

Soft Switching 방식 고역률 강압형 컨버터

구헌희, 조기연
한국전기연구소

Soft Switching High Power Factor Buck Converter

Heun-Hoi Koo, Kee-Yeon Joe
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract : In this paper, soft switching high power factor buck converter is proposed. This converter is composed of diode rectifier, a input capacitor can be small enough to filter input current, buck converter with loss less snubber circuit. Converter is operated in discontinuous conduction mode, turn on of the switching device is a zero current switching(ZCS) and high power factor input is obtained. In addition, zero voltage switching(ZVS) at turn off is achieved and switching loss is reduced using loss less snubber circuit. The capacitor used in the snubber circuit raised output voltage. Therefore, proposed converter has higher output voltage and higher efficiency than conventional buck type converter at same duty factor in discontinuous conduction mode operation.

1. 서론

강압형 컨버터는 동작이 안정되고, 돌입전류가 없으며 단락보호도 가능하여 사용 소자는 큰 내압이 필요하지 않으므로 소형화에 적당하다. 그러나 출력전압이 입력전압의 순시치 보다 큰 영역에서는 전류가 흐르지 않기 때문에 출력전압을 입력전압보다 낮은값으로 정하지 않으면 입력전류 파형의 왜곡이 크게되는 결점이 있다. 이것이 강압형 컨버터의 고역률화가 어려운 이유이다.

고역률화를 위하여 리액터 전류 불연속 모드로 동작하면 영전류에서 턴온 되기 때문에 저손실 동작이 가능하게 되지만, 스위칭 소자의 턴오프는 최대 전류에서 되므로 턴오프시의 전류 스트레스나 EMI 노이즈 문제등이 발생한다.

본 연구에서는 강압형컨버터에 다이오드정류회로와 스위칭소자 사이에 소용량의 입력 콘덴서를 삽입하고 Loss less snubber 회로를 이용한 soft switching 방식의 강압형고역률 컨버터를 제안했다.

본 방식은 리액터 전류불연속 모드로 동작하고 loss less 스너버 회로에 의해 턴온시에는 ZCS로

턴오프시에는 ZVS로 soft switching을 달성하고, 종래의 강압형 컨버터의 최대의 결점인 저출력 전압도 개선하게한 방식이다.

본 논문에서는 무손실 스너버를 이용한 soft switching 컨버터의 동작특성을 해석하고 회로의 Simulation과 실험에 의해 입력역률의 개선 및 출력전압의 증대효과에 관한 특성을 확인하였다.

2. Soft Switching 강압형 고역률컨버터

2.1 회로구성

강압형컨버터의 리액터 전류를 불연속 모드로 동작시키면 영전류에서 턴온 되기 때문에 저손실 동작이 가능하게 되지만, 스위칭 소자의 턴오프는 최대 전류에서 되므로 턴오프시의 전류 스트레스나 EMI 노이즈 문제등이 발생한다. 이러한 강압형 컨버터의 턴오프시 문제점 해결을 위하여 다이오드정류회로와 스위칭소자 사이에 소용량의 콘덴서를 병렬로 연결하고 Loss less 스너버회로를 활용한 스위치를 이용하여 그림 1 과 같이 회로를 구성하였다.

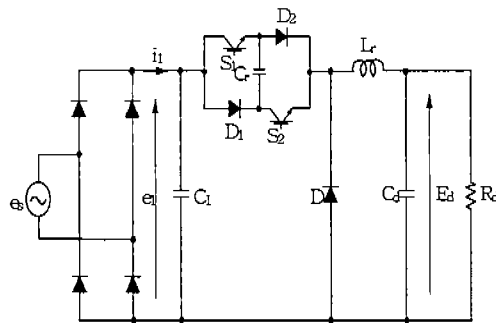


그림1. soft switching 강압형 고역률컨버터의 구성

입력콘덴서 C_1 은 스위칭주파수가 상용전원 주파수보다 충분히 높으면 입력전압이 출력전압보다 더 높을 때 흐르는 입력전류 i_1 을 평활하는데 충분한 정도의 적은용량으로 할 수 있다. 이 회로의 콘덴서 C_r 은 스위칭 소자 S_1, S_2 의 턴오프에 있어서 영전압 스위칭(ZVS)을 실현 시키기 위해서 이

