

넓은 입력전압 능동 클램프 포워드 컨버터 설계

전문일*, 김창선*, 마병인**
 목포대학교*, (주)에스피에스**

Wide Input Range Active Clamp Forward Converter Design

Chun Moon-il*, Kim Changsun*, Ma Byung-in**
 Mokpo National University*, Smart Power Solution Inc.,**

ABSTRACT

The topology of active clamp forward converter provides ZVS characteristic and also the stress of voltage and current is smaller than that of the conventional forward converters. The benefits of this technique include a higher efficiency at a high switching frequency, lower EMI/RFI. In this paper, the active clamp forward converter is designed for operation in wide range voltage and has 19.5V/120W ratings with efficiency more than 90%.

1. 서 론

넓은 입력전압범위에서 안정한 출력을 얻는 컨버터의 연구에서 주요 문제가 되는 점은 전압스트레스와 효율 이 두 가지이다. 본 연구에서는 이 두 가지 문제점을 감안하여 능동 클램프 포워드 컨버터를 제시하여 변압기의 자속을 리셋(Reset)시키는 것과 다른 보조 스위칭 소자와 클램프 커패시터를 이용하여 주 스위칭 소자의 전압스트레스를 저감시켰다. 동시에 클램프 된 에너지를 입력전원으로 되돌려 줌으로써 추가적인 리셋회로를 사용하지 않고도 손실이 발생하지 않는 회로이다. 또한 리셋회로와 주 스위칭 소자의 전압 및 전류 스트레스를 저감시킴과 동시에 장치의 효율을 향상 시킬 수 있다.

2. 본 론

2.1 능동 클램프 포워드 컨버터

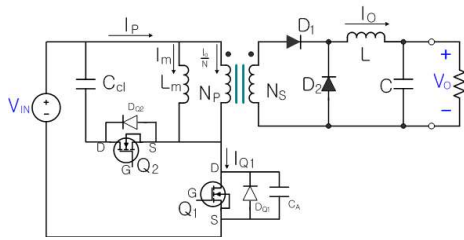


그림 1 능동 클램프 포워드 컨버터
 Fig. 1 Active Clamp Forward Converter

그림 1은 능동 클램프 포워드 컨버터의 기본회로이며, 1차측은 주 스위치 Q1과 보조 스위치 Q2, 클램프 커패시터 Ccl로 구성되어 있고, 2차측은 일반적인 포워드 컨버터와 같은 형태로 구성되어 있다. Lm은 자화 인덕턴스, DQ1, DQ2는 스위치의 바디 다이오드, CA는 주 스위치의 기생 커패시터, Ip는 변압기 1차측 전류, Im은 자화전류, Iq1은 주 스위치 전류, Io는 출력전류를 나타낸다.

2.1.1 기본동작 파형

능동 클램프 포워드 컨버터의 기본 동작과 파형은 그림 2와 같

다. 위로부터 차례로 1) 주 스위치 게이트-소스 전압, 2) 보조 스위치 게이트-소스 전압, 3) 주 스위치의 드레인-소스 전압, 4) 주 스위치의 전류, 5) 변압기 1차측 전류 이다.

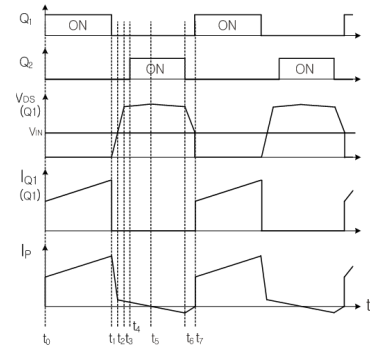


그림 2 능동 클램프 포워드 컨버터의 동작파형
 Fig. 1 Waveforms of the Active Clamp Forward Converter

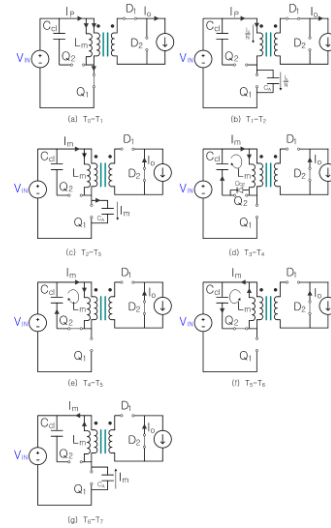


그림 3 능동 클램프 포워드 컨버터의 동작모드

Fig.3 Operation mode of the Active Clamp Forward Converter

2.1.2 능동 클램프 포워드 컨버터의 동작원리

본회로는 보조스위치를 사용하여 자화에너지를 리셋시키기 위한 경로를 만들었으며, 그림3과 같이 한 주기가 7개 모드로 분류되며 각 모드에 대한 설명은 다음과 같다.

- (a) T₀-T₁ : Q₁, D₁ turn on.
- (b) T₁-T₂ : Q₁ off. C_A는 I₀/N에 의해 V_{DS}=V_{in}까지 선형으로 충전된다.
- (c) T₂-T₃ : D₁ off. D₂ on. C_A는 자화전류 i_m에 의해 L_m과 공진하

면서 $V_{DS}=V_m+V_{cl}$ 까지 충전된다.

(d) T_3-T_4 : D_{Q2} on. i_m 은 C_{cl} 로 리셋되며 ZVS조건 형성.

(e) T_4-T_5 : Q_2 on. i_m 은 계속 C_{cl} 로 리셋되며 T_5 에서 ZERO로 되고 계속 (-)로 흐른다.

(f) T_5-T_6 : i_m 은 T_5 에서부터 (-)로 되기 시작하여 변압기 코어의 자속의 B-H curve의 3상한 동작이 된다.

