

동작모드에 무관한 플라이백 컨버터의 1차 측 제어 기법

김위민*, 김기범*, 박영빈**, 이상원*, 조영균**
 공주대학교*, 충남대학교**

Operation-mode-independent primary side regulation for flyback

Wi-Min Kim*, Gi-Beom Kim*, Yeong-Bin Bak**, Sang-Won Lee*, Young-Kyun Cho**
 Kongju National University*, Chungnam National University**

ABSTRACT

승압 및 강압이 가능하고 간단한 구조와 낮은 비용 등의 장점을 가지는 플라이백 컨버터는 널리 사용되는 절연형 dc-dc converter이다. 입력과 출력의 절연에 의해 출력 제어를 위해 절연소자를 사용해야 한다. 이를 보완하기 위해 1차 측의 정보만을 이용하여 출력을 제어하는 primary side regulation (PSR)이 제시되었지만 트랜스포머의 추가적인 와인딩이 필요하거나, 전압 스파이크 및 링잉을 고려하지 않았다는 단점이 존재한다. 또한 기존 연구들은 Continuous Conduction Mode (CCM)과 Discontinuous Conduction Mode (DCM)에 대한 로직을 분리하여 정전압을 달성하였다. 본 논문에서는 기존의 PSR 기법들이 가지고 있는 이러한 단점들을 보완한 1차 측 제어 기법을 제안한다. 제안된 1차 측 제어 기법은 트랜스포머의 추가적인 와인딩이 필요하지 않고 CCM/DCM 동작에 무관하게 정전압 특성을 달성시킬 수 있다.

1. 서론

플라이백 컨버터는 간단한 구조, 승압 및 강압 가능, 절연, 낮은 비용의 장점을 가지고 있어 널리 사용되고 있다. 플라이백 컨버터는 트랜스포머에 의해 입출력이 절연되어 있어 정전압 또는 정전류 출력 제어를 위해 일반적으로 절연소자를 사용하여 출력을 제어한다. 하지만 절연소자의 사용은 비용 증가의 결과를 초래하기 때문에 최근 절연소자를 제거하는 1차 측 제어가 연구되고 있다^{[1]-[2]}.

일반적인 1차 측 제어는 트랜스포머의 추가적인 권선을 이용하여 정전압 및 정전류 제어를 달성한다. 또한 플라이백 컨버터의 Continuous Conduction Mode (CCM) 와 Discontinuous Conduction Mode (DCM)에 따른 제어 로직을 구별하여 사용한다^{[3]-[4]}. [3]의 경우 추가적인 트랜스포머의 와인딩을 사용하여 출력 값을 추출하지만, 출력 전류의 센싱 과정에서 트랜스포머의 누설 인덕턴스와 스위치의 기생 커패시터의 공진에 의해 전압 스파이크 및 링잉이 발생한다. 이를 배제하기 위한 별도의 복잡한 로직이 필요하며, 전력 손실 분석 기반의 방법론에 의해 정확도에 어려움이 있다. [4]의 경우 Controller의 내부에서 생성된 고주파 램프신호를 이용하여 출력 전압을 추출한다. 그러나 CCM과 DCM의 로직이 구별되어 있으며 Boundary Conduction Mode 에서의 동작을 막기 위해 추가적인 로직이 필요하다는

단점이 있다.

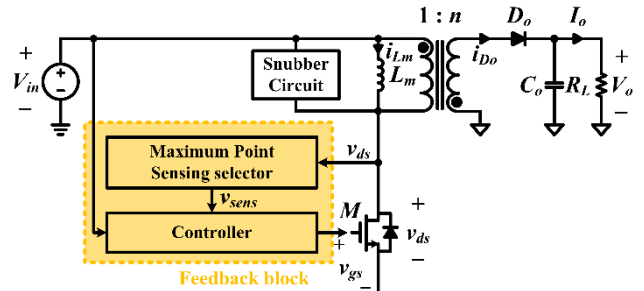


그림1 제안된 제어 기법이 적용된 플라이백 컨버터.
 Fig.1 Flyback converter adopted the proposed control method.