용되는 스너버 콘덴서 이다. 리액터 L_r 의 전류를 불연속으로 하는 것에 의해 S_1, S_2 의 턴온은 ZCS로 되고, Loss less 스너버회로에 의해 턴오프는 ZVS로 되어 Soft Switching을 달성하고 있다. 스위치가 ON상태에서 리액터에 흐르는 전류는 2개의 경로로 분류해서, 소자의 전류 스트레스가 경감되고 따라서 전류용량이 증대된다. 또한 ZVS용의 콘덴서는 전류작용만이 아니라 충전전압이 전원전압에 가산되어 부하에 인가되기 때문에 직류출력전압을 증대시키는 작용을 하며, 역률의 개선에도 기여하고 있다.

2.2 회로동작 해석

회로의 동작상태는 모드1 - 모드4와 초기상태로 나타낼수 있으며, 그림 2는 스너버 콘덴서 전압과 리액터 전류파형 이다.

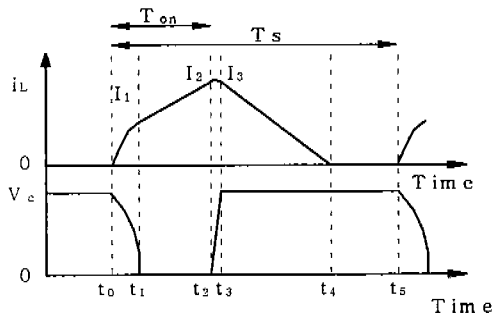


그림 2 스너브콘덴서 전압 · 리액터 전류파형

초기상태 ($T_0 = t_0 - 0$)에서는 리액터 L_r 에는 전류는 흐르지 않고, 콘덴서 C_r 에는 E_1 의 전압이 축적 되어 있는 것으로 가정한다. 초기상태에서 전원전압과 충전전압의 합이 출력직류전압보다 낮으면 스위치를 턴온시켜도 상태는 변함없이 초기상태를 유지한다.

모드 1 ($T_1 = t_1 \sim t_0$)

전원전압과 C_r 의 충전전압의 합이 출력직류전압보다 높게된 상태에서 스위칭소자를 동시에 t_0 에서 턴온하면 L_r 과 C_r 이 공진하여 리액터전류 i_L 은 선형적으로 증가하고 C_r 의 전압은 방전을 시작한다. 이때 스위칭소자는 영전류로 턴오프하기 때문에 ZCS동작으로 된다.

모드 2 ($T_2 = t_2 - t_1$)

C_r 이 방전을 종료해서 전압이 영으로 되면 L_r 을 흐르는 전류는 $S_1 \rightarrow D_2, D_1 \rightarrow S_2$ 의 2개의

Loop로 L_r 의 전류를 분류하기 때문에 스위칭 소자의 전류에 의한 과열이 감소되고, 리액터 전류 i_L 은 선형적으로 증가한다. 스위칭 소자를 동시에 턴오프하면 이 모드는 종료된다.

모드 3 ($T_3 = t_3 - t_2$)

시간 t_2 에서 스위치 S_1, S_2 를 동시에 턴오프하면 L_r 에 흐르는 전류는 $D_1 - C_r - D_2$ 를 통해서 L_r 과 C_r 은 직렬 공진회로가 형성되어 C_r 의 충전으로 S_1, S_2 의 전압은 급격히 상승하지 않게 된다. 이때 스위칭 소자는 영 전압으로 턴오프 하기 때문에 ZVS 동작으로 된다. C_r 의 전압이 E_1 까지 충전되면 이 모드는 종료된다.

