*, 이호년*, 정강률*
*순천향대학교 전자정보공학과

DC-DC Boost Converter with High Voltage-transfer Ratio

Jong-Moon Park, Doo-Hee Yoo, Ho-Nyeon Lee, Gang-Youl Jeong
Dept. of Electronic Information Engineering, SoonChunHyang University

요 약

기존의 부스트 컨버터는 출력 전압이 커질수록 스위치와 다이오드의 전압, 전류 스트레스가 커져 실제 사용 가능한 승압비가 제한된다. 그러므로 본 논문에서는 높은 전압전달비를 가지는 DC-DC 부스트 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터는 커플드 인덕터 방식을 사용하여 인덕터의 턴비로 승압을 가능하게 하기 때문에 작은 듀티비로 높은 전압으로 승압 할 수 있다는 장점이 있다. 제안된 컨버터의 동작원리를 설명하고, 이론적 해석과 실험을 통해 타당성을 검증하였다.

1. 서론

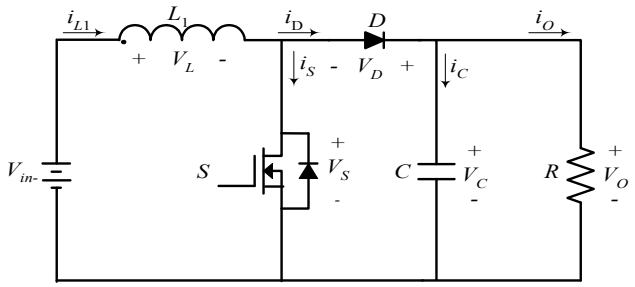
최근 산업발전이 가속화 되면서 전기자동차, UPS 시스템, 태양광 및 연료전지 시스템 등의 여러 응용분야에서 DC-DC 컨버터의 필요성이 증가하고 있다. 이러한 DC-DC 컨버터에서는 기존의 부스트 컨버터(boost converter)를 많이 사용한다. 기존의 부스트 컨버터는 듀티비에 의해서만 출력전압이 정해지므로 입출력 전압차가 큰 응용에서 사용 듀티비가 극도로 커져 스위치 및 다이오드의 전압 및 전류 스트레스가 커지고 역방향 회복 특성에 의한 다이오드 스위칭 손실이 크기 때문에 고효율을 달성하기 어렵다. 그러므로 기존의 부스트 컨버터로는 실제 사용할 수 있는 승압비가 제한되는 단점이 있다. 이러한 점을 개선하기 위한 방식으로는 인덕터를 커플링하여 커플드 인덕터를 사용하여 승압비를 높이는 방식과 다이오드와 커패시터로 구성된 멀티플라이어 단을 확장하여 승압비를 높이는 방식이 있다. 제안된 컨버터는 높은 전압전달비를 가지기 위해 커플드 인덕터 승압 방식을 사용하였다. 커플드 인덕터 방식은 커플된 인덕터의 턴비로 승압이 가능하기 때문에 작은 듀티비로도 높은전압을 얻을 수 있는 장점이 있다[1].

본 논문에서는 종래의 부스트 컨버터 시스템을 개선한 높은 전압전달비를 가지는 부스트 컨버터를 제안한다. 본 논문에서는 제안된 컨버터의 동작원리를 설명하였고 우수한 성능을 증명하기위해 프로토타입 컨버터를 제작하고 실험하였다.

2. DC-DC 부스트 컨버터의 동작 원리

부스트 컨버터는 직류 입력전압보다 컨버터의 평균출력전압이 더 크기 때문에 승압 컨버터(Step-up Converter) 라고 한다. 벅 컨버터(buck converter)와 마찬가지로 입력단과 출력단의 접지가 같은 경우에 사용하는 회로이다.

벅 컨버터와 달리 부스트 컨버터는 스위치가 턴온 되어 있는 동안은 입력전원이 인덕터 양단에 연결되어 전류의 충전이 이루어지고, 스위치가 턴오프 되면 충전된 전류가 부하측 필터로 전달된다. 부하 측의 필터 입장에서 볼 때 전류가 주기적으로 턴온/턴오프를 반복하기 때문에 전류원(current-fed) 방식이라고 불리며 출력단의 전류는 항상 입력단의 전류보다 작다. 회로 동작의 원리상 손실성분이 없기 때문에 입출력전압의 관계로부터 출력전압이 입력전압보다 항상 높게 나타난다는 것을 알 수 있다.



