

고성능 DCM-ZVS 스텝 업-다운 AC-DC 컨버터에 관한 연구

A Study on Step Up-Down AC-DC Converter with DCM-ZVS of High Performance

곽 동 걸*

Dong-Kurl Kwak*

Abstract

This paper is studied on a new DCM-ZVS step up-down AC-DC converter of high performance, that is, high system efficiency and power factor correction (PFC). The switching devices in the proposed converter are operated by soft switching technique using a new quasi-resonant circuit, and are driven with discontinuous conduction mode (DCM) according to pulse width modulation (PWM). The quasi-resonant circuit uses a step up-down inductor and a loss-less snubber capacitor. The proposed converter with DCM also simplifies the requirement of control circuits and reduces the number of control components. The input AC current waveform in the proposed converter becomes a quasi-sinusoidal waveform proportional to the magnitude of input AC voltage under constant switching frequency. As a result, the proposed converter obtains low switching power loss and high efficiency, and its input power factor is nearly in unity. The validity of the analytical findings is confirmed by some computer simulation results and experimental results.

요 약

본 논문에서는 고효율과 고역률을 위한 새로운 DCM-ZVS 스텝 업-다운 AC-DC 컨버터에 대해 연구된다. 제안한 DCM-ZVS 컨버터에 사용된 스위칭 소자들은 새로운 유사공진 회로에 의해 소프트 스위칭 기법으로 동작되고, 펄스폭변조(PWM) 방식에 의한 전류불연속모드(DCM)로 구동된다. 제안한 컨버터의 유사공진 회로는 스텝 업-다운 인덕터와 무손실 스너버 커패시터로 구성되고, 또한 DCM에 의해 제어회로 기법과 제어회로 구성이 간단한 장점이 주어진다. 입력 교류 전류파형은 일정 스위칭 주파수에 의한 교류 입력전압의 크기에 비례한 유사 정현파형으로 된다. 그 결과, 제안한 DCM-ZVS 컨버터는 낮은 스위칭 손실과 고효율을 얻을 수 있으며, 컨버터의 입력역률은 거의 단위원률로 된다. 해석적 결과의 타당성은 다양한 컴퓨터 시뮬레이션과 실험 결과를 통해 입증된다.

Key words : Step up-down converter, DCM, PFC, Soft switching technique, Loss-less snubber, Quasi-resonant circuit

* Graduate School of Disaster Prevention / Dept. of Control Instrumentation Engineering, Kangwon National University, Korea

E-mail: dkkwak@kangwon.ac.kr

Tel: +82-33-570-6823, Fax: +82-33-570-6389

Manuscript received Oct. 2, 2012; revised Nov. 10, 2012; accepted Nov. 19, 2012

1. 서론

최근 AC-DC 전력변환장치의 정류회로부에 대한 역률개선, 고조파 제어, 변환기의 고효율화 등 고성능의 AC-DC 컨버터에 대한 관심이 증대되고 있다. 특히 입력단 정류회로에 스텝 업, 스텝 다운 또는 스텝 업-다운 초퍼를 접속하여 입력전류를 정현파 형태로

만드는 역률개선용(PFC) 컨버터들이 많이 연구된다 [1]-[3]. 이들 PFC 컨버터의 제어방식은 입력전류를 연속모드로 제어하는 방식과 불연속모드로 제어방식으로 분류된다[4, 5]. 전류불연속모드(DCM) 방식은 입력전류를 불연속으로 제어하는 방식으로 전류연속모드 방식에 비해 제어기법과 제어회로가 간단하여 많은 컨버터들에 적용되고 있다. 또한 DCM 방식은 스위치의 듀티를 일정제어가 가능하여 입력전류 파형이 정현파와 입력전압의 크기에 비례한 정현파 형태의 불연속 전류로 되어, 사용된 제어스위치의 턴-온 동작은 영전류 스위칭으로 되는 이점이 주어진다. 그러나 스위치의 턴-오프 동작은 전류의 최대치에서 이루어지므로 스위칭 주파수의 증가와 더불어 스위치의 스트레스와 손실이 증대되는 원인이 된다.

