

Boost 입력형 능동클램프 Forward ZVS Converter

오용승, 김희준
한양대학교

Characteristics of Boost Input Type Active Clamp Forward ZVS Converter

Yong-Seung Oh, Hee-Jun Kim
Han Yang University

ABSTRACT

This paper proposes the boost input type active clamp forward ZVS(zero voltage switching) DC-DC converter which can provide high efficiency and improved EMI characteristics. Moreover, it has active clamp circuit for reducing the voltage stress and zero voltage switching technique for minimizing switching loss. The detailed operation principles and the simulation results are presented.

1. 서 론

DC-DC 컨버터의 소형화 및 고밀도, 고효율을 위하여 스위칭 주파수를 증가 시킬 필요성이 있다. 그러나 스위칭 주파수의 증가에 따라 손실이 증가하고 노이즈의 발생 또한 커지게 된다. 이를 개선하기 위하여 스위칭 시의 전압 혹은 전류를 공진시켜 스위칭 손실 및 노이즈의 발생을 최대한 억제할 수 있는 공진형 컨버터가 많이 적용되고 있으나, 전압, 전류의 공진에 의해 발생되어지는 높은 전압 전류 스트레스가 발생하여 소자 정격을 높여야 하는 문제를 발생시킨다.^{[1][2]}

이에 본 논문에서는 입력측에 인덕터를 두어 EMI 특성이 우수하고, 영전압 스위칭 기법과 능동클램프 회로를 추가시켜 스위칭 손실을 최소화하며 높은 전압스트레스를 저감시킨 Boost 입력형 능동클램프 Forward ZVS Converter를 제안하였다. 제안된 컨버터의 동작상태를 설명하고 시뮬레이션을 통하여 그 결과를 확인하였다.^[3]

2. 본 론

2.1 회로와 동작특성

그림 1은 논문에서 제안한 Boost 입력형 능동클

램프 DC-DC 컨버터의 회로도도를 나타낸다. 그림에서 L_i 는 입력인덕터를 나타내고 Q_1 은 주 스위치를 나타낸다. 스위치 Q_2 와 C_3 는 능동클램프 회로를 이루고 있다. 트랜스포머의 자화인덕턴스와 누설인덕턴스를 각각 L_m 과 L_{lk} 로 표기하여 나타내었다. 커패시터 C_1 은 L_m 및 L_{lk} 와 공진하며 보조스위치 Q_2 가 동작하는 시간에 부하단으로 에너지를 공급하는 에너지원으로서 동작한다. 그림 1에 스위치 Q_1, Q_2 의 기생 커패시턴스와 역병렬다이오드를 고려하여 나타내었고 트랜스포머 2차측 부하단은 포워드방식에서와 동일한 형태를 지니고 있음을 보인다.

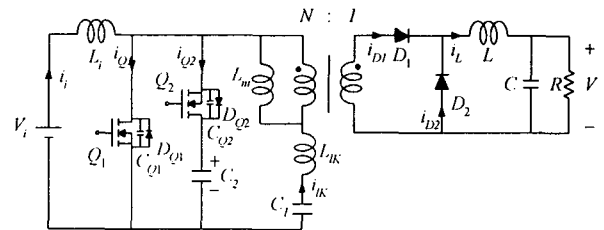


그림 1 Boost 입력형 능동클램프 Forward ZVS Converter

그림 2는 제안된 컨버터의 이론적인 파형을 나타내고 있고, 한 주기를 각 상태에 따라 6개의 모드로 나누어 나타내었다.

2.2 각 모드별 동작 해석

그림 3은 (a)에서부터 (f)까지 6개의 모드에 따른 각각의 동작회로를 나타내고 있다. 여기서 C_1 과 C_2 는 충분히 큰 값으로서 C_1 과 C_2 의 전압은 정전압으로 근사하기로 한다.

