

## Boost 입력형 능동 클램프 DC-DC 컨버터의 제어특성

정진범\*  
한양대 전자전기제어계측공학과\*

김희준  
한양대 전자·컴퓨터 공학부

### Control Characteristics 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

In this paper, an application of asymmetrical duty control method to a boost input type active clamp DC-DC converter is discussed.

In order to verify the discussed results, a 50W prototype converter is built and is tested.

Through the experimental results an asymmetrical controlled boost input type active clamp converter is validated.

#### 1. 서론

정보통신기기의 집적화 추세에 따라 스위칭 전원에 대해서도 소형화, 경량화의 필요성이 증대되고 있다. 이러한 필요성은 전력용 반도체 소자의 급속한 발전과 제어방식의 비약적인 진보에 의하여 스위칭 주파수를 고주파화 시킴으로써 어느 정도 충족할 수 있게 되었다. 그러나 스위칭 주파수의 고주파화는 스위칭 손실이 비례적으로 증가하는 문제점을 가지게 된다. 이러한 배경하에서 최근 스위칭 동작시 발생하는 스위칭 손실과 스위치에 인가되는 전압 스트레스를 감소시킬 수 있는 영전압 스위칭 기법이 많이 연구되고 있다. 또한 이러한 영전압 스위칭 기법을 적용한 여러 DC-DC 컨버터중에서 최근 Boost 컨버터와 Half-bridge 컨버터가 결합된 형태의 Boost 입력형 능동 클램프 DC-DC 컨버터가 주목을 받고 있다.<sup>[1][2]</sup> 이 컨버터는 영전압 스위칭에 의한 소프트 스위칭의 특징 뿐만 아니라 입력측 인덕터에 의한 연속의 입력전류가 흐름으로써 Noise 저감의 면에서도 큰 특징을 갖는다. 한편 이 컨버터의 제어 방법에 있어서는 영전압 스위칭을 위한 Dead-time을 일정한 값으로 고정시킬 수 있는 비대칭 구동방식을 적용하는 것이 유리하다.

그리고 이 구동방식은 대칭 방식에 비해 각 스위치

에서의 시비율이 제한되지 않으므로 제어폭을 충분히 넓게 사용할 수 있게되어 부하변동의 폭이 큰 스위칭 전원에도 적용이 용이하다.<sup>[3]</sup>

본 논문에서는 100kHz의 고정 스위칭 주파수를 갖는 Boost 입력형 능동 클램프 DC-DC 컨버터에 비대칭 방식의 제어회로를 적용하여 시비율 변화에 따른 컨버터의 정상상태 동작특성과 영전압 스위칭 동작을 모의 실험을 통하여 확인하였고 이를 바탕으로 5V, 10A 출력을 갖는 컨버터를 제작하여 모의 실험의 결과로부터 도출된 컨버터의 제어특성을 실험을 통하여 입증하였다.

#### 2. 본론

##### 2.1 회로구성

그림 1은 Boost 입력형 능동 클램프 DC-DC 컨버터의 회로도를 나타낸다. 주스위치  $Q_1$ 과 입력측 인덕터  $L_{in}$ 은 Boost 컨버터의 입력측 회로가 되며  $Q_2$  및  $C_3$ 는 능동 클램프 회로를 구성한다.  $L_4$ 는 트랜스포머의 누설 인덕턴스를 나타내며  $L_m$ 은 자화 인덕턴스를 나타낸다. 큰 용량의 커패시터인  $C_4$ 는 입력전압과 동일한 전압을 가지며 주스위치  $Q_1$ 이 도통할 때 출력측으로 에너지를 공급하는 전압원으로 동작한다. 이외에  $C_{Q1}$ 과  $C_{Q2}$ 는 스위치의 기생 커패시턴스  $D_{Q1}$ 과  $D_{Q2}$ 는 역병렬 다이오드를 나타낸다.

