

Multi-Level Active-Clamp Forward Converter

Ki-Bum Park, Chong-Eun Kim, Gun-Woo Moon, and Myung-Joong Youn

Department of Electrical Engineering and Computer Science, Korea Advanced Institute of Science and Technology,
373-1 Guseong-dong, Yuseong-Gu, Daejeon, Republic of Korea

Abstract

Conventional active-clamp forward converter shows good performance in low power applications, however it suffers from a high voltage stress of switch and is not suitable for high input voltage applications. To solve this problem, a new multi-level active-clamp forward converter is proposed in this paper. Utilizing low rating switches, the proposed converter features high efficiency and low cost promising for high input voltage applications.

1. Introduction

일반적으로 스위칭 모드 파워 서플라이의 하드 스위칭 동작은 전력 회로의 효율 및 전력 밀도 향상에 큰 걸림돌로 작용한다. 이와 같은 스위칭 손실을 저감하기 위하여 지금까지 수많은 DC/DC 컨버터들이 제안되어 왔다. 그 중 능동 클램프 포워드 컨버터는 간단한 구조와 영전압 스위칭 특성으로 인하여 중급 용량 이하에서 널리 사용되어 왔다. 하지만 능동 클램프 포워드 컨버터는 변압기의 리셋을 위하여 스위치의 전압 스트레스가 대략 입력 전압의 2배 이상 증가하는 단점을 가지고 있으며, 이는 고입력전압 사양에서 더욱 치명적인 단점으로 작용한다. 일반적인 PFC의 출력전압(400V)를 입력으로 사용하게 될 경우 스위치의 전압 내압은 800V 이상이 되며 이 경우 스위치의 가격 증가 및 성능 하락으로 인하여 더 이상 포워드 컨버터의 사용이 바람직하지 않게 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 그림 1과 같이 멀티-레벨 능동 클램프 포워드 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 주스위치의 전압 내압 분배를 위하여 2개의 직렬 스위치를 사용하였으며, 간단히 하나의 추가 클램프 다이오드와 스위치 게이트 신호의 조절을 통하여 각 스위치의 전압 내압의 저감이 가능하다. 따라서 제안된 컨버터는 저가격 고성능 스위치의 사용을 통하여 고입력전압 사양에서도 포워드 컨버터의 저가격화 및 고효율화를 실현할 수 있다.

2. Operational Principle

제안된 컨버터의 주요동작 파형 및 모드 별 전류 도통 경로는 각각 그림 2와 그림 3에 나타내었다. 제안된 회로의 동작은 기본적으로 기존의 능동 클램프 포워드 컨버터와 동일하며, 전압 내압의 보장을 위하여 단지 Q_2 를 Q_1 에 비하여 조금 늦게 턴-오프 시켜준다. 한 주기의 동작은 9개의 모드로 나뉘며 다음과 같다.

Mode 1 [$t_0 \sim t_1$] : Q_1 과 Q_2 가 도통되어 있으며 V_p 에는 V_s 가 인가된다. 출력 LC 필터에는 V_s/n 의 전압이 인가되어 입력으로부터 전력이 전달된다.

Mode 2 [$t_1 \sim t_2$] : t_1 시점에 Q_2 는 도통된 상태로 Q_1 만 턴 오프 된다. 변압기 1차측 전류 I_{lkg} 는 C_{oss1} 을 충전시키고 C_{oss3} 을 방전시킨다.

