

부분공진 승압형 AC-DC 컨버터의 입력전류 해석

곽동길 이경진* 박점문* 이진호* 김영문** 이현우*

*경남대학교 **마산전문대학

Analysis of input current in a Boost AC-DC converter using the partial resonant method

Kwak Dong Kurl Lee Kyung Chin* Park Jum Mun*

Lee Jin Ho* Kim Young Mun** Lee Hyun Woo*

*KyungNam University **Masan College

Abstract

A boost converter proposed in this paper operates with high power factor due to input current of sinusoidal waveform. If there were no input LPF, the current is got to be discontinuous form in proportion to AC input voltage magnitude under the constant duty factor switching. Thereupon, the harmonics of input current waveform is reduced and the LPF is made with few elaboration and the control circuit is simple. The switching devices in proposed circuit are operated with soft switching by the partial resonant method. The partial resonant circuit makes use of a reactor using step-up and a capacitor of loss-less snubber. The result is that switching loss is very low and efficiency of system is high.

1. 서론

AC를 DC로 변환하는 전력변환 장치에서 정류회로는 일반적으로 병렬 콘덴서 입력형 정류회로가 많이 사용되어져 왔다. 이 회로의 입력전류는 입력전압의 피크부분에서 흐르는 펄스형으로 되어 입력역률이 낮고 또한 많은 고조파성분이 포함된 전류로써 전원계통에 악영향을 부여한다. 이러한 관점에서 현재 정류회로의 역할개선, 고조파 제어 등의 파형개선이 대단히 중요한 문제로 되어있다.^{(1),(2)}

본 논문에서는 정류회로에 부분공진형 승압용 AC-DC 컨버터를 접속하여 입력전류를 정현파상으로 제어해서 파형을 개선시켜 역률을 개선하는 새로운 토폴로지의 능동형 컨버터를 제안한다.^{(3),(4)}

또한 사용된 스위치의 제어는 듀티율 일정의 스위칭에 의해서 입력전압의 크기에 비례해서 입력전류가 불연속적으로 정현파상으로 되는 것이므로 제어방식이 간단하며, 스위치 턴온시는 제로전류 스위칭(ZCS)으로 되는 특징도 주어진다.⁽⁵⁾ 그리고 제안하는 컨버터에는 승압용 인덕터와 로스레스 스너버 콘덴서에 의한 부분공진의 기법이 적용된다. 그래서 스위치의 턴 오프 동작은 제로전압 스위칭(ZVS)으로 되어 저손실 스위칭 동작이 되며, 공진에 의해서 콘덴서에 축적된 전하는 전

원측으로 회생되므로 입력전류는 하드 스위칭 시 보다 고조파 성분을 감소시켜 왜형율을 감소시켜 준다.

2. 부분공진 승압형 AC-DC 컨버터의 회로구성

부분공진 승압형 AC-DC 컨버터의 주회로구성을 그림 1에 나타낸다. 회로의 구성은 정류회로와 직렬로 승압용 인덕터가 접속되며 병렬 가제어 소자 암 사이에 부분공진에 기여하는 로스레스 스너버 콘덴서가 접속된다.

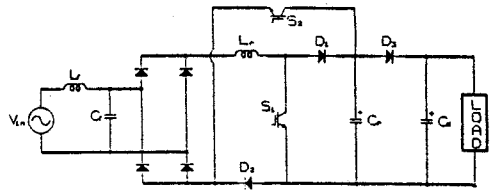


그림 1. 제안회로

3. 부분공진 회로부의 동작과 시뮬레이션

그림 1의 주회로에서 공진회로부의 초기조건으로 S_1, S_2 는 오프, C_r 에는 평활용 콘덴서 전압 V_{cr} 로 충전되어 있다. 구간 T1에서는 스위치 S_1, S_2 가 온하여 L_r, C_r 의 공진에 의한 C_r 이 방전하기 시작하며, 이때의 스위치들은 ZCS로 동작되고 $v_{cr}=0$ 으로 된다. 구간 T2에서는 전압과 가제어 소자들의 단락회로에 의해 인덕터 L_r 의 전류는 직선적으로 증가된다. 구간 T3는 스위치 S_1, S_2 의 오프에 의해 다시 공진회로가 형성되며 콘덴서 C_r 이 충전하기 시작하여 $v_{cr} > V_{cr}$ 로 된다. 이때의 스위치 동작은 ZVS이다. 구간 T4는 L_r 의 전류 i_{Lr} 이 부하측으로 유입 되는 구간이다. T_s 는 스위치 동작의 1주기를 나타낸다.

