

## Top 스위치를 이용한 단일 전력단 역률개선 플라이백 컨버터

임창섭\*, 권순걸\*, 이현우\*, 김은수\*\*  
 \* 경남대학교 전기공학과, \*\* 한국전기연구원

### Single Stage PFC Flyback Converter Using Top Switch

Chang Seob, Lim\* , Soon Kurl, Kwon\*, Hyun Woo, Lee\*, Eun Soo, Kim\*\*  
 \* Kyungnam Univ. Electrical Engineering, \*\* KERI

#### ABSTRACT

Generally, previous converter is divided into two categories to get high power factor and good output regulation. These two categories can be combined a category with a main switch. These converter is called Single Stage PFC Converter. This approach has good electrical characteristics of high power factor and fast output voltage regulation.

The cost and size are important factor to design the converter in low power system. Even single stage can reduce the size and cost, but this approach needs to have additional circuit like control, PWM circuit. To improve these demerits, Top switch is one of good choice to reduce and size in low power single stage converter. Because it has the ability of current limit, thermal protection, oscillator, control circuit as well as a main switch ability.

#### 1. 서 론

기존의 다이오드 정류기에 평활용콘덴서를 이용한 정류회로는 입력전원 전류에 많은 고조파를 포함하고 있어 입력전원 전압의 왜곡을 가져올 뿐만 아니라 전도성 전자파 장애를 일으키며 입력 전원 용량의 활용도를 저감시키는 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 IEC1000-3-2 고조파 규제와 역률개선 정류기 개발에 많은 관심과 연구가 있어 왔다. 이러한 역률개선회로는 대부분 DC/DC 컨버터 앞단에 부스터 방식의 역률개선회로를 더하여 역률을 개선하는 2단 방식의 컨버터를 이용하였다. 하지만 최근에는 단일전력단 역률개선회로에 관한 많은 연구 발표가 있었다. 이러한 단일전력단 역률개선회로 역시 대부분 부스터 방식을 이용하여 역률을 개선하면서 원하는 출력을 가지는 AC/DC 컨

버터 방식의 회로들이다. 아울러 이러한 단일 전력단 회로들은 2단 방식의 AC/DC 컨버터에 비하여 소자수가 줄어드는 장점이 있는 반면, 단일 전력단 역시 주 스위치를 제어하기 위하여 부가적인 제어 회로가 필요하다. 이러한 소용량 컨버터에 있어서 컨버터의 성능 대 크기, 가격 등은 설계사양에서 아주 중요한 요소이다.

이에 본 논문에서는 제어회로와 과전류, 과전압, 자체 발진회로 등이 내장되어 있는 스마트 소자인 Top 스위치를 이용한 단일 전력단 역률개선 플라이백 컨버터회로의 실험결과를 발표한다. 이로써 기존의 컨버터 보다 가격 절감, 사이즈 감소의 효과를 볼수 있다.

#### 2. Top 스위치 적용 단일전력단 플라이백

##### 2.1 Top 스위치의 개요 및 특징

단일 전력단 플라이백(Flyback) 컨버터의 구현에 있어서 Discrete 소자나 전용소자를 사용하는 방법들이 사용될 수 있으나 본 논문에서는 그림 1과 같이 기존의 회로로 구성되어야 할 많은 기능들을 내장한 스마트(Smart) 스위칭 소자인 Power integration(社)의 TOP 스위치를 사용하였다. TOP 스위치의 대략적인 특징은 다음과 같다.

- 자체 발진회로와 보상기가 내장되어있음.
- Buck, Boost, Flyback, Forward 컨버터의 각종 Topology를 지원.
- 과전류, 과열등 보호기능을 내장.
- Self-Start 기능, Fault시 Auto-Restart 기능.
- 적은 부품수로 인한 소형화 및 고효율.
- 입력 220V<sub>AC</sub>에서 100W~150W까지 적용가능.

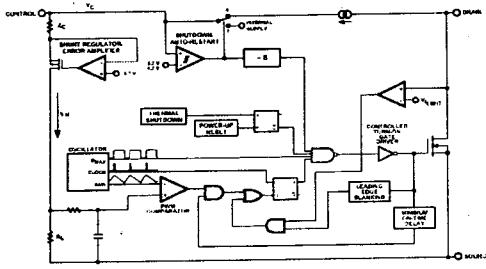


그림 1 Top 스위치 내부 블록 다이어그램  
Fig. 1 The Functional Block Diagram of Top Switch

그림 2는 CONTROL의 전류와 듀티와의 관계를 나타낸 것으로 제어단자의 전류가 증가하면 듀티는 줄어드는 부 특성을 갖는 것을 알 수가 있다.