본 논문에서는 기존의 DCM AC-DC 컨버터에 새로운 유사공진 회로를 접목시킨 고성능 DCM-ZVS 스텝 업-다운 AC-DC 컨버터를 제안한다. 제안한 컨버터에 사용된 제어스위칭들은 유사공진 회로에 의해 소프트 스위칭 즉, 영전류 스위칭(ZCS: zero current switching)과 영전압 스위칭(ZVS: zero voltage switching)으로 동작된다. 또한 유사공진 회로는 기존의 컨버터에 사용하는 스너버(snubber) 회로를 유사공진 회로로 변형 설계한 새로운 무손실 스너버 회로로써, 회로구성이 간단하고 소프트 스위칭을 위한 공진회로는 지속적인 공진동작이 아닌 스위칭 동작에만 부분적으로 공진회로가 형성되는 것으로, 공진소자들의 용량분담과 스트레스를 감소시키는 이점이 주어진다. 그리고 공진소자로 이용된 커패시터는 유사공진 동작에 의해 축적된 에너지를 입력측으로 유입시켜 입력전류가 증대되어, 기존의 컨버터와 비교하여 고조파 저감과 입력역률을 증대시키는 효과를 가진다.

II. DCM 스텝 업-다운 AC-DC 컨버터

2.1 기존의 DCM AC-DC 컨버터의 고찰

기존의 DCM 스텝 업-다운 AC-DC 컨버터를 그림 1에 나타낸다. 기존의 AC-DC 컨버터는 교류입력 전원에 다이오드 전파정류기와 에너지 축적용 인덕터 L 을 이용하여 스위치 S 의 PWM 제어에 의해 실현된다. 스위치 S 의 동작은 그림 2와 같이 인덕터 전류를 불연속적으로 제어하는 전류불연속모드(DCM) 방식으로 제어된다. 이는 일정 스위칭 주파수에 의해 정현파와 입력전압의 크기에 비례한 불연속적인 펄스파의 정현파상으로 만들어 역률을 개선시키는 방식으로 제어방식이 간단하고, 스위치의 턴-온 동작은 영전류에서 이루어져 스위치의 턴-온 손실이 없는 장점이 있

다. 또한 고주파 스위칭 동작이 가능하여 필터 설계를 소형화할 수 있는 이점이 주어진다.

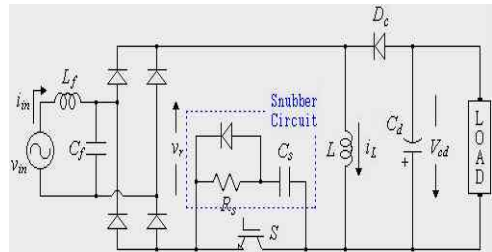


그림 1. 기존의 DCM 스텝 업-다운 AC-DC 컨버터
Fig. 1. A conventional step up-down AC-DC converter with DCM

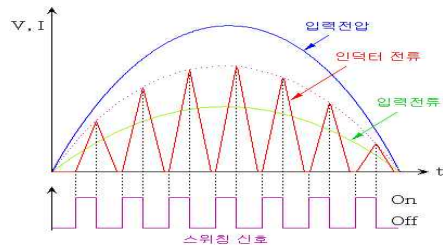


그림 2. 전류불연속모드 제어에 의한 전압과 전류파형
Fig. 2. Waveforms of voltage and current with DCM

그러나 스위치의 턴-오프 동작은 스위칭 시점의 최대 인덕터 전류에서 동작하는 하드 스위칭으로 되므로 고주파 스위칭과 더불어 스위치 손실과 스트레스가 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 제어스위칭 주위에 공진회로를 적용한 소프트 스위칭 즉, ZVS 또는 ZCS로 스위치를 동작시키는 회로 토폴로지들이 많이 연구되고 있다[6, 7]. 그 결과 전력변환기는 스위칭 손실이 감소하여 변환기의 효율을 증대시키는 이점이 있지만, 이들 소프트 스위칭 회로들은 변환기의 스위치단에 공진회로의 기법을 적용시킨 것으로 사용된 리액터 및 제어소자의 수가 증가하고 스위칭 시퀀스와 제어방식이 복잡한 문제점이 주어진다.

2.2 제안한 DCM-ZVS 스텝 업-다운 AC-DC 컨버터

기존의 DCM AC-DC 컨버터에서 나타나는 효율감소의 문제점을 해결하고, 더욱 높은 역률을 얻을 수 있는 제안한 DCM-ZVS 스텝 업-다운 AC-DC 컨버터를 그림 3에 나타낸다.

