

논문 2006-43SC-1-7

새로운 무손실 스너버에 의한 PWM-PFC 스텝-업 컨버터

(PWM-PFC Step-Up Converter For Novel Loss-Less Snubber)

곽 동 결*, 이 봉 섭**, 정 도 영**

(Dong-Kurl Kwak, Bong-Seob Lee, and Do-Young Jung)

요 약

본 논문에서는 새로운 무손실 스너버 회로를 설계하여 적용한 PWM-PFC 스텝-업 컨버터에 대해 제안한다. 제안된 컨버터는 전류불연속 제어모드에 의해 제어회로 구성이 간단하고 회로 구성소자의 용량을 줄일 수 있다. 또한 입력전류는 스위치의 듀티율 일정제어에 의한 교류 입력전압의 크기에 비례한 불연속적인 펄스열의 정현파상으로 된다. 그 결과 입력역률은 거의 단위역률로 주어지고 듀티율 일정제어에 의해서 제안된 컨버터는 제어방법이 간단하게 된다. 일반적으로 입력전류 불연속제어에 의한 컨버터의 경우, 사용된 스위치의 턴-온 동작은 영전류 스위칭으로 되는 장점이 있지만, 스위치의 턴-오프 동작은 최대 전류에서 스위칭되어 스위칭 손실을 증대시키고 스위치의 과중한 스트레스를 가져오게 된다. 이것은 컨버터의 효율을 저하시키는 요인이다. 본 논문에서는 부분공진 회로로 동작되는 새로운 무손실 스너버 회로를 설계하여 스위치들의 턴-온, 턴-오프 동작을 소프트 스위칭으로 만들어 컨버터의 효율을 더욱 증대시킨다. 제안된 PWM-PFC 스텝-업 컨버터는 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 타당성이 입증된다.

Abstract

In this paper, authors propose a step-up converter of pulse width modulation (PWM) and power factor correction (PFC) by using a novel loss-less snubber. The proposed converter for a discontinuous conduction mode (DCM) eliminates the complicated circuit control requirement and reduces the size of components. The input current waveform in the proposed converter is got to be a sinusoidal form of discontinuous pulse in proportion to magnitude of ac input voltage under the constant duty cycle switching. Thereupon, the input power factor is nearly unity and the control method is simple. In the general DCM converters, the switching devices are turned-on with the zero current switching (ZCS), and the switching devices must be switched-off at a maximum reactor current. To achieve a soft switching (ZCS and ZVS) of the switching turn-off, the proposed converter is constructed by using a new loss-less snubber which is operated with a partial resonant circuit. The result is that the switching loss is very low and the efficiency of converter is high. Some simulative results on computer and experimental results are included to confirm the validity of the analytical results.

Keywords: Loss-less snubber, PFC, Soft switching, DCM, Step-up converter

I. 서 론

AC를 DC로 변환하는 전력변환 장치에서 정류회로는 일반적으로 콘덴서 입력형 정류회로를 많이 사용한다.

* 정희원, 한중대학교 전기전자공학과
(Dept. of Electrical and Electronic Engineering,
Hanzhong University)

** 정희원, 삼척대학교 컴퓨터제어계측공학과
(Dept. of Computer and control Engineering,
Samcheok University)

접수일자: 2005년8월3일 수정완료일: 2006년1월4일

이러한 회로의 입력전류는 입력전압의 피크부분에서 흐르는 펄스형으로 되어 입력역률이 낮으며 많은 고조파 성분이 포함된 전류로써 전원계통에 나쁜 영향을 주게 되어 큰 사회적 문제로 된다. 이러한 관점에서 최근 정류회로의 역률개선, 고조파 제어 등의 파형개선에 관한 연구들이 활발히 진행 중이다. 특히 입력단 정류회로에 스텝-업 초퍼를 접속하여 입력전류를 정현파상으로 제어하여 파형개선을 이루고 입력역률을 증대시키는 역률개선용(PFC) 컨버터들이 많이 연구된다^{[1]~[3]}.

기존에 많이 사용되는 역률개선용 PWM 스텝-업 컨

버터는 그림 1과 같이 에너지 축적용 인덕터 L 을 이용하여 스위치의 PWM 제어에 의해 실현된다. PWM 제어에 의해 스텝-업 인덕터에 흐르는 전류는 연속모드(CCM: Continuous Conduction Mode) 또는 불연속모드(DCM)로 제어된다.

전류불연속 모드 제어방식은 인덕터 전류를 불연속으로 제어하는 방식으로 스위치의 듀티율 일정제어에 의해 정현파 입력전압의 크기에 비례한 불연속적인 펄스열의 정현파상으로 만들어 역률을 개선시킨다. 또한 전류불연속 제어에 의한 구성소자의 용량을 감소시키고 듀티율 일정제어에 의해 제어회로와 제어방식이 간단한 장점이 주어진다^{[3][4]}.

또한 전류불연속 제어에 의한 컨버터에 있어, 사용된 제어스위치의 턴-온 동작은 인덕터 전류 i_L 가 영전류에서 스위칭되어 스위칭 손실이 없으나, 스위치의 턴-오프 동작은 스위칭 시점의 최대 인덕터 전류에서 동작되는 하드 스위칭(hard switching)으로 되므로 스위칭 주파수의 증가와 더불어 스위치 스트레스와 손실이 증대되는 문제점이 있다. 이를 보완하기 위해 일반적으로 스위치 양단에 그림 1과 같이 스너버(snubber) 회로를 사용하여 스위치를 보호하지만 이에 상당한 스너버 손실로 인한 컨버터의 효율을 감소시키는 요인이 된다.

