

단일단 아답터를 위한 새로운 형태의 DC/DC 컨버터

김봉철, 박기범, 문건우, 윤명중
카이스트

New DC/DC Converter for Single-stage Adapter Application

Bong-Chul Kim, Ki-Bum Park, Gun-Woo Moon, Myung-Joong Youn
KAIST

Abstract

본 논문에서는 DC/DC단의 넓은 입력문제를 해결할 수 있는 새로운 형태의 컨버터를 제안한다. 제안된 DC/DC 컨버터는 출력전압을 조절하기 위해 정류회로 뒤에 하나의 스위치와 하나의 다이오드를 추가하였으며 추가된 스위치의 시비율로 출력 전압을 조절하기 때문에 1차측 스위치의 고정 시비율로 동작시킴으로써 변압기 설계가 쉬워지고 1차 측의 큰 전압 스트레스도 해결된다. 제안된 컨버터의 이론적 해석과 설계 방법이 제시되었으며, 실험을 통해 검증하였다.

1. 서론

최근 소형 전자 제품의 사용이 증가함에 따라 이들 전자 제품의 전원 공급에 필요한 다양한 AC/DC 어댑터가 요구된다. 일반적으로, 50W급 미만의 AC/DC 어댑터의 기본 구성은 그림1과 같다. 50W급의 경량급 어댑터는 별도의 역률 개선 회로 단을 이용하지 않고 Bridge-Diode와 link capacitor로 구성되는 브릿지 정류기를 사용하여 정류단을 구성하는 것이 일반적이다 [1]-[2]. 이와 같이 브릿지 정류기를 이용하여 AC상전으로부터 변환된 DC전원을 입력으로 하여 원하는 전원으로 변환시키는 DC/DC단이 브릿지 정류기 다음에 위치하여 전력변환을 수행하게 된다. 일반적으로 DC/DC단으로 flyback 컨버터가 많이 사용되고 있다.

이러한 단일단 시스템은 구조적으로 간단하여 가격저감의 효과를 기대할 수 있지만, DC/DC단의 입력전압이 120V~370V로 넓기 때문에 flyback 컨버터의 시비율 변화량이 커지게 되면서 변압기 설계가 어려워지고 스위치의 전압 스트레스가 높아진다는 문제가 있다.

따라서 본 논문에서는 DC/DC단의 넓은 입력문제를 해결할 수 있는 새로운 형태의 컨버터를 제안하고, 40W급 프로토타입을 이용하여 제안된 컨버터의 우수성을 검증한다.

2. 넓은 입력전압을 위한 새로운 형태의 DC/DC 컨버터

2.1 제안된 DC/DC 컨버터의 기본특성

그림2의 제안된 컨버터는 사각파를 만들기 위한 두 개의 스위치와 변압기, 2차 측의 정류회로와 출력전압을 제어하기 위한 스위치 단으로 구성된다.

1차 측의 두 스위치 Q_M , Q_A 는 일정한 주파수, 50% 시비율로 동작하기 때문에 변압기 offset이 없으므로 어댑터 변압기 설계가 간단해 지고, 1차 측 전압 스트레스가 증가하는 문제도 해결된다.

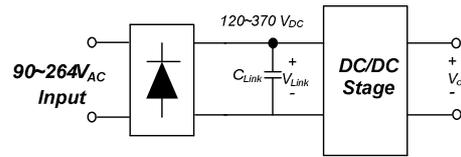


Fig. 1 Single stage AC/DC

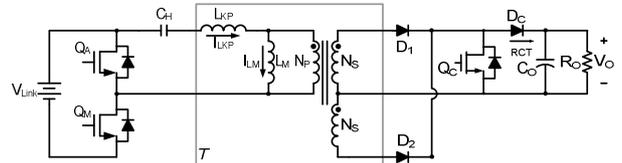


Fig. 2 제안된 DC/DC 컨버터

출력전압을 조절하기 위해 정류회로 뒤에 하나의 스위치와 하나의 다이오드를 추가하였다. 추가된 스위치는 변압기 양단에 걸리는 전압을 조절하여 1차 측에서 넘어오는 파워양을 조절하여 출력전압을 조절하게 된다.