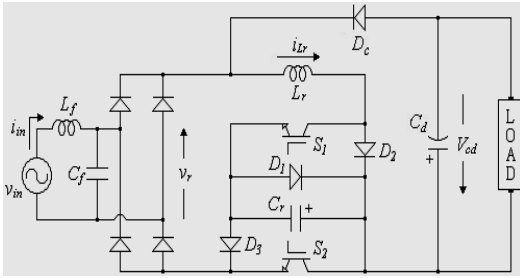


그림 3. 제안한 DCM-ZVS 스텝 업-다운 AC-DC 컨버터
Fig. 3. A proposed step up-down AC-DC converter with DCM-ZVS

회로구성은 기존의 AC-DC 컨버터의 입력측과 부하측 사이에 소프트 스위칭을 위한 유사공진 회로부를 접속한다. 유사공진 회로부는 스텝 업-다운 인덕터 \$L_r\$과 기존의 스위치 보호용으로 이용되는 스너버 회로의 스너버 커패시터 \$C_r\$과 제어소자들로 구성된다. 이는 기존의 스너버 회로를 변형 설계한 구조로써 무손실 스너버[8]로 동작된다.

제안한 컨버터는 PWM제어에 의해 출력전압이 조정되고, 일정 스위칭 주파수에 의한 전류불연속모드로 동작되며 그리고 사용된 제어스위치 \$S_1, S_2\$의 턴-온, 턴-오프 동작은 소프트 스위칭으로 되어 변환기의 효율을 증대시킨다. 공진용 소자로 이용된 스너버 커패시터 \$C_r\$은 축적된 에너지를 손실없이 입력측으로 유입시켜 무손실 스너버 커패시터로 동작되고, 입력 전류를 상승시키게 된다. 그 결과 입력전류의 고조파 성분이 감소되어 기존의 DCM 컨버터와 비교하여 역률을 더욱 증대시키는 특징을 가진다.

2.3 제안한 컨버터의 동작모드별 회로해석

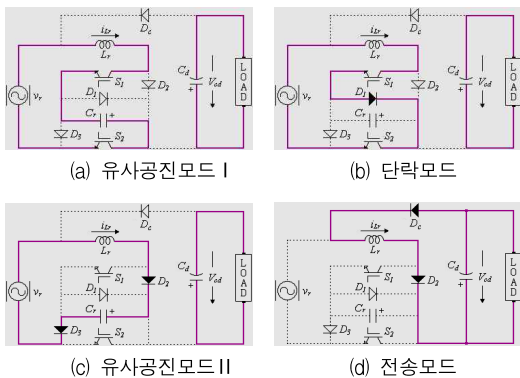


그림 4. 스위칭 1주기에 대한 동작모드별 등가회로
Fig. 4. Equivalent circuits in one cycle switching

그림 4는 스위칭 1주기(\$T_s\$)에 대한 동작모드별 등가회로를 나타내고 있으며 4가지 동작모드로 구분된다. 교류 입력전압 \$v_n\$과 다이오드 전파정류기의 출력 전압 \$v_r\$은 다음 식으로 놓는다.

$$v_{in} = v_m \sin \omega_s t \tag{1}$$

$$v_r = |v_{in}| = |V_m \sin \omega_s t| \tag{2}$$

유사공진 회로부의 초기조건으로 스위치 \$S_1, S_2\$는 오프이며, 커패시터 \$C_r\$에는 정류기 출력전압 \$v_r\$과 출력측 평활용 커패시터 전압 \$V_{cd}\$의 합(\$= v_r + V_{cd}\$)의 크기로 충전되어 있다.

유사공진모드 I (\$T_r, t_0 \sim t_1\$)

시각 \$t_0\$에서 스위치 \$S_1\$과 \$S_2\$를 동시에 턴-온하면, 회로경로는 \$v_{r+} - L_r - S_1 - C_r - S_2 - v_{r-}\$의 직렬공진 회로가 형성된다. 스위치 턴-온 직전의 인덕터 \$L_r\$에 흐르는 전류 \$i_{Lr}\$은 영이므로 \$S_1, S_2\$는 ZCS로 동작을 한다. 그리고 공진에 의해 정류기 출력전압 \$v_r\$과 커패시터의 충전전압 \$v_{cr}\$과의 합이 인덕터 \$L_r\$에 인가되고 커패시터 \$C_r\$은 방전한다. 공진 인덕터의 저항을 무시하면, 커패시터의 전압 \$v_{cr}\$은 식 (3)과 같이 방전하고 인덕터에 흐르는 전류 \$i_{Lr}\$은 식 (4)와 같이 증가한다. 커패시터 전압이 영으로 되면 유사공진모드 I은 끝나며, 식 (5)는 이 모드의 기간이고 식 (6)은 이 모드가 끝나는 시점의 인덕터 전류이다.