이를 개선하기 위해 제어스위치 주위에 공진회로를 적용한 소프트 스위칭 즉, ZVS(zero voltage switching) 또는 ZCS로 스위치를 동작시키는 회로 토폴로지들이 많이 연구되고 있다^{[4]~[7]}. 그 결과 전력변환기는 스위칭 손실이 감소되어 변환기의 효율을 증대시킨다. 그러나 이들 소프트 스위칭 회로들은 변환기의 스위치 단에 공진회로의 기법을 적용시킨 것으로 사용된 리액터 및 제어소자의 수가 증가하고 스위칭 시퀀스와 제어방식이 복잡한 문제점이 나타난다^{[4][6][7]}.

본 논문에서는 기존 컨버터의 스위치 보호용으로 이용되는 스너버 회로를 공진회로로 설계한 새로운 무손실 스너버 회로를 제안하여 제어스위치들의 소프트 스

위칭을 이룬다. 이는 컨버터의 회로구성을 간소화시키고 효율을 증대시킨다. 그리고 제안된 컨버터는 제어스위치들의 듀티율 일정제어에 의한 입력전류 불연속모드로 동작되어 제어회로와 제어방식이 간단하고, 공진회로는 지속적인 공진동작이 아닌 스위칭 동작에서 부분적인 공진동작을 가지게 되어 공진소자들의 용량분담과 스트레스를 저감시키는 장점이 있다. 더욱이 공진소자로 이용되는 무손실 스너버 콘덴서는 축적된 에너지를 입력측으로 유입시켜 입력전류를 상승시킨다. 이것은 기존의 PFC 컨버터에 비해 고조파 저감과 입력역률을 더욱 증대시키는 효과를 가진다.

II. 제안된 PWM-PFC 스텝-업 컨버터

1. 회로구성 및 검토

기존의 PWM-PFC 스텝-업 컨버터[그림 1]에서 나타나는 효율감소의 문제점을 해결하고 더욱 높은 역률을 얻을 수 있는 제안된 컨버터를 그림 2에 나타낸다.

회로구성은 기존의 PFC 컨버터의 입력측과 부하측 사이에 스텝-업과 소프트 스위칭(ZCS, ZVS)을 위한 공진회로부를 접속한다. 공진회로부는 스텝-업 인덕터 L_r 와 기존의 스위치 보호용으로 이용되는 스너버 회로의 스너버 콘덴서 C_r 와 제어소자들로 구성된다.

제안된 컨버터는 PWM제어에 의해 출력전압이 조정되고, 듀티율 일정 스위칭 제어에 의한 전류불연속 모드로 동작되어 인덕터 전류는 정현파 입력전압의 크기에 비례한 불연속적인 펄스열의 정현파상으로 되어 역률을 개선시킨다. 그리고 사용된 제어스위치 S_1 , S_2 의 턴-온, 턴-오프 동작은 소프트 스위칭으로 되어 변환기의 효율을 증대시킨다.

공진용 소자로 이용된 스너버 콘덴서 C_r 는 축적된 에너지를 손실 없이 입력측으로 유입시켜 무손실 스너버 콘덴서로 동작되고 입력전류를 상승시키게 된다. 그 결과 입력전류의 고조파 성분이 감소되어 더욱 역률을 증

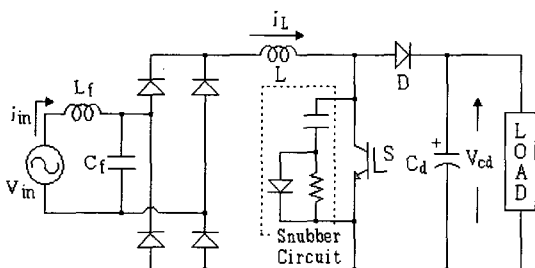


그림 1. 기존의 PWM-PFC 스텝-업 컨버터
Fig. 1. A conventional PWM-PFC step-up converter.

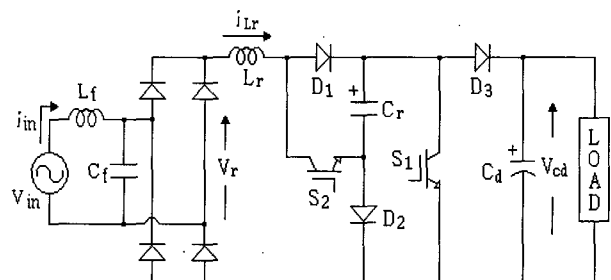


그림 2. 제안된 PWM-PFC 스텝-업 컨버터
Fig. 2. A proposed PWM-PFC step-up converter.

대시키는 특징을 가진다.

2. 동작모드별 회로해석

출력 부하측 인덕턴스가 공진용 인덕턴스와 비교하여 충분히 큰 것으로 가정하면, 공진 1주기 동안에는 부하를 정전류원 I_o 로 보는 것이 가능하다. 그림 3은 스위칭 1주기(T_c)에 대한 동작모드별 등가회로를 나타내고 있으며 5가지 동작모드로 구분된다.

