

고효율 Single-Stage 300W급 PFC Flyback Converter

이경인, 장준호, 강신호, 임승범*, 이준영
단국대학교 전자공학과, * 단국대학교 전기공학과

A High Efficiency Single-Stage 300W PFC Flyback Converter

Kyung-In Lee, Jun-Ho Jang, Shin-Ho Kang, Seung-Beom Lim*, and Jun-Young Lee
Dept. of Electronics Eng., Dankook University, * Dept. of Electrical Eng., Dankook University

ABSTRACT

Recently, regulation for THD(Total Harmonic Distortion) such as IEC 61000-3-2, IEEE 519 is being reinforced about a product which directly connects to AC line in order to prevent distortion of common power source in electronic equipment and electrical machinery. In order to satisfy these regulations, conventional circuits were used two-stage structure attached power factor correction circuit at ahead of converter but this method complicate the circuit and then a number of element increases thereupon the cost of production rises.

In this paper, we propose a high efficiency single-stage 300W PFC flyback converter, that improved power factor and efficiency than conventional two-stage power module.

1. 서론

최근 전기, 전자, 통신기기의 소형화가 진전되면서 대부분의 전력 공급 장치가 리니어 방식에서 스위칭 방식으로 바뀌고 있다. SMPS(Switch Mode Power Supply)는 대부분 입력단에 전파 정류기와 평활용 콘덴서가 있는 콘덴서 입력형 정류 방식을 이용한다. 이는 전압의 왜곡을 발생시켜 전도성 전자파 장애를 일으키므로 전력 계통에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 이에 대한 대책으로서 IEC, IEEE등 국제기구에서는 IEC61000-3-2, IEEE519등과 같은 규격을 제정하여 고조파 전류를 규제하고 있다^{[1][2]}. 이러한 문제를 해결하기 위해 가장 널리 쓰이는 방법 중 하나는 2단 역률개선 방식이다. 그림 1에 도시한 2단 역률개선 방식은 역률 개선을 위한 PFC(Power Factor Correction)단과 출력전압 조절을 위한 DC/DC 컨버터 단으로 구성되어 있다. 2단 방식은 역률개선단과 DC/DC 컨버터 단을 각각 설계함으로써 고 역률, 낮은 고조파 왜곡, 충분한 에너지 축적시간의 장점을 가지고 있어 최적 설계가 가능하지만, 역률개선단과 DC/DC 컨버터 단은 서로 독립된 제어기와 스위치가 필요하기 때문에 회로가 복잡해지고 제작비용이 많이 들며 두 번의 전력 변환 단계를 거쳐야 하기 때문에 효율적인 측면에서 전체적인 효율 감소를 보이는 단점이 있다^{[1][3]}.

이런 2단 역률개선 방식의 단점을 보완하고자 최근에는 일단 역률개선 방식이 많이 연구되고 있다. 그림 2는 일단 역률개선 방식으로 역률개선단과 DC/DC 컨버터 단을 하나의 스위치로 동시에 제어하여 제어기와 스위치를 줄일 수 있고 한 단

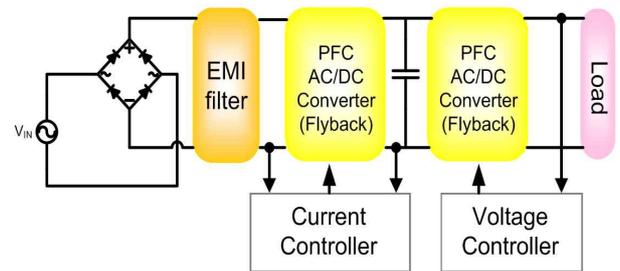


그림 1 2단구조의 PFC 컨버터
Fig. 1 Two-stage PFC converter

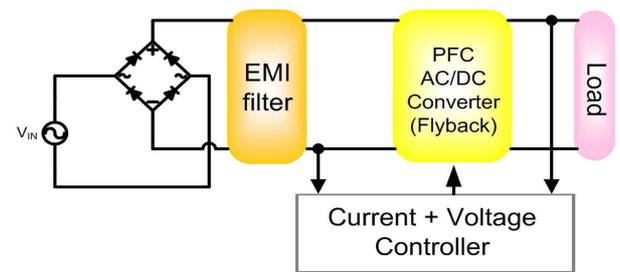


그림 2 1단구조의 PFC 컨버터
Fig. 2 Single-stage PFC converter

개의 전력 변환만으로 필요한 출력 DC를 얻을 수 있어 효율이 향상되며 가격적인 측면에서도 장점이 있다^[4].

