

Flying Capacitor Snubber를 적용한 PFC(Power Factor Correction) Boost 컨버터에 관한 연구

김병철*, 이희승**, 서재호*
*원광대학교 전기공학과, **군장대학

A Study on the PFC(Power Factor Correction) boost converter applied Flying Capacitor Snubber.

B.C. Kim*, H.S. Lee**, and J.H. Seo*
Wonkwang University, **Kunjang College

ABSTRACT

Switching Mode Power Supply(SMPS) is widely used in many industrial fields. Power factor improvement and harmonic reduction technique are very important in SMPS. In this paper, we propose the circuit applied Flying Capacitor Snubber for improving power factor of boost converter on fast switching state. Snubber circuit consists of a inductor, two diodes and a capacitor. The losses of switching are reduced by inserting a snubber inductor in the series path of the boost switch and the rectifier diode to control the di/dt rate of the rectifier during it's turn-off. Prior to actual experiment, the circuit analysis is implemented by PSPICE simulation.

1. 서론

각종 전자·전기기는 내부의 전자회로를 구동하기 위해 직류전원을 사용하고 있으며, 교류를 직류로 변환하는 정류회로를 필요로 하고 있다. 정류회로는 대부분이 캐패시터 입력방식을 채택하고 있기 때문에 상용전원의 피크치 부근의 짧은 기간동안만 정류기가 도통하여 폭이 좁은 펄스성 전류 파형을 발생하여 전자기기의 입력 역률을 크게 저하시키며, 고조파 발생의 원인이 된다. 그 결과 전압 왜곡이 발생하여 전력계통 설비를 비롯해 접속되는 기기의 동작에 악영향을 주는 외에 전력용 캐패시터·변압기의 발열, 화재, 이상음의 발생, 제어기기의 오동작, 또는 수명의 단축 등의 장애현상으로 나타내게 된다.

다이오드 정류기를 앞단에 사용하는 전력 변환 시스템에서 입력전류에 다량의 고조파가 발생하여 이 고조파에 의한 많은 문제가 대두됨에 따라 고조

파 규제지침이 출현하게 되었으며, 최근 선진 각국에서는 각종 장비에 이러한 지침을 적용하는 단계에 이르렀다. 이러한 고조파를 저감하는 대표적인 기술이 PWM 스위칭 기술, 부스트 컨버터에 의한 역률 개선, 전류주입에 의한 고조파 저감 등이 있다.^[1]

본 논문에서는 부스트 컨버터의 역률 개선을 위한 기술로 고속 스위칭 상태에서의 스위칭 손실의 저감을 시키기 위해 Flying Capacitor 스너버가 적용된 것을 제안하고 있다. 제안된 컨버터의 구성은 하나의 스위치를 가지는 일반적인 부스트 컨버터에 Flying Capacitor 스너버를 추가한 형태이며, 스너버는 한 개의 인덕터, 두 개의 다이오드, 한 개의 캐패시터로 구성되어 있다. 단상 스위칭모드 부스트 컨버터와 제안된 컨버터의 PSPICE 시뮬레이션을 통하여 두 컨버터의 특성을 비교 분석을 하고 있으며, 제안된 컨버터가 스위칭 주파수에 따른 주목할만한 효율 향상을 보여준다.

2. 본론

2.1 제안된 부스트 컨버터의 회로 구성

그림 1은 널리 알려진 단상 스위칭모드 부스트 컨버터를 나타내고 있다. 컨버터의 스위칭 주파수의 증가는 스위칭 손실의 증가로 나타나고 또한, 고조파를 함유한 왜곡된 전류는 역률 감소와 효율의 저하로 나타난다.

이러한 스위칭 손실을 줄이면서 원하는 출력을 얻기 위하여 부스트 컨버터에서 요구되는 사항을 만족하는 새로운 형태의 부스트 컨버터를 제안하며, 이 구성을 그림 2에 나타내었다.^{[2]-[4]} 그림 1과 구성요소를 간단히 비교해 보면 회로의 역률을 개선하기 위해 L_s , C_s , D_1 , D_2 가 새롭게 추가한 것이다.

