

부분공진형 고역률 승강압 AC-DC 컨버터

신현식^{*0} 서기영^{*} 권순걸^{*} 광동걸^{*} 이현우^{*} 우정인^{**}
 * 경남대학교 ** 동아대학교

A New partial resonant buck-boost AC-DC converter for high power factor

*Shin Hyun Sik *Suh Ki Young *Kwon Soon Kurl *Kwak Dong Kurl *Lee Hyun Woo **Woo Jung In
 * Dept. of Electrical Eng. KyungNam Univ. **Dept. of Electrical Eng. Dong-A Univ.

Abstract

This paper propose the high power factor and efficiency buck-boost AC-DC converter because the input current is made sinusoidal wave in single phase alternating current source.

The proposed converter is able to minimize switching loss by the partial resonant switching which is for switching devices to operate the zero voltage swithing (ZVS) or zero current switching(ZCS) without increasing their voltage and current stresses.

1. 서론

직류전원은 산업용부터 가정용까지 넓은 분야에서 이용되고 있다. 이 직류전원을 상용교류전원으로부터 얻기 위해서는 일반적으로 회로구성이 간단한 콘덴서 입력형의 정류회로가 많이 사용되어져 왔다. 그러나 이 회로는 입력전류가 입력교류전압의 피크 부분에만 흐르기 때문에 펄스형으로 되며 역률도 나빠지게 되므로, 정류회로와 승압, 승강압 초퍼로 구성된 AC-DC 컨버터에 대한 연구가 활발하다.

그 중에서도 공진형 소프트 스위칭 기술은 저손실, 저잡음의 고주파 스위칭 동작이 가능하게 되어 한층 높은 변환 주파수를 채용함에 따라서 전원장치의 소형, 경량화 할 수 있다. 그러나 전력용 반도체 소자의 피크전압, 전류, 순환전류의 증대, 제어나 설계의 어려움 등이 있다. 이러한 결점을 부분적으로 개선한 부분공진형 PWM 컨버터 중에는 우수한 회로가 있지만, 추가한 부분공진형 회로의 전력용 반도체 소자들의 턴 온, 턴 오프가 하드 스위칭 동작이 되며¹⁾ 두개의 주스위칭 소자

가 직렬로 되어 온 손실의 증가가 되는²⁾ 등 특성 개선을 해야 한다.

필자들은 정류회로와 승압형 초퍼로 구성시킨 부분공진형 AC-DC PWM 컨버터^{3) 4)}에 대하여 해석한 결과를 이용하여 본 논문에서는 정류회로와 승강압 초퍼로 구성시켜 스너버 콘덴서의 에너지를 전원으로 회생시키며, 부분공진으로 ZVS, ZCS가 이루어지는 고역률 승강압 AC-DC 컨버터 회로를 제안하여 동작해석과 시뮬레이션을 통하여 그 개선 효과를 표시한다.

2. 고역률 승강압 컨버터

그림 1에 승강압 방식의 기본회로를 나타낸다. 이 회로에서 입력전류를 정현파로 하기 위해서는 스위치 Tr의 스위칭 1주기에 흐르는 입력전류의 평균치를 교류의 입력전압에 비례시켜 불연속으로 제어하면 효율이 좋아지므로 회로손실 및 부하중대에 이점이 주어진다.

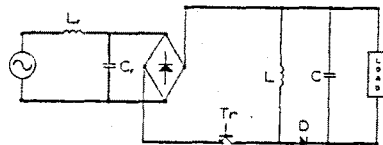


그림 1. 승강압 방식의 기본회로

이것은 그림 2와 같이 0[V]에서 피크전압까지 변화하는 입력전압에 대하여 스위치 Tr의 온 시간 폭을 일정하게 하여 스위치 Tr의 한 주기에 흐르는 전류의 평균치를 입력전압에 비례시키면 입력전류는 입력전압에 비례한 정현파로 된다.