본 논문에서는 일단 역률개선 방식의 PFC Flyback 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터는 역률개선 단에서 사용하는 인덕터를 DC/DC 컨버터의 자화 인덕턴스로 대체하여 구성하였으며 전류 연속 모드로 제어하여 역률개선과 효율을 향상시켰다. 끝으로 제안한 컨버터의 유용성을 실험을 통하여 입증한다.

2. 본론

2.1 제안한 일단 PFC Flyback Converter

Flyback Converter는 입출력간의 절연, 출력 전압의 가변 등 고유의 역할뿐 아니라 필터의 인덕터 역할도 동시에 겸하고 있어서 경제적인 면에서 가장 이로우며 회로 구성이 간단한 장점을 가지고 있다. 그러나 Flyback 컨버터는 전류 스트레스가 크고 변압기의 크기가 큰 단점이 있다.

본 논문에서 이런 단점을 보완하고자 전류 제어방식을 전류의 피크 값과 리플이 작은 전류 연속 모드를 사용하였다. 그림 3은 전류 연속 모드 제어의 동작을 설명한 그림으로 기준 전류 파형은 입력 전압과 동상이며 크기만 다르다. 그림에서와 같이 기준 전류파형의 외형을 따라 입력 전류를 제어하여 입력 전압과 동상으로 제어할 수 있다. 제안한 PFC Flyback 컨버터는 그림 4와 같이 단상 전압원, 라인 필터, 전파 정류 회로, 변압기, 전력용 반도체 소자, 다이오드, 출력 커패시터 및 제어기로 구성되어 있다.

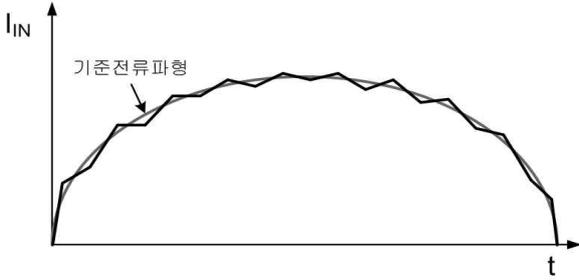


그림 3 전류 연속 모드 제어방식
Fig. 3 Continuous conduction mode control method

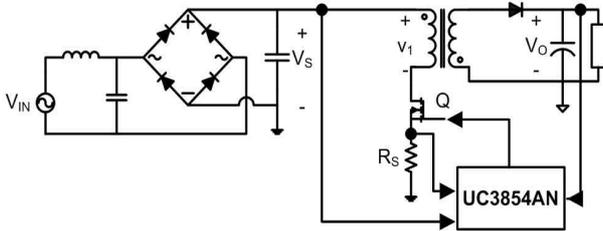


그림 4 제안한 AC/DC Converter 회로의 블럭도
Fig. 4 Circuit diagram of the proposed AC/DC converter

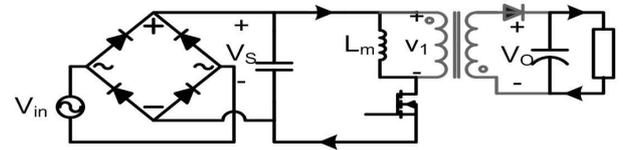
2.2 모드 해석

그림 5는 제안한 Converter의 자화 인덕턴스를 도시한 동작 모드를 나타내며 그림 6은 모드별 주요 파형이다. 제안한 Converter는 2개의 모드로 동작하며 스위치의 Gate 신호는 입력 전압의 변화와 출력 전압의 안정화를 위하여 펄스폭 변조 (Pulse Width Modulation : PWM)로 조절한다. Controller는 UC3854AN을 사용하였으며 UC3854AN은 입력 전류와 입력 전압, 출력 전압을 검출하여 승산기의 입력으로 사용하고 최종적으로 R-S Latch를 거쳐서 역률보상과 펄스폭 변조를 이룬다.