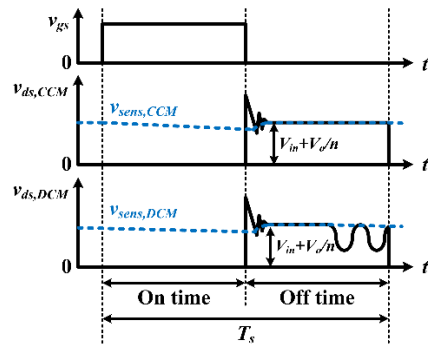


그림2 제안된 제어 기법의 주요 파형.
 Fig.2 Main waveforms of the proposed control method.

이러한 문제들을 개선하기 위해, 본 논문에서는 플라이백 컨버터의 동작모드에 구분하지 않고 간단한 로직을 통하여 정전압 출력을 달성하는 1차 측 제어 기법을 제안하였다.

2. 본론

2.1 제안된 1차 측 제어 기법의 블록 다이어그램

그림 1은 플라이백 컨버터와 스너버 회로로 구성된 전력 단과 최댓값 센싱 선택기 및 제어기로 이루어진 피드백 블록을 나타내고, 그림 2는 제안된 제어 기법의 주요 파형을 나타낸다. 플라이백 컨버터는 입력전압 V_{in} , 출력 전압 및 V_o , 출력 전류 I_o , 자화 인덕턴스 L_m , 권선비 n , 스위치 M , 출력 다이오드 D_o , 출력 커패시터 C_o , 그리고 로드 저항 R_L 로 이루어져 있다. 또한 M 에 인가되는 전압 v_{ds} 에서 볼 수 있는 전압 스파이크 및 링잉을 해소시키기 위해 스너버 회로가 추

가되었다. 또한 i_{Lm} , i_{D_o} , v_{gs} 는 각각 L_m , D_o 에 흐르는 전류와 M 의

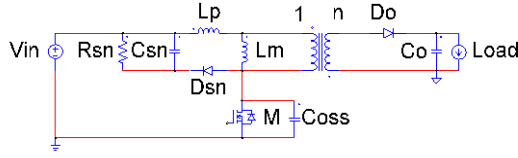


그림3 시뮬레이션에 적용된 플라이백 컨버터.
Fig.3 Applied flyback converter in simulation.

표 1 시뮬레이션 파라미터 값.

Table 1 Parameter values of simulation.

V_{in}	20 V	C_o	10 μ F
V_o	10 V	C_{oss}	652 pF
f_s	50 kHz	R_{sn}	3 k Ω
L_p/L_m	1.8 μ H/53.5 μ H	C_{sn}	10 μ F
n	0.55	Load variation	0.15 A ~ 1.5 A

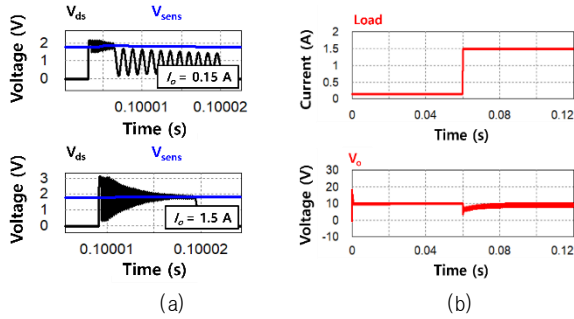


그림4 (a) $I_o = 0.15$ A, $I_o = 1.5$ A에서 v_{ds} , v_{sens} 파형 (b) 제안된 1차 측 제어 기법이 적용된 플라이백 컨버터의 로드 레귤레이션.

Fig.4 (a) v_{ds} , v_{sens} waveforms when $I_o = 0.15$ A, $I_o = 1.5$ A (b) Load regulation of flyback converter adopted the proposed primary side regulation.

게이트-소스 전압을 의미한다.