[그림 1] DC-DC 부스트 컨버터의 기본회로

그림 1은 기존의 DC-DC 부스트 컨버터의 회로도이다. 그림 1에서 인덕터 전압 v_L의 평균값 V_L은 다음과 같다.

$$V_L = V_i \cdot D + (V_i - V_o) \cdot (1-D) \quad (1)$$

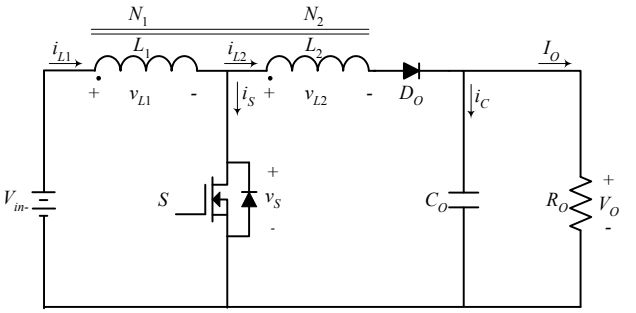
그리고 위 식에서 입력전압이 출력측에 전달되는 전압전달비 G_V를 구하면 다음과 같다.

$$G_V \equiv \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{(1-D)} \quad (2)$$

부스트 컨버터의 전압전달비 G_V는 듀티비 D가 0일 때 최소인 1이 되며, D가 1일 때 최대인 무한대의 값이 된다. 따라서, 컨버터의 출력전압 V_o는 D를 0에서 1까지 조정함으로써 입력전압 이상으로 제어할 수 있다[2].

3. 제안된 높은 전압전달비를 가지는 DC-DC 부스트 컨버터

그림 2는 커플드 인덕터 방식을 채택한 높은 전압전달비를 가지는 DC-DC 부스트 컨버터를 이용한 회로도이다. 종래의 DC-DC 부스트 컨버터는 듀티비를 이용하여 출력전압을 높이는 방식이었는데, 듀티비만을 가지고 출력전압을 높이므로 입출력 전압차가 큰 응용에서는 사용 듀티비가 커져 스위치 및 다이오드의 전압 및 전류 스트레스가 커지고 다이오드 스위칭 손실이 커지는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해서 제안된 컨버터는 커플드 인덕터를 사용하여 다이오드의 전압 및 전류 스트레스를 줄이고 다이오드 스위칭 손실을 감소시키며 인덕터의 턴비 만큼 출력전압이 높아지는 효과를 얻는다.



[그림 2] 제안된 높은 전압전달비를 가지는 DC-DC 부스트 컨버터 회로도

그림 2에서 인덕턴 전압 v_{L1}의 평균값 V_{L1}은 다음과 같다.

$$V_{L1} = DV_{in} + \frac{N_1(V_{in} - V_o)}{N_1 + N_2} \cdot (1-D) \quad (3)$$

인덕터 전압 V_{L1}의 평균은 0이므로

$$\frac{N_1 V_o (1-D)}{N_1 + N_2} = DV_{in} + \frac{N_1 V_{in}(1-D)}{N_1 + N_2} \quad (4)$$

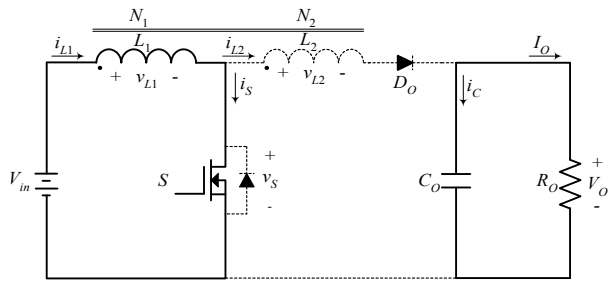
$$\frac{V_{in}}{V_o} = \frac{N_1(1-D)}{DN_2 + N_1}$$

$$G_v \equiv \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1 + N \cdot D}{1-D}$$