모드 4 ($T_4 = t_4 - t_3$)

C_r 이 E_1 까지 충전되면 t_3 에서 환류다이오드 D 가 도통해서 입력전원측과 출력부하측이 분리되어, 리액터 전류 i_L 은 부하측으로 흐르고 선형적으로 감소한다. 이 모드는 리액터 전류가 $i_L = 0$ 으로 되면 끝난다. t_4 에서 리액터 전류 i_L 이 영으로 되면 모드 4는 끝나고 초기상태와 같게된다. 스위칭소자 S_1, S_2 가 재차 턴온하면 다음주기가 시작된다. 스위칭 동작의 1주기를 T_s 로 하면, 리액터 전류 불연속으로 하기 위해서는 t_0 에서 t_4 의 기간이 1주기 T_s 보다 적게 되는 조건이 필요하다.

2.3 리액터전류

그림 3은 종래의 Hard Switching 회로 및 제안 회로에서의 1스위칭주기의 리액터전류파형이며 빗금친 부분은 제안회로의 전류가 종래회로의 전류에 대해서 증가하는분을 표시하고 있다. 전류 콘덴서의 충전전류는 zero cross 부근의 입력전류를 증가시키는 작용을 하여 입력전류의 파형개선이 되어 입력전류파형이 정현파에 가깝게 된다.

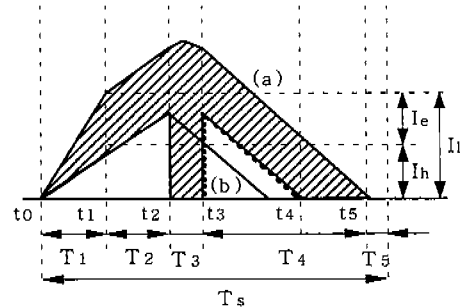


그림3. 리액터의 전류파형
(a) 제안회로 (b) 종래회로

2.4 Simulation 및 검토

제안한 Soft Switching 강압형컨버터 회로에 대하여 표 1의 회로정수를 적용하여 Pspice에 의한 시뮬레이션을 실시하였다. 그림 4는 스위치의 각부의 동작파형을 나타내고 있다.

표1. 회로 소자 정수

입력전압 최대치	$E_s (=E_1)$	$220\sqrt{2}$ [V]
입력전원 주파수	f_s	60 [Hz]
스위칭 주파수	f_b	20 [kHz]
리액터	L_r	60 [μ H]
공진 스너버 콘덴서	C_r	0.1 [μ F]
부하저항	R_d	20[ohm]

그림의 동작파형에서 스위치를 동시에 턴온하면 C_r 은 방전을 시작하고 리액터 L_r 에는 에너지를 축적하게된다. 이시점에서 스위칭 소자는 영전류에서 턴온하기 때문에 ZCS로 동작하게된다. 콘덴서 C_r 의 전압이 영으로 되면 리액터 L_r 의 전류는 스위치 S_1 과 S_2 로 분류되므로 소자의 전류 스트레스가 경감된다. 스위치를 동시에 턴오프 하면 C_r 은 충전을 시작하고 스위치는 ZVS로 동작하여 스위칭손실이 경감된다.

