

수동 스너버 회로가 적용된 플라이백 컨버터의 1차 측 제어 기법

김위민*, 임경섭*, 이상원*, 조영균**
 공주대학교*, 충남대학교**

Primary-side regulation method of flyback converter using passive snubber

Wi-Min Kim*, Gyeong-Seop Lim*, Sang-Won Lee*, Young-Kyun Cho**,
 Kongju National University*, Chungnam National University**

ABSTRACT

플라이백 컨버터는 승압 및 강압이 가능하고 간단한 구조 및 낮은 비용, 절연 등의 장점을 갖고 있어 널리 사용되고 있다. 하지만 입/출력 단의 절연에 의해 일반적으로 제어 회로에 고가의 opto-coupler를 사용해야 하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 1차 측의 전기적인 정보를 활용하여 제어하는 방법이 연구되었지만, 이는 트랜스포머의 추가적인 와인딩이 필요하거나, 전압 스파이크 및 링잉을 고려하지 않았다는 단점이 존재한다. 본 논문에서는 기존 1차 측 제어 기법의 단점을 보완한 플라이백 컨버터의 새로운 1차 측 제어 기법을 제시한다. 제안된 1차 측 제어 기법은 트랜스포머의 크기를 줄일 수 있으며, 전압 스파이크 및 링잉을 고려하여 기존 방법 대비 전압 정류의 정확도를 개선시킬 수 있다.

1. 서 론

플라이백 컨버터는 승압 및 강압이 가능하고 간단한 구조, 낮은 비용, 절연, 쉬운 제어의 장점을 가지고 있어 낮은 출력 전압과 낮은 전력을 공급하기 위한 Switching mode power supply (SMPS)에 널리 사용된다.

플라이백 컨버터는 트랜스포머에 의해 1차 측과 2차 측이 절연되어 있어 2차 측 제어를 위해 일반적으로 제어 회로에 고가의 절연 소자인 opto-coupler를 사용한다. 따라서 비용 저감을 목적으로 최근 opto-coupler와 같은 절연 소자를 제거하는 1차 측 제어가 채택되고 있다 [1]~[2].

일반적으로, 1차 측 제어는 트랜스포머의 추가적인 권선을 이용하여 출력 전압 및 출력 전류를 도출하거나 [3]~[4] off time동안 스위치에 인가되는 전압을 이용하여 출력 전압 및 출력 전류를 도출한다 [5]. [3]와 [4]의 경우, 추가적인 권선에 따른 와인딩에 어려움이 존재하며, 트랜스포머의 크기가 커지는 단점이 존재한다. [5]의 경우 스위치에 인가되는 전압을 사용하여 출력 전압을 추출하지만, 플라이백 컨버터의 누설 인덕턴스와 기생 커패시턴스의 공진에 의해 발생하는 전압 스파이크 및 링잉을 고려하지 않았다.

위의 문제들을 개선하기 위하여, 본 논문에서는 수동 스너버 회로가 포함된 플라이백 컨버터의 스위치에 인가되는 전압을 이용하여 정류를 수행하는 1차 측 제어 기법을 소개하였다.

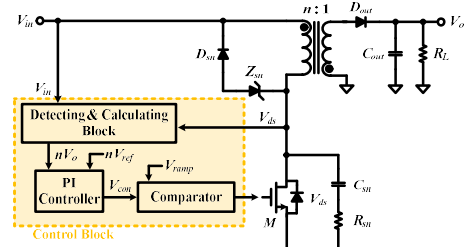


그림1 제안된 1차 측 제어 기법 블록 다이어그램.

Fig.1 Proposed primary side regulation block diagram.

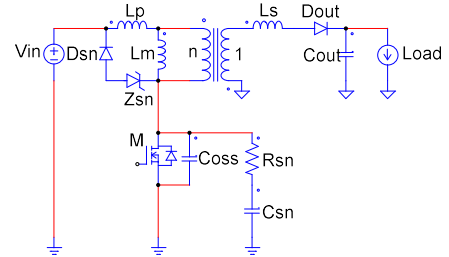


그림2 시뮬레이션에 사용된 적용된 플라이백 컨버터.

Fig.2 Applied Flyback converter in simulation.

2. 본 론

2.1 제안된 1차 측 제어 기법의 블록 다이어그램

본 논문에서는 스위치에 인가되는 전압 스파이크와 링잉을 해소시키기 위하여 DZ스너버와 RC스너버를 사용하였다.

그림 1은 제안된 1차 측 제어 기법의 블록 다이어그램을 나타내고, 그림 1의 V_{in} , V_o , n , D_{out} , C_{out} , R_L , M , D_{sn} , Z_{sn} , C_{sn} , R_{sn} 는 각각 입력 전압, 출력 전압, 트랜스포머의 권선비, 출력 다이오드, 출력 커패시터, 로드 저항, MOSFET, DZ스너버 회로의 다이오드와 체너 다이오드, RC스너버 회로의 커패시터와 저항을 뜻하고, V_{ds} , V_{ref} , V_{con} , V_{ramp} 는 각각 MOSFET에 인가되는 전압, 목표 출력 전압, PI 제어기의 출력, 톱니파형을 의미한다.

