

전류증배 정류회로를 사용한 능동 클램프 포워드 컨버터의 개선된 영전압 스위칭에 대한 분석

김두호, 장바울, 조보형
서울대학교 전기정보공학부

Analysis of an Active Clamp Forward Converter with Current-Doubler Rectifier for Wide Range Zero Voltage Switching

D. H. Kim, Paul Jang and B. H. Cho

Electrical and Computer Engineering Department, Seoul National University

ABSTRACT

능동 클램프 포워드 컨버터의 2차단에 전류 증배 정류회로를 사용할 경우 2차단에서의 도통 손실을 줄일 수 있다. 뿐만 아니라 상대적으로 큰 자화 인덕턴스와 작은 누설 인덕턴스를 이용하여 영전압 스위칭을 달성할 수 있으므로 회로 전체 동작 측면에서 바람직하다. 본 논문에서는 제안된 회로의 동작 설명과 함께 영전압 스위칭을 위한 조건을 다루었고 240W급 (12 V/20 A) 프로토타입 회로를 통해 분석 결과의 타당성을 검증하였다.

1. 서론

환경문제가 날로 중요해짐에 따라 에너지를 절약할 수 있는 효율적인 제품에 대한 관심이 높아지고 있으며 에너지 효율 등급에 대한 규제와 등급이 강화되며 세분화 되어가고 있다. 특히 개인용 컴퓨터에 사용되는 전원공급 장치는 경부하의 효율이 높을수록 높은 등급을 부여하고 있다.

능동 클램프 포워드 컨버터는 회로가 단순하고 가격이 저렴하며, 변압기를 리셋하기 용이하다. 또한 영전압 스위칭이 가능하여 중·저용량 시스템에 많이 쓰이며, 비대칭 하프 브리지 컨버터, LLC 공진형 컨버터 등과 함께 컴퓨터용 전원공급 장치에 많이 사용되고 있다.

컴퓨터용 전원공급 장치는 저전압, 고전류 출력의 특징을 갖기 때문에 출력 전류 리플과 출력단에서의 도통 손실을 줄이기 위해 2차단에 전류 증배 정류회로를 사용할 수 있다. 이 경우 상대적으로 큰 자화 인덕턴스와 작은 누설 인덕턴스를 이용하여 보다 쉽게 영전압 스위칭을 달성할 수 있으므로 효율 향상을 도모할 수 있다.

본 논문에서는 전류증배 정류회로를 사용한 능동 클램프 포워드 컨버터의 영전압 스위칭 조건에 대해 분석하며, 그 결과를 240W급 프로토타입 회로를 통해 검증한다.

2. 회로의 동작 및 분석

2.1 회로의 동작

제안된 회로는 그림 2와 같이 총 10개의 모드로 동작을 나눌 수 있다. 하지만 분석의 편의를 위하여 이들을 입력의 에너지가 출력으로 전달되는 모드 1($t_0 \sim t_1$) 구간과 변압기가 리

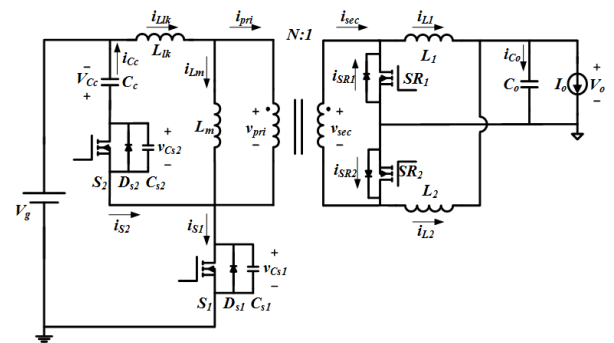


그림 1 전류 증배 정류회로를 사용한 능동 액티브 클램프 포워드 컨버터

Figure 1 Active Clamp Forward Converter with Current Doubler

셋되는 모드 6($t_5 \sim t_6$) 구간, 단락 사고 방지 및 영전압 스위칭을 위한 dead time 구간들 등으로 크게 나눌 수 있다.