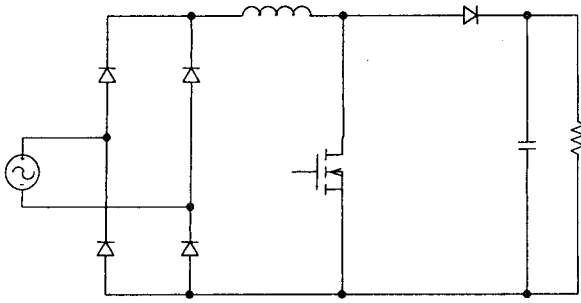


그림 1. 단상 부스트 컨버터

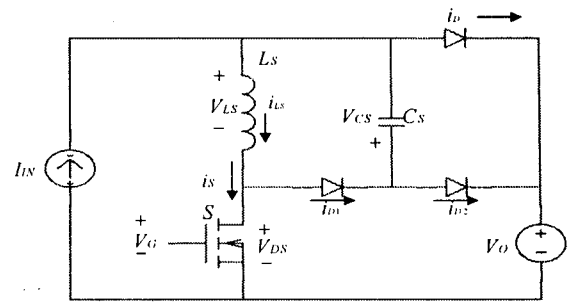


그림 4. 간략화 한 등가회로

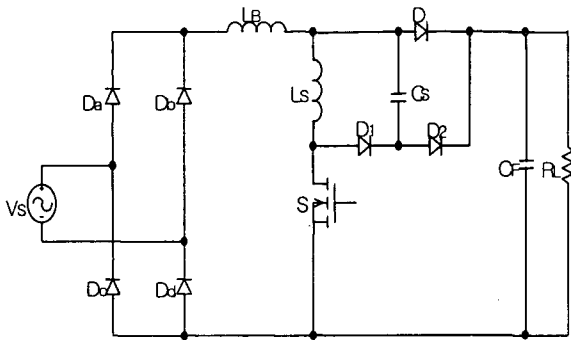


그림 2. 제안된 부스트 컨버터

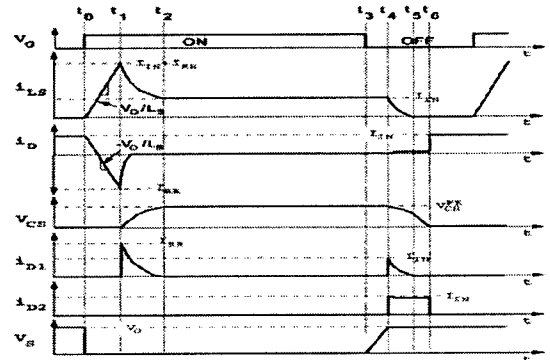


그림 5. 각 부의 이론적인 파형

2.1.1 제안된 컨버터의 등가회로

회로의 동작 설명을 간단하게 하기 위하여 그림 2의 회로에서 교류 입력전압의 정류된 직류전압이 일정하다고 가정하여 그림 3과 같이 등가회로로 나타내었다. 또, 그림 3에서 컨버터의 동작 설명을 간단하게 하기 위해, $L_B \gg L_S$ 로 가정하여 부스트 인덕터 L_B 와 입력전압원 V_{IN} 은 정격 전류원 I_{IN} 으로 대략 대치하였고, 출력전압이 정규화 된다고 가정하여 출력 캐패시터 C_F 가 정격전압원 V_O 로 대치되어 그림 4와 같이 간단한 등가회로를 구성할 수 있다. 추가로 스너버 다이오드 D_1, D_2 는 이상적인 것이라 가정하였다.(접합 캐패시터는 무시되었다.) 다이오드 D 의 접합 캐패시터 C_J 는 무시되지 않았고 스너버 캐패시터 C_S 보다 훨씬더 적은 값이라 가정하였다. 그림 5는 제안된 컨버터의 이론적 파형을 나타낸다.