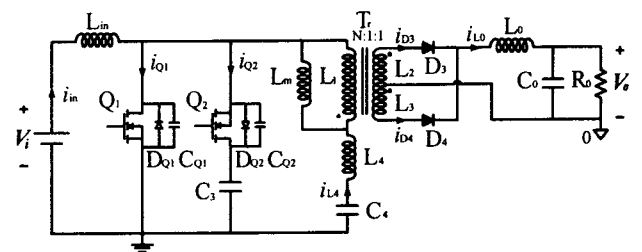


그림 1 Boost 입력형 능동클램프 DC-DC 컨버터

그림 2는 Boost 입력형 능동 클램프 DC-DC 컨버터의 주요 파형을 나타낸다. 위로부터 스위치  $Q_1$ ,  $Q_2$ 의 구동 파형, 스위치 양단의 전압 파형, 스위치 전류 파형을 나타내고 있다. 이 그림으로부터 이 컨버터는 통상의 DC-DC 컨버터와 같이 두 스위치  $Q_1$  및  $Q_2$ 가 교번으로 on, off 동작을 하면서 입력 전력을 출력으로 변환하는데,  $Q_1$ 이 on인 구간  $T_1$ 동안에는 이전 구간에서  $C_4$ 에 충전되었던 에너지가 출력으로 전달되고,  $Q_2$ 가 on인 구간  $T_2$ 동안에는 입력전원으로부터 에너지가 출력으로 전달되는 것이 특징이라고 할 수 있다.

또한 두 스위치가 동시에 off 되는 Dead-time 구간에는 자화 인덕턴스를 포함한 인덕턴스 성분과 스위치의 기생 커패시턴스 사이에서의 공진에 의하여 영전압 스위칭 동작이 이루어지고 있는 점도 또 다른 특징이라고 할 수 있다.

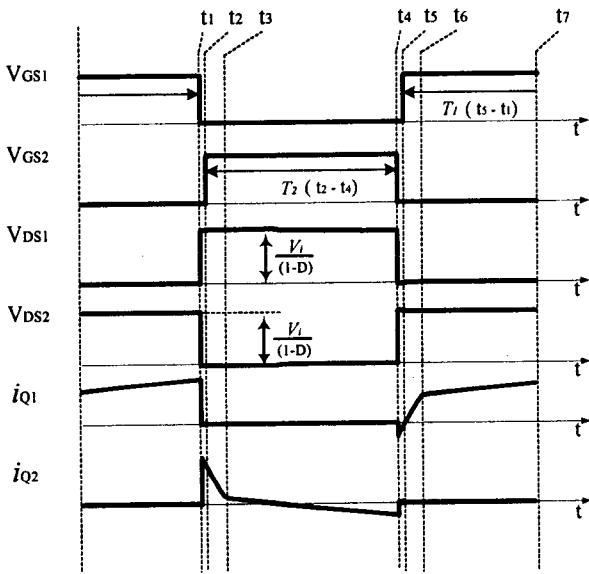


그림 2 제안한 컨버터의 주요 파형

## 2.2 제어특성

그림 1의 회로도나 그림 2의 파형으로부터 제안한 컨버터의 출력전압을 Dead-time 구간을 무시하는 경우 근사적으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V_{out} = \frac{2T_1}{nT_s} V_i \quad (1)$$

여기서  $n$ 은 트랜스포머의 권선비를 나타낸다. 이 식으로부터 출력전압은 스위치  $Q_1$ 의 on time  $T_1$ 에 비례하고 있음을 알 수 있으며 동시에 이식은 고정주파수 제어인 경우  $T_1$ 의 가변에 의해 출력전압을 제어할 수 있음을 나타낸다. 그러나  $T_1$ 의 가변은 스위치  $Q_2$ 의 on time  $T_2$ 에 영향을 미치게 되므로 이 또한 출력전압 제어의 한 변수로 고려하지 않으면 안된다.

$T_1$  및  $T_2$ 의 가변 구조에 따라 두 개의 제어방법을 고려할 수 있는데 하나는  $T_1$  및  $T_2$ 가 동시에 동일하

게 가변되는 대칭제어이고 다른 하나는  $T_1$  및  $T_2$ 가 서로 반대로 가변되는 비대칭제어이다.

대칭제어인 경우,  $T_1$  및  $T_2$ 가 동시에 동일하게 변화하므로 비교적 회로구성이 간단하다는 장점이 있으나 크기가 시비율로서 최대 50%로 제한되어 버리는 점과 Dead-time의 폭이  $T_1(T_2)$ 의 가변에 따라 변화되어 영전압 스위칭이 구현되지 못하는 구간이 존재할 수 있다는 단점을 가지게 된다.

한편 비대칭 제어는 시비율의 제한폭이 존재하지 않으며 Dead-time의 폭도 변하지 않으므로 입력과 부하변동에 따른 출력전압의 제어범위가 넓으며 제어의 전범위에서 영전압 스위칭이 가능하다는 장점을 갖게 된다.

