

새로운 고승압 직류전원장치

백주원, 류명호, 유동욱, 김태진, 이병국, 임근희
한국전기연구원 산업전기연구단

Novel High Boost DC Power Supply

J. W. Baek, M. H. Ryu, D. W. Yoo, T. J. Kim, B. K. Lee, G. H. Rim
Industrial Electronics Research center, KERI

ABSTRACT

The emerging applications such as reliable back-up power system and renewable energy call for high boost DC-DC converter. The conventional topologies to get high output voltage are using flyback circuit, cascade converters, and coupled inductor DC-DC converter. They have the stress and loss related to the leakage energy which results in low efficiency.

In this paper, novel high boost converter is presented. It has a structure of cascade boost converter but only one switch. Therefore, drive circuit is simple and extreme duty ratio is eliminated. To verify the proposed circuit, theoretical analysis and experimental results has been done using a prototype power supply.

1. 서론

전원장치의 신뢰성이 점차 중요한 문제로 대두되면서 산업용 전원설비에는 배터리 백업전원 설비가 기본적인 사양으로 자리 잡아가고 있다. 또한 대체 에너지원 중에서 연료전지 전원은 새로운 미래 에너지원으로 많은 연구가 이뤄지고 있다.

이러한 전원설비에서 공통적으로 필요한 것은 낮은 전압을 사용전원으로 충분히 승압해 주어야 하는 점이다.

일반적으로, 입력전압이 낮은 응용분야에서는 출력전압을 높이기 위해 변압기를 이용하는 것이 종래의 방법이다. 이러한 경우에는 변압기 손실이 부가적으로 발생하고 스위칭 손실이 커지는 단점이 있다. 이를 개선한 형태로 인덕터 결합형 고승압 회로가 있으나 승압전압을 충분히 높이는 데에는 한계가 있다.^[1]

본 논문에서는 입력전압을 높은 출력전압으로 승압하는 새로운 회로를 제안하였다. 제안한 회로는 다수의 승압회로가 배열된 구조를 가지지만 스위치를 최종단에 하나만을 사용하는 구조이다. 필요한 승압비에 따라 승압회로를 늘려서 승압전압을 높일 수 있는 구조이며 스위치가 하나로 되어 구조가 단순화되는 장점이 있다.

본 논문에서는 400W급의 전원장치를 구성하여 제안한 회로의 동작을 시험하고 특성에 대해 고찰한다.

2. 고승압회로

2.1 회로 구성 및 동작원리

그림 1은 제안하는 고승압 컨버터 회로를 나타낸 것이다. 컨버터는 기본적인 승압형 컨버터 구조에서 병렬로 회로가 추가되는 형태이며 주 스위치 하나와 다수의 병렬 승압회로가 배치된 구조이다.^[2]

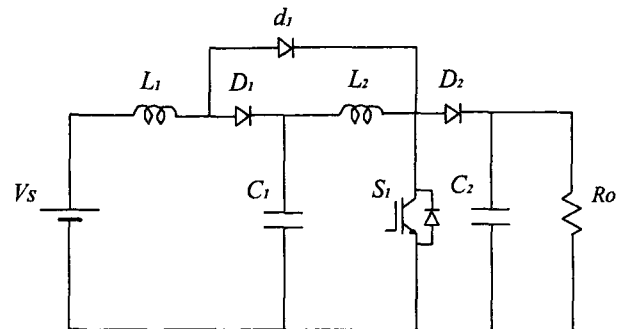
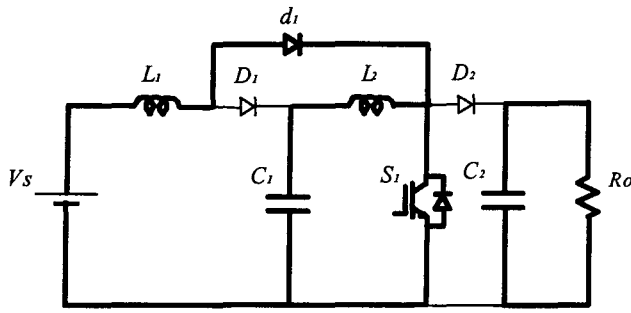
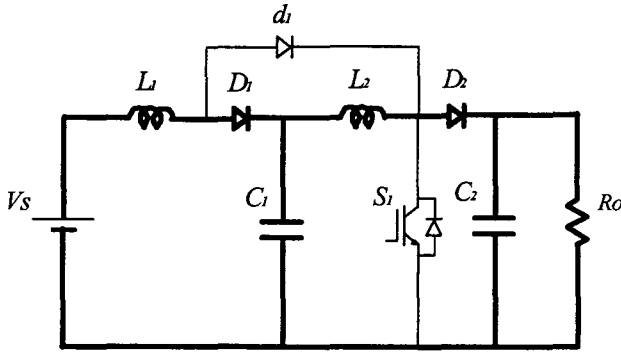