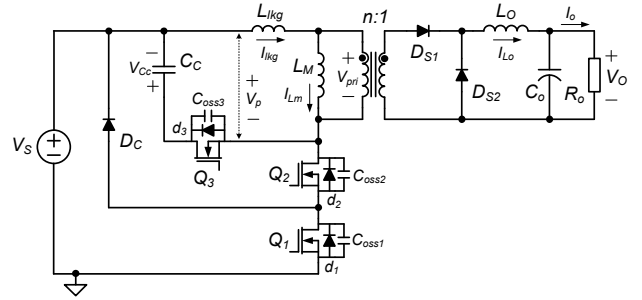


Figure 1. Proposed multi-level active-clamp forward converter

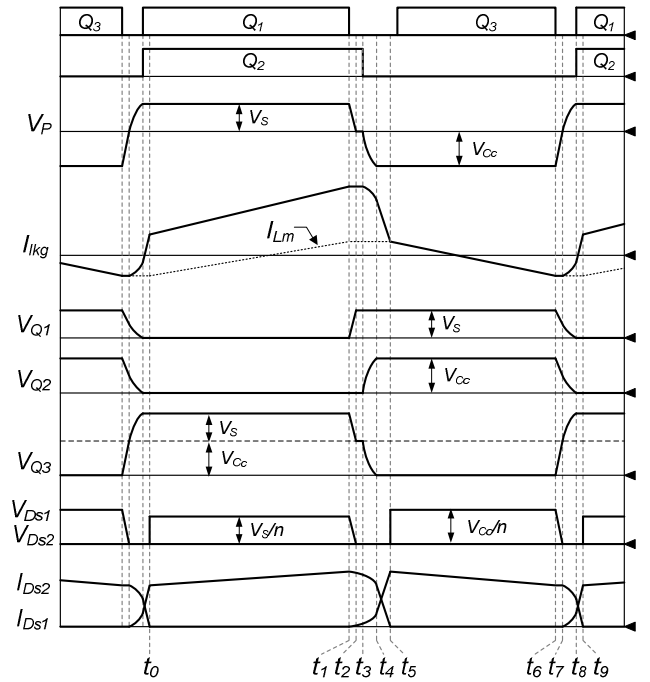


Figure 2. Key waveform of proposed converter

Mode 3 [$t_2 \sim t_3$] : V_{Q1} 이 V_s 에 도달하면 D_c 가 도통된다. V_{Q1} 은 V_s 로 제한되며 I_{lkg} 는 D_c 를 통하여 흐른다. V_p 는 0V가 인가되며 2차측 다이오드는 모두 도통되어 있다.

Mode 4 [$t_3 \sim t_4$] : t_3 시점에 Q_2 가 턴 오프되면 L_{lk} 와 C_{oss2} , C_{oss3} 간의 공진에 의하여 전류가 시작된다. 즉, I_{DS2} 는 증가하며 I_{DS1} 은 감소한다. V_{Q1} 은 V_s 로 제한되어 있으므로 V_{Q2} 만이 증가한다.

Mode 5 [$t_4 \sim t_5$] : t_4 시점에 V_{Q2} 의 전압이 V_{cc} 가 되면, I_{lk} 에는 V_{cc} 가 인가되어 I_{lk} 가 선형적으로 감소한다. V_{Q2} 는 V_{cc} 로 계속 제한된다.

Mode 6 [$t_5 \sim t_6$] : t_5 시점에 감소하던 I_{DS1} 은 0이 된다. D_{S1} 이 차단되고 출력 인덕터 전류 I_{Lo} 는 D_{S2} 를 통해