그림 2는 제안한 부분공진 회로부의 스위칭 한주기에 대한 각부 동작파형을 PSPICE로 시뮬레이션한 결과를 나타낸다. 제어스위치는 가변저항 스위치로 가정하고 그 외 소자들은 이상적인 것으로 하며, 시뮬레이션에 사용된 회로정수들을 표 1에 표시한다.

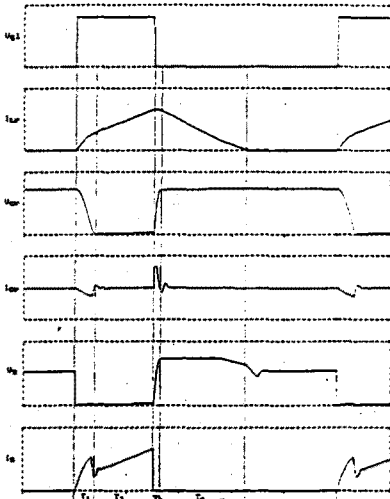


그림 2. 시뮬레이션에 의한 각부 파형

표 1 시뮬레이션에 사용된 회로정수

입력전압 V_{in}	AC 100V, 60Hz
출력전압 V_o	220V
필터 인덕터 L_r	3mH
필터 콘덴서 C_r	3 μ F
공진 인덕터 L_r	70 μ H
공진 콘덴서 C_r	100nF
부하전류원 I_L	3A
평활용 콘덴서 C_d	100 μ F
스위칭 주파수 f_s	20kHz
듀티율 D	30%

4. 입력전류 시뮬레이션과 파형해석

4.1 입력전류 시뮬레이션과 검토

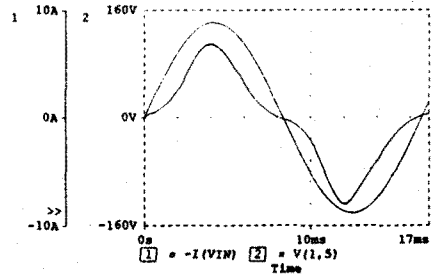
승압형 AC-DC 컨버터는 제어 스위치의 일정 듀티율에 의해 정현파 입력전압의 크기에 비례해서 입력전류가 정현파상으로 된다. 그림 3은 입력전압, 입력전류 파형으로 그림 3(a)는 관례적인 승압형 컨버터의 경우, 즉 하드 스위칭 때이고, 그림 3(b)는 본 제안의 소프트 스위칭 때이다.

그림 3(a)에서 입력전류가 제로 부근에서 감소된 것은 원리적으로 제3고조파 성분이 많이 포함된 것이라 할 수 있다. 그러나 제안회로에서는 공진용 스너버 콘덴서의 방전전류가 전원측으로 회생되어 입력전류의 제로 부근을 부스트 시키므로 파형이 정현파에 더욱 가깝게 된다. 그래서 본 방식은 저차 고조파 성분이 감소되어 왜형율이 개선되는 특징이 주어진다. 그림 4에는 주파수 스펙트럼 분석 결과를 나타낸다.