그림 1 제안하는 고승압 컨버터
Fig. 1 The proposed high boost converter

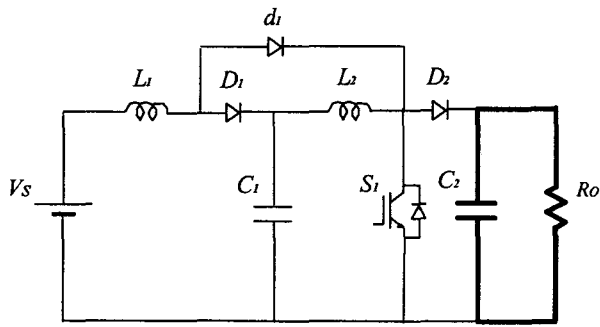
다음 그림 2와 3은 제안한 회로의 주요 동작파형과 동작 모드를 나타낸 것이다. 그림 2에서 주 스위치 S와 인덕터 L1, L2 전류 그리고 직류 커패시터들 C1, C2의 전압 파형을 나타내었다.



(a) Mode 1



(b) Mode 2



(c) Mode 3

그림 2 제안한 회로의 동작 파형
Fig. 2 operational waveform of the proposed circuit

연속 모드에서 인덕터의 양단 평균전류의 합은 항상 0이다.

인덕터와 전류의 크기가 충분히 커서 L1, L2에 흐르는 전류는 연속이라고 가정하면

$$\Delta I = (-V_S + V_{C1}) \times \frac{T_{OFF}}{L} \quad (1)$$

가 되고, ΔI 는 전류변화량, T_{OFF} 는 스위치 오프시간, V_S 는 입력전압, V_{C1} 은 C1전압을 나타낸다.

V_S 와 V_C 의 관계는 다음 식 (2)와 같다.

$$V_S = \frac{T_{OFF}}{T_{ON} + T_{OFF}} V_{C1} \quad (2)$$

그러므로 V_{C1} 은 식 (3)과 같이 얻어진다.

$$\therefore V_{C1} = \frac{1}{1-D} V_S \quad (3)$$

다음 단의 승압식을 구하면 역시 식(4)와 같이 표현된다.

$$V_{C1} \times T_{ON} = (-V_{C1} + V_{C2}) \times T_{OFF} \quad (4)$$

그러므로 출력전압은 최종적으로 식 (5)와 같이 얻어진다.

$$V_O = \frac{1}{(1-D)^n} \times V_S \quad (5)$$

이것은 승압형 컨버터가 병렬 배치된 형태이므로 승압비가 n배되는 결과가 얻어진다.