2.2 동작 해석

그림3에 제안된 컨버터의 동작 파형을 나타내었고 그림4에 각 모드 별 회로를 나타내었다. 모드1 이전에는 Q_M 은 차단되어 있고, Q_A 는 도통되어 있으며, 2차 측에는 전류가 흐르지 않으므로, 변압기의 음의 값을 갖는 자화 전류가 Q_A 를 통해 흐르고 있다.

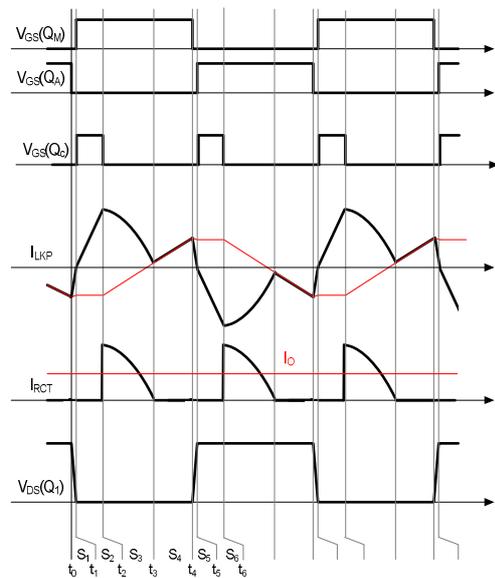


Fig. 3 제안된 DC/DC 컨버터의 동작파형

모드1 (t0~t1).

Q_A이 차단 됨으로써 모드1이 시작되며, 모드 1의 전류 도통 경로는 그림4(a)에 나타냈다. 변압기의 자화전류는 음의 값을 가지고 있으므로, Q_M의 역방향 병렬 다이오드를 통해서 흐르게 된다. 이 전류는 Q_M의 ZVS조건을 만들어 준다.

모드2 (t1~t2).

Q_M 스위치가 도통되고 1차측 전류가 0보다 커지면서 모드2가 시작된다. 모드 2의 전류 도통 경로는 그림4(b)에 나타냈다. 이때 2차측의 Q_C 스위치도 도통되면서 변압기 양단 전압을 0으로 만들어서 입력전압과 CH양단 전압의 차이가 LKP에 걸리게 되고 L_{KP}는 에너지를 충전시킨다.

모드3 (t2~t3).

Q_C가 차단되면서 2차측 다이오드 DC가 도통되면서 출력 Capacitor로 에너지를 넘겨주게 된다. 모드 3의 전류 도통 경로는 그림 4(c)에 나타냈다.

모드4 (t3~t4).

t3시점에서 i_{LK}와 i_{LM}이 같아짐으로써 모드4가 시작하게 된다. 모드4의 전류 도통 경로는 그림4(d)에 나타내었다. i_{LK}와 i_{LM}이 같아지면, 변압기 2차측으로는 전류가 흐르지 않으므로, 2차측 다이오드 D1 과 D2는 차단된다.

모드5(t4~t5).

Q_M이 t4 시점에서 차단 됨으로써 모드5가 시작되며, 모드 5의 전류 도통 경로를 그림4-에 나타내었다. 변압기의 자화 전류는 양의 값을 가지고 있으므로, Q_A의 역방향 병렬 다이오드를 통해서 흐르게 되며 Q_A의 ZVS 조건을 만들어 준다.

모드6은 모드1의 반복이므로 생략한다.