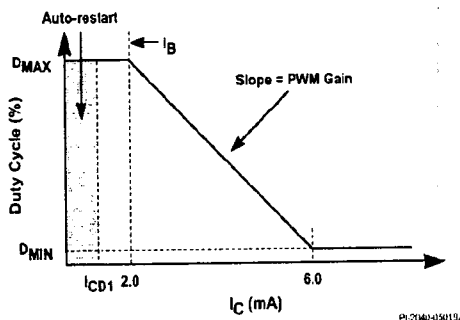


그림 2 CONTROL 전류 대 듀티 관계  
Fig. 2 Relationship of Duty Cycle to CONTROL Pin Current

아울러, Top 스위치를 이용하여 입력 역률을 개선시키기 위한 AC/DC 컨버터응용에 있어서 일정 듀티로 제어 시 입력전압의 ZERO CROSSING 부근에서 입력전류의 왜곡 현상이 발생할 수 있다. 하지만 Top 스위치 제어단자의 전류와 듀티의 관계에서 보인 스위치의 부특성을 이용하면 ZERO CROSSING 부근에서는 듀티가 증가하고 입력전압이 피크치에 가까워 짐으로서 듀티가 줄어드어 더욱 정현파에 가까운 전류 파형을 얻을 수 있다. 이러한 특성을 도시화한 것이 그림 3이다.

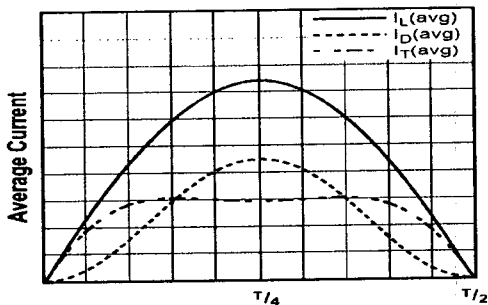


그림 3 Top 스위치 Wave Shaping 시 각 부분의 전류  
Fig. 3 Each part currents when Top Switch does wave shaping

## 2.2 단일전력단 역률개선 플라이백 컨버터

Top 스위치를 이용한 단일 전력단 PFC 플라이백 AC/DC 컨버터의 실험 회로도를 그림 4에 나타내었다. 주 회로는 단지 스마트 스위치인 Top 스위치를 사용한 것을 제외하면, 기존의 단일전력단 플라이백 컨버터와 동일하다. 그리고 몇가지 부품을 이용하여 출력전압을 레귤레이트 하였다. 저항 R<sub>in</sub>은 입력전류를 센싱하여 Wave Shaping을 하기 위하여 부가한 것이다. 이 저항이 Top 스위치의 부 특성을 이용하기 위한 것이다. 아울러 동작 모드는 크게 2가지 모드로 나누어 생각 할 수 있다.

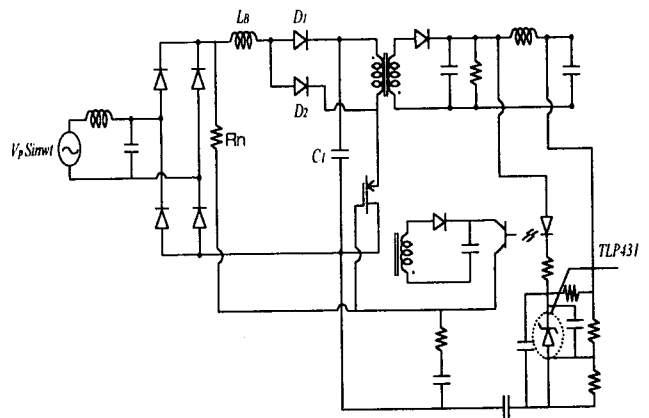


그림 4 Top 스위치 단일전력단 PFC 플라이백 컨버터  
Fig. 4 Single Stage PFC Flyback AC/DC Converter Using Top Switch.

### I 동작 모드 1

모드 1은 스위치 턴 온시에 수행되는 모드이다. 주 스위치의 턴온에 의하여 부스팅 인덕터 L<sub>B</sub>는 입력전압에 비례한 에너지를 축적하게 된다. 이 모드 동안 다이오드 D<sub>1</sub>은 턴 오프이며, D<sub>2</sub>는 턴온이 된다.