교류 입력전압 v_{in} 과 다이오드 전파정류기의 출력전압 v_r 은 다음 식으로 놓는다.

$$v_{in} = V_m \sin \omega_s t \quad (1)$$

$$v_r = |v_{in}| = |V_m \sin \omega_s t| \quad (2)$$

초기상태와 공진모드 I ($T_1 = t_1 - t_0$)

공진회로부의 초기조건으로 스위치 S_1, S_2 는 오프이며 공진용 콘덴서 C_r 에는 평활용 콘덴서 C_d 의 전압 V_{cd} 로 충전되어 있다.

시각 t_0 에서 스위치 S_1 과 S_2 를 동시에 턴-온하면, 회로경로는 $v_r + L_r - S_2 - C_r - S_1 - v_r -$ 의 직렬공진 회로가 형성된다. 스위치 턴-온 직전의 인덕터 L_r 에 흐르는 전류 i_{Lr} 는 영이므로 S_1, S_2 는 ZCS로 동작된다. 그리고 공진에 의해 정류기 출력전압 v_r 과 콘덴서 충전전압 V_{cr} 와 의 합이 인덕터 L_r 에 인가되고 콘덴서 C_r 는 방전한다.

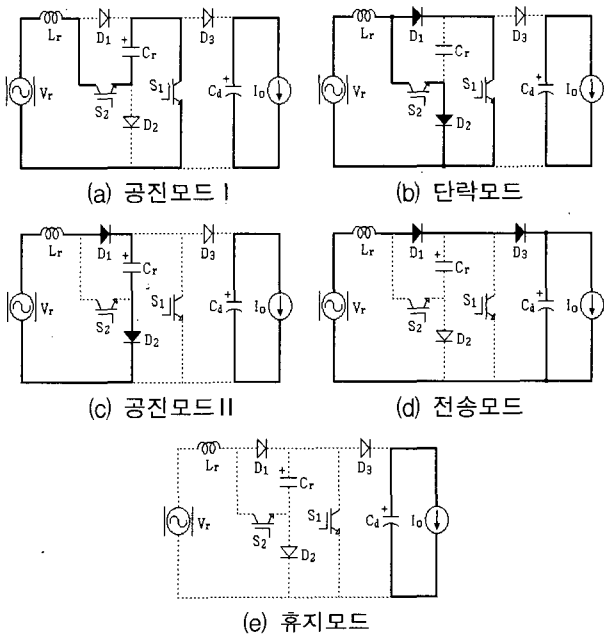


그림 3. 스위칭 1주기에 대한 동작모드별 등가회로
Fig. 3. Equivalent circuits of operating modes in one cycle switching.

공진 인덕터의 저항을 무시하면, 콘덴서의 전압 v_{cr} 는 식 (3)과 같이 방전하고 인덕터에 흐르는 전류 i_{Lr} 는 식 (4)와 같이 증가한다. 콘덴서 전압이 영으로 되면 공진 모드 I은 끝나며 식 (5)는 이 모드가 끝나는 시점의 인덕터 전류이다.

$$v_{cr} = (v_r + V_{cd}) \cos \omega_r t - v_r \quad (3)$$

$$i_{Lr} = \frac{v_r + V_{cd}}{X} \sin \omega_r t \quad (4)$$

$$I_1 = \frac{1}{X} \sqrt{V_{cd}^2 + 2v_r V_{cd}} \quad (5)$$

여기서, $\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}}$, $X = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}}$ 이다.

단락모드($T_2 = t_2 - t_1$)

단락모드는 콘덴서 전압 v_{cr} 이 영으로 되어 다이오드 D_1, D_2 가 도통되는 모드이다. 제어스위치들에 의한 단락 회로가 형성되어 인덕터 L_r 의 전류는 $D_1 - S_1, S_2 - D_2$ 의 두 회로로 분류된다. 이 모드의 기간에서 인덕터 L_r 는 에너지를 축적하며 인덕터 전류 i_{Lr} 는 식 (6)과 같이 직 선적으로 증가한다. 식 (7)은 이 모드가 끝나는 시점의 인덕터 전류이다.

$$i_{Lr} = \frac{v_r}{L_r} t + I_1 \quad (6)$$

$$I_2 = \frac{v_r}{L_r} T_2 + I_1 \quad (7)$$

공진모드 II ($T_3 = t_3 - t_2$)

시각 t_2 에서 스위치 S_1, S_2 를 오프하면, 인덕터 전류 i_{Lr} 는 $D_1 - C_r - D_2$ 를 통하여 흐르고 인덕터 L_r 와 콘덴서 C_r 는 다시 직렬공진을 하여 C_r 를 충전시킨다. 콘덴서 C_r 와 병렬로 배치된 스위치들의 턴-오프 동작은 공진초기에 콘덴서의 전압이 영이므로 ZVS로 동작된다. 이 모드에서의 콘덴서 전압 v_{cr} 은 식 (8)과 같으며, 인덕터 L_r 에 흐르는 전류 i_{Lr} 는 식 (9)와 같다. 콘덴서의 전압 v_{cr} 이 출력전압 V_{cd} 로 될 때 이 모드는 끝나며, 인덕터의 최종전류 I_3 는 식 (10)과 같다.