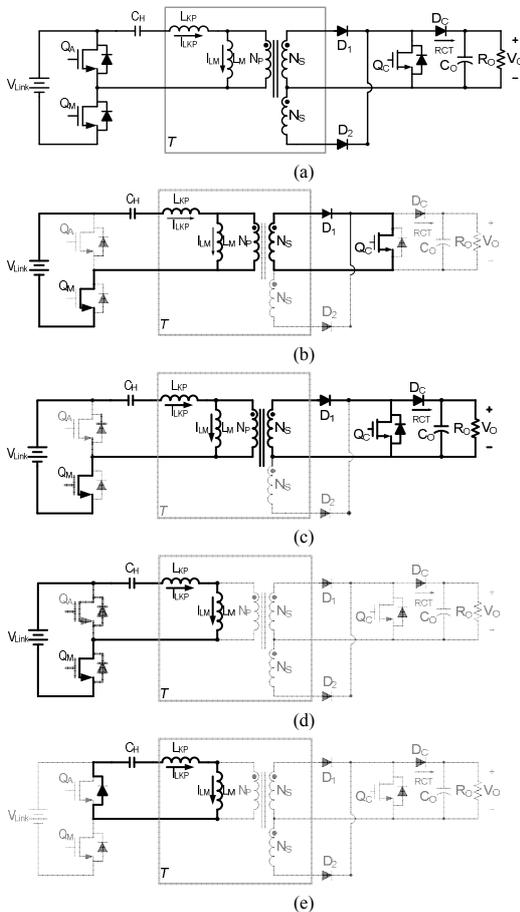


Fig. 4 제안된 DC/DC 컨버터의 동작파형 (a)모드 1 (b)모드 2 (c)모드 3 (d)모드 4 (e)모드 5

2.3 제안된 DC/DC 컨버터의 입출력 전압 변환비

제안된 컨버터의 입출력 전압 관계식을 구하기 위해서 L_M은 충분히 크며, C_H의 전압을 전압원으로 가정하였다.

$$G_{dc} = \frac{2n^2 L_M L_R + \sqrt{4n^4 L_M^2 L_R^2 + 8n L_R (L_M + L_R) f_s R_O L_M B^2}}{8n L_R (L_M + L_R)} \quad (1)$$

$$; \frac{2n^2 L_R + \sqrt{4n^4 L_R^2 + 8n f_s R_O B^2}}{8n L_R}$$

, $n = \frac{N_s}{N_p}$, $B = dt * \frac{1}{f_c}$, f_s 는 1차측 스위치 주파수이며 f_c 는 Q_C의 스위치 주파수이다. 식(1)로부터 Q_C의 시비율에 따른 입출력 전압 변환비는 그림 5와 같다.

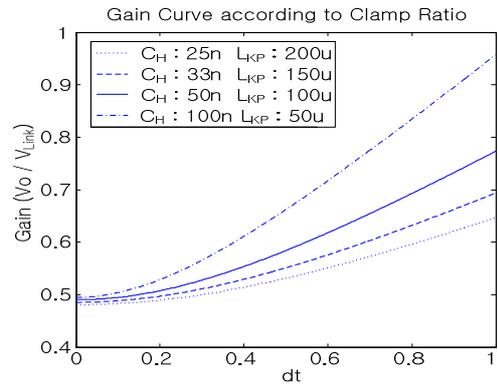


Fig. 5 입출력 전압 변환 곡선

이 곡선은 L_M=5mH, F_S=140kHz F_C=280kHz로 가정하였으며, Q_C의 시비율이 0일 때 입출력 비는 LLC 공진 컨버터의 입출력 관계식으로부터 정해진다. 그림5의 곡선에서와 같이, LKP의 값이 작을수록 같은 시간 동안 Q_C 도통 시간에 대하여 더 큰 출력 전압을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 이것은 같은 시간 동안 더 많은 에너지가 LKP에 충전되었기 때문이다.