그림 3 및 그림 4는 비대칭 제어의 특징을 잘 나타내 주는 실험 결과이다. 각 그림에서 위의 파형은 스위치  $Q_2$ 의 구동전압 파형, 아래는 스위치  $Q_1$ 의 구동전압 파형을 나타낸다. 그림 3은  $Q_1$ 의 시비율은  $D=0.28$ ,  $Q_2$ 의 시비율은  $D'=0.72$ 인 경우로서 이때 입력 전압  $V_i=27$  [V], 출력 전압  $V_o=5$  [V]를 나타낸다. 한편 그림 4는  $D=0.6$ ,  $D'=0.4$ 인 경우로서  $V_i=17$  [V],  $V_o=5$  [V]를 나타낸다.

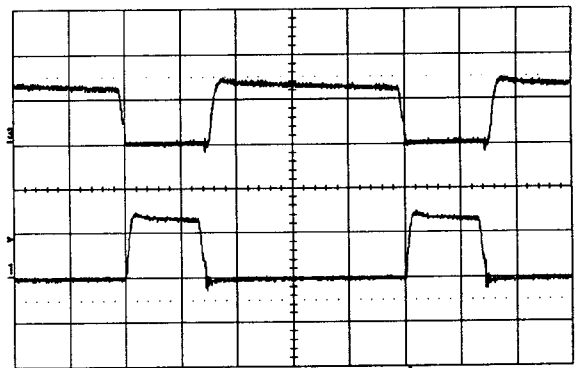


그림 3 스위치  $Q_1$ ,  $Q_2$ 의 구동파형 (10V, 2 $\mu$ s/DIV)  
(  $V_i = 27$  [V],  $V_o = 5$  [V],  $D = 0.28$  )

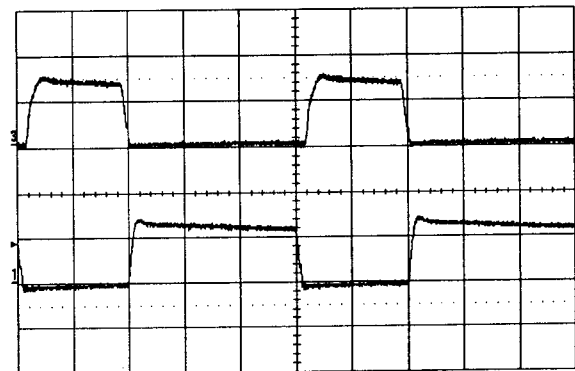


그림 4 스위치  $Q_1$ ,  $Q_2$ 의 구동파형 (10V, 2 $\mu$ s/DIV)  
(  $V_i = 17$  [V],  $V_o = 5$  [V],  $D = 0.6$  )

그러나 이 방식을 적용하는 경우 변압기 1차측 자화 인덕턴스에 인가되는 전압이 식 (2)와 (3)에 나타낸 것과 같이 도통되는 스위치에 따라 비대칭적이게 된다. 그러므로 2차측 다이오드  $D_3$ 와  $D_4$ 에는 시비율에 따라 다른 역전압이 인가되고 시비율이 0.5이하인 경우에는  $D_4$ 에, 0.5 이상인 경우에는  $D_3$ 에 상대적으로 큰 역전압이 걸린다.

따라서 실제적인 컨버터 설계시 입력이나 부하변동을 고려하여 시비율의 상한과 하한을 가정하고 이를 토대로 정격에 맞는 다이오드를 선정하는 과정이 필요하다.

-  $Q_1$ 의 도통 구간 ( $T_1$ ) (2)

$$V_{L1} = V_{C4} = V_i$$

-  $Q_2$ 의 도통 구간 ( $T_2$ ) (3)

$$V_{L1} = V_{C4} - V_{C3} = V_i - \frac{V_i}{1-D} = -\frac{D}{1-D} V_i$$

$$\begin{cases} V_{C3} = \frac{T_s}{T_2 + \frac{4T}{2}} V_i \approx \frac{1}{1-D} V_i \\ V_{C4} \approx V_i \end{cases}$$