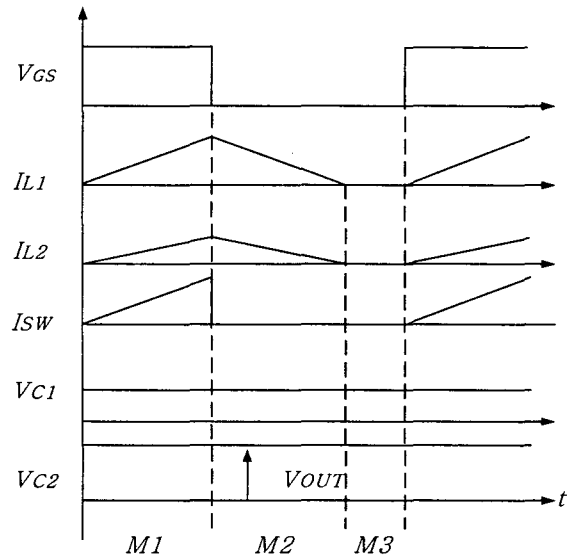


그림 3 동작 모드
Fig. 3 operational modes

Lossless circuit 라고 가정했을 때 $P_S = P_O$ 이므로

$$I_O = (1-D)^2 \times I_S \quad (6)$$

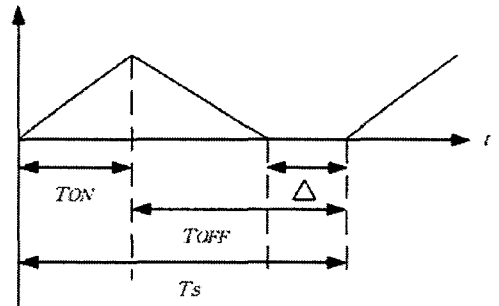


그림 4 인덕터 불연속 전류 동작 파형
Fig. 4 discontinuous current waveform of inductor

연속과 불연속 모드의 경계 조건은 아래식과 같이 얻어진다.

$$I_{OB} = \frac{1}{2} \frac{V_O \cdot T_S}{L_1} \times D(1-D)^4 \quad (7)$$

구동 펄스폭에서 경계전류보다 작은 부하전류에서 구동 되면 출력 전류파형은 불연속이 된다. 2단의 승압회로에 대해서 살펴보면 $P_O = P_S$ 이므로

$$V_S D T_S + (V_S - V_{C1})(T_{OFF} - \Delta) T_S = 0 \quad (8)$$

V_S 를 V_{C1} 에 관한 식으로 풀면 식과 같다.

$$\frac{V_{C1}}{V_S} = \frac{T_{OFF} - \Delta + D}{T_{OFF} - \Delta} \quad (9)$$

식 (9)를 이용하여 다음단 출력전압을 구하면

$$V_{C1} D T_S - (-V_{C1} + V_{C2}) \times (T_{OFF} - \Delta) T_S = 0$$

$$\therefore V_O = \left(\frac{T_{OFF} - \Delta + D}{T_{OFF} - \Delta} \right)^2 \times V_S \quad (10)$$

출력전압은 식(10)과 같다.

동작모드는 설명을 간단히 하기 위해 데드타임에 의한 효과는 무시하고 소자는 이상적이라 가정한다.

모드 1 : 스위치가 턴 온하여 인덕터에 에너지를 저장하는 전력저장 모드이고 부하는 최종 커패시터에 충전된 전압이 인가된다. 각 인덕터는 자기적으로 결합되어도 되며 동시에 스위치의 턴 온과 함께 입력전압이 인가되어 전류가 상승한다.

모드 2 : 스위치가 턴 오프되고 인덕터와 입력전원에서 부하로 전력이 전달되는 모드이다. 각 인덕터와 가장 가까이 연결된 정류 커패시터로 전력이 전달되며 전력저장모드에서 다음 단의 인덕터로 그리고 최종적으로 부하까지 전력이 차례차례 전달되는 구조이다.

모드 3 : 경부하에서 나타나는 전류 불연속 모드를 나타낸 것이다. 인덕터에 충전된 에너지가 모두 방전되고 전류가 영으로 유지되는 모드이다. 부하는 최종단의 커패시터 전압이 인가된다.

3. 회로 특징 및 설계

본 논문에서는 고승압 출력전압을 얻기 위해서 통상적으로 사용하는 변압기나 시비율을 높이는 방법 또는 여러 단의 컨버터를 사용하는 방법 그리고 인덕터 결합을 이용하는 방법에서 나타나는 전압, 전류 스트레스와 효율 저감, 회로의 복잡성 그리고 승압전압의 한계 문제등을 해결하고자 하였다.