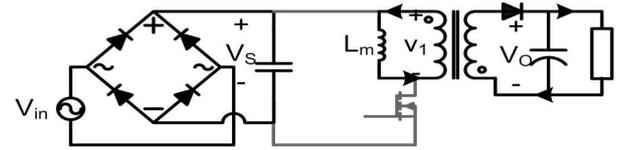
Mode 1

Mode 1은 스위치 Q가 도통되는 구간으로 트랜스의 2차 권선에는 1차와 반대 극성의 전압이 유기되므로 다이오드 D는 역 바이어스가 되어 차단이 된다. 따라서 2차 권선에는 전류가 흐르지 않고 1차 권선으로만 전류가 흘러 자화 인덕턴스에 에너지를 저장한다. 자화 인덕턴스 L_m 에 인가되는 전압 v_1 은 정류된 전압 V_s 이며 L_m 에 흐르는 전류는 V_s/L_m 의 기울기를 가지며 증가한다. 이때 다이오드에 걸리는 전압은 식 (1)과 같다.

$$V_D = V_O + \frac{N_2}{N_1} V_s \quad (1)$$



(a) Mode 1 - On time



(b) Mode 2 - Off time

그림 5 모드별 동작
Fig. 5 Operation in each mode

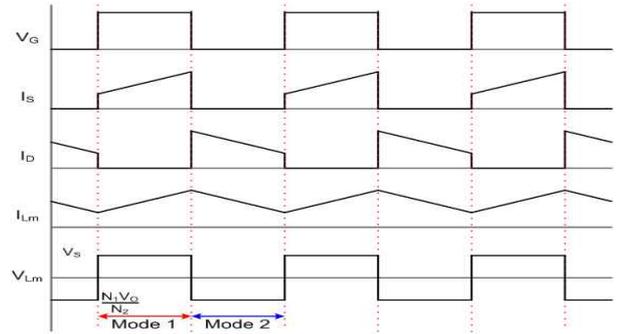


그림 6 모드별 주요 파형
Fig. 6 Key waveforms in each mode

Mode 2

Mode 2는 스위치 Q가 차단되는 구간으로 2차 권선에는 모드 1과는 반대 극성의 전압이 유기되어 다이오드를 도통시킴으로써 트랜스의 자화 인덕턴스에 의해 저장된 에너지를 출력으로 방출한다. 트랜스 1 차측 자화인덕턴스 L_m 에 인가되는 전압 v_1 은 트랜스 2 차측에 걸리는 출력 전압 V_O 에 의하여

$$V_{Lm} = -\frac{N_1}{N_2} V_O \quad (2)$$

가 되며 L_m 에 흐르는 전류는 V_{Lm}/L_m 의 기울기를 가지며 감소한다.

트랜스 1차 측에 Volt · sec 평형 조건을 적용시키면

$$V_s D T_s = \frac{N_1}{N_2} V_O (1 - D) T_s \quad (3)$$

가 되고, 식 (3)으로부터 Duty비를 구할 수 있다.

$$D = \frac{N_1 V_O}{N_2 V_s + N_1 V_O} \quad (4)$$

출력 전압은 DC 200[V]로 고정되어 있으므로 Duty비는 입력 전압에 따라 변하게 된다.

3. 실험 결과

제안한 PFC Flyback 컨버터의 유용성을 입증하기 위하여 실험을 하였으며 실험에 사용한 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 실험 파라미터
Table 1. Experimental parameter

항 목	Value
입력 전압	AC 110[V]
스위칭 주파수	50[kHz]
변압기 1차, 2차	346[uH], 734[uH]
누설 인덕턴스	5[uH]
출력 커패시터	3400[uF]
효율	92%
Power Factor.	0.99

그림 7은 입력 전압과 입력 전류를 측정한 파형으로 입력 전압과 입력 전류를 동 위상으로 제어하여 역률이 단위 역률에 가까운 것을 알 수 있다. 그림 8은 출력 전압과 출력 전류의 파형을 측정한 결과로 전압과 전류가 정확하게 제어되고 있음을 알 수 있다. 그림 9는 출력 전압과 출력 전류 파형의 AC성분을 추출한 리플 파형으로 출력 전압 리플은 1[V], 출력 전류 리플은 10[mA]로 측정됐다. 이 값은 전압 200[V]의 0.5%이며 전류 1.6[A]의 0.6%로 직류 안정화 전원을 확인할 수 있다.

그림 10은 입력 전압에 따른 부하별 효율을 나타낸 그래프로 AC 110[V] 입력에서는 전 부하에서 90%이상의 효율이 나오지만, AC 220[V] 입력에서는 50%이하의 부하에서는 약간 효율이 낮지만 75%이상의 부하에서는 90%이상의 효율이 나오

