

플라이백 컨버터의 새로운 1차 측 제어에 관한 연구

박재성, 김홍권, 김진호, 박준우, 이용철, 홍성수
 국민대학교 전력전자연구소

A New Study on the Primary Side Regulation for Flyback Converter

Jae Sung Park, Hong Kwon Kim, Jin Ho Kim, Jun Woo Park, Yong Chul Lee
 Sung Soo Hong
 Kookmin University Power Electronics Center

ABSTRACT

기존 1차 측 제어(Primary Side Regulation: PSR) 방식 중 최고의 성능을 보이는 i_s 의 방식은 DCM에서 동작하는 전류가 0A에 도달했을 때 3차 권선을 통해 1차 측에서 출력전압을 검출하는 방식이다. 기존 방식은 전류가 0A가 되는 시점을 예측하여 검출하는 방법을 사용하기 때문에 트랜스포머의 자화인덕턴스 값의 허용오차에 따라 변동 폭이 커질 수 있다. 본 논문에서는 자화인덕턴스의 크기에 관계없이 기존 방식보다 더 정확하게 검출하는 방법을 제시하고, PSIM을 사용한 모의실험을 통하여 검증한다.

1. 서론

최근 전자기기의 사용량 급증과 안정된 전원의 중요성이 커지면서, 전원회로의 소형화 및 높은 효율 특성이 요구되고 있다. 플라이백 컨버터는 구조가 간단하고 구현이 용이하여 주로 많이 사용되는 전원회로 중 하나이다. 일반적으로 플라이백 컨버터는 그림 1과 같이 출력 전압을 직접적으로 검출하여 정밀한 제어를 하는 2차 측 제어 방식을 사용하였다. 이러한 방식의 경우 별도의 피드백 회로가 필요하기 때문에 구조가 복잡해지고 대기전력 규제를 만족하기 어려워진다^[1]. 따라서 충전기와 같이 출력 전력이 2~10W로 낮은 제품의 경우 대기전력 저감을 위해 그림 2와 같이 별도의 피드백 회로가 필요 없는 1차 측 제어 방식의 플라이백 컨버터를 주로 사용하는 추세이다. 1차 측 제어 방식은 트랜스포머의 3차 권선(tertiary winding)을 이용하여 1차 측에서 간접적으로 2차 측 출력 전압을 검출하는 방식이다. 1차 측 제어 방식의 경우 2차 측 다이오드가 도통할

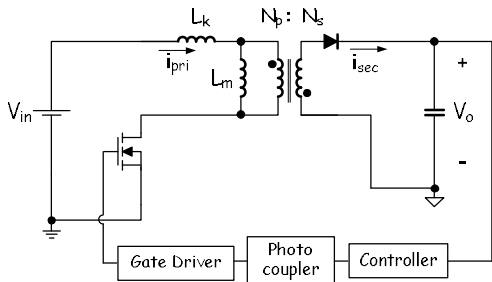


그림 1 2차 측 제어 방식의 플라이백 컨버터
 Fig. 1 Secondary Side Regulation Flyback converter

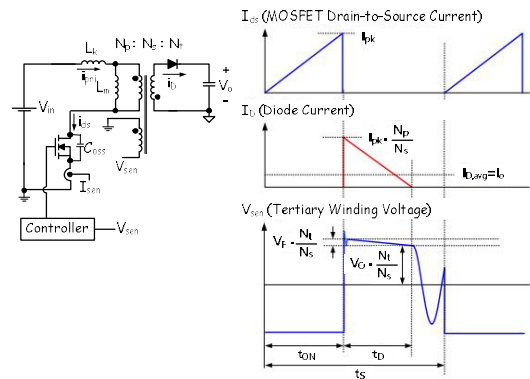


그림 2 기존 PSR 플라이백 컨버터의 2차 측 전류 검출
 Fig. 2 Secondary side current sensing of conventional PSR Flyback converter