그림 5는 제안한 회로의 확장형 구조를 나타낸 것이다. 즉, 임의의 n배 승압비를 얻기 위해 구성할 수 있는 회로를 나타낸 것으로 최종단에 스위치 하나가 사용되고 전력저장 모드에서 인덕터에 입력 전압이 인가될 수 있도록 경로를 제공하는 다이오드가 회로에 배열된다.

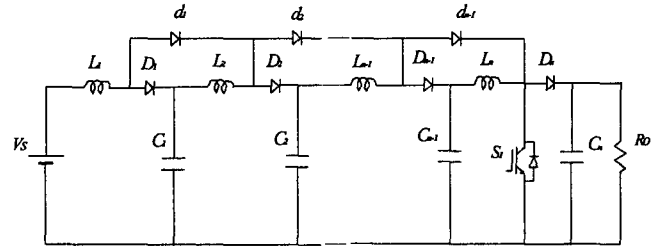


그림 5 제안한 회로의 확장형 회로

Fig. 5 extended circuit of the proposed circuit

회로설계는 일반적인 승압형 컨버터의 기본 설계와 동일하다.

4. 실험결과

제안한 회로의 동작을 검증하기 위해 실험하였으며 400W급 승압형 시험장치를 만들었다. 다음 그림 6은 실험에 사용된 회로를 나타낸 것이다. 주 스위치는 600V 26A MOSFET 스위치를 사용하였으며 다이오드는 600V 60A 소자를 사용하였다. 스위치 및 다이오드 소자는 실험의 편리성을 위해 용량 선정을 최적화하지 않았다. 승압용 인덕터는 자기적으로 결합되어 사용할 수 있다.

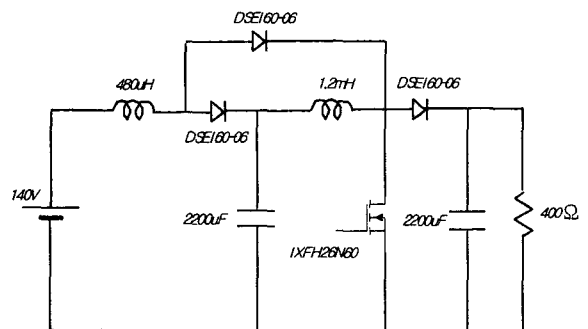


그림 6 실험에 사용된 회로

Fig. 6 experimental circuit

다음 그림 7은 인덕터 L1, L2와 출력전압을 나타낸 파형이다. 동작모드에서 예상한 파형과 동일한 동작파형을 얻을 수 있었다.

다음 그림 8은 주 스위치 전류와 전압 파형을 나타낸 것으로 인덕터 전류의 합이 스위치 전류인 것을 알 수 있다. 그림 9는 커패시터 전압들을 나타낸 것으로 예상된 승압비와 결과가 일치하는 것을 알 수 있다. 그림 10은 듀티의 변화에 따른 출력 전압과 출력 전류를 나타낸 것으로 듀티에 따라 출력전압이 높게 승압됨을 볼 수 있다.