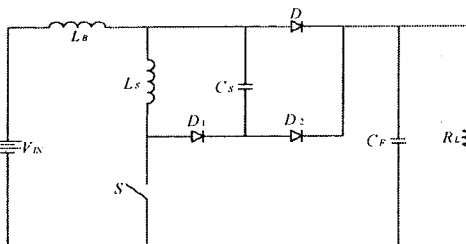


그림 3. 등가회로

2.1.2 제안된 컨버터의 동작모드

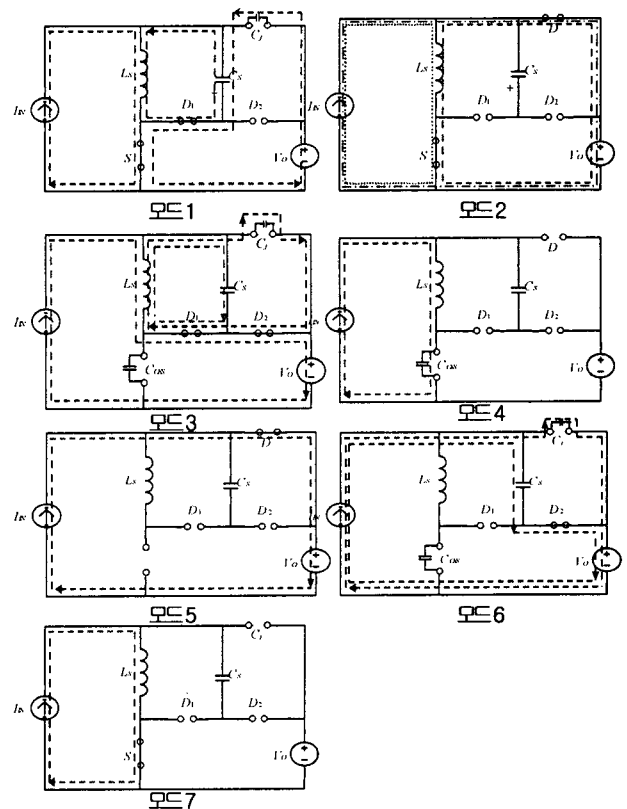


그림 6. 제안된 컨버터의 동작모드

[모드1] $t_0 < t < t_1$

$t=t_0$ 이전에 주 스위치 S는 오프되고, 다이오드 D는 온된다. 그리고 정류다이오드 전류 $I_D=I_{IN}$ 이다. D_1, D_2 는 오프상태이며, 스너버 캐패시터 C_S 와 교차되는 전압 V_{CS} 는 0에 가깝다. $t=0$ 에서 스위치 S는 턴온되고, 전압 V_{LS} 는 V_0 와 같고 전류 I_{IN} 은 다이오드 D에서 스위치 S로 V_0/L_S 의 비율로 전류되기 시작한다.

[모드2] $t_1 < t < t_2$

$t=t_1$ 에서 다이오드 D는 역전류의 피크값 $-I_{RR}$ 에서 턴온되고, 스위치 전류 i_S 는 $I_{IN}+I_{RR}$ 과 같다. 스너버 다이오드 D_1 은 턴온이 되고, $t_1 < t < t_2$ 동안 역회복 에너지는 캐패시터 C_S 와 C_j 와 공진하는 인덕터 L_S 에 저장되어, 전압 V_{CS} 를 증가시키는 원인이 된다.

[모드3] $t_2 < t < t_3$

$t=t_2$ 에서, 스너버 캐패시터 C_S 의 맞은편 전압 V_{CS} 는 그것의 피크값인

$$V_{CS}^{PK} = I_{RR} \sqrt{L_S / C_S}$$

도달하게 되고, 다이오드 D_1 턴오프 되고 전류 $i_{LS}=i_S=I_{IN}$ 이다. $t_2 < t < t_3$ 동안 D와 스너버 다이오드 D_1, D_2 는 오프를 유지하고, 전하는 C_S 에 저장된다.

[모드4] $t_3 < t < t_4$

$t=t_3$ 에서, 주 스위치 S는 턴오프 되고, $t_3 < t < t_4$ 동안 인덕터 L_S 는 주 스위치의 출력 캐패시터 C_{OSS} 와 공진되고, 전압 V_{DS} 를 증가시키는 원인이 된다.

[모드5] $t_4 < t < t_5$

$t=t_4$ 에서, 드레인-소스전압 $V_{DS}=V_0$ 이고, 스너버 다이오드 D_1, D_2 는 턴온, 출력전압은 고정된다. 이 기간동안, 전류는 인덕터 L_S 와 캐패시터 C_S 사이의 에너지 이동 손실을 추정하면

$$\begin{aligned} i_S &= I_{IN} - V_{CS} / \sqrt{L_S / C_S} \sin(\omega_0 t) \\ &= I_{IN} - I_{RR} \sin(\omega_0 t) \end{aligned}$$

여기서 $\omega_0 = 1 / \sqrt{L_S (C_S + C_j)}$.

[모드6] $t_5 < t < t_6$

$t=t_5$ 에서, 전류 i_{D1} 은 영이 되고, 스너버 다이오드 D_1 은 턴오프 된다. 입력 전류 I_{IN} 은 $t=t_6$ 에서 다이오드 D_2 가 턴오프되고 다이오드 D가 턴온 될 때까지 캐패시터 C_j 와 C_S 에 같은 비율로 방전한다.

[모드7] $t_6 < t < t_0$

$t=t_6$ 에서 전하는 캐패시터 C_S 로부터 완전히 제거

되고, 스너버 다이오드 D_1, D_2 는 off되며, L_S 의 에너지는 0이 된다. 결과적으로 입력 전류 I_{IN} 은 다음 스위칭 주기가 시작될 때까지 다이오드 D를 통해 흐르게 된다.

2.2 시뮬레이션

실제 시스템 제작하기 전에 회로동작의 검증과 특성을 알아보기 위하여 PSPICE 프로그램을 사용하여 시스템의 출력을 확인하였으며, 사용한 시뮬레이션 조건은 표 1과 같다.

