

단일 전력변환 준-공진형 플라이백 컨버터

차우준, 조용원, 권봉환
포항공과대학교

Single Power-processing Quasi-resonant Flyback Converter

Woo Jun Cha, Yong Won Cho, Bong Hwan Kwon
Pohang University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 단일 전력변환 준 공진 플라이백 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 기존의 플라이백 컨버터로 구성되며 별도의 역률 개선 회로를 사용하지 않고 새로운 제어 알고리즘을 이용하여 고역률을 구현한다. 또한 준 공진을 이용하여 소프트 스위칭을 함으로써 스위칭 손실을 최소화한다. 제안된 회로의 동작원리와 제어 알고리즘을 설명하고, 최종적으로 90W급 전원회로의 시작품을 제작하여 실험을 통해 제안하는 회로의 이론적 해석을 검증한다.

1. 서론

최근 SMPS (switching mode power supply)는 전자제품의 수요 증가와 더불어 고역률, 고효율 그리고 소형화에 맞춰서 발전하고 있다. 그러나 일반적으로 전원회로에 사용되고 있는 PFC (power factor corrector) 회로와 고주파 dc dc 컨버터 단으로 구성된 ac dc 컨버터는 고역률은 가능하지만, 소형화와 고효율에는 한계가 있다. 그래서 고역률, 고효율, 소형화가 가능한 단일단 ac dc 컨버터 개발에 많은 업체들이 집중하고 있으며, 특히 LED (light emitting diode) 분야에 많이 적용되고 있다. 이러한 단일단 컨버터는 회로가 간단하고 전체 시스템의 소형화에 따른 제작비용 절감과 고역률과 같은 많은 이점을 가지지만 효율 측면에서 PFC 회로와 dc dc 컨버터로 이루어진 기존의 컨버터 보다는 높지만 아직까지 크게 높지 않아 만족할 만한 수준까지 도달하지는 못하였다. 또한 하드 스위칭은 스위치에 과도한 무리를 초래하여 열을 발생시키고, 이것으로 인해 방열판 크기가 커져서 전체 시스템 크기가 커지게 된다. 즉, 효율도 낮아지고, 방열판 크기에 소형화가 제약을 받게 된다.

본 논문에서는 새로운 제어 알고리즘을 이용한 고역률을 갖는 단일 전력변환 컨버터를 제시한다. 제안된 단일 전력변환 컨버터는 기존의 플라이백 컨버터 동작에 별도의 PFC 회로 추가 없이 새로운 제어 알고리즘을 통해서 역률개선 기능을 구현하고 ZCD (zero crossing detection)에 의한 준 공진을 통하여 기존의 플라이백 컨버터의 단점인 하드 스위칭 문제로 인한 스위칭 손실을 제거시켜서 효율을 높여 제안된 제어 알고리즘의 타당성을 검증한다.

2. 단일 전력변환 준-공진 플라이백 컨버터

2.1 제안된 컨버터 구동회로

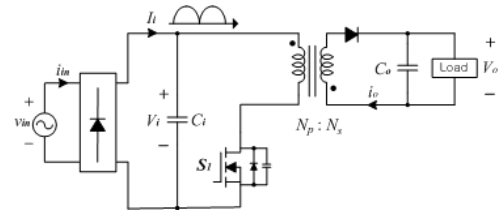


그림1. 제안된 단일 전력변환 준 공진 플라이백 컨버터
Fig. 1. Proposed single power processing quasi resonant flyback converter.

그림 1은 제안된 임계전류모드 (critical conduction mode) 단일 전력변환 준 공진 플라이백 컨버터이다. 기존의 플라이백 컨버터와 동일하며 출력전압 V_o , 출력전류 i_o , 그리고 변압기 보조권선의 영전류를 검출하여 원하는 출력전력 제어와 역률개선 그리고 준 공진 스위칭 동작을 한다. 이와 같은 준 공진 스위칭 동작 시 영전류 검출기에 의한 가변주파수 제어기법을 사용하여 연속 전류모드와 불연속 전류모드의 경계에서 동작한다. 정확히 완전한 경계에서 동작하는 것은 아니지만 스위치가 차단되고 자화인덕턴스에 저장되었던 에너지가 모두 방전된 후, 자화인덕턴스 L_m 과 스위치의 기생 콘덴서 C_s 는 공진회로를 이루어 스위치 양단에 인가되는 전압은 공진이 발생하게 된다. 이 공진에 의해 스위치 양단에 걸리는 전압이 최소가 되는 순간 영전류 검출기에 의해 스위치를 도통시켜 준 공진 스위칭을 한다. 또한 2차 다이오드 전류는 도통 되기전에 영전류로 되어 있어서 다이오드 역회복에 의한 손실이 제거된다.