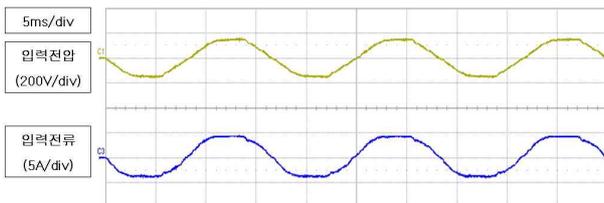


그림 7 입력 전압/전류 실험파형
Fig. 7 The measured line current / voltage waveforms

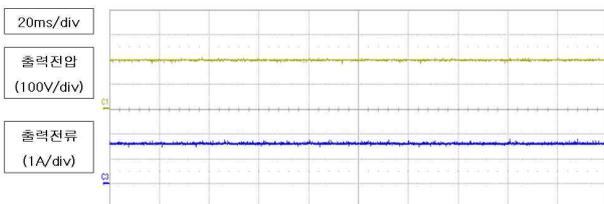


그림 8 출력 전압/전류 실험파형
Fig. 8 The measured output current / voltage waveforms

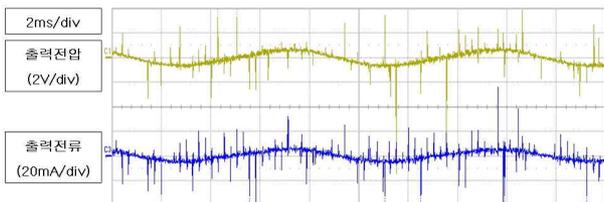


그림 9 출력 전압/전류 리플 실험파형
Fig. 9 The measured ripple waveforms of output current / voltage

는 것을 확인 할 수 있다.

그림 11은 입력 전압에 따른 부하별 역률을 나타낸 그래프로 AC 110[V]에서는 대부분의 부하에서 역률이 0.99이상이고, AC 220[V]에서는 50%이하의 부하에서는 0.8이상, 100%부하에서는 0.95가 나오는 것을 알 수 있다.

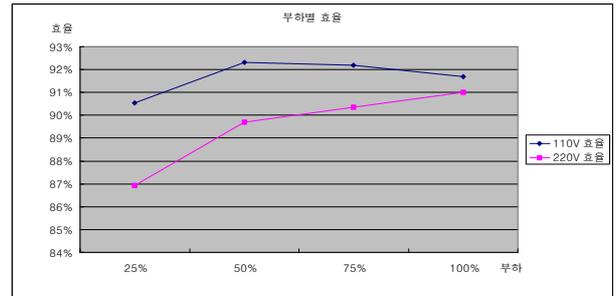


그림 10 부하별 효율
Fig. 10 Efficiency in each load

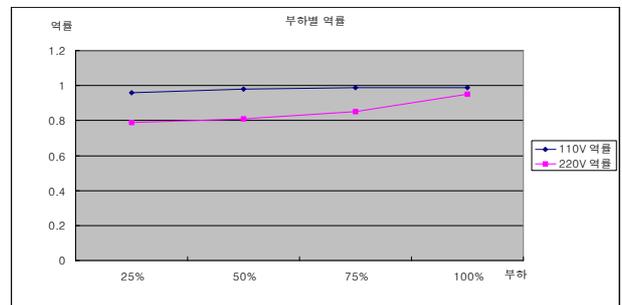


그림 11 부하별 역률
Fig. 11 Power factor in each load

4. 결론

본 논문에서는 역률 보상 회로와 DC/DC 컨버터를 하나로 합친 일단 역률개선 방식의 PFC Flyback 컨버터를 제안하였다. 제안한 회로는 PFC단과 DC/DC 컨버터 단을 통합하여 회로의 소자수와 부피를 줄여줄 수 있다. 그리고 전류 연속 모드로 제어하여 전류의 피크 값 및 리플을 줄여주었다.

제안한 회로는 실험을 통하여 유용성을 입증하였다. 실험 결과 입력전압 AC 110[V]에서 전부하시 효율은 92%이고, 역률은 0.99로 단위 역률에 가깝고, AC 220[V]에서는 효율은 91%이고, 역률은 0.95로 IEC 61000-3-2, IEEE 519를 만족한다.

참 고 문 헌

- [1] 김봉석, 임익현, 이주현, “단일단 단일스위치 동기정류기형 플라이백 컨버터”, 전력전자학회 논문지, pp361-370, 2006.
- [2] 강신호, 장준호, 홍성수, 이준영, “고전력밀도 AC/DC Adapter를 위한 Off-Time 제어법”, 전력전자학술대회 논문집, pp286-288, 2007.
- [3] 유광민, 임성규, 이준영, “PDP 유지 전원단을 위한 고효율 Single-Stage PFC Flyback Converter”, 전력전자학술대회 논문집, pp34-38, 2006.
- [4] 강필순, 김원호, 박성준, 김철우, “전류 불연속 모드로 동작하는 1단 방식의 역률 보상 AC/DC 포워드 컨버터”, 전력전자학술대회 논문집, pp319-322, 1999.