2.2 제안된 1차 측 제어 기법의 동작 원리

플라이백 컨버터의 off time 동안 v_{ds} 에 $V_{in} + V_o/n$ 의 전압이 인가되기 때문에 정전압 출력을 달성시키기 위하여 v_{ds} 와 V_{in} 은 피드백 블록의 입력이 된다. 이때 v_{ds} 는 최댓값 센싱 선택기의 입력이 되어 전압 스파이크와 링잉을 무시하여 최댓값을 센싱하게 되고, 입력 전압과 출력 전압의 정보가 포함된 v_{sens} 가 출력된다. 그림 2와 같이 플라이백 컨버터는 모든 동작모드에서 $v_{sens} = V_{in} + V_o/n$ 이므로 로직을 구분하지 않는다. 출력된 v_{sens} 는 제어기의 입력이 되어 센싱된 입력 전압이 차감되기 때문에 출력 전압이 도출되고, 제어기 내부에서 정전압 출력을 위한 M 의 듀티비를 도출해낸다.

2.3 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안된 기법의 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 3은 제안된 기법이 적용된 플라이백 컨버터의 시뮬레이션 환경을 나타내며, 사용된 파라미터 값은 표 1에 나타내었다. 또한 전압 스파이크를 모사하기 위

해 트랜스포머의 누설 인덕턴스 L_p 와 M 의 기생 커패시터 C_{oss} 를 추가하였고, 저항 R_{sn} , 커패시터 C_{sn} , 다이오드 D_{sn} 을 이용하여 RCD 스너버 회로를 모사하였다. 그림 4(a)는 출력 로드가 최소인 0.15 A와 최대인 1.5 A 일 때의 v_{ds} 와 v_{sens} 를 나타내고, 그림 4(b)는 로드의 변화에 따른 출력 전압 특성을 보여준다. 그림 4(a)에서 볼 수 있듯이, 제안된 1차 측 제어 기법이 적용된 플라이백 컨버터는 v_{sens} 의 최댓값을 이용하여 V_o 를 도출하며, 동작 모드에 무관하게 출력 전압을 도출하는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 4(b)에서 볼 수 있듯이, I_o 이 0.15 A에서 1.5 A로 변화하는 경우에도 정전압 출력을 성공적으로 유지하는 것을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 기존 1차 측 제어 기법의 단점을 보완할 수 있는 새로운 1차 측 제어 기법을 제시하였다. 제안된 제어 기법은 플라이백 컨버터의 동작 중 off time에 스위치에 인가되는 전압의 최댓값을 감지하여 출력 전압을 도출하고 정전압 출력 제어를 수행한다. 제안된 기법은 추가적인 권선을 제거하고 플라이백 컨버터의 동작 특성을 이용하여 동작 모드에 무관하게 정전압 출력 특성을 달성할 수 있다. 시뮬레이션 결과 스위치에 인가되는 $V_{in} + V_o/n$ 을 이용하여 V_o 를 도출하고 정전압 출력 제어가 성공적으로 수행된 것을 확인할 수 있다.

이 논문은 한국전력공사의 사외공모 기초연구(개별)에 의해 지원되었음 (과제번호: R22X002-09)

참고 문헌

- [1] C. -N. Wu, Y. -M. Chen and Y. -L. Chen, "High-precision constant output current control for primary-side regulated flyback converters," 2013 Twenty-Eighth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), pp. 3092-3095, 2013
- [2] T. -J. Liang, K. -H. Chen and J. -F. Chen, "Primary Side Control For Flyback Converter Operating in DCM and CCM," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 33, no. 4, pp. 3604-3612, April 2018
- [3] Z. Wang, X. Lai and Q. Wu, "A PSR CC/CV Flyback Converter With Accurate CC Control and Optimized CV Regulation Strategy," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 32, no. 9, pp. 7045-7055, Sept. 2017
- [4] S. Xu, Q. Shen, C. Wang, D. Ding and W. Sun, "A Digital Control Scheme for PSR Flyback Converter in CCM and DCM," in IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 8, no. 3, pp. 2837-2849, Sept. 2020