(g) T_6-T_7 : Q_2 off. L_m, C_A 가 공진하며 i_m 은 C_A 로 방전한다.

2.1.3 관련수식

1. 넓은 입력전압범위($V_{imin}-V_{imax}$)와 입출력간의 관계는 아래 수식으로부터 구할수 있다.

$$V_o = \frac{1}{N} D_{min} V_{imax} = \frac{1}{N} D_{max} V_{imin} \quad (1)$$

수식 (1)로부터 알수 있듯이 턴비(N)가 일정하고 입력전압이 크게 변화될 경우 일정한 출력전압(V_o)을 얻으려면 듀티(D)를 입력에 따라 변화시켜줘야 한다는 것을 알수 있다. 본 연구에서는 IC NCP1282를 사용하여 듀티의 변화를 제어하였고, 또한 작은 전압스트레스를 줄이기 위하여 턴비 자화인덕턴스, delay time등 변수에 대해 trade-off 하였다.

2. 주 스위치와 클램프 커패시터의 전압 스트레스.

변압기의 volt-seconds balance에 의하면

$$D \times V_m = (1-D) \times V_{cl} \quad (2)$$

$$V_{cl} = \left[\frac{D}{1-D} \right] \times V_m \quad (3)$$

전압 스트레스는 입력전압과 클램프 커패시터 양단 전압의 합이므로

$$V_{DS} = V_m + V_{cl} = \left[\frac{1}{1-D} \right] \times V_m \quad (4) \text{ 식 (1) 로}$$

$$\therefore D = \left[\frac{V_o}{V_m} \right] \times N \quad (5) \text{식 (5)를 식}$$

$$(3) \text{에 대입하면 } V_{cl} = \frac{V_o \times V_m \times N}{V_m - N \times V_o} \quad (6) \text{식(5)를 식 (4)}$$

$$\text{에 대입하면 } V_{DS} = \frac{V_m^2}{V_m - N \times V_o} \quad (7)$$

식(7)로부터 V_{DS} 는 턴비와 입력전압에 의해 변화한다는 것을 알 수 있다. 턴비 N이 작을수록 V_{DS} 는 작아진다.

3. ZVS조건을 만족하기 위하여 자화에너지는 주 스위치의 기생커패시터의 에너지보다 커야 한다.

$$\text{즉 } \frac{1}{2} L_m I_m^2 > \frac{1}{2} C_A (V_m + V_{cl})^2 \quad (8)$$

$$\text{여기서 } I_m = \frac{V_m D T_s}{L_m} \quad (9)$$

$$L_m = n^2 \times AL\text{-Value} \quad (10) \quad (\text{여기서 } n \text{은 턴수})$$

L_m 이 작을수록 I_m 이 커지며 ZVS조건을 만족할수 있다. 때문에 주 파수를 높이고, 턴수를 적게 감는 방법으로 변압기 크기를 작게 할수 있다.

2.2 실험 및 고찰

넓은 입력전압 범위에서 동작하는 능동 클램프 파워드를 설계하기 위하여 식 (1)을 이용하여 듀티 D와 턴비 N의 관계식을 유도하였다. 표 1 은 디자인 스펙이다. 주 스위치의 전압스트레스 관계식으로부터 상대적으로 작은 전압스트레스를 얻을수 있는 턴비를 결정하여 선택하였다. 계산결과 턴비를 4:1로 결정하였다.

표 1 디자인 규격
Table 1 Design Specification

Input voltage (Vi)	120~400Vdc
Output voltage (Vo)	19.5V
Output current (Io)	6.15A (max)
Output power (Po)	120W
Switching frequency (fs)	150kHz
Efficiency	>90%

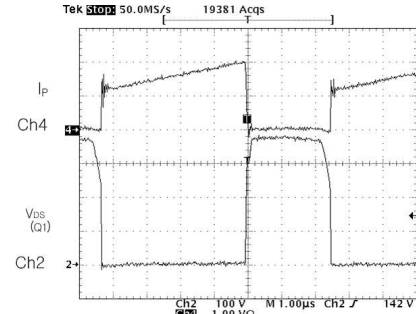


그림 4 주 스위치 전류 (ch3: I_p)와 드레인-소스 전압 (ch1: V_{DS})
Fig.4 Main switch current and drain-source voltage

능동 클램프 파워드 제어 IC는 On semiconductor의 NCP1282를 사용하였다. 실험과형은 증부하 일때의 주 스위치 드레인-소스 전압과 주 스위치 전류과형을 나타낸 것이며 이론 과형과 일치함을 알 수 있다.

3. 결 론

공진형 컨버터들은 입력전압이 높으면 전압스트레스도 높아지게 되며 스위치의 전도손실도 따라서 증가하게 된다. 본 논문에서는 능동 클램프 방식으로 스위칭소자에 가해지는 전압, 전류 스트레스를 저감 시키고 동시에 컨버터의 고 효율화를 이루었다. OrCAD를 사용하여 PCB를 실제 제작하여 실험한 결과 90%이상 효율을 얻을수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Hee Jun Kim, F.C.Lee, C.S. Leu, Farrington, "Clamp mode zero-voltage-switched multi-resonant converters," IEEE PESC' 92, pp.58~84, 1992.
[2] Q.Li, F.C. Lee, and M.M.Jovanvic, "Large-signal transient analysis of forward converter with active-clamp reset," IEEE PESC Rec. 1988, pp.633-63.
[3] B.Carsten, "Design techniques for transformer active reset circuit at high frequencies and power levels," in proc. HFPC, 1990, pp.235-246.