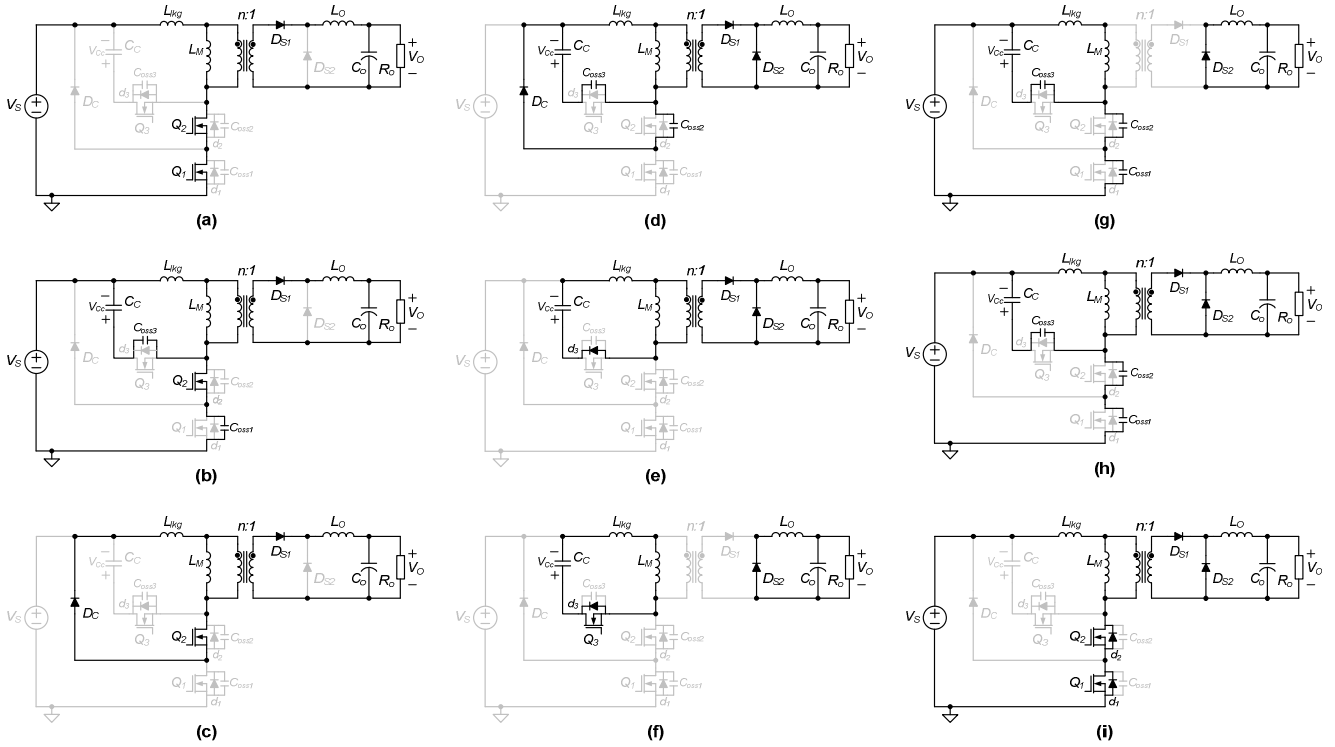


Figure 3. Topological states for mode analysis. (a) $t_0 \sim t_1$. (b) $t_1 \sim t_2$. (c) $t_2 \sim t_3$. (d) $t_3 \sim t_4$. (e) $t_4 \sim t_5$. (f) $t_5 \sim t_6$. (g) $t_6 \sim t_7$. (h) $t_7 \sim t_8$. (i) $t_8 \sim t_9$.

환류한다. 1차측의 I_{Lm} 은 Q_3 을 통하여 순환한다.

Mode 7 [$t_6 \sim t_7$] : t_6 시점에 Q_3 이 턴 오프되면 I_{lkg} 는 C_{oss3} 을 충전하며, C_{oss1} 과 C_{oss2} 를 방전시킨다.

Mode 8 [$t_7 \sim t_8$] : t_7 시점에 D_{S1} 과 D_{S2} 가 모두 도통되면 전류가 시작된다. L_{lkg} 는 C_{oss3} 및 C_{oss1} , C_{oss2} 와 공진하며 I_{lkg} 는 증가한다.

Mode 9 [$t_8 \sim t_9$] : t_8 시점에 V_{Q3} 은 $V_S + V_{Cc}$ 에 도달하며 V_{Q1} 과 V_{Q2} 는 0이 된다.

3. Simulation Results and Concluding Remarks

제안된 컨버터의 동작을 검증하기 위하여 다음과 같은 사양으로 모의실험을 하였다. $V_S=400V$, $V_O=48V$, $P_O=400W$, $F_S=80kHz$, $n=3$, $L_{lkg}=10\mu H$, $L_M=2mH$, $L_o=100\mu H$.

그림 4에 모의 실험 파형을 나타내었으며, Q_2 게이트 신호의 지연을 통하여 효과적으로 V_{Q1} 의 전압을 V_S , V_{Q2} 의 전압을 V_{Cc} 로 제한하는 것을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 멀티-레벨 능동 클램프 포워드 컨버터를 제안하였다. 제안된 회로는 간단히 부가 클램프 다이오드와 게이트 신호 조절을 통하여 효과적으로 스위치의 전압 내압을 제한한다. 따라서 제안된 컨버터는 낮은 내압의 소자 사용을 통하여 고입력전압 사양에서 저가격화 및 고효율화를 기대할 수 있다.

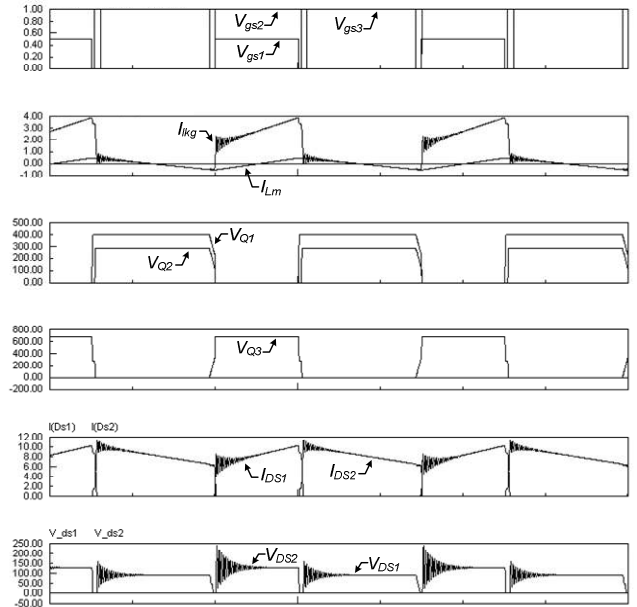


Figure 4. Simulation waveforms of proposed converter

Reference

- [1] F.D. Tan, "The forward converter: from the classic to the contemporary", IEEE APEC 2002, Vol. 2, pp. 857-863, 2002
- [2] A. Acik and I. Cadirci, "Active clamped ZVS forward converter with soft-switched synchronous rectifier for high efficiency, low output voltage applications", IEE Proc., Electr. Power Appl., 2003, Vol. 150, No. 2, pp. 165-175