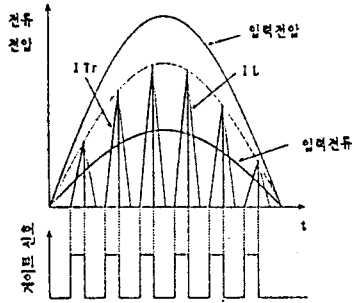


그림 2. 스위치의 제어에 의한 입력 전압전류 파형

3. 부분공진형 컨버터의 구성

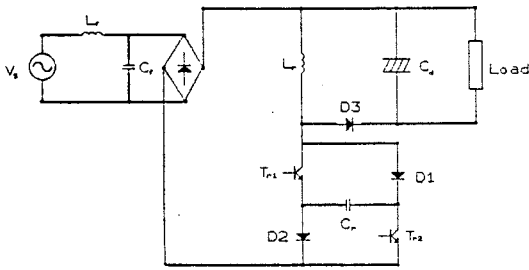


그림 3. 제안한 부분공진형 고역률 컨버터

제안한 부분공진형 고역률 승강압 AC-DC 컨버터의 주회로를 그림 3에 표시한다. 이 AC-DC 컨버터는 정류회로, 필터회로, 승강압 초퍼로 구성되며, 승강압 초퍼용의 제어스위치는 스위치와 다이오드의 직렬회로를 병렬로 접속하고 접속한 T_{r1} , T_{r2} 에 공동의 스너버 콘덴서를 설치하고 있다. 가제어소자인 T_{r1} , T_{r2} 는 온, 오프 전부 ZVS 또는 ZCS 동작에 의하여 무손실 동작을 하고 있다. 그리고 T_{r1} , T_{r2} 는 같은 주파수로 스위칭을 하기 때문에 제어회로가 매우 간단하다. 그리고 스너버 콘덴서의 에너지를 전원으로 회생시켜 스너버 손실도 발생하지 않는다. 이러한 스위치의 턴 온 때 축적된 스너버 에너지는 방전회생되므로 충분히 큰 스너버 콘덴서를 사용해도 변환기의 효율은 저하하지 않는다.

4. 회로동작

제안한 부분공진형 AC-DC 컨버터의 스위칭 모드를 그림 4에 표시한다. 스위칭 주기는 4모드로 나누어진다. T_{r1} , T_{r2} 가 동시에 턴 온 하기까지 콘덴서 C_r 은 $(V_i + V_{cd})$ 로 충전되어 있다. T_{r1} , T_{r2} 가 동시에 턴 온 되는 $t=t_0$ 에서 스위칭 주기가 시작된다.

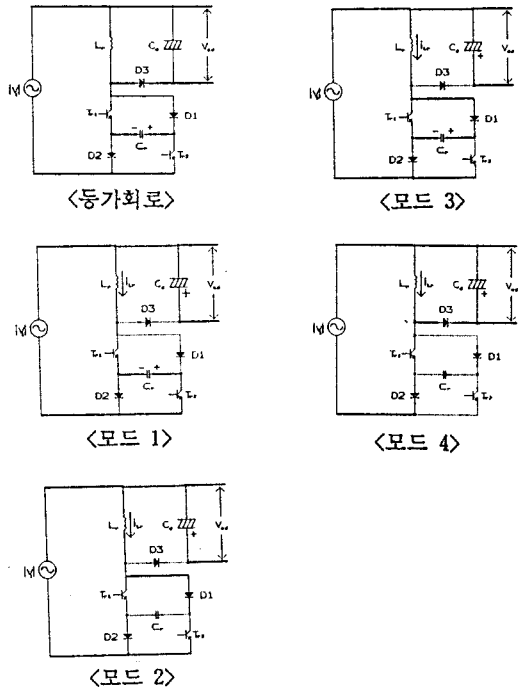


그림 4. 회로동작 모드

<모드 1: $t_0 \leq t \leq t_1$ >

이 모드는 T_{r1} , T_{r2} 가 동시에 온 하며 시작된다. 이때 스위치들은 제로전류 스위칭동작으로 된다. L_r 과 C_r 은 다음식과 같이 공진한다.