$$v_{cr} = v_r + \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} I_a \sin(\omega_r t + \theta) \quad (8)$$

$$i_{Lr} = I_a \cos(\omega_r t + \theta) \quad (9)$$

$$I_3 = I_2 \cos \omega_r T_3 + \sqrt{\frac{C_r}{L_r}} v_r \sin \omega_r T_3 \quad (10)$$

여기서,

$$\theta = \sin^{-1}\left(-\frac{v_r}{\sqrt{v_r^2 + \frac{L_r}{C_r} I_2^2}}\right), \quad I_a = \sqrt{\frac{C_r}{L_r} v_r^2 + I_2^2} \text{ 이다.}$$

전송모드($T_4 = t_4 - t_3$)와 휴지모드($T_5 = t_5 - t_4$)

콘덴서 C_r 의 충전이 끝난 후 다이오드 D_3 를 통하여 인덕터 L_r 의 전류는 부하측으로 전송되고 인덕터 전류 i_{Lr} 는 직선적으로 감소한다. 이 모드에서 인덕터 전류는 식 (11)과 같으며, 전송모드는 인덕터 전류가 영이 되면 끝나고 휴지모드로 접어든다. 휴지모드에서 콘덴서 전압 v_{cr} 은 출력전압 V_{cd} 에 상응한 값으로 충전된 초기상태와 같으며, 다음의 제어스위치 턴-온 동작에 대기한다.

$$i_{Lr} = \frac{v_r - V_{cd}}{L_r} t + I_3 \quad (11)$$

$$v_{cr} = V_{cd} \quad (12)$$

III. 시뮬레이션 동작파형 및 검토

제안한 PWM-PFC 스텝-업 컨버터의 동작특성을 확인하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션에 사용된 회로정수들을 표 1에 나타낸다.

제어스witch는 가변저항 스위치로 가정하고 그 외 소자는 이상적인 소자로 간주하였다. 제안된 컨버터의 스위칭 동작에 대한 각부의 시뮬레이션 동작파형을 그림 4와 그림 5에 나타낸다. 그림 4에는 공진회로의 인덕터

표 1. 시뮬레이션에 사용된 회로정수
Table 1. Parameters of simulated circuit.

입력전압 $v_{in}(rms)$	100V, 60Hz
공진 인덕터 L_r	60 μ H
공진 콘덴서 C_r	90nF
평활용 콘덴서 C_d	1000 μ F
필터 인덕터 L_f	3mH
필터 콘덴서 C_f	5 μ F
부하저항 R_L	100 Ω
스위칭 주파수 f_c	40kHz
듀티율 $D_c(T_{on}/T_c)$	20%

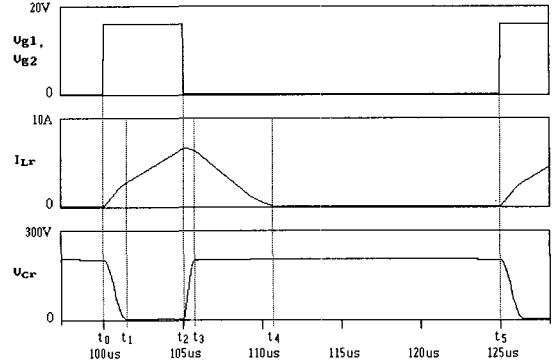


그림 4. 스위칭 동작에 대한 공진회로 시뮬레이션 파형
Fig. 4. Simulation waveforms of resonant circuit with switching operation.

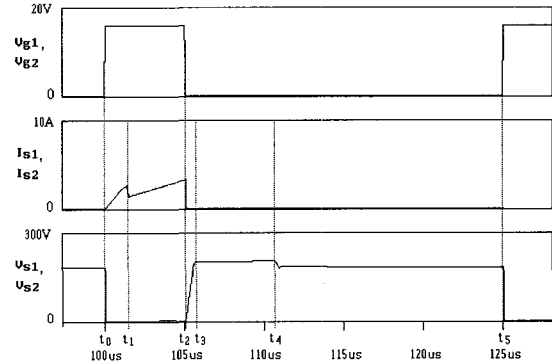
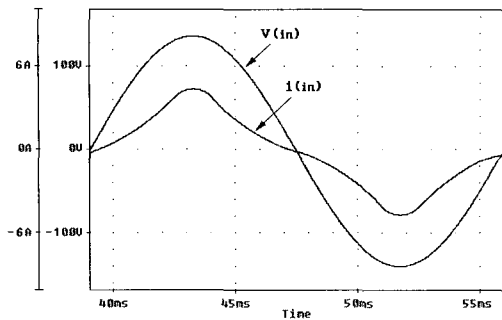


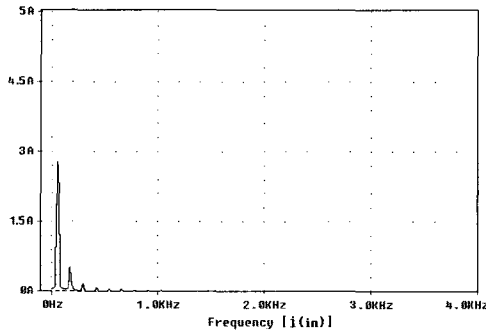
그림 5. 제어스위치의 시뮬레이션 파형
Fig. 5. Simulation waveforms of controlled switch.