### II 동작 모드 2

주 스위치가 턴 오프 되었을 시의 모드이다. 스위치의 턴 오프로 인하여 인덕터에 저장되었던 에너지는 입력 에너지와 더해져서 커패시터에 에너지를 전이하게 된다. 이와 동시에 플라이백 트랜스 포머의 2차측은 마치 인덕터가 되어서 2차측 콘덴서 및 부하로 에너지를 전달하게 된다.

이 두가지 모드에 대하여 간략하게나마 수식적인 해석을 하면 아래와 같이 생각 할 수가 있다. 수식적인 접근은 손실이 없는 이상적인 경우라 생각을 하고 정리하였다.

인덕터에 흐르는 피크전류( $I_{pk}$ )는 식 (1)과 같다.

$$I_{PK} = \frac{V_{AC} t_{on}}{L_B} = \frac{V_P \sin \omega t D T_s}{L_B} \quad (1)$$

( $V_p$  : 입력전압 피크,  $D$  : 듀티,  $T_s$  : 스위칭 한 주기,  
 $T_{on}$  : 스위치 턴 온 시간)

그리고  $I_{inAVG} = I_{on}(AVG) + I_{off}(AVG)$  를 이용하면 인덕터의 평균전류를 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$I_{in(AVG)} = \frac{V_{C_1} V_P \sin \omega t D^2 T_s}{2L_B (V_{C_1} - V_P \sin \omega t)} \quad (2)$$

( $V_{C_1}$  : 전해 커패시터 전압)

출력전압  $V_o$  는 일반적인 플라이백 컨버터의 해석과 동일한 경우로서 트랜스포머에 전달된 에너지를 부하 측면에서 계산을 하면 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$D = \sqrt{\frac{2L_F V_o^2}{V_{C_1}^2 R_o T_s}} = \sqrt{\frac{2L_F P_o}{V_{C_1}^2 T_s}} \quad (3)$$

( $L_F$  : 트랜스포머의 1차측 자화 인덕턴스,  $P_o$  : 출력)

이 때 한 주기동안의 입력 에너지는 인덕터의 평균전류와 입력전압의 곱으로 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{in} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} \frac{V_{C_1} V_P \sin \omega t D^2 T_s}{2L_B (V_{C_1} - V_P \sin \omega t)} (V_P \sin \omega t) d\omega t \quad (4)$$

( $T = 2\pi$ )

출력 에너지는 트랜스포머에 의하여 2차측으로 전이된 에너지로서 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_o = \frac{V_{C_1}^2 D^2 T_s}{2L_F} \quad (5)$$

만약 손실이 없는 이상적인 경우라고 가정을 하였으므로,  $P_{in} = P_o$  가 되어 식 (6)과 같이 표기할 수 있다.

$$\frac{2}{T} \int_0^{T/2} \frac{V_{C_1} V_P \sin \omega t D^2 T_s}{2L_B (V_{C_1} - V_P \sin \omega t)} (V_P \sin \omega t) d\omega t = \frac{V_{C_1}^2 D^2 T_s}{2L_F} \quad (6)$$

식 (6)을 이용하면 적절한 전해 커패시터의 전압을 유지하는 부스터 인덕턴스 대 트랜스포머의 1차측 자화 인덕턴스의 값을 결정할 수 있다.

### 3. 실험 결과

실험 시 제작된 컨버터의 사양은 아래와 같다. 이와는 별도로 다 출력을 원할 경우 트랜스의 2차측에 권선을 더하여 원하는 출력을 얻을 수가 있다.

입력 전압 : 220 V AC  
 출력 전압 : 5 V 4A  
 스위칭 주파수 : 100 kHz  
 트랜스포머 1차측 자화 인덕턴스 : 1 mH  
 트랜스포머 1, 2차 턴수 비 : 23 : 1  
 부스터용 인덕터( $L_B$ ) 인덕턴스 : 500  $\mu$ H

그림 5는 일반적인 콘덴서 정류형일 경우의 입력전류와 입력전압에 대한 파형을 나타내었다. 실험한 회로에서 부스터용 인덕터와 다이오드 D1, D2를 제외하여 실험한 결과이다.