A. 모드 1 ($t_1 \sim t_2$): Q_1 턴-오프, Q_2 턴-오프

t_1 시점에서 Q_1 이 턴-오프 되면 L_m, L_{lk} 및 C_{Q1}, C_{Q2} 의 공진에 의하여 순간적으로 C_{Q1} 은 충전될 하

고 C_{Q2} 는 방전을 하는데 충·방전이 완료된 시점에서 C_{Q1} 의 양단의 전압은 스위치 Q_1 의 드레인 소스간의 전압과 같고 결국은 클램프커패시터 C_2 에 걸리는 전압과 같다. 이는 식 (1)과 (2)에서 보이고 있다.

$$V_{C2} = \frac{1}{1-D} V_i \quad (1)$$

$$V_{C1} = D' V_{C2} = V_i \quad (2)$$

C_{Q2} 가 방전이 완료된 후에도 L_m 및 L_k 의 여분의 에너지에 의하여 스위치 Q_2 의 전류 i_{Q2} 가 계속 역병렬 다이오드를 통하여 흐르므로 V_{DS2} 는 영전압 상태를 그대로 유지하게 된다. 이때의 전류 기울기는 출력측의 영향에 의해 누설 인덕턴스 L_{lk} 에 의해서 결정되어진다.

출력측의 다이오드 D_1 및 D_2 는 환류경로를 구성하여 전류를 흐르게 한다.

B. 모드 2 ($t_2 \sim t_3$): Q_1 오프, Q_2 턴-온

스위치 Q_2 의 역병렬 다이오드에 흐르는 전류에 의해 영전압 조건이 이루어진다. 역병렬 다이오드에 흐르는 전류가 서서히 감소하며, 채널로 전류가 흐르기 시작한다. 이때의 전류 기울기는 출력측의 영향으로 누설인덕턴스 L_{lk} 에 의해 결정되며 출력측의 환류가 끝나게 되면 자화 인덕턴스와 누설인덕턴스를 합한 값에 의해 결정되어진다.

C. 모드 3 ($t_3 \sim t_4$): Q_1 오프, Q_2 온

스위치 Q_2 의 역병렬 다이오드를 통해 흐르던 전류는 완전히 감소하여 채널을 통해 전류가 흐른다. 출력측에서는 순방향 다이오드가 도통이 되며 입력측으로부터 에너지를 공급받게 된다.

D. 모드 4 ($t_4 \sim t_5$): Q_1 오프, Q_2 턴-오프

t_4 에서 Q_2 가 턴-오프 되면 L_m , L_{lk} 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 0가 되고 V_{DS2} 는 V_{C2} 가 된다.

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

출력측에서는 D_1 , D_2 가 환류경로를 구성하여 i_{D1} , i_{D2} 를 흐르게 한다.

E. 모드 5 ($t_5 \sim t_6$): Q_1 턴-온, Q_2 오프

스위치 Q_1 의 역병렬 다이오드에 흐르는 전류에 의해 t_5 시점에서 스위치 Q_1 이 턴-온 됨으로서 영전압 스위칭이 이루어지게 되고 역병렬 다이오드를 통하여 흐르던 전류는 스위치의 채널을 통하여 흐르게 된다. 출력측에서는 이 구간동안 계속해서 환류가 지속되고 있다.

F. 모드 6 ($t_6 \sim t_1$): Q_1 온, Q_2 오프

스위치 Q_1 채널을 통해 전류가 흐르고 출력측에서 출력인덕터에 저장되어진 에너지에 의해 freewheeling 다이오드 D_2 를 통하여 전류가 흐르게 된다.