$$i_{Lr} = \frac{2V_i + V_{cd}}{X} \sin \omega t \quad \text{----- (1)}$$

$$v_{cr} = (2V_i + V_{cd}) \cos \omega t - V_i \quad \text{----- (2)}$$

$$T_1 = \sqrt{L_r C_r} \cos^{-1} \left(\frac{V_i}{2V_i + V_{cd}} \right) \quad \text{----- (3)}$$

$$I_1 = \frac{1}{X} \sqrt{(2V_i + V_{cd})^2 + 2V_i^2} \quad \text{----- (4)}$$

여기에서 X , ω 는 다음과 같다.

$$X = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}}, \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}}$$

V_{cr} 이 영이 될 때까지 공진하며 감소한다. 다이오드 $D1$, $D2$ 이 턴 온하면 이 모드는 끝난다.

<모드 2: $t_1 \leq t \leq t_2$ >

콘덴서 C_r 의 전압이 제로로 되면 리액터 전류는 다이오드 $D1$, $D2$ 로 분류된다. 이 모드의 기간에 리액터 L_r 은 에너지를 축적한다. 이때의 리액터 전류는 직선적으로 증가하고 식 (5)로 주어진다.

$$i_{Lr} = \frac{V_i}{L_r} t + I_1 \quad \text{----(5)}$$

$$T_2 = T_{on} - T_1 \quad \text{----(6)}$$

$$I_2 = \frac{V_i}{L_r} T_2 + I_1 \quad \text{----(7)}$$

<모드 3: $t_2 \leq t \leq t_3$ >

이 모드에서는 스위치 T_{r1} , T_{r2} 을 오프하는 것에 의하여 L_r 과 C_r 은 공진하고 C_r 을 충전시킨다. 그리고 스위치들은 제로전압 스위칭으로 동작한다.

$$i_{Lr} = \sqrt{\left(\frac{V_i}{X}\right)^2 + I_2^2} \sin(\omega t + \theta) \quad \text{----(8)}$$

$$v_{cr} = V_i + \sqrt{(XI_2)^2 + V_i^2} \sin(\omega t + \theta) \quad \text{----(9)}$$

$$T_3 = \sqrt{L_r C_r} \sin^{-1}\left(\frac{V_{cr} + V_i}{\sqrt{V_i^2 + (XI_2)^2}} - \theta\right) \quad \text{----(10)}$$

$$I_3 = I_2 \cos(\omega T_3) + \frac{V_i}{X} \sin(\omega T_3) \quad \text{----(11)}$$

단,

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_2}{XV_i}\right)$$

이다.

<모드 4: $t_3 \leq t \leq t_4$ >

콘덴서 C_r 에 충전이 완료되면 다이오드 D_3 이 도통되어 리액터 전류는 부하측으로 직선적으로 감소하며 흐른다.

이 모드에서의 리액터 전류는 식 (13)과 같으며 이 모드의 기간 T_4 는 식 (14)와 같다.

$$i_{Lr} = I_3 - \frac{V_i - V_{cr}}{L_r} t \quad \text{----(12)}$$

$$T_4 = \frac{L_r}{V_i - V_{cr}} I_3 \quad \text{----(13)}$$

5. 시뮬레이션

Pspice를 이용하여 제안회로의 스너버 콘덴서 에너지를 회생시켜 입력전류의 파형개선과 고역률 동작을 확인했다. 동작모드 및 파형을 확인하기 위하여 다이오드는 이상적인 다이오드로, 스위치는 저항스위치를 사용했다.

그림 5은 각 동작모드의 파형으로서 동작해석에서 얻어진 결과와 잘 일치하고 있다.

