

Boost 입력형 능동클램프 DC-DC 컨버터의 동작특성

정진범*

한양대 전자전기제어계측공학과*

김희준

한양대 전자·컴퓨터 공학부

Characteristic of Boost input type active clamp DC-DC converter

Cin-Beom Ceong

Dept. of Electronic & Electrical
& Control & Instrumentation engineering
Hanyang Univ.

Hee-Jun Kim

School of Electrical engineering
& Computer science
Hanyang Univ.

Abstract - This paper proposes the boost input type active clamp DC-DC converter featuring the high efficiency and improved EMI characteristics. The main characteristic of the converter is to operate with the non-pulsating input and output currents.

Besides, it has the zero-voltage switching (ZVS) and low voltage stress characteristics.

For the proposed converter, the detailed operation principles and the simulation results are presented.

1. 서론

DC-DC 컨버터에 있어서 컨버터의 크기는 변압기, 인덕터와 커패시터등의 에너지 축적 소자에 의해 결정되는데 스위칭 주파수를 높이면 이 소자들을 소형화 할 수 있어 DC-DC 컨버터의 전력밀도 극대화가 가능하다. 그러나 기존의 컨버터의 경우 제어의 용이함과 고효율이라는 장점과 더불어 스위칭시 급격한 전압변화에 따른 고주파 동작에서의 스위칭 손실과 노이즈발생이 커지는 단점을 지니고 있다.(1)

이를 개선하기 위하여 스위치 전압이나 전류가 0인 부분에서 스위칭을 하는 영전압 및 영전류 스위칭을 적용하여 스위칭 손실과 노이즈를 대폭 줄일수 있는 공진형 컨버터가 제안되었다. 그러나 이 공진형 컨버터는 공진으로 인하여 스위치에 높은 전압과 전류 스트레스가 발생한다는 단점을 가지고 있다.(2)

따라서 본 논문에서는 입력측 인덕터 및 능동 클램프 회로를 부가함으로써 전압 스트레스 저감, 영전압 스위칭 및 저 EMI 노이즈의 특성을 갖는 Boost 입력형 능동 클램프 DC-DC 컨버터를 제안하였다.

제안된 Boost 입력형 능동 클램프 DC-DC 컨버터의 자세한 동작원리를 제시하였으며 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 입증하였다.

2. 본론

2.1 회로와 동작특성

그림 1은 본 논문에서 제안된 Boost 입력형 능동 클램프 DC-DC 컨버터의 회로도를 나타낸다.

입력측 인덕터 L_{in} 및 주스위치 Q_1 은 Boost 컨버터의 입력측 회로가 되며 Q_2 및 C_3 는 능동 클램프 회로를 구성한다.(3)

L_m 은 트랜스포머의 자화 인덕턴스, L_4 는 누설 인덕턴스를 나타낸다. 비교적 큰 용량의 커패시터 C_4 는 트랜스포머의 L_m 및 L_4 와 공진을 하며 주스위치 Q_1 이 도통할 때 출력측으로 에너지를 공급하는 전압원으로 동작한다. 이 외에 $C_{Q1}(C_{Q2})$ 은 스위치의 기생 커패시턴스, $D_{Q1}(D_{Q2})$ 은 역병렬 다이오드를 나타낸다.

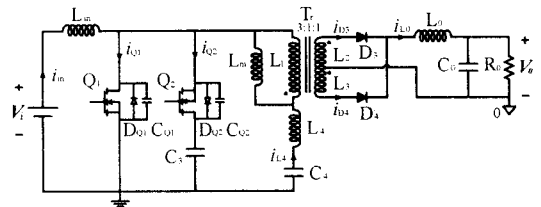


그림1 Boost 입력형 능동 클램프 DC-DC 컨버터의 회로도

그림 2는 제안된 컨버터의 이론적인 파형을 나타내며 각 모드별 동작해석을 위하여 한 주기를 6개의 동작모드로 구분하였다.

2.2 각 모드별 동작 해석

그림 3은 각 동작 모드별 등가회로를 나타내며 각 모드별 동작 해석은 다음과 같다

여기서 L_{in} , C_3 및 C_4 는 비교적 큰 양이므로 L_{in} 에 흐르는 전류 i_{in} 은 정전류, C_3 의 전압 V_{C3} 및 C_4 의 전압 V_{C4} 는 정전압으로 근사하는 것으로 한다.