모드 1($t_0 \sim t_1$)에서는 메인 스위치(S_1)가 턴 온 되어 입력의 에너지가 출력으로 전달된다. 이후 dead time 구간 동안 변압기에서 메인 스위치로 흐르던 전류가 보조 스위치(S_2)의 바디 다이오드(D_{S2})를 통해 흐르기 시작한다. 이때 보조 스위치는 자연스럽게 영전압 스위칭을 하게 된다.

모드 6($t_5 \sim t_6$)에서는 클램프 커패시터 전압(V_{Cc})이 변압기 양단에 걸리며 변압기가 리셋되는 구간이다. 이후 회로가 메인 스위치의 영전압 조건을 만족시키도록 설계 되었다면 역시 dead time 구간 동안 메인 스위치의 바디 다이오드(D_{S1})를 통해 전류가 흐르기 시작한다. 이 때 메인 스위치를 켜줌으로써 메인 스위치 역시 영전압 스위칭을 하게 된다.

2.2 메인 스위치(S_1)의 영전압 스위칭 조건

보조 스위치는 출력 전류를 통해 쉽게 영전압 스위칭이 이루어지므로 메인 스위치의 경우를 살펴 본다. 정상상태에서 2차단 회로에 흐르는 전류 값은 아래와 같다. [1]

$$I_{L1} = \frac{R_{L2} + D' R_t}{R_{L1} + R_{L2} + R_t} I_o \quad (1)$$

$$I_{L2} = \frac{R_{L1} + D R_t}{R_{L1} + R_{L2} + R_t} I_o \quad (2)$$

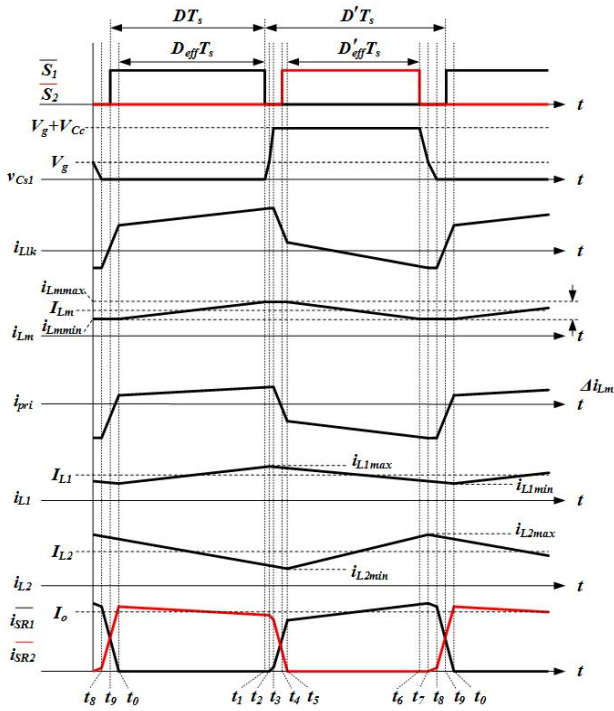


그림 2 정상상태 동작 파형
Figure 2 Steady State Waveform of proposed converter

$$I_{Lm} = \frac{R_{L1} + DR_t}{R_{L1} + R_{L2} + R_t} I_o \quad (3)$$

또한 정상상태에서 클램프 커패시터 전압은 다음 식과 같다.

$$V_{Cc} = \frac{D}{D'} V_g \quad (4)$$

실제 dead time 구간은 전체 스위칭 주기에 비해 매우 짧으므로 분석의 편의를 위하여 이를 무시하였을 때 메인 스위치의 영전압 스위칭 동작 여부를 결정하는 $i_{Lk}(t_7)$ 은 식 (2), (3), (4) 을 이용하여 식 (5)처럼 얻을 수 있다.

$$i_{Lk}(t_7) = \frac{DD' V_g T_s}{2L_2 N^2} \left(\frac{L_m}{D(L_m + L_k)} - 1 \right) + \frac{DV_g T_s}{2(L_m + L_k)} \quad (5)$$