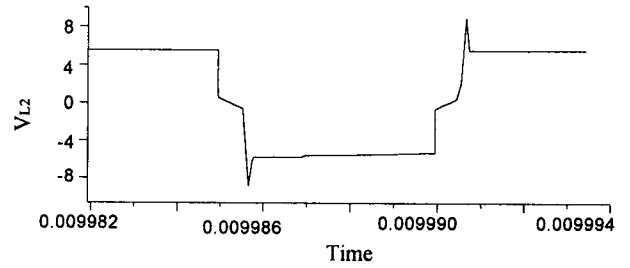
### 3. 시뮬레이션 결과 및 실험 결과

이론적인 파형과 시뮬레이션 결과를 비교하고 실험을 통해 검증하기 위하여 출력전압 5V, 출력전력 50W, 스위칭 주파수 100kHz의 조건하에서 시뮬레이션과 실험을 실시하였다. 시뮬레이션과 실험에 사용된 회로정수 값은 표 1과 같다.

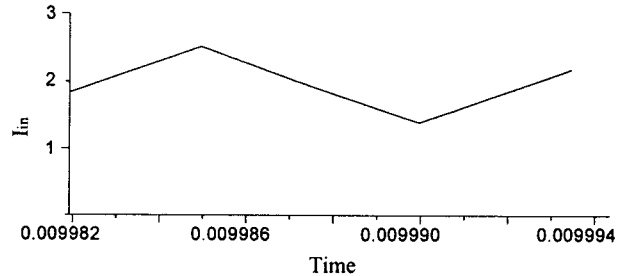
표 1 시뮬레이션 및 실험을 위한 회로정수

$V_i$	27V	$C_{Q1}, C_{Q2}$	1nF
$V_0$	5V	$C_3$	10 $\mu$ F
$L_{in}$	100 $\mu$ H	$C_4$	100 $\mu$ F
$L_1$	36 $\mu$ H	$C_0$	200 $\mu$ F
$L_4$	2.5 $\mu$ H	$R_0$	0.3 $\Omega$
$L_0$	10 $\mu$ H	N(권수비)	3

그림 5 및 그림 6은 시뮬레이션 파형과 실험파형을 비교하여 나타낸 결과이다. 두 결과가 좋은 일치를 보이고 있으며 특히 입력전류의 파형이 비구형펄스의 파형으로 나타남을 알 수 있다.

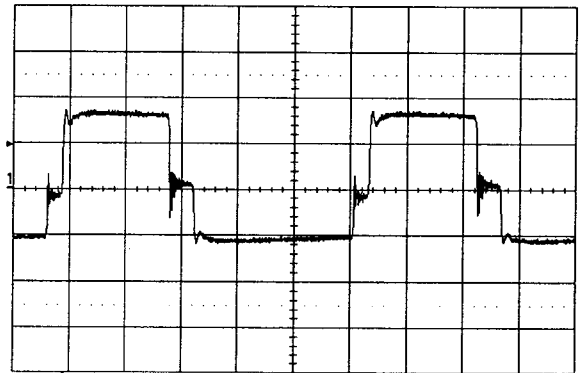


(a) 변압기 2차측( $L_2$ ) 전압  $V_{L2}$

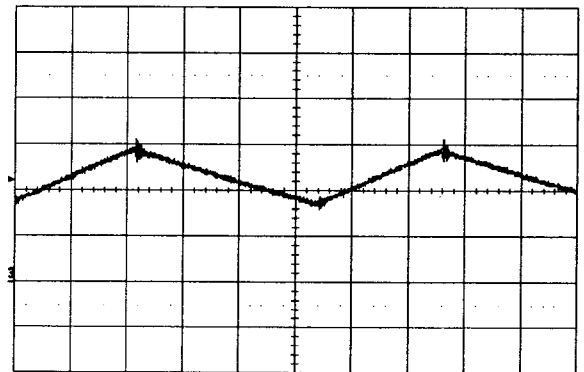


(b) 입력 인덕터( $L_{in}$ ) 전류  $I_{in}$

그림 5 시뮬레이션 파형



(a) 변압기 2차측  $L_2$  전압 (5V, 2 $\mu$ s/DIV)



(b) 입력인덕턴스( $L_{in}$ ) 전류  $I_{in}$  (1A, 2 $\mu$ s/DIV)

그림 6 실험파형

그림 7 및 그림 8은 스위치  $Q_1$  및  $Q_2$ 의 전류 파형의 실험결과를 나타내고 있으며 영전압 스위칭의 특징을 잘 보여주고 있다. 그림 9는 제안한 컨버터

에 비대칭 제어를 적용했을 때 Load Regulation의 측정 결과를 나타내고 있으며 비대칭 제어의 타당성을 잘 입증해 주고 있다.