1) 모드 1 ($t_1 \sim t_2$): Q_1 turn off, Q_2 off

t_1 시점에서 Q_1 이 turn off 되면 L_m , L_4 및 C_{Q1} , C_{Q2} 의 공진에 의하여 순간적으로 C_{Q1} 은 충전될 하고 C_{Q2} 는 방전을 하는데 충·방전의 완료 시점에서 C_{Q1} 의 양단의 전압 V_{DS1} 은 $\frac{1}{1-D} V_i$ 가 되고 C_{Q2} 의 양단의 전압 V_{DS2} 는 영전압이 된다.

C_{Q2} 가 방전이 완료된 후에도 L_m 및 L_4 의 여분의 에너지에 의하여 Q_2 의 전류 i_{Q2} 가 계속 역병렬 다이오드를 통하여 흐르므로 V_{DS2} 는 영전압 상태를 그대로 유지하게 된다.

출력측에서는 출력 인덕터 L_o 가 에너지를 출력측으로 방출시키는 환류기간으로서 다이오드 D_3 및 D_4 는

환류 경로를 구성하여 i_{D3} 및 i_{D4} 를 흐르게 한다.

2) 모드 2 ($t_2 \sim t_3$): Q_1 off, Q_2 turn on

t_2 시점에서 Q_2 를 turn on 시켜도 Q_2 의 역병렬 다이오드가 계속 도통되어 V_{DS2} 는 영전압 상태가 되므로 영전압 turn on이 되지만 아직 채널로는 전류가 흐르지 않는다. 출력측에서는 이 시구간 동안 환류가 지속되고 있으나 이 시구간의 종점 t_3 에서 i_{D3} 가 0이 되어 다이오드 D_3 가 전류(轉流) 되면서 환류는 끝나게 된다.

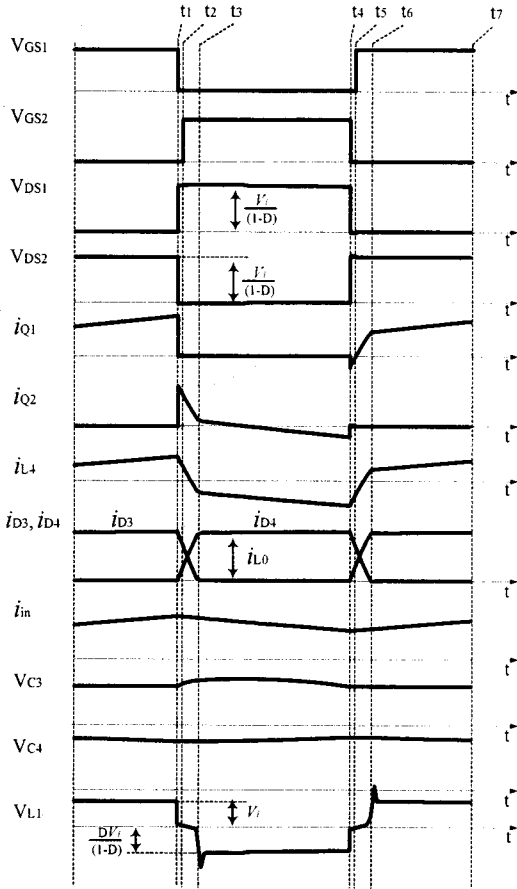


그림 2 각 부의 이론적 동작 파형

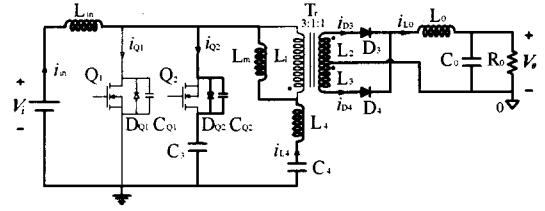
3) 모드 3 ($t_3 \sim t_4$): Q_1 off, Q_2 on

이 시구간동안 스위치 Q_2 에서는 어느 기간동안 역병렬 다이오드의 도통이 지속되다가 전류의 극성이 바뀌면서 채널이 도통하기 시작한다.