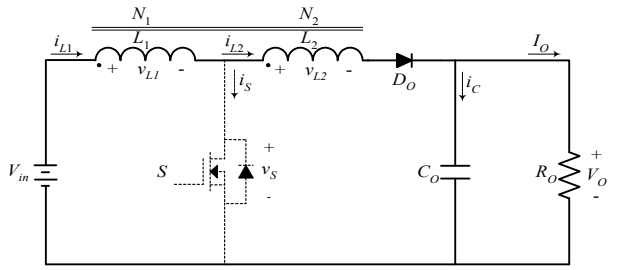
여기서 턴비 N은 N_2/N_1이다.

DC 24V인 입력전압이 인가되고, 커플드 인덕터를 통하여 전압이 승압된다. 이 때 승압된 전압은 출력 커패시터 C_o에 용량이 충분히 커서 일정한 전압으로 충전된다. S는 전력반도체스위치 MOSFET이며, 입력 전압이 커플드 인덕터를 통해 출력으로 전달된다.

그림 3은 제안된 높은 전압전달비를 갖는 DC-DC 부스트 컨버터의 간략한 동작모드를 보인다. 스위치 S의 턴온/턴오프에 따라 2가지 동작모드를 갖는다. 각 모드 설명은 다음과 같다.



(a) 모드 1 ($0 < t < t_1$)



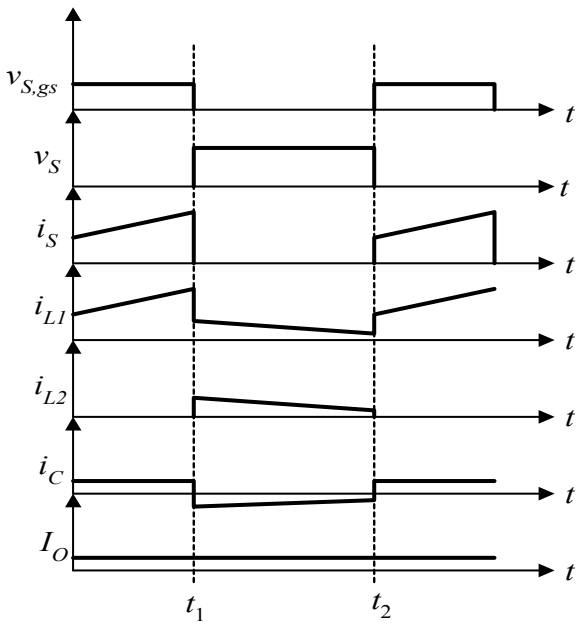
(b) 모드 2 ($t_1<t<t_2$)

[그림 3] 제안된 높은 전압전달비를 가지는 DC-DC 부스트 컨버터 동작모드

모드 1 : 스위치 S가 턴온되며, 출력 커패시터 C_o에 저장되어있던 전압이 방전되어 출력으로 전달되고, 입력전압 V_{in}은 인덕터 L_1에 인가된다.

모드 2 : 스위치 S가 턴오프되고, 커플드 인덕터에 흐르는 전류가 다이오드 D_o를 통하여 출력측에 전달되며, 방전된 출력 커패시터 C_o는 충전하게 된다[2][3]. 스위치 S의 드레인-소스전압은 다음과 같다.

$$V_s = V_{in} + V_{L1} \quad (5)$$



[그림 4] 제안된 높은 전압전달비를 가지는 DC-DC 부스트 컨버터의 이론적 주요파형

그림 4는 제안된 높은 전압전달비를 가지는 DC-DC 부스트 컨버터의 주요파형이다.