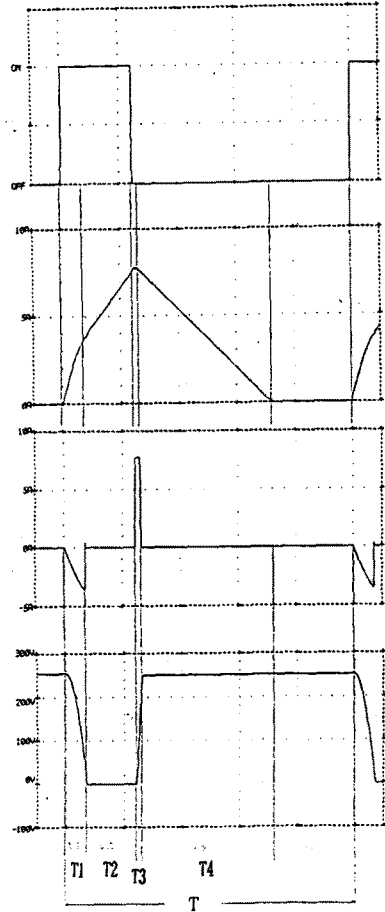


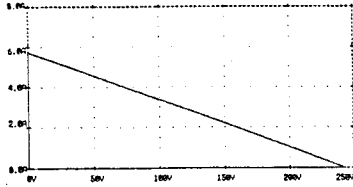
그림 5. 각 모드의 동작 파형

이 시뮬레이션 해석결과로 부터 제어소자의 전압-전류 특성을 나타낸 것이 그림 6이다. 그림(a)는 하드 스위칭 때이고, 그림(b)는 본 방식의 소프트 스위칭 때이다. 그림 6 (a), (b)의 면적을 비교해 보면 본 방식이 대단히 적음을 알 수 있으며, 이 면적은 제어소자의 스위칭 손실에 비례한다.

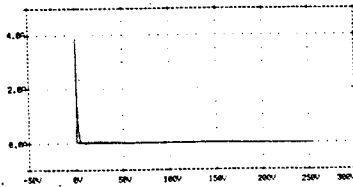
그림 7는 입력전압, 전류의 파형으로 (a)는 하드 스위칭 때이고 (b)는 본 제안의 소프트 스위칭 때이다. 그림 (b)에서 전류가 조금씩 왜곡되는 것은 입력필터의 영향으로 필터의 최적설계가 필요하다. 그러나 제안회로에서는 스너버 콘덴서의 방전전류가 영점 부근에서 승압되므로 역률의 개선이 이루어짐을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. F.C. Lee : "Novel Zero-Voltage-Transition PWM Converters", IEEE PESC, pp.55-61(1992)
2. G.H.CHO, etal : "New group of ZVS PWM Converters operable on constant frequency and its application to power factor correction circuit", ibid 1441-1446
3. 이현우, 곽동걸 : "단상 컨버터의 부분공진회로", 전기학회 추계학술대회 논문집, pp.129-131(1993)
4. Hyun-woo Lee, etal : "A Novel Quasi-Resonant PWM Converter with high power factor using loss less snubber", IEICE, PE 33-60, pp.23-28(1994)
5. 곽동걸, 이현우 : "스너버 콘덴서를 이용한 부분공진형 PWM 컨버터", 전기학회 경남지부대회 논문집, pp.58-61(1994)

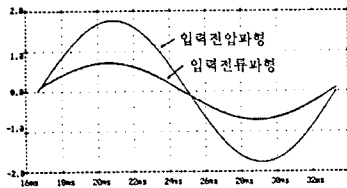


(a) 하드 스위칭

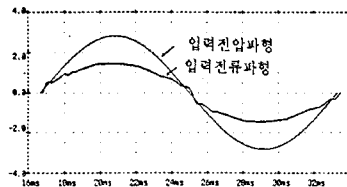


(b) 소프트 스위칭

그림 6. 제어소자의 전압-전류 특성



(a) 하드 스위칭



(b) 소프트 스위칭

그림 7. 입력전압, 입력전류의 파형

6. 결 론

승강압 초퍼를 이용하여 전원전류를 정현파형으로 제어하여 파형개선을 함과 아울러 입력역률을 1로 하는 능동형 컨버터에 대하여 턴 온, 턴 오프 전부 소프트 스위칭으로 동작하는 새로운 고역률 AC-DC 컨버터를 제안하고 주회로 및 동작해석을 하였다. 시뮬레이션 결과는 원리적으로 제어소자의 ZVS, ZCS가 달성되었으며, 스위칭손실의 저감, 입력전류의 파형개선이 되었음을 확인했다.