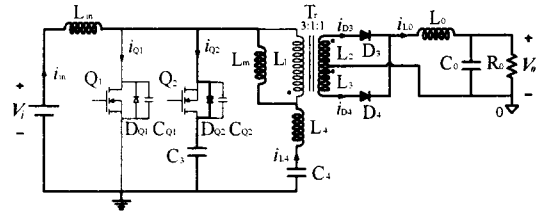
한편 출력측에서는 다이오드 D_1 만이 도통이 되면서 출력 인덕터 L_0 가 에너지를 축적하게 되는데 이때의 에너지는 입력측으로부터 공급받게 된다.

4) 모드 4 ($t_4 \sim t_5$): Q_1 off state, Q_2 turn off

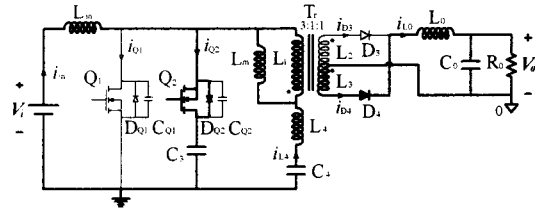
t_4 시점에서 Q_2 가 turn off 되면 L_m, L_1 및 C_{Q1}, C_{Q2} 의 공진에 의하여 순간적으로 C_{Q1} 은 방전을 하고 C_{Q2} 는 충전을 하는데 충·방전의 완료시점에서 V_{DS1} 이 0이 되고 V_{DS2} 는 V_{C3} ($= \frac{1}{1-D} V_i$)와 같게 된다.



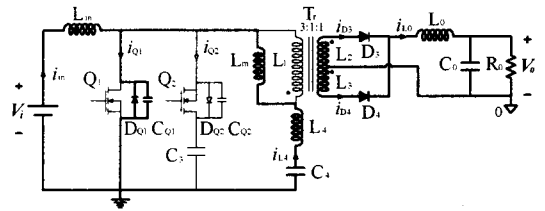
(a) 모드 1



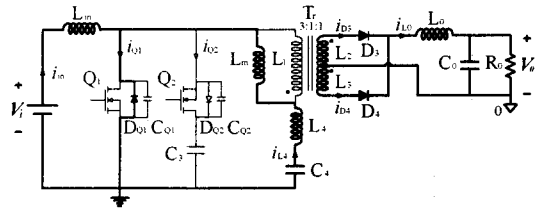
(b) 모드 2



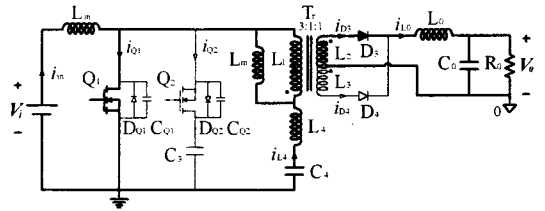
(c) 모드 3



(d) 모드 4



(e) 모드 5



(f) 모드 6

그림 3 모드별 동작회로

C_{Q1} 이 방전이 완료된 후에도 L_m 및 L_4 의 여분의 에너지에 의하여 Q_1 의 전류 i_{Q1} 이 계속 역병렬 다이오드를 통하여 흐르므로 V_{DS1} 은 영전압 상태를 그대로 유지하게 된다.

출력측에서는 출력 인덕터 L_0 가 모드3에서 축적한 에너지를 출력측으로 방출시키는 환류 기간으로서 D_3 및 D_4 는 환류 경로를 구성하여 i_{D3} 및 i_{D4} 를 흐르게 한다.

5) 모드 5 ($t_5 \sim t_6$): Q_1 turn on, Q_2 off state

t_5 시점에서 Q_1 을 turn on 시킴으로써 영전압 turn on이 이루어지고 역병렬 다이오드로 흐르던 전류가 채널로 흐르게 된다. 출력측에서는 이 시구간동안 환류가 지속되고 있으나 이 시구간의 중점 t_6 에서 i_{D4} 가 0이 되어 D_4 가 전류(轉流)되면서 환류는 끝나게 된다.

6) 모드 6 ($t_6 \sim t_7$): Q_1 on, Q_2 off state - D_1 off

출력측에서는 D_3 만이 도통이 되면서 L_0 가 에너지를 축적하게 되는데 이때의 에너지는 C_1 로부터 공급받게 된다.