전류 i_{Lr} 와 콘덴서 전압 v_{cr} 을 스위칭 1주기에 대해 각 모드별로 나타내며, 그림 5는 제어스위치의 양단전압 v_{s1}, v_{s2} 와 전류 i_{s1}, i_{s2} 동작파형을 나타낸다. 시뮬레이션 결과파형에서 공진회로는 공진 1주기 동안 지속적으로 이루어지지 않고 스위치의 턴-온과 턴-오프에서 부분적인 공진동작을 볼 수 있으며, 이러한 동작에 의해 공진소자들의 용량분담과 스트레스를 줄인다.

결과파형을 검토해보면, 시각 t_0 에서 스위치 S_1, S_2 를 턴-온하면 LC 직렬 공진회로에 의한 콘덴서 C_r 이 방전을 시작하고 인덕터 L_r 는 에너지를 축적하게 된다. 이 시점에서의 스위치 S_1, S_2 를 흐르는 전류 i_s 는 인덕터 전류 i_{Lr} 와 같으므로 스위치들은 ZCS로 동작된다. 시각 t_1 에서 콘덴서 전압 v_{cr} 이 영으로 되면 제어소자들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터 L_r 의 전류는 직선적으로 증가하며 에너지를 축적한다. 이 시점의 인덕터 전류는 스위치 S_1 과 S_2 로 분류된다. 시각 t_2 에서 스위치를 오프하면 다시 LC 직렬 공진회로에 의한 콘덴서 C_r 이 충전을 시작한다. 그리고 이 시점에서의 스위치 S_1, S_2 양단전압은 콘덴서 전압과 같으므로 스위치들은 ZVS로



(a) 입력전압 v_{in} 과 입력전류 i_{in}



(b) 입력전류 i_{in} 의 주파수 스펙트럼

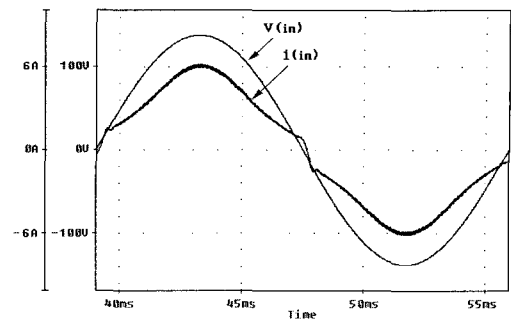
그림 6. 기존의 PFC 스텝-업 컨버터에 대한 파형분석
Fig. 6. Waveform analyses of conventional PFC step-up converter.

동작된다. 시각 t_3 에서 콘덴서 전압은 출력전압 V_{cd} 로 되고 인덕터 전류는 부하측으로 전송되어 직선적으로 감소하여 시각 t_4 에서 영으로 된다.

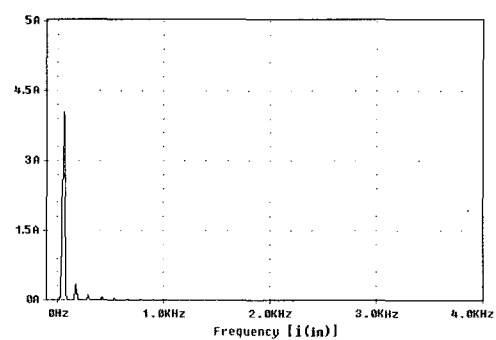
이상의 컴퓨터 시뮬레이션 결과들은 앞서의 이론적 해석의 타당성이 입증된다.

그림 6과 그림 7은 기존의 PFC 스텝-업 컨버터[그림 1]와 제안된 PFC 스텝-업 컨버터에 대해 동일한 회로정수 및 조건에서 측정한 입력전압과 입력전류 파형 그리고 입력전류에 대한 고조파 성분을 분석하기 위한 주파수 스펙트럼을 보인다. 그림 6에서 기존의 컨버터의 입력전류 파형이 제로 부근에서 감소된 것은 주파수 스펙트럼 분석에서 제3고조파 성분 및 저차 고조파 성분이 많이 포함된 것이라 할 수 있다. 그러나 제안된 PFC 스텝-업 컨버터는 공진용 스너버 콘덴서의 충전전류가 입력측으로 유입되어 인덕터에 인가되므로 그림 7처럼 입력전류는 제로 부근에서 상승된 형태를 보이며 더욱 정현파에 가깝다. 이를 설명하기 위해 기존의 컨버터와 제안된 컨버터의 스위칭 1주기(T_c)에 대한 인덕터 전류파형을 그림 8에 비교해서 나타낸다.

그림 8에서 제안된 컨버터는 시각 t_0 에서 제어스위치의 턴-온에 의해[공진모드 I] 공진용 스너버 콘덴서 C_r 의 초기 충전전압과 전원전압과의 합이 인덕터 L_r 에 인



(a) 입력전압 v_{in} 과 입력전류 i_{in}



(b) 입력전류 i_{in} 의 주파수 스펙트럼

그림 7. 제안된 PFC 스텝-업 컨버터에 대한 파형분석
Fig. 7. Waveform analyses of proposed PFC step-up converter.