2.2 제안된 컨버터 제어 알고리즘

제안된 컨버터의 새로운 제어 알고리즘으로 출력전력 제어를 단일 역률이 되도록 제어한다. 이상적인 컨버터라고 가정하면 단일 역률 제어가 되기 위하여 아래와 같이 입력전력 P_{in} 과 출력전력 P_{out} 이 같게 된다.

$$v_{in} = V_m \sin \omega t, \quad V_i = |V_m \sin \omega t| \quad (1)$$

$$i_{in} = I_m \sin \omega t, \quad I_i = |I_m \sin \omega t| \quad (2)$$

$$P_{in} = V_m I_m \sin^2 \omega t = P_{out} \quad (3)$$

식 (3)과 같이 출력전력은 $\sin^2 \omega t$ 에 비례하고 출력전압 V_o 가 출력 기준전압 $V_{o.ref}$ 를 추종하여 전압제어기를 통해 출력 기준전류의 최대값 I_o^* 이 결정되면 출력전력은 아래와 같이 결정된다.

$$P_{out} = V_{o.ref} i_o^* = V_{o.ref} I_o^* \sin^2 \omega t \quad (4)$$

따라서 PFC rule에서 출력 기준전류 i_o^* 는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$i_o^* = I_o^* \sin^2 \omega t = I_o^* \left(\frac{V_i}{V_m} \right)^2 \quad (5)$$

그리고 구해진 출력 기준전류 i_o^* 를 추종하기 위해 출력전류 i_o 와의 전류오차 i_e 를 받아 전류 제어기를 사용하여 스위치 도통시간 Δt_{on} 을 결정한다. 또한 변압기의 자화인덕턴스 성분 양단에 걸리는 평균 전압을 선형화 기법을 통하여 일차 선형시스템으로 등가화 하여 다음과 같이 공칭 스위치 도통시간 $t_{on,nom}$ 을 구한다.

$$t_{on,nom} = \left(\frac{V_{o.ref}}{V_{o.ref} + n V_i} \right) T_s \quad (6)$$

최종적으로 Δt_{on} 과 $t_{on,nom}$ 에 의해 다음과 같은 스위치 도통시간 t_{on} 을 결정한다.

$$t_{on} = \Delta t_{on} + t_{on,nom} \quad (7)$$

따라서 제안된 단일 전력변환을 위한 전체 제어블록도는 다음과 같다.

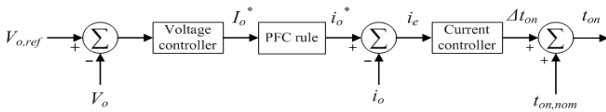


그림 2. 제안된 컨버터의 제어블록도
Fig. 2. Control block diagram of the proposed converter.

3. 실험결과 및 분석

제안된 단일 전력변환 준 공진 컨버터의 이론적 해석 및 성능을 검증하기 위해서 90W 시작품을 제작하여 실험하였다. 실험조건은 입력전압 90~264V, 60Hz이며, 출력전압은 30V이다. 그림 3(a)는 스위치의 드레인 소스전압 V_{DS} 와 스위치 전류 i_{sw} 파형이다. V_{DS} 의 전압이 최소가 될 때, 스위치가 도통되어 i_{sw} 가 흐르는 것을 확인할 수 있다.

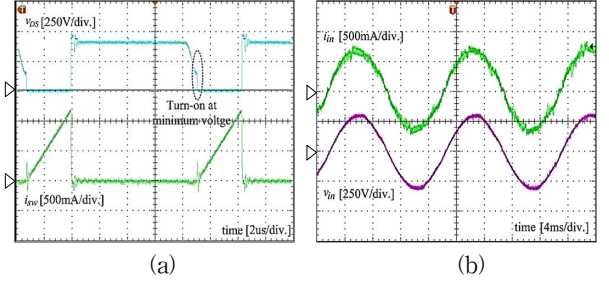


그림 3. 제안된 컨버터의 실험파형. (a) 스위치 S_1 의 전압 및 전류 파형 (b) 입력전압 v_{in} 및 입력전류 i_{in} 파형

Fig. 3. Experimental waveforms of the proposed converter. (a) Waveforms of the switch S_1 voltage and current. (b) Waveforms of the input voltage v_{in} and current i_{in} .

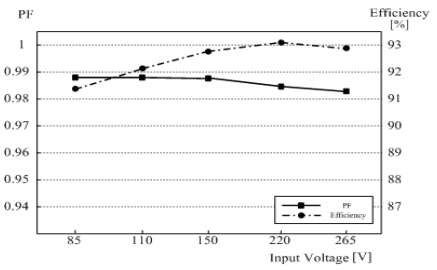


그림 4. 입력전압에 따른 역률과 효율
Fig. 4. Power efficiency under input voltage.

그림 3(b)는 입력전압 220V에서 측정된 입력전압 v_{in} 과 전류 i_{in} 파형이며, 입력전류는 입력전압과 동상인 정현파이다. 이때 측정된 역률은 98.5%, 효율은 93.1%로 고역률과 고효율을 가진다. 그림 4는 입력전압에 따른 역률과 효율을 측정된 결과이다. 측정된 결과 입력전압 85V~265V에서 역률은 98%보다 높고, 효율도 최대 93.1%의 높은 효율을 가진다.

4. 결론

본 논문에서는 단일 전력변환 준 공진 플라이백 컨버터를 제안하였다. 제안된 회로는 새로운 제어 알고리즘을 사용하여 기존의 단일단 ac dc 컨버터보다 높은 효율과 역률을 가진다. 이로써 제안된 제어 알고리즘과 회로는 전원회로의 고역률, 고효율 그리고 소형화에 유리할 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] Y. M. Liu and L. K. Chang, "Single stage soft switching AC DC converter with input current shaping for universal line applications", IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 56, No. 2, pp. 467-479, 2009, Feb.
- [2] J. M. Kwon, W. Y. Choi and B. H. Kwon, "Single Switch Quasi Resonant Converter", IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 56, No. 4, 2009, April.