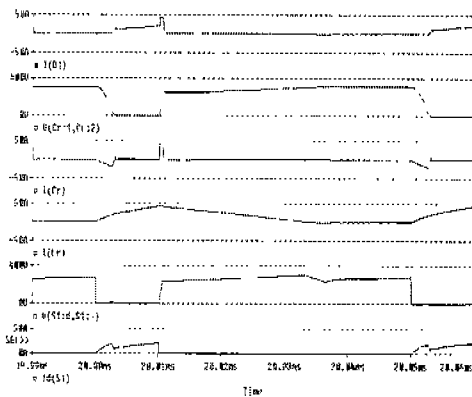


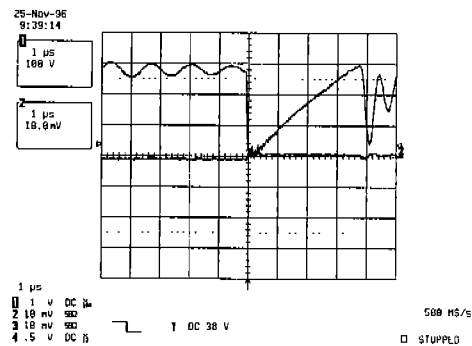
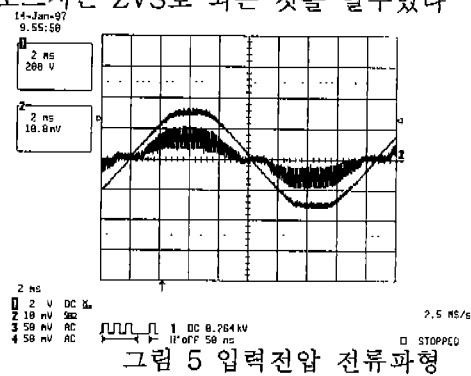
그림 4. 회로의 동작시뮬레이션 파형

3. 실험결과 및 검토

리액터 전류 불연속 모드로 동작하는 강압형 AC-DC 컨버터의 시스템을 구성하여 실험을 수행하였다. 주회로는 종래의 강압형컨버터회로와 loss less 스너브회로를 이용한 컨버터로 하였으며, 제어

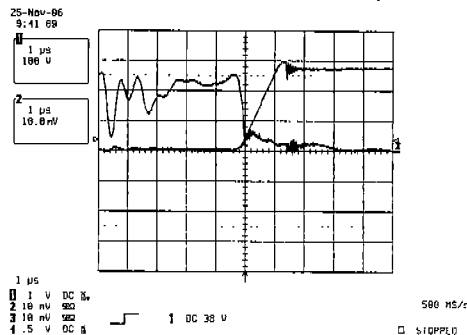
회로는 일정주파수(20kHz), 일정 duty factor의 파형을 발생하기 위한 PWM파형발생회로와, 스위칭소자를 구동하기 위한 IGBT구동회로로 구성되었다.

Lossless스너브회로를 이용한 제안회로의 입력 전압 전류파형은 그림 5와 같이 되고, 스위칭소자의 턴온시 및 턴오프시의 전압전류파형은 그림 6, 그림7과 같이 된다.실험은 Simulation과 같은조건으로 하였으며 전압 전류 파형에서 턴온시는 ZCS, 턴오프시는 ZVS로 되는 것을 알수있다



(a) Turn ON

그림 6 스위칭소자의 턴온시 전압전류파형 (전압 100 v/div, 전류 5 A/div, 횡축 1us/div)



(b) Turn OFF

그림 7 스위치의 턴오프시 전압전류파형 (전압 100 v/div, 전류 5 A/div, 횡축 1 us/div)

그림 8은 표 1의 회로조건에서 duty factor만을 변화시켰을 때 입출력전압비의 변화를 그림9는 출력직류전압을 나타내고 있다. duty factor가 0.4이상(제안회로에서는 0.3정도)이 되었을 때는 α 가 커져서 리액터전류 연속모드로 되는 것을 확인하였다. 리액터전류가 불연속으로 되는 범위에서 duty factor변화에 대한 입력역률,효율을 종래의 회로와 제안회로에 대하여 측정한 결과는 그림 10, 그림 11와 같이 되고 있다. 제안회로의 스너브콘덴서 C_s의 충전전압의 영향으로 동일한 duty factor에서 기존회로의 경우보다 출력직류전압이 높아지며,입력전류파형이 개선되어 입력역률이 향상되고, 턴오프시의 손실저감으로 효율향상이 되고 있음을 나타내고있다.