가되므로, 기존 컨버터의 인덕터 전류보다 초과하여 나타나다. 기존의 컨버터의 경우 인덕터 전류는 완전 삼각파에 가깝지만, 제안된 컨버터는 전류 전단부(T_1)에서 상승된 공진전류를 가지고 초과분을 포함한 인덕터 전류로 된다. 그 결과 동일한 듀티율에서 제안된 컨버터는 기존의 컨버터보다 더욱 상승된 인덕터 전류로써 입력전류 i_{in} 의 파형개선의 효과가 있다. 이것은 전원주파수(60Hz)의 주기 내에 스위칭 주파수(40kHz)에 의해 인덕터 전류는 많은 펄스열의 정현파상으로 나타나게 된다. 이러한 해석적 결과로부터 제안된 컨버터의 입력전류가 기존의 컨버터보다 고조파 성분이 감소되고 입력역률이 증대된 시뮬레이션 결과가 얻어진다.

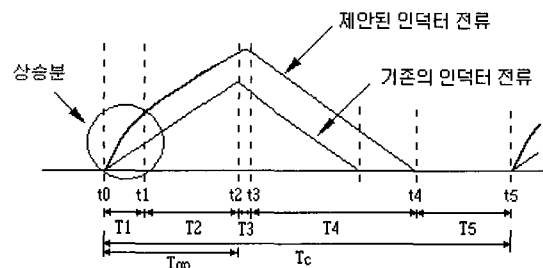


그림 8. 스위칭 1주기에 대한 인덕터 전류 파형비교
Fig. 8. Waveform comparison of inductor current in one cycle switching.

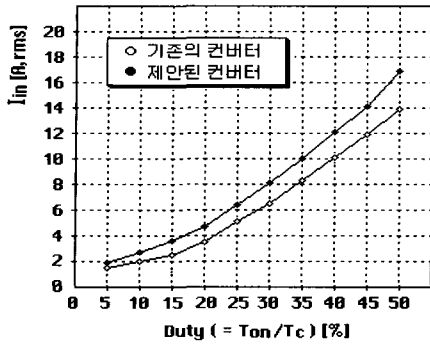


그림 9. 듀티를 변화에 대한 입력전류 기본파성분의 변화
Fig. 9. Relationship between fundamental component of input current and duty cycle.

그림 9에는 PWM에 의한 듀티율(Dc) 변화에 따른 입력전류 기본파성분 변화를 제안된 컨버터와 기존의 컨버터를 비교해서 나타낸다.

IV. 실험결과 및 검토

실험회로 구성은 전력용량 1[kW]급으로 하여 사용된 입력전원과 수동소자들의 변수들은 표 1에 주어진 값들을 기준하여 설계되었다. 제어스위치는 IGBT를 사용하고 다이오드는 고속역회복용으로 하였다. 제어스위치의 스위칭 주파수는 40[kHz]를 기준하여 DSP프로세서에 PWM 데이터 테이블을 작성하여 듀티율 변화에 따른 각부 동작파형들을 측정 검증하였다.

그림 10은 입력전원 주파수의 1주기에 대한 인덕터 전류 i_{Lr} 와 콘덴서 전압 v_{cr} 을 나타낸다. 여기서 인덕터 전류는 정현파와 입력전압의 크기에 비례한 불연속적인 펄스열의 정현파상으로 나타난다.

그림 11은 파형분석과 소프트 스위칭 동작을 확인하기 위해 듀티율 20[%]의 스위칭 1주기에 대한 인덕터 전류 i_{Lr} , 콘덴서 전압 v_{cr} , 스위치 전류 i_s 그리고 스위치 양단전압 v_s 을 나타낸다. 그림 11(a)에서 공진동작은 공

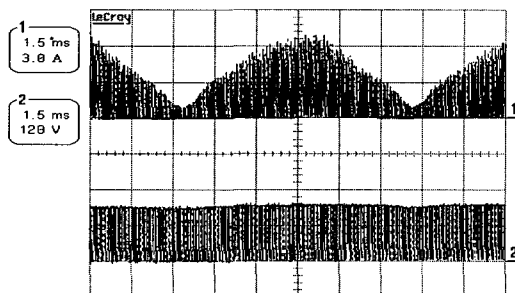
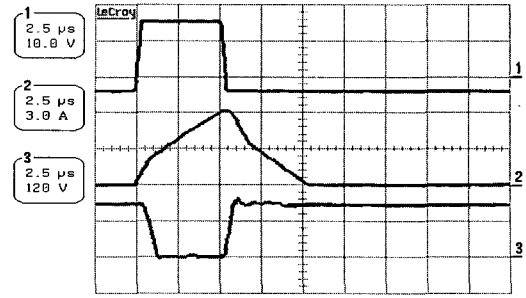
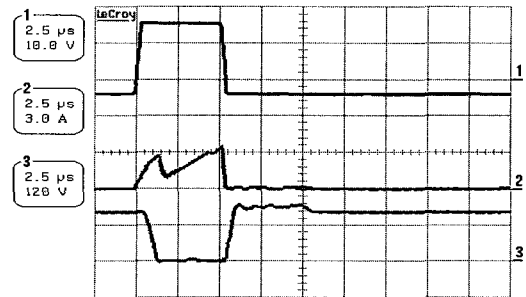


그림 10. 인덕터 전류 i_{Lr} 와 콘덴서 전압 v_{cr}
Fig. 10. Inductor current i_{Lr} and condenser voltage v_{cr} .