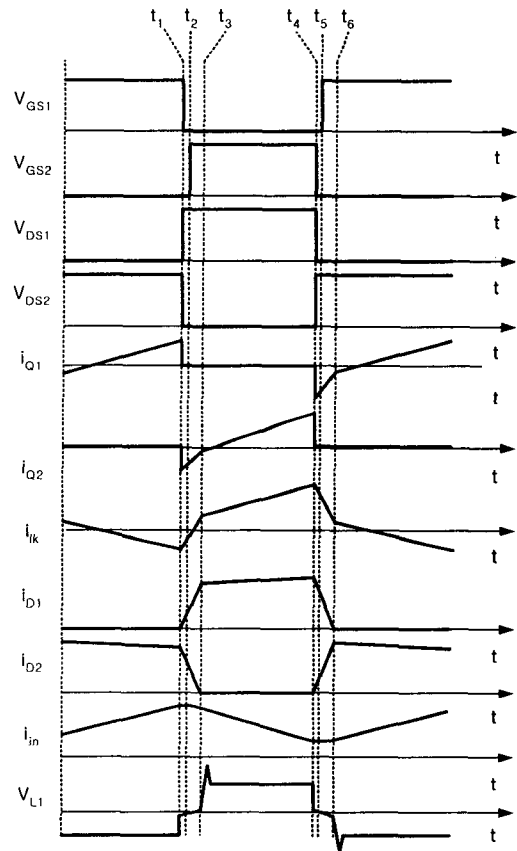
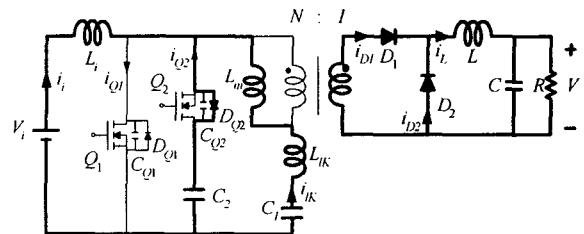
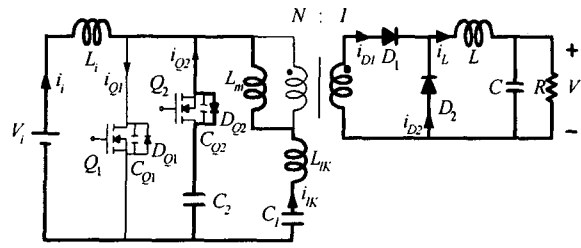


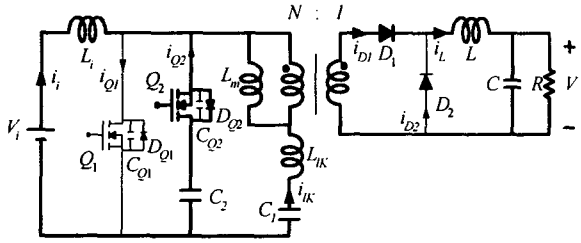
그림 2 각 부의 이론적 동작파형



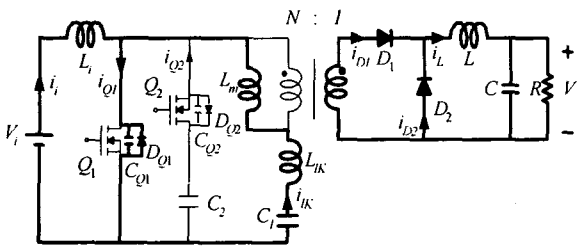
(a) 모드 1



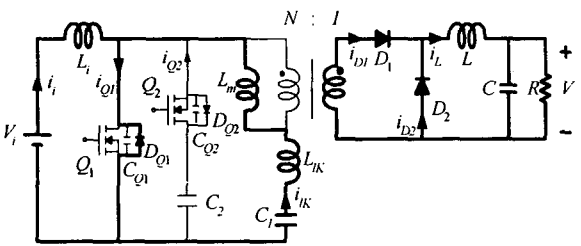
(b) 모드 2



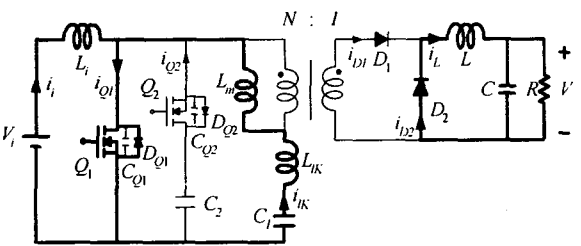
(c) 모드 3



(d) 모드 4



(e) 모드 5



(f) 모드 6

그림 3 모드별 등가회로

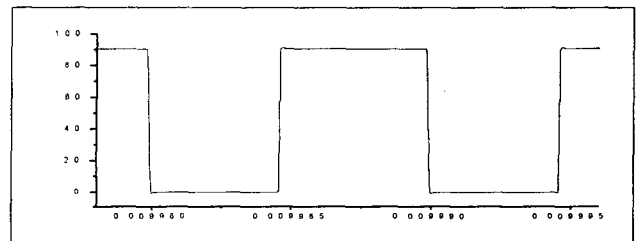
2.3 시뮬레이션 결과

제안된 컨버터의 시뮬레이션에 사용되어진 회로 정수들을 표 1에 정리하였다.