때 3차 권선에 출력 전압이 나타나게 되는데, 2차 측 다이오드의 턴 온 전압(V_d) 강하 및 PCB 트레이스의 기생성분에 의한 전압 강하 문제로 인해 출력 전압을 정확하게 검출하지 못한다. 또한, 그림 2와 같이 다이오드 전류가 0A가 되는 시점부터 발생하는 트랜스포머의 자화 인덕턴스(L_m)와 주 스위치의 출력 캐패시턴스(C_{oss})에 의한 공진에 의해 전압이 흔들리게 되어 정확한 검출이 어렵다. 따라서 3차 권선의 양단 전압(tertiary winding voltage)을 샘플링 하여 검출하는 시점이 매우 중요하다. 기존 1차 측 제어 방식 중 최고의 성능을 보이는 i_s 에서는 2차 측 다이오드 전류(I_D)가 0A로 유지되는 구간을 예측하여 샘플링 함으로써 출력 전압 범위를 $\pm 3\%$ 로 조절하고 있다^[2]. 그러나 이 방식의 경우 L_m 값의 허용 오차에 따라 2차 측 다이오드 전류가 0A가 되는 구간을 정확하게 검출하기에는 어려움이 있다.

따라서 본 논문에서는 기존의 플라이백 컨버터를 사용하면서 L_m 의 크기에 관계없이 출력 전압을 정밀하게 검출하는 방법을 제시한다.

2. 본론

2.1 새로운 1차 측 제어방식의 플라이백 컨버터

제안 방식의 회로는 그림 3과 같이 기존 플라이백 컨버터에 low side 능동 클램프(Active clamp) 회로가 추가된 구조로,

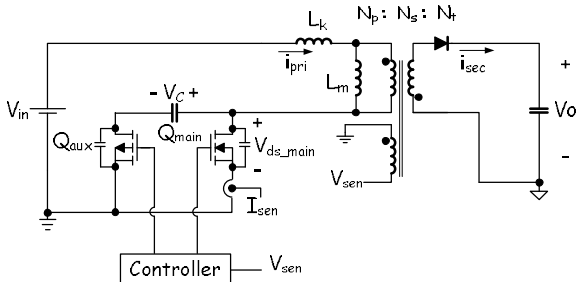


그림 3 제안 1차 측 제어 플라이백 컨버터
Fig. 3 Proposed PSR Flyback converter

low side 능동 클램프 회로는 보조 스위치(Q_{aux})와 클램프 커패시터가 주 스위치(Q_{main})의 드레인과 1차 측 그라운드 사이에 직렬로 연결되어 있다^[3]. 제안 회로는 보조 스위치의 턴 온과 동시에 트랜스포머 3차 권선의 양단 전압을 이용하여 출력 전압을 1차 측에서 간접적으로 검출하는 방식으로, 기존과 달리 2차 측 다이오드 전류를 예측하지 않고도 기존의 1차 측 제어 방식보다 출력 전압을 더 정확하게 검출할 수 있으며, 보조 스위치를 이용하여 주 스위치가 영 전압 스위칭 동작을 하기 때문에 기존의 1차 측 제어 방식의 플라이백 컨버터에 비해 효율이 증가하는 장점이 있다.

2.1.1 동작 원리

Low side 능동 클램프 회로의 보조 스위치가 턴 온 되면 2차 측 다이오드가 도통하게 되고, 2차 권선과 3차 권선의 턴 비가 같다고 가정할 때 3차 권선의 양단 전압은 출력 전압과 같은 전압이 된다. 보조 스위치가 턴 온 되는 순간 2차 측 다이오드가 도통하여 전류가 흐르기 시작하므로 이 시점에서 3차 권선의 양단 전압을 통하여 출력 전압을 검출할 수 있다. 따라서 2차 측 다이오드 전류를 예측하여 출력 전압을 검출하는 기존의 방식에 비해 더 정확한 출력 전압 검출이 가능하다. 이때 약 20ns 초 지연 후에 3차 권선의 양단 전압을 샘플링 하여 검출하면 출력 전압을 간접적이지만 더 정확히 얻을 수 있게 된다. 제안 방식의 경우 기존과 마찬가지로 2차 측 다이오드 전류가 0A가 되는 시점을 이용한다는 점은 같지만, 보조 스위치의 턴 온 신호를 이용하여 2차 측 다이오드가 도통되는 순간을 정확하게 알 수 있다는 점이 크게 다르다. 또한, 주 스위치의 영 전압 스위칭 동작을 위해 보조 스위치가 턴 온 된 후 L_k 와 L_m 의 전류를 일정 시간동안 역으로 흐르게 하여 영 전압 스위칭 동작 조건을 만족시킨다. 이때 보조 스위치를 턴 오프하여 주 스위치의 C_{oss} 에 충전된 전압이 방전된 후 주 스위치를 턴 온하여 주 스위치의 영 전압 스위칭이 가능하게 한다. 보조 스위치는 주 스위치가 영 전압 스위칭 동작을 보장하는 역 에너지를 충전할 수 있도록 최소 시간만 턴 온 시켜 턴 온 손실을 최소화 한다.