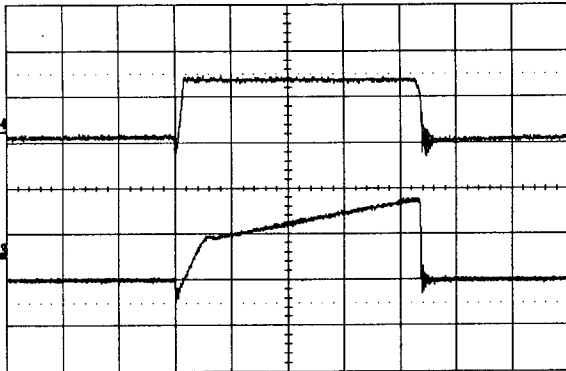


그림 7 Q<sub>1</sub>의 구동전압 V<sub>GS</sub>(위) (10V, 1 $\mu$ s/DIV)  
드레인-소스간 전류(아래) (5A, 1 $\mu$ s/DIV)

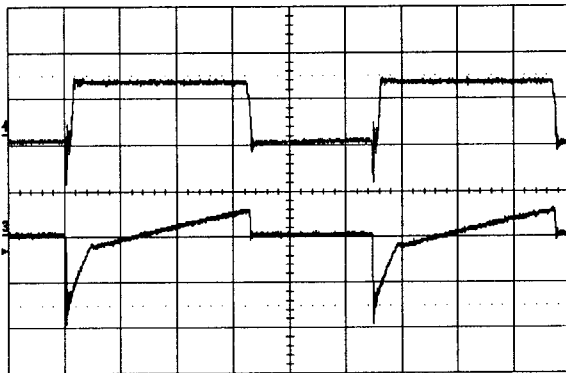


그림 8 Q<sub>2</sub>의 구동전압 V<sub>GS</sub>(위) (10V, 2 $\mu$ s/DIV)  
드레인-소스간 전류(아래) (5A, 2 $\mu$ s/DIV)

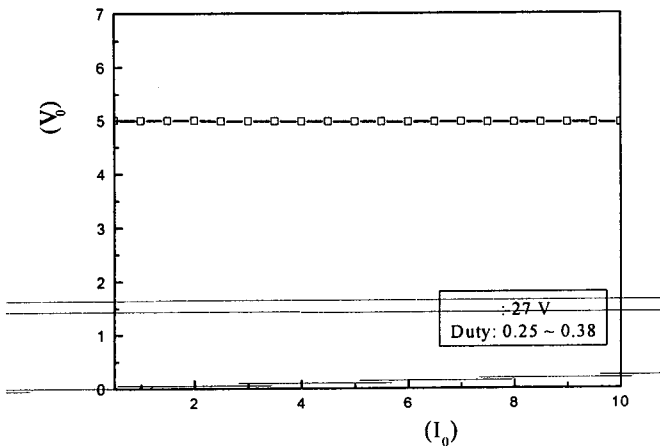


그림 9 Load Regulation

#### 4. 결 론

입력측 인덕터 및 능동 클램프를 포함하는 Boost 입력형 능동클램프 DC-DC 컨버터를 100kHz의 고정주파수에서 비대칭 구동 방식을 적용하여 컨버터의 제어특성을 해석하였고 영전압 스위칭의 구현을 확인하였다. 또한 컨버터의 주된 특성인 저전압 스트레스, 저EMI 노이즈등을 시뮬레이션과 실험을 통하여 입증하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Eduardo F.R. Romanel and Ivo Barbi "An isolated ZVS-PWM active clamp non-pulsating input and output current DC-DC converter" Power Electronics Specialists Conference, 2000. PESC 00. 2000 IEEE 31st Annual , Volume: 1 , 2000 pp. 205~210 vol. 1.
- [2] 엄재은 김희준 안태영, "능동 클램프 영전압 스위칭 PWM 파워드 컨버터에 관한 연구", 97 대한전기학회 춘계 전력전자연구회 논문집.
- [3] Heldwein M.L. Ferrari de Souza, A. Barbi, I "A primary side clamping circuit applied to the ZVS-PWM asymmetrical half-bridge converter" Power Electronics Specialists Conference, 2000. PESC 00. 2000 IEEE 31st Annual, pp. 199~204 vol. 1
- [4] 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.
- [5] 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