2.3 시뮬레이션 결과

제한된 컨버터의 시뮬레이션을 위하여 표1에 나타난 회로정수 값을 적용하였으며, 스위칭 주파수는 $f_s = 100$ kHz로 하였다. 그림 4는 시비율을 변화시켰을 때 부하특성을 나타내고 있으며 $D = 0.5 \sim 0.9$ 의 범위에서 제안한 컨버터의 부하특성을 잘 나타내주고 있음을 알 수 있다.

그림 5는 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 이 결과를 통하여 제안한 컨버터에 있어서 영전압 스위칭, 저전압 스트레스, 저EMI 노이즈의 특성을 잘 나타내주고 있음을 확인할 수 있다.

표1 시뮬레이션을 위한 회로 정수값

V_1	27 [V]	L_{in}	0.1 [mH]
C_{Q1}, C_{Q2}	5 [pF]	L_1	30 [μ H]
C_3	5 [μ F]	L_4	1.5 [μ H]
C_4	100 [μ F]	L_2, L_3	3.33 [μ H]
C_0	100 [μ F]	L_0	10 [μ H]
R_0	0.3 [Ω]	N:1:1	3:1:1

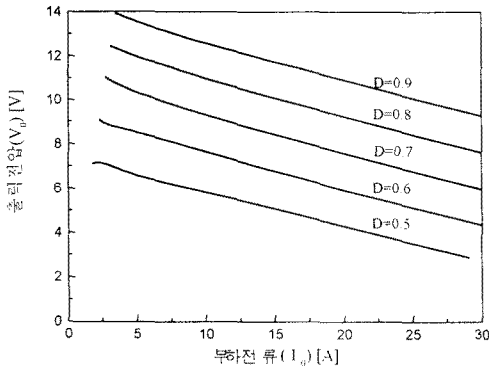
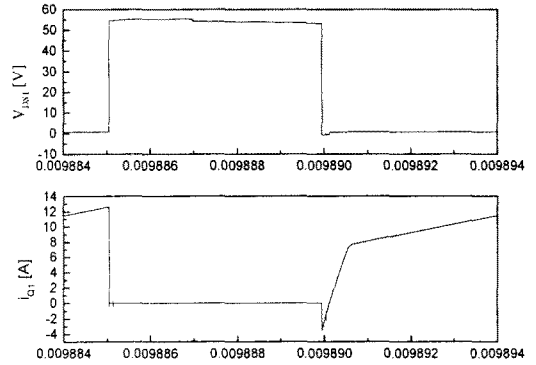
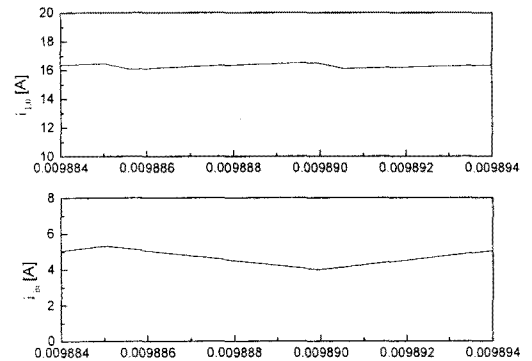


그림 4 시비율의 변화에 대한 부하특성



(a) 주스위치(Q_1)에서의 영전압 스위칭



(b) 입력전류(i_m)와 출력전류(i_{L0})

그림 5 시뮬레이션 결과 ($D = 0.5$)

3. 결 론

제한한 Boost 입력형 능동 클램프 DC-DC 컨버터를 해석하였으며 각 모드별 동작해석을 통하여 이 컨버터의 특징인 영전압 스위칭, 저전압 스트레스, 저EMI 노이즈등의 동작 특성을 확인하였다. 또한 시뮬레이션을 통하여 해석결과와의 타당성을 입증하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] 엄재은 김희준 안태영, "능동 클램프 영전압 스위칭 PWM 포워드 컨버터에 관한 연구", 97 대한전기학회 춘계 전력전자연구회 논문집
- [2] S. Cuk, "switching DC-DC converter with Zero input or Zero output current ripple", IEEE Industry Application Society Annual Meeting, 1978 Record, pp.1131-1146, Toronto, Ont, October 1-5, 1978
- [3] Claudio M.C. Duarte and Ivo Barbi, "A new family of ZVS-PWM active clamping DC-DC boost converters: analysis, design, and experimentation", IEEE INTELEC' 96, pp.305-312