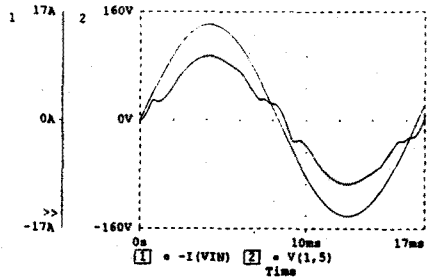
4.2 입력전류 파형해석

입력전류 파형을 해석하기 위하여 제안된 회로의 입력단 저역필터 (LPF)를 제거하고, 스위칭 한 주기에 대한 전류파형을 그림 5(a)에 나타낸다. 이것은 정류회로

와 직렬로 연결된 승압과 공진을 겸하는 인덕터 L_r 의 전류 i_{Lr} 와 일치한다. 해석을 도모하기 위하여 그림 5(b)에 공진용 스너버 콘덴서에 의한 초과된 전류량을 나타내고 그림 5(c)는 관례적인 하드 스위칭 시의 입력전류 파형을 표시한다.

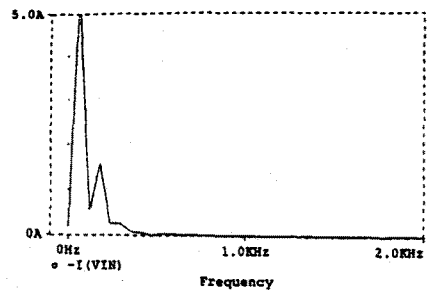


(a) 하드 스위칭시

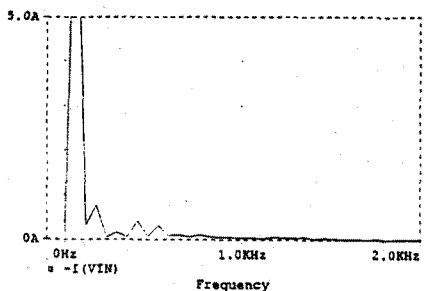


(b) 소프트 스위칭시

그림 3. 입력전압과 입력전류 파형



(a) 하드 스위칭시



(b) 소프트 스위칭시

그림 4. 입력전류 주파수 스펙트럼

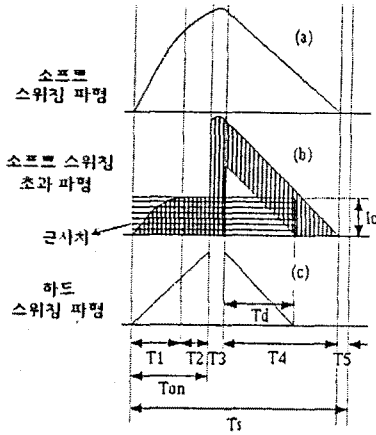


그림 5. 입력전류 해석파형

그림 4(c)의 하드 스위칭의 경우에서 전류파형은 완전한 삼각파로 생각할 수 있으며 전류 한 주기에 대해서 삼각파를 2m개로 하여 푸리에 급수를 취해 보면 식 (1)로 주어진다.

$$I_{im} = \frac{2}{T_s} \sum_{k=1}^{2m} \left\{ \frac{P_u}{\omega_n} (\sin \omega_n t_{ck} - \sin \omega_n t_{sk}) + \frac{P_D}{\omega_n} (\sin \omega_n t_{ck} - \sin \omega_n t_{sk}) \right\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

여기서 $P_u = V_{in}/L_r$, $P_D = (V_{cr} - V_{in})/L_r$

한편 소프트 스위칭의 경우는 스위치의 턴온에 의해 구간 T1에서 L_r 과 C_r 이 공진하므로 전류는 정현파적으로 증가한다. C_r 이 완전히 방전하여 구간 T2에서는 전류가 하드 스위칭 회로와 같이 V_{in}/L_r 으로 직선적으로 증가된다. 초기에 C_r 에 흐르는 최대 전류 I_c 는 식 (2)로 표현되며 상승시간 T_{on} 은 L_r 과 C_r 의 공진 1/4주기에 해당하므로 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$I_c = \frac{E_d}{\sqrt{L_r C_r}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$T_{on} = \frac{2\pi\sqrt{L_r C_r}}{4} \quad \dots\dots\dots (3)$$

식 (3)의 시간은 매우 짧고, 스위치의 온 시간은 입력 전류 전 구간에 대하여 일정하므로 시각 T_{on} 에 대한 콘덴서 전류파형은 그림 5(b)의 빗금친 구형파로 될 수 있으며 식 (4)로 주어진다.