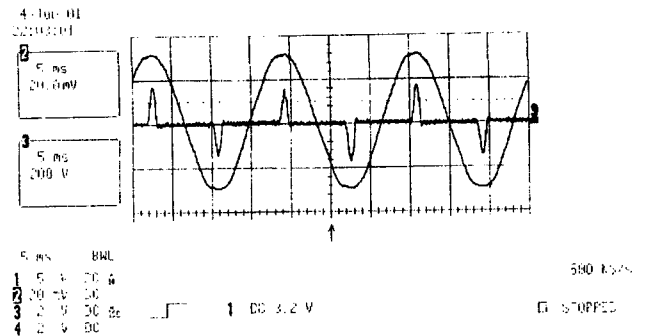


그림 5 일반 콘덴서 정류형 입력전류  
 Fig. 5 The current of Capacitor Rectifier type

그림 6은 단일 전력단 플라이백 AC/DC 컨버터의 입력 전압과 입력 전류 그리고 출력 전압에 대한 결과 파형이다. 실험 결과에서 알 수 있는 바와 같이 일반 콘덴서형 정류기에 비하여 우수한 역률을 얻을 수 있는 것을 알 수가 있다.

## 4. 결 론

일반적인 Converter는 역률개선회로와 DC-DC 컨버터 회로로 나누어져 있다. 이 두 회로를 하나로 결합한 형태가 Single-stage PFC Converter이다. 이 Single-stage PFC Converter를 제어회로 및 발진회로가 내장되어 있을 뿐만 아니라 전류, 과열 차단기능을 내장하고 있어 부가적인 회로가 필요하지 않는 스마트 스위칭 소자인 Top 스위치를 이용하여 저가이면서 일반적인 다이오드 정류기 보다 역률이 우수하며 IEC1000-6-2를 만족하는 소용량 Single-stage PFC Flyback Converter의 실험 결과를 보였다.

## 참 고 문 헌

- [1] Elias Rodriguez, Davis Abud, "A Novel Single-Stage Single-Phase DC Uninterruptible Power Supply with Power-Factor Correction" IEEE Vol 46, No 6, December 1999.
- [2] Power Integrations, Power Integrated Circuit Data Book.
- [3] Power Integrations, Supplemental Data Book and Design Guide.
- [4] 김은수, 조기연, 윤정원, " Top 스위칭 소자 적용 절연된 다출력 플라이백 컨버터 " 2000년 전력전자 하계학술대회 논문집.

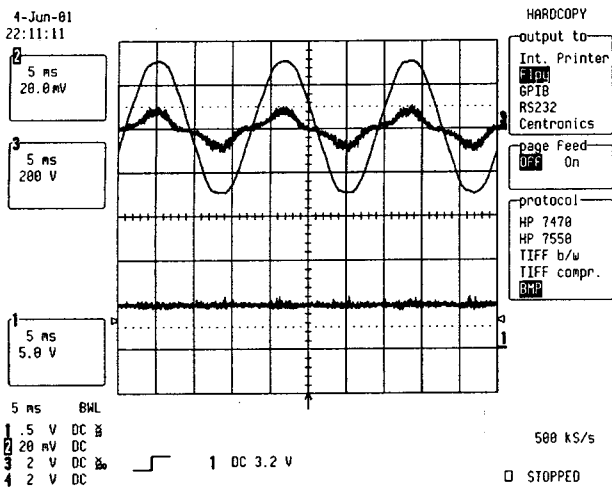


그림 6 단일 전력단 플라이백 컨버터 입력 전압, 전류와 출력전압

Fig. 6 The Line Current, Line Voltage and the voltage of Output in the Single stage Flyback.

그림 7은 부스터용 인덕터에 걸리는 전압 파형을 나타낸 것이다. 파형에서 알 수 있는 바와 같이 DCM (Discontinuous Conduction Mode)모드로 동작하는 것을 알 수가 있다.

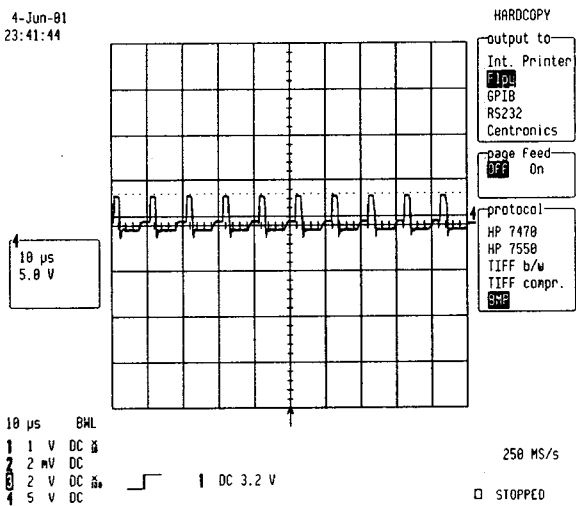


그림 7 부스터용 인덕터에 걸리는 전압  
Fig. 7 The Voltage of Boosting Inductor