표 1 부스트 컨버터의 파라미터
Table 1 Parameters of the boost converter.

Items	Parameters
AC 공급전압(V_S)	220V, 60Hz
DC 출력전압(V_0)	400V
스위칭주파수(f_s)	100kHz
출력전력(P_0)	500W
L_B	1.5mH
L_S	1.5uH
C_S	6.8nF
C_F	1000uF

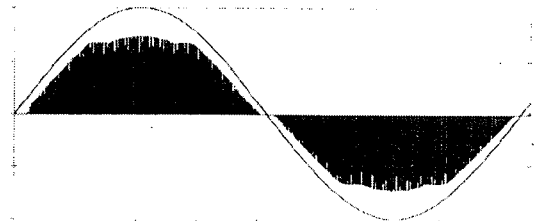


그림 7. 입력 전압과 입력전류 파형

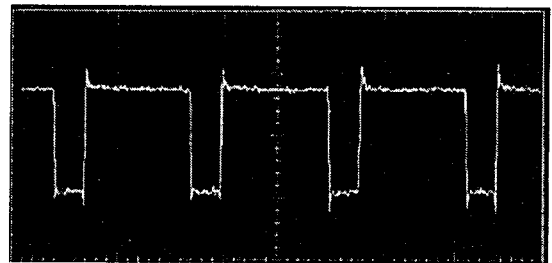


그림 8. V_{CS} 의 파형

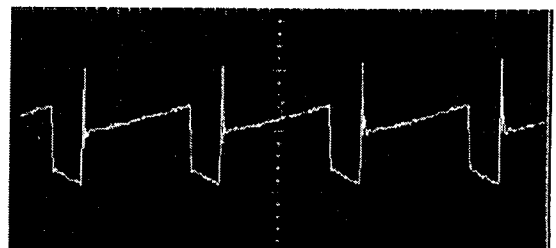


그림 9. I_{LS} 의 파형

그림 7은 입력전압과 입력전류의 파형이다. 여기서 역률이 거의 1임을 확인할 수 있다.

그림 8과 그림 9은 V_{LS} 와 I_{LS} 의 파형을 보여주고, 이것은 두 개의 스너버 정류 다이오드의 역회복과 관련된 손실은 주 스위치의 하락에 기여하고 있다는 것을 보여준다. 입력전류의 대부분은 오프 시간 동안 D_2 를 통하여 흐르고, D 의 온도가 감소되는 동안 D 의 온도가 상승하는지를 설명해 준다.

3. 결 론

본 논문에서는 단상 부스트 컨버터의 고속 스위칭 상태에서의 전력 손실 저감의 새로운 기술을 제안하였다. 이 컨버터는 스위칭 손실을 저감시켜 전체 시스템의 효율을 향상시키며, 제안된 방법은 시뮬레이션을 통하여 증명하였다.

빠른 회복형 부스트 컨버터의 역회복에 관련된 손실을 줄이기 위해 부스트 컨버터에 적용한 Flying Capacitor 스너버는 설계가 단순하고, 몇 개의 추가 구성요소로 구성되어있고, 향상된 시스템의 효율을 제공할 수 있다.

이 연구를 토대로 실제 회로를 구성, 실험을 통해 증명을 하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 최세완, "전류주입에 의한 고조파 저감기술의 개발동향", 전력전자학회지, Vol. 6. No. 1, pp. 30-36, 2001.
- [2] 전내석, "PFC용 부스터 컨버터의 효율 개선에 관한 연구", 대한전기학회 하계 논문집, pp. 1094-1096, 2002.
- [3] H. Levy, I. Zafrany, G. Ivensky and S. Ben-Yaakov, "Analysis and evaluation of a lossless turn-on Snubber", IEEE Applied Power Electronics Conf. (APEC) Proc., pp. 757-763, Feb. 1997.
- [4] A. Pietkiewicz and D. Tollik, "Snubber circuit and mosfet paralleling considerations for high power boost-based power-factor correctors", International Telecommunication Energy Conf. (INTELEC) Proc, pp. 44-45, Oct. 1995.
- [5] I.D. Jitaru, "Soft transitions power factor correction circuit", Proc. High-Frequency Power Conversion Conf. (HFPC), pp. 202-208, May 1993.
- [6] Y. Khersonsky, M. Robinson, and D. Gutierrez, "New fast recovery diode technology cuts circuit losses, improves reliability", Power Conversion & Intelligent Motion(PCIM) Magazine, pp. 16-25, May 1992.
- [7] 김희준, "스위칭 전원의 기본 설계", 성안당, pp. 319-345, 2002.