Dead time에서 누설 인덕턴스와 스위칭들의 출력 커패시터들(C_{s1}, C_{s2}) 간의 공진 시작 시 누설 인덕턴스에 저장된 에너지가 더 많아야 영전압 스위칭이 이루어지므로 식 (5)를 이용하여 다음과 같은 영전압 스위칭 조건을 얻을 수 있다.

$$I_{Lk} \geq (C_{s1} + C_{s2}) \left(\frac{2}{D' D T_s} \right)^2 \left(\frac{L_2 L_m N^2}{D L_m + L_2 N^2} \right)^2 \quad (6)$$

3. 실험 결과

컴퓨터용 전원공급 장치 사양에 따라 입력전압 380V, 출력전압

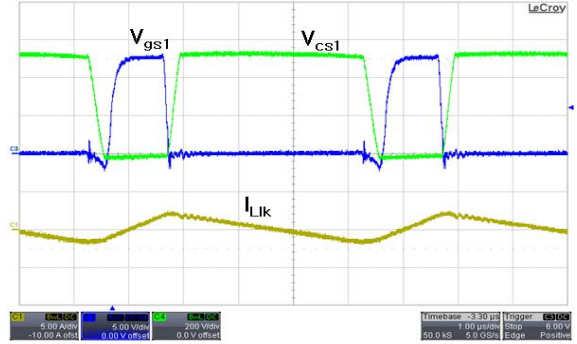


그림 3 제안된 회로의 주요 파형 ($V_{in}=380V$, $V_o = 12V$, $I_o = 2A$)

Figure 3 Waveform of Proposed Converter

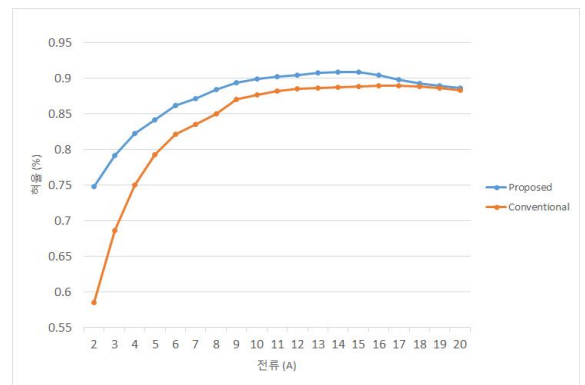


그림 4 제안된 회로와 비교 회로의 효율

Figure 4 Efficiency of proposed and conventional converter

12V인 240W급 프로토타입의 컨버터를 설계하여, 제작 및 실험하였다. 동작 주파수는 200kHz, 출력 인덕터 L_1, L_2 는 각각 3.3uH, 1uH이며 S_1, S_2 는 FDA15N65를 사용했으며 다이오드 D_1, D_2 는 FDA032N08을 동기정류기로 사용하였다. 그림 3을 통해 출력 전류가 2A (10% 부하)인 경부하 상황에서 메인스위치가 영전압 스위칭으로 동작하는 것을 확인할 수 있다. 또한 비교군인 일반 능동 클램프 파워드 컨버터와 비교하여 경부하에서 영전압 스위칭으로 인해 효율이 향상되는 것을 그림 4에서 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 전류 증배 정류회로가 사용된 능동 클램프 파워드 컨버터의 영전압 스위칭 조건을 분석했으며 프로토타입의 실험을 통해 경부하에서도 영전압 스위칭이 가능함을 보였다. 또한 이를 통해 경부하에서 기존의 능동 클램프 파워드 컨버터보다 효율이 향상 되었음을 확인하였다.

참고 문헌

[1] Yangyang Wen, Hong Mao, and Issa Batarseh, "DC Bias Analysis and Small Signal Characteristic of Active Clamp Forward Flyback DC DC Converter with a Current Doubler Rectifier", in Proc. IEEE APEC 2005, Vol.3, Issue. 1, pp.1631-1636