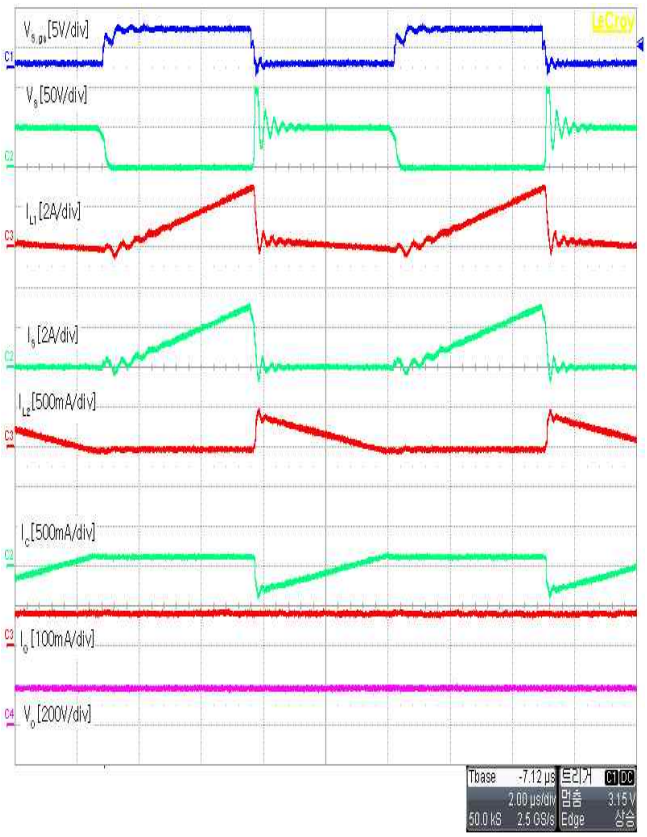
4. 실험 결과

표 1과 같은 사양으로 프로토타입 컨버터를 설계하고 제작/실험하였다.

[표 1] 제안된 컨버터의 프로토타입 설계 사양

항목	값
DC 입력전압 $V_{in,rms}$	24V
출력전압 $V_{o,rms}$	200V
출력전류 $I_{o,rms}$	100mA
스위칭주파수 f_s	100kHz
최대 듀티비(D_{max})	51%
최대출력전력 $P_{o,max}$	20W
턴비 $N(=N_2/N_1)$	6(90T/15T)

그림 5는 제안된 높은 전압전달비를 가지는 DC-DC 부스트 컨버터의 주요 부분의 실험파형이다. 이것은 그림 4의 이론적 파형과 일치하는 것으로 보아 제안된 컨버터가 정확함을 알 수 있다.



[그림 5] 제안된 높은 전압전달비를 가지는 DC-DC 부스트 컨버터의 주요 부분의 실험파형

5. 결론

본 논문에서는 커플드 인덕터를 이용한 높은 전압전달비를 가지는 DC-DC 부스트 컨버터를 제안하였다. 종래의 부스트 컨버터는 높게 승압 할수록 듀티비가 커지는 단점

을 가지고 있었다. 이를 보완하기 위해 제안된 높은 전압 전달비를 가지는 DC-DC 부스트 컨버터는 커플드 인덕터 구조를 가져 턴비와 함께 출력전압을 승압하기 때문에 낮은 듀티비로도 고승압을 할 수 있고, 구조가 간단하여 구현하기 쉽고 가격적인 면에서도 장점을 가진다. 제안된 컨버터는 최대 출력용량 20W(200V/100mA)이며 제안된 컨버터의 우수한 성능을 증명하기 위해 프로토타입 컨버터를 제작하고 실험하였다. 효율은 최대출력전압 시 약 88%정도 이다.

참고문헌

[1] 박성식, 최세완, 최우진, 이교범 “고승압비와 넓은 ZVS 영역을 갖는 비절연 DC-DC 컨버터” 전력전자학회 논문지, 제 14권, 제4호 pp. 315-322, 2009. 8.

[2] 노의철, 정규범, 최남섭, 전력전자공학, 문운당, 2003

[3] F. S. F. Silva, A. A. A Freitas, S. Daher, S. C. Ximenes, S. K. A. Sousa, Edilson M. S. Jr. , F. L. M. Antunes, C. M. T. Cruz. "HIGH GAIN DC-DC BOOST CONVERTER WITH A COUPLING INDUCTOR". Industry Applications, IEEE Trans actions on, pp. 486-492, Oct, 2009.

[4] D. M. Van de Sype, Koen De Gusseme, Bert Renders, Alex P. Van den Bossche, Jan A. Melkebe다. “A Single Switch Boost Converter with a High Conversion Ratio" Power Electronics Conference, IEEE 20nd Annual, Vol. 3, pp. 1581-1587, 2005