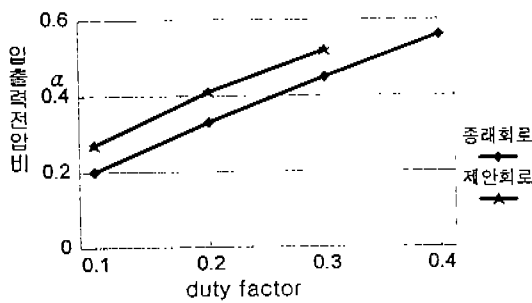


그림 8. Duty Factor 와 입출력전압비의관계

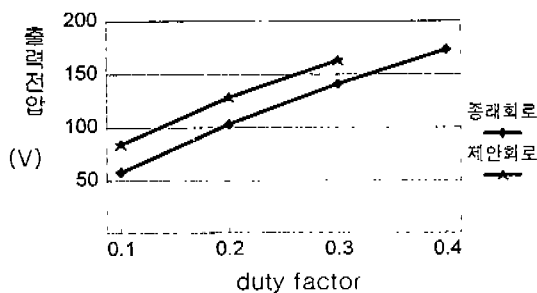


그림 9 출력전압특성

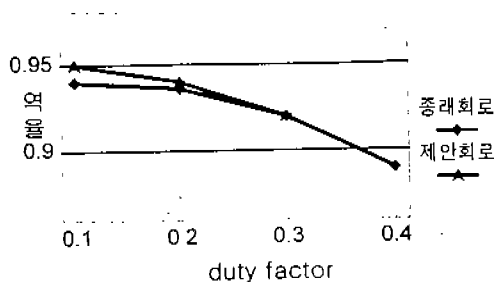


그림 10 입력역률특성

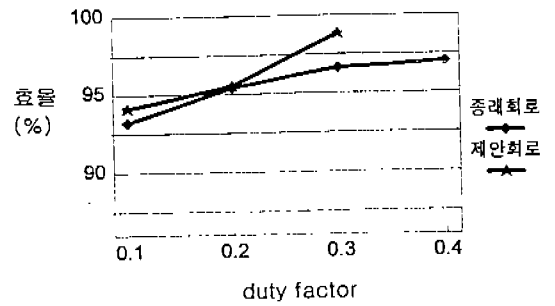


그림 11 효율특성

5. 결론

본 논문에서는 loss less 스너브회로를 이용하여 soft switching방식 강압형 고역률 컨버터를 제안 하였다. 리액터 전류를 불연속 모드로 제어함으로써 스위칭 소자의 턴온은 ZCS로 되고, lossless 스너버 회로의 작용에 의해 턴오프는 ZVS로 되며, 리액터전류의 분류에 의해 소자의 전류스트레스가 경감된다. 턴오프시의 soft switching에 의한 스위칭 손실저감과 회로의 도통손실저감으로 컨버터의 효율을 증대시키고 있다. 또한 ZVS용의 콘덴서는 전류용으로서만이 아니라 충전전압이 전원전압에 가산되어 출력전압을 증대시키는 작용도 하고, 입력역률의 개선에도 기여하고 있다.

종래의 hard switching 회로와 비교하여 동일한 duty factor에서 출력전압의 증대와 효율상승, 입력역률의 향상을 실험을 통하여 확인 하였다.

본 방식은 구조가 간단하고 간단한 제어로 강압형 컨버터의 고역률과 soft switching이 달성되어 컨버터의 효율향상이 되고있다.

참 고 문 헌

1. Michihiko Nagao, Takashi Nakahara, Masahito Jinno, Koosuke Harada " Analysis of High Power Factor AC-DC Boost Converter' T.IEE Japan VOL.114-D NO.11 pp.1139-1148 , 1994
2. A. R. Prasad, P.D. Ziogas, S. Marias , "An Active Power Factor Correction Technique For Three Phase Diode Rectifiers", IEEE Trans. Power Electronics VOL. 6 NO. 1 pp.83-92, 1991
3. L. D. Salazar, G. Joos and P. D. Ziogas , "A Low Loss Soft Switching PWM CSI", IEEE PESC '92 , pp 1098-1440 (1992)