(a) 인덕터 전류 i_{Lr} 와 콘덴서 전압 v_{cr}



(b) 스위치 전류 i_s 와 스위치 양단전압 v_s

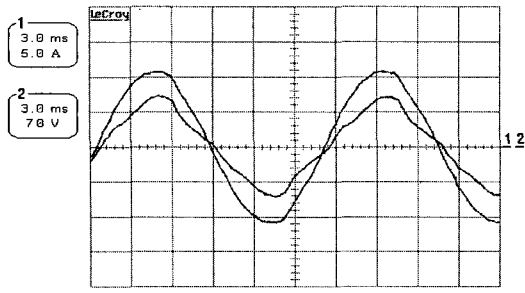
그림 11. 스위칭 1주기에 대한 각 부의 실험파형
Fig. 11. Experimental waveforms of each part in one cycle switching.

진 1주기 동안 지속적으로 이뤄지지 않고 스위치의 턴-온과 턴-오프에서 부분적인 공진동작을 보인다. 또한 그림 11(b)에서 제어스위치들은 공진동작에 의해 영전류에서 턴-온되고 영전압에서 턴-오프되는 소프트 스위칭 동작을 보인다. 이에 따른 스위칭 손실 감소로 컨버터는 고효율로 동작되었다.

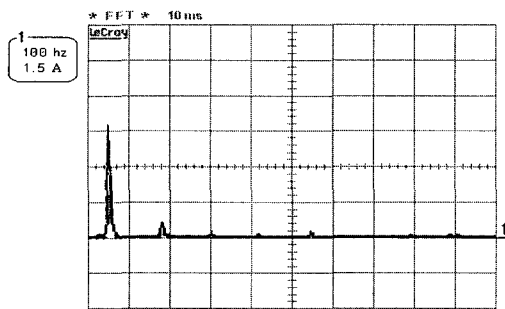
입력전류 파형을 분석하기 위해 그림 12와 그림 13에 PWM에 의한 듀티율 20[%], 듀티율 30[%]에 대한 입력 전압 v_{in} 과 입력전류 i_{in} 의 파형과 입력전류의 주파수 스펙트럼을 나타낸다. 그 결과 입력단 AC필터를 통한 입력전류는 거의 단위역률의 정현파로 주어졌다.

이상의 실험파형들은 앞서의 이론적 해석과 스위칭 주파수 40[kHz]에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과들과 잘 일치된다. 제안된 PFC 스텝-업 컨버터와 기존의 PFC 스텝-업 컨버터[그림 1]에 대한 PWM에 의한 듀티율 변화에 따른 입력역률의 변화를 그림 14에 나타낸다. 제안된 컨버터가 듀티율의 증가에 따른 높은 입력역률을 보인다. 이것은 공진용으로 사용된 스너버 콘덴서의 충전전류가 손실 없이 입력측으로 유입되기 때문이다.

그림 15는 제안된 컨버터와 기존의 컨버터에 대한 출력용량 변화에 따른 효율측정 비교를 나타낸다. 소프트 스위칭으로 동작되는 제안된 컨버터가 스너버 회로를

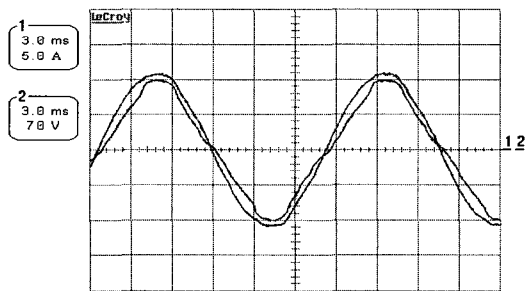


(a) 입력전압 v_{in} 과 입력전류 i_{in}

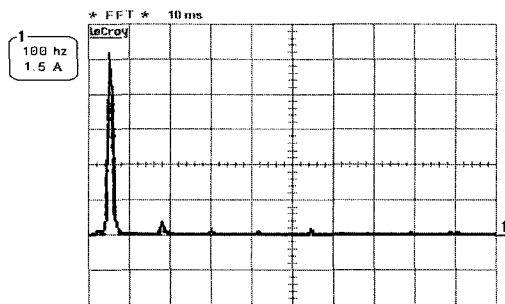


(b) 입력전류 i_{in} 의 주파수 스펙트럼

그림 12. 입력파형 및 주파수 스펙트럼(Dc=20%)
Fig. 12. Input waveform and frequency spectrum (Dc=20%)



(a) 입력전압 v_{in} 과 입력전류 i_{in}



(b) 입력전류 i_{in} 의 주파수 스펙트럼

그림 13. 입력파형 및 주파수 스펙트럼(Dc=30%)
Fig. 13. Input waveform and frequency spectrum (Dc=30%)

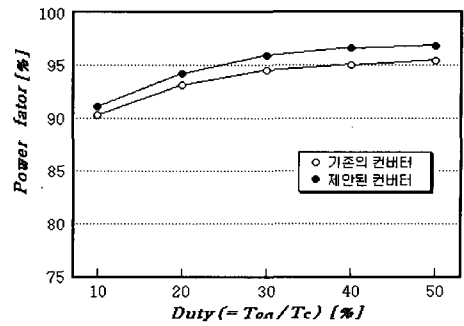


그림 14. 듀티율 변화에 대한 입력역률의 변화
Fig. 14. Relationship between input PF and duty cycle.