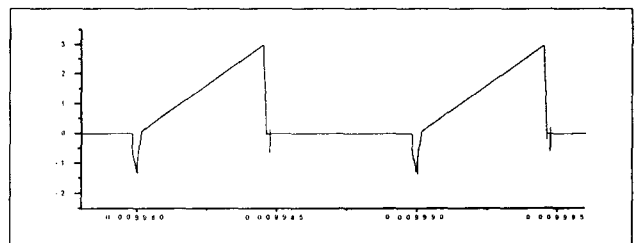
표 1 시뮬레이션 회로정수

V_i	48V	L_i	$230 \mu\text{H}$
C_{Q1}	5pF	L_{lk}	$5 \mu\text{H}$
C_{Q2}	5pF	L_m	$100 \mu\text{H}$
C_1	$66 \mu\text{F}$	L	$30 \mu\text{H}$
C_2	$22 \mu\text{F}$	N	3.2
C	$990 \mu\text{F}$	R	1Ω
f	100kHz	D	0.45

그림 4와 그림 5는 시뮬레이션을 통해 얻은 스위치 Q_1 과 Q_2 의 드레인-소스간의 전압파형과 드레인 전류 파형을 나타내었다. 스위치의 역병렬 다이오드를 통해서 전류가 흐르는 동안 영전압 스위칭이 잘 이루어지고 있음을 볼 수 있다. 또한 연속의 입력 전류 파형도 확인해 볼 수 있다.

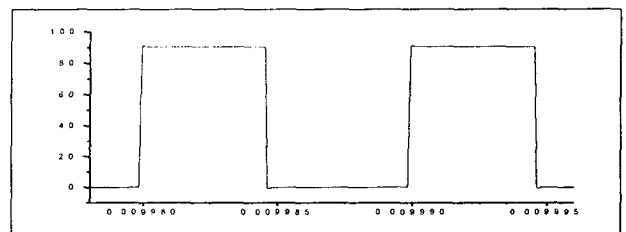


(a) 스위치 Q_1 의 드레인-소스 전압 파형

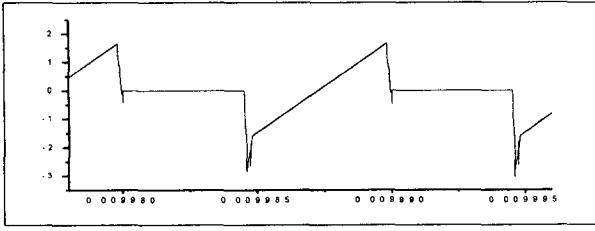


(b) 스위치 Q_1 의 드레인 전류 파형

그림 4 스위치 Q_1 의 전압, 전류 파형



(a) 스위치 Q_2 의 드레인-소스 전압 파형



(b) 스위치 Q₂의 드레인 전류 파형

그림 5 스위치 Q₂의 V_{DS}(상), I_D(하)

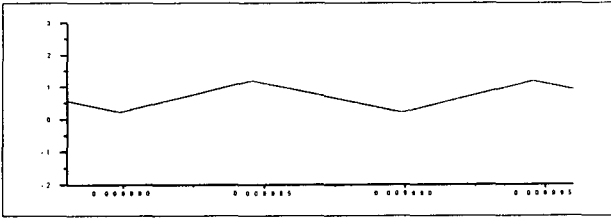


그림 6 입력전류파형

3. 결 론

본 논문에서는 Boost 입력형 능동클램프 Forward ZVS Converter에 대한 동작 특성에 해석하였으며 한 주기에 대해 6개의 모드로 나누어 각 모드별 로 등가회로를 구성하여 고찰을 하였다. 이 컨버터의 특징인 영전압 스위칭, 저전압스트레스 및 저 EMI 노이즈 등의 특성을 확인하여 보았고, 또한 시뮬레이션을 통하여 해석결과가 타당함을 입증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 엄재은, 김희준, 안태영 "능동 클램프 영전압 스위칭 PWM 파워드 컨버터에 관한 연구" 대한전기학회 춘계 전력전자연구회 논문집, 1978
- [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] 정진범, 김희준 "Boost 입력형 능동클램프 DC-DC 컨버터의 동작특성", 대한 전기학회 전기기기 및 에너지 변환시스템부문회 춘계학술대회 논문집, 2001