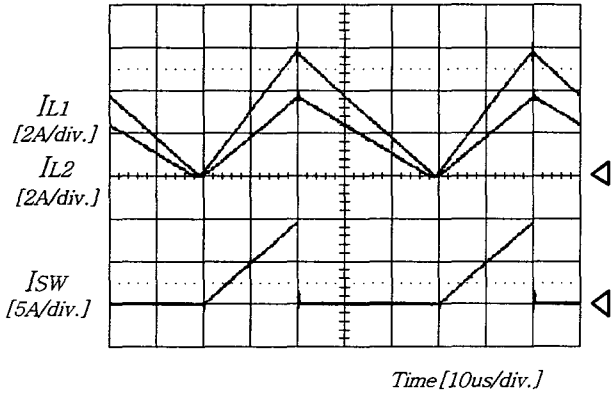


그림 7 인덕터 전류와 스위치 전류
Fig. 7 current of inductor and switch

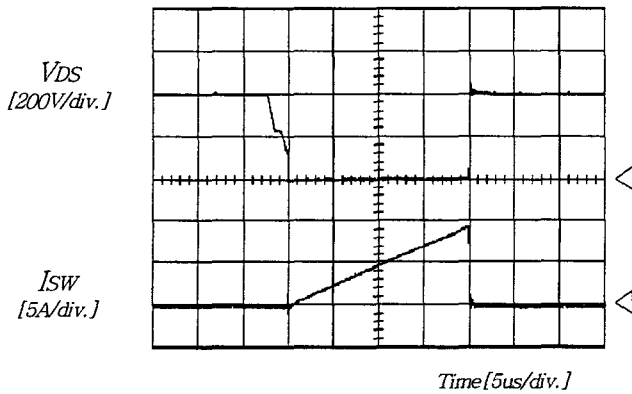


그림 8 주 스위치 전압과 전류 파형
Fig. 8 Voltage and current of main switch

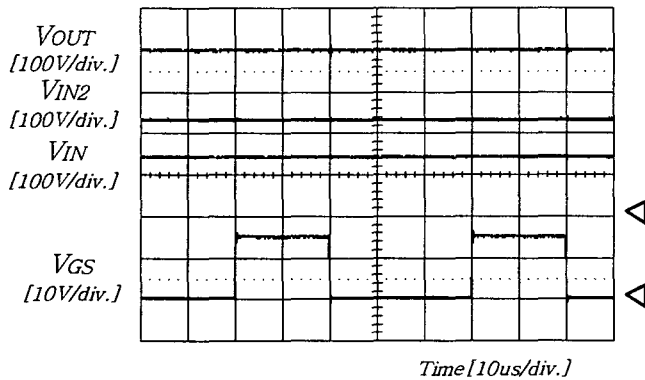


그림 9 커패시터 전압 파형
Fig. 9 Capacitor voltage

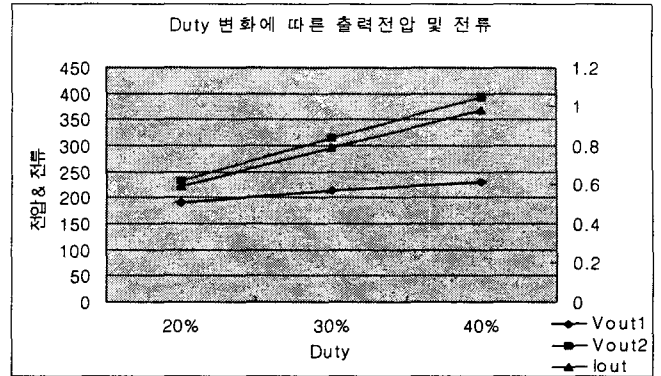


그림 10 듀티 대비 출력전압 관계
Fig. 10 Relationship of output voltage to duty

5. 결론

본 논문에서는 입력전압을 높은 출력전압으로 승압하는 새로운 회로를 제안하였다. 제안한 회로는 다수의 승압회로가 배열된 구조를 가지지만 스위치를 최종단에 하나만을 사용하는 구조로서 400W급의 시험장치를 통해 동작을 검증하였다. 필요한 승압비에 따라 승압회로를 늘려서 승압전압을 높일 수 있는 구조이며 스위치가 하나로 되어 구조가 단순화되었다.

제안한 고승압회로는 높은 출력전압이 필요한 응용분야에 적용될 수 있으리라 판단된다.

참고 문헌

- [1] Qun Zhao and Fred C. Lee, "High Performance Coupled-Inductor DC-DC Converters," in *IEEE-APEC Proc.*, 2003.
- [2] J. W. Baek, M. H. Ryu, D. W. Yoo, H. G. Kim, "High Voltage Pulse Generator Using Boost Converter Array", *IEEE IECON 2002 rec.*
- [3] L. Hurber and M. M. Jovanovic, "A design approach for server power supplies for networking," in *proc. IEEE-APEC' Proc.*, 2000, pp1163-1169.