2.4 제안된 컨버터의 설계 디자인

a. 변압기 턴 비: $n = \frac{V_{O,min}}{V_{Link,max}} \quad (2)$

제안된 컨버터는 Q_C의 도통시간에 비례하여 에너지를 출력으로 전달하기 때문에 Q_C의 도통시간이 0일 때 가장 낮은 출력전압이 나오도록 변압기의 턴비를 결정해야 한다.

b. L_M, L_{KP} and C_H: $f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{KP} C_H}} \quad (3)$

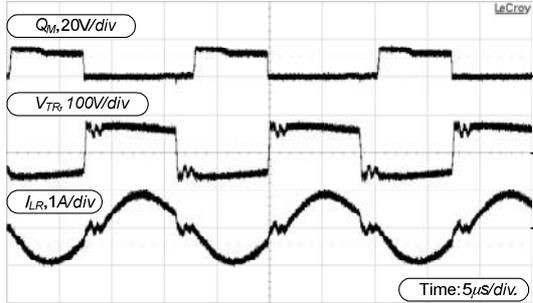
L_M은 도통손실을 위해 크게 설계하며, L_{KP}와 C_H는 식(3)과 식(1)의 조합으로 선택할 수 있다.

3. 실험 결과

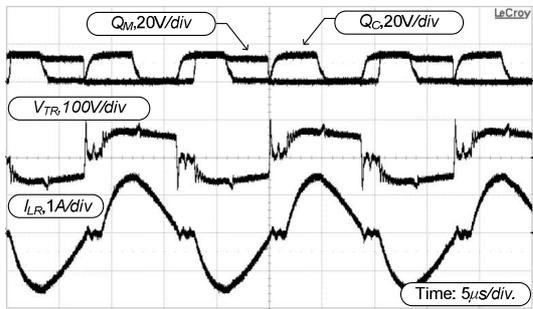
넓은 입력 전압을 위해 제안된 DC/DC 컨버터의 동작을 검증하기 위해 40W 프로토타입 회로를 구성하여 실험하였다. 설계 사양은 표1과 같다. 그림 6(a)는 Q_C가 도통이 안된 실험파형이며, 그림 6(b)의 실험파형은 Q_C가 도통 되었을 때 파형이다. 실험 파형에서 보는 것과 같이, Q_C가 도통되었을 때, 1차 측 인덕터 L_{KP}에 에너지가 충전되는 것을 확인할 수 있다.

입력전압	100V ~ 200Vdc
출력전압	15V
최대 출력전원	40W

표1. 설계 사양



(a)



(b)

Fig. 6 제안된 DC/DC 컨버터의 실험파형 (a) Q_C : 0% 시비율
(b) Q_C : 40% 시비율

4. 결론

단일단 시스템은 구조적으로 간단하여 가격저감의 효과를 기대할 수 있지만, DC/DC단의 입력전압이 120V~370V로 넓기 때문에 DC/DC 컨버터의 시비율 변화량이 커지게 되면서 변압기 설계가 어려워지고 스위치의 전압 스트레스가 높아진다는 문제가 있다.

따라서 본 논문에서는 DC/DC단의 넓은 입력문제를 해결할 수 있는 새로운 형태의 컨버터를 제안하였고, 40W급 프로토타입을 이용하여 Q_C 스위치로 트랜스포머 양단의 전압을 조절하여 출력 전압을 조절하는 제안된 방법을 검증 하였다.

Reference

- [1] J. Zhang, M. M. Javanovic, and F. C. Lee, "Comparison Between CCM Single-Stage And Two-Stage Boost PFC Converters," in *Proc. IEEE APEC*, 1999, pp. 335-341.
- [2] Yuri Panov and M. M Jovanovic, "Performance evaluation of 70W two-stage adapters for notebook computers," in *Proc. IEEE APEC*, 1999, pp. 1059-1065.
- [3] L. Huber and M. Jovanovic, "Evaluation of flyback topologies for notebook ad/dc adapter/charger applications," *High Frequency Power Conversion Conf. Proc.*, May 1995, pp.284-294.