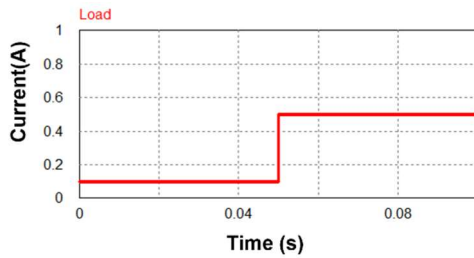
2.2 제안된 1차 측 제어 기법의 동작 원리

플라이백 컨버터의 off time동안 스위치에 전압 V_{ds} 가 인가되며, 이때 V_{ds} 는 $V_{in} + nV_o$ 이다. 이때 V_{ds} 는 Detecting & Calculating Block의 입력이 된다. 이후, Detecting &

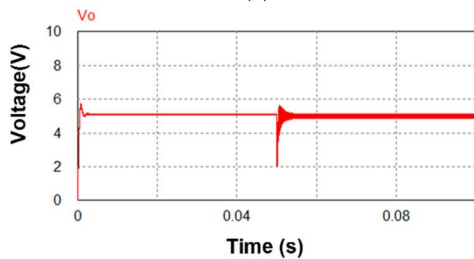
표 1 시뮬레이션 파라미터 값.

Table 1 Parameter values of simulation.

V_{in}	12 V	R_{sn}	24 Ω
L_p, L_s	1 μ H	C_{sn}	600 pF
L_m	100 μ H	Switching frequency	100 kHz
n	2	V_{ref}	5 V
C_{out}	10 μ F	Load Variation	0.1 A ~ 0.5 A
C_{oss}	80 pF	—	—



(a)



(b)

그림3 (a) 출력 전류의 변화 파형(0.1 A ~ 0.5 A) (b) 제안된 1차 측 제어 기법이 적용된 플라이백 컨버터의 로드 레귤레이션 특성

Fig.3 (a) Waveform of Load current variation (b) Load regulation of flyback converter using proposed primary side regulation.

Calculating Block의 출력은 권선비가 곱해진 출력 전압 nV_o 이 되어, PI 제어를 통해 목표 출력 전압 V_{ref} 으로 정류하기 위한 스위치 M 의 듀티비를 도출해낸다.

1.3 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 1차 측 제어 기법의 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 2은 플라이백 컨버터에 적용된 제안한 1차 측 제어기법의 시뮬레이션 환경을 나타내며, 이 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값을 표 1에 나타내었다. 그림 3는 제안된 플라이백 컨버터의 로드 레귤레이션 특성을 나타내며, 그림 3(a)와 같이 출력 전류가 변화되었을 때 컨버터는 그림 5(b)와 같은 출력 전압 특성을 나타낸다. 그림 3에서 볼 수 있듯이, 제안된 1차 측 제어 기법이 적용된 플라이백 컨버터는 off time에 스위치에 걸리는 전압 V_{ds} 를 이용하여 V_o 를 도출하며, PI제어를 통해 출력 전류가 0.1 A에서 0.5 A로 변화하는 경우에도 성공적으로 정류 동작을 수행하는 것을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 기존 1차 측 제어 기법의 단점을 보완한 새로운 1차 측 제어 기법을 제시하였다. 제안된 1차 측 제어 기법은 스너버가 적용된 플라이백 컨버터의 off time동안 스위치에 인가되는 전압을 이용하여 출력 전압을 도출하여 정류를 수행한다. 제안된 1차 측 제어 기법은 추가적인 권선을 제거하였으며, 전압 스파이크 및 링잉을 고려하여 정확도를 개선시켰다. 시뮬레이션 결과, 스위치에 인가되는 전압 $V_{in}+nV_o$ 을 이용하여 nV_o 를 도출하고 목표 출력 전압 값 5V 정류를 성공적으로 수행된 것을 확인할 수 있다.

본 연구는 한국전력공사의 사외공모 기초연구(개별)에 의해 지원되었음 (과제번호: R22XO02-09)

참 고 문 헌

- [1] Y. Li and Z. Zhu, "A Capacitor-Free Control Scheme for a Primary-Side Controlled Flyback Converter," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 35, no. 9, pp. 9482–9493, Sept. 2020, doi: 10.1109/TPEL.2020.2973124.
- [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, doi: 10.1109/TPEL.2017.2709811.
- [3] Y. Li, Q. Wu, L. Liu and Z. Zhu, "An Adaptive Constant Voltage Control Scheme for Primary-Side Controlled Flyback Converter," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 70, no. 7, pp. 6776–6785, July 2023, doi: 10.1109/TIE.2022.3204957.
- [4] Y. -C. Li and C. -L. Chen, "A Novel Primary-Side Regulation Scheme for Single-Stage High-Power-Factor AC-DC LED Driving Circuit," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 60, no. 11, pp. 4978–4986, Nov. 2013, doi: 10.1109/TIE.2012.2224080.
- [5] R. Nalepa, N. Barry and P. Meaney, "Primary side control circuit of a flyback converter," APEC 2001. Sixteenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (Cat. No.01CH37181), Anaheim, CA, USA, 2001, pp. 542–547 vol.1, doi: 10.1109/APEC.2001.911699.