2.1.2 모의실험 결과

제안 방식의 타당성을 검증하기 위해 PSIM을 사용하여 모의실험을 수행하였다. 그림 4는 주요 출력 파형으로 제안 회로의 출력 전압과 출력 전류, 주 스위치의 양단 전압과 전류 파형을 나타낸다. 모의실험 결과 제안 방식의 회로는 $\pm 1\%$ 이내의 정밀한 출력 전압 제어 범위를 보였고, 주 스위치의 영 전압 스위칭 동작이 이루어지고 있음을 확인하였다.

표 1 모의실험 조건

Table 1 Simulation condition

V_{in}	300V	V_O	5V
Turn ration	20 : 1 : 1	I_O	1A
L_m	2mH	P_O	5W

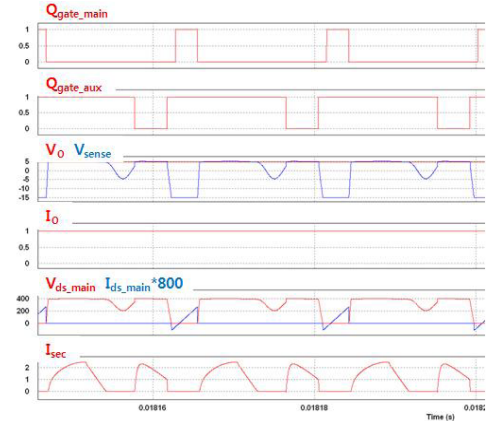


그림 4 제안 1차 측 제어 플라이백 컨버터의 주요 파형
Fig. 4 Key waveforms of proposed PSR Flyback converter

3. 결론

본 논문에서는 트랜스포머의 차화 인덕턴스의 크기에 관계 없이 정확하게 출력 전압 검출이 가능한 새로운 1차 측 제어 방식의 플라이백 회로를 제안하였다. 제안 방식은 트랜스포머 3차 권선의 양단 전압을 이용하여 출력 전압을 1차 측에서 간접적으로 검출하는 방식으로, 2차 측 다이오드 전류를 예측하지 않고도 기존의 방식보다 더 정확하게 출력 전압을 검출할 수 있으며, low side 능동 클램프 회로의 추가로 주 스위치의 영 전압 스위칭 동작이 가능해지기 때문에 효율이 증가하는 장점이 있다. PSIM을 이용하여 모의실험 한 결과 $\pm 1\%$ 이내의 정밀한 출력 전압 제어 범위 및 주 스위치의 영 전압 스위칭 동작을 확인하여 제안 방식의 우수성을 검증하였다.

이 논문은 지식경제부 및 정보통신 연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA 2012 H0301 12 2007)

참고 문헌

- [1] Jianguo Xiao, Jiande Wu, Wuhua Li and Xiangning He, "Primary side controlled flyback converter with current compensation in micro power applications", Power Electronics and Motion Control Conference, IEEE 6th international pp.1361 1366, 2009
- [2] Mark D. Telefus, Mark R. Muegge, Charles R. Geber, Dickson T. Wong, "Power Converter Driven by Power Pulse and Sense Pulse", US Patent US6882552, 19, Apr. 2005.
- [3] P. Alou, O. Garcia, J.A. Cobos, J. Uceda and M. Racon, "Flyback with Active Clamp: a suitable topology for Low Power and Very Wide Input Voltage Range applications," IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, vol.1, pp.242 248, 2002