$$I_{am} = I_c \frac{T_{on}}{T_s} \quad \dots\dots\dots (4)$$

이 진폭을 갖는 구형파의 푸리에 급수전개의 각차 정현파 성분은 식 (5)로 표시된다.

$$I_{cn} = 2 \frac{I_{am}}{\omega_n} (\cos \omega_n \frac{T_s}{2} - 1) \quad \dots\dots\dots (5)$$

제안된 소프트 스위칭 회로에서의 전고조파 성분은

식 (1)과 식 (5)를 더하여 얻을 수 있으며, 스위치 턴온에서 기본과 성분은 증가한다. 그리고 제3고조파는 식 (1)의 하드 스위칭 회로의 성분과 콘덴서에서 방전된 구형파 성분에서는 부호가 반대로 되기 때문에 상쇄되어 감소한다. 이 때문에 입력 파형의 왜형율이 개선된다. 그림 6은 콘덴서 Cr의 값을 변화시킬 때의 하드 스위칭과 소프트 스위칭과의 결과를 나타내었으며, I_{cn} 은 입력전류의 기본과 성분의 최대값을 나타낸다. 소프트 스위칭 회로를 이용한 방법이 현저히 왜형율을 개선시키는 것을 알 수 있다.

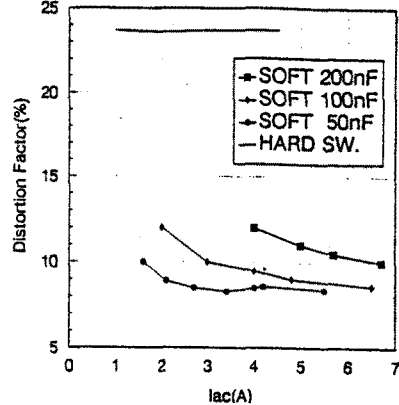


그림 6. 콘덴서 값의 변화에 따른 입력전류의 왜형율

5. 결 론

본 논문에서는 정류회로에 승압형 AC-DC 컨버터를 접속하여 입력전류를 정형파상으로 제어해서 파형을 개선시켜 역률율 개선하는 능동형 컨버터를 제안하였다.

또한 사용된 스위치의 제어는 듀티율 일정의 스위칭에 의해서 입력전압의 크기에 비례해서 입력전류가 불연속적으로 정형파상으로 되는 것이므로 제어방식이 간단하며 역률이 개선된다. 그리고 제안한 컨버터에는 승압용 인덕터와 로스레스 스너버 콘덴서에 의한 부분공진의 기법이 적용되어 소프트 스위칭에 의한 저손실 동작이 되며, 공진에 의해서 콘덴서에 축적된 전하는 전원측으로 회생되므로 입력전류는 하드 스위칭 시 보다 고조파 성분을 감소시켜 왜형율을 개선시켰다.

참 고 문 헌

- (1) HYUN-WOO LEE, KATSUNORI TANIGUCHI : "A Novel Quasi-Resonant PWM Converter with High Power Factor using Lossless Snubber", IEICE, Vol. PE93-60, pp.23-28 (1994-1)
- (2) 李鉉雨, 西山剛夫, 木村紀之, 谷口勝則 : "ソフトスイッチング形單相高力率コンバータの解析", 日電學産業應用部門全國大會論文集, pp.423-426, (1994-8)
- (3) 曠동걸, 이현우 : "단상 컨버터의 부분공진 회로", 대한전기학회 추계학술대회논문집, pp.129-131 (1993)
- (4) 曠동걸, 이현우 : "스너버 콘덴서를 이용한 부분공진형 PWM 컨버터", 대한전기학회 서부경남지구 춘계학술대회논문집, pp.58-61 (1994)
- (5) 李鉉雨, 田重權, 郭東杰, 井上正一, 谷口勝則 : PWM DC-DC 콘버터의部分共振回路, 日本電氣學會全國大會論文集, No.783, (1995-3)