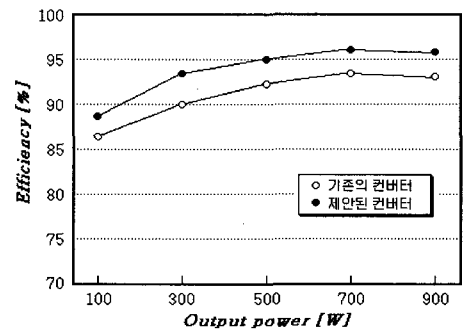


그림 15. 효율측정 비교
Fig. 15. Measured efficiency comparison.

장착한 기존의 컨버터보다 상당한 효율증대를 보였다. 이것은 기존의 컨버터의 경우 출력용량의 증가와 더불어 스너버 회로의 손실이 증대되었기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서는 새로운 무손실 스너버에 의한 PWM-PFC 스텝-업 컨버터를 제안하여 기존의 PFC 스텝-업 컨버터와 비교 검토하였다.

제안된 컨버터는 기존의 컨버터에 스위치 보호용으로 사용되는 스너버 회로를 소프트 스위칭을 위한 부분공진 회로로 설계한 새로운 무손실 스너버 회로를 제안하여, 회로구조가 간단하였으며 제어방식이 용이하였다. 그리고 소프트 스위칭에 의해 기존의 컨버터에 나타나는 스너버 손실이 없고 부분적인 공진동작에 의해 컨버터의 효율을 증대시켰다. 특히 출력용량의 증가와 더불어 기존의 컨버터와 비교해서 효율의 차이가 크게 나타났다. 또한 제안된 컨버터는 전류 불연속모드의 듀티율 일정 제어에 의해 입력전류를 정현파 입력전압의 크기에 비례한 불연속적인 펄스열의 정현파상으로 만들어 입력역률을 상승시켰으며, 특히 공진용 스너버 콘덴서의 축적된 에너지의 입력측 유입으로 인해 저차 고조파 성분이 감소되어 입력역률이 더욱 증대되었다.

참고 문헌

- [1] M. S. Dawande, and G. K. Dubey, "Programmable Input Power Factor Correction Method for Switch-Mode Rectifiers", IEEE Trans. on PE, Vol. 11, No. 4, pp. 585-591, 1996.
- [2] Q. Zhao, M. Xu, F. C. Lee, and J. Qian, "Single-Switch Parallel Power Factor Correction AC-DC Converters with Inherent Load Current Feedback", IEEE Trans. on PE, Vol. 19, No. 4, pp. 928-936, 2004.
- [3] W. Guo, and P. K. Jain, "A Low Frequency AC to High Frequency AC Inverter with Build-In Power Factor Correction and Soft-Switching", IEEE Trans. on PE, Vol. 19, No. 2, pp. 430-442, 2004.
- [4] D. Sadarnac, W. Abida, and C. Karimi, "The Double Discontinuous Mode Operation of a Converter: A method for soft switching", IEEE Trans. on PE, Vol. 19, No. 2, pp. 453-460, 2004.
- [5] D. K. Kwak, K. Y. Suh, S. K. Kwon, and H. W. Lee, "A High Efficiency DC-DC Boost Converter by Partial Resonant Switching Mode", Trans. KIEE. Vol. 45, No. 9, pp. 1272-1278, 1996.
- [6] I. Barbi, R. Gules, R. Redl, and N. O. Sokal, "DC-DC Converter: 4 Switch $V_{pk}=V_{in}/2$, Capacitive Turn-Off Snubbing, ZV Turn-On", IEEE Trans. on PE, Vol. 19, No. 4, pp. 918-927, 2004.
- [7] X. Ruan, Z. Chen, and W. Chen, "Zero-Voltage-Switching PWM Hybrid Full-Bridge Three-Level Converter", IEEE Trans. on PE, Vol. 20, No. 2, pp. 395-404, 2005.

저자 소개



곽 동 걸 (정회원)

1990년 경남대학교 전기공학과
공학사1993년 경남대학교 전기공학과
공학석사1997년 경남대학교 전기공학과
공학박사

1990년 한국전기연구원 고전압시험실 기술원
1997년 거창기능대학 전기계측제어과 전임강사
1998년~현재 한중대학교 전기전자공학과 조교수
<주관심분야 : PFC컨버터, 산업응용제어>



이 봉 섭 (정회원)

1991년 영남대학교 전기공학과
공학사1993년 영남대학교 전기공학과
공학석사1996년 영남대학교 전기공학과
공학박사

1996년~현재 삼척대학교 컴퓨터제어계측공학과
부교수

<주관심분야 : 공진인버터, DC-DC컨버터>



정 도 영 (정회원)

1981년 영남대학교 전기공학과 공학사

1984년 서울대학교 전기공학과 공학석사

1989년 영남대학교 전기공학과 공학박사

2000년~2003년 전력전자학회 강원지부장

1983년~현재 삼척대학교 컴퓨터제어계측공학과 교수

<주관심분야 : 전기기기제어, 방재설비 및 자동화시스템>