$$v_{cr} = (2v_r + V_{cd}) \cos \omega_r t - v_r \tag{3}$$

$$i_{Lr} = \frac{2v_r + V_{cd}}{X} \sin \omega_r t \tag{4}$$

$$\theta_1 = \omega_r T_1 = \cos^{-1} \frac{v_r}{2v_r + V_{cd}} \tag{5}$$

$$T_1 = \frac{1}{X} \sqrt{(2v_r + V_{cd})^2 - v_r^2} \approx \frac{2v_r + V_{cd}}{X} \tag{6}$$

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

단락모드 (\$T_2, t_1 \sim t_2\$)

단락모드는 커패시터 전압 \$v_{cr}\$이 영으로 되어 다이오드 \$D_1\$이 도통되는 모드이다. 제어스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터 \$L_r\$의 전류는 \$S_1 - D_1 - S_2\$를 통하여 흐르고, 인덕터 \$L_r\$은 에너지를 축적한다. 이때의 인덕터 전류 \$i_{Lr}\$은 식 (7)과 같이 직선적으로 증가한다. \$T_2\$는 스위치 \$S_1, S_2\$를 오프하기까지의 시간으로 식 (8)과 같다. 식 (9)는 이 모드가 끝나는 시점의

인덕터 전류이다.

$$= \frac{v_r}{r} t + I_1 \tag{7}$$

$$T_2 = T_{on} - T_1 \tag{8}$$

$$I_2 = \frac{v_r}{L_r} T_2 + I_1 \tag{9}$$

유사공진모드 II ($T_3, t_2 \sim t_3$)

시각 t_2 에서 스위치 S_1, S_2 를 오프하면, 인덕터 L_r 의 전류 i_{Lr} 은 $D_2-C_r-D_3$ 를 통하여 흐르고 인덕터 L_r 과 커패시터 C_r 은 다시 직렬공진을 하여 C_r 을 충전시킨다. 커패시터와 병렬로 배치된 스위치들의 턴-오프 동작은 공진 초기에서 커패시터 전압이 영이므로 ZVS로 동작된다. 이 모드에서의 커패시터 전압은 식 (10)과 같으며, 인덕터에 흐르는 전류는 식 (11)과 같다. 이 모드는 매우 짧으므로 이 모드가 끝나는 시점의 인덕터 전류는 I_2 로 간주할 수 있다. 커패시터 전압 v_{cr} 이 $v_r + V_{cd}$ 의 크기로 될 때 이 모드는 끝나며, 이 모드의 기간 T_3 은 식 (12)와 같다.

$$v_{cr} = v_r + \frac{L_r}{C_r} I_a \sin(\omega_r t + \theta) \tag{10}$$

$$i_{Lr} = I_a \cos(\omega_r t + \theta) \tag{11}$$

$$T_3 = \frac{C_r (v_r + V_{cd})}{I_2} \tag{12}$$

여기서 $\theta = \sin^{-1}(-\frac{v_r}{v_r^2 + L_r I_2^2})$, $I_a = \sqrt{\frac{C_r}{L_r} v_r^2 + I_2^2}$ 이

다.

전송모드 ($T_4, t_3 \sim t_4$)

이 모드는 커패시터 C_r 의 충전이 끝난 후, 다이오드 D_c 를 통하여 인덕터 L_r 의 전류가 부하측으로 전송되는 모드이다. 이 때의 인덕터 전류 i_{Lr} 은 식 (13)과 같이 직선적으로 감소하며 인덕터 전류가 영으로 되면 이 모드는 끝난다. 제어스위치들은 다음의 스위칭 사이클에 대기하게 된다. 전송모드의 기간 T_4 는 식 (14)로 주어진다.

$$i_{Lr} = -\frac{V_{cd}}{L_r} t + I_2 \tag{13}$$

$$T_4 = \frac{L_r}{V_{cd}} I_2 \tag{14}$$

III. 시뮬레이션 결과 및 검토

제안한 DCM-ZVS 스텝 업-다운 AC-DC 컨버터의 동작특성을 확인하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션(*PSpice*)을 하였다. 시뮬레이션에 사용한 회로정수들을 표 1에 나타낸다. 제어스위치는 가변저항 스위치로 가정하고 그 외 소자는 이상적인 소자로 간주하였다. 제안한 컨버터의 스위칭 동작에 대한 각부의 시뮬레이션 동작파형을 그림 5에 나타낸다. 그림 5에는 듀티율 30%인 스위칭 1주기에 대한 유사공진 회로의 인덕터 전류 i_{Lr} 과 커패시터 전압 v_{cr} 그리고 제어스위치의 전류 i_{s1}, i_{s2} 와 양단전압 v_{s1}, v_{s2} 의 동작파형 등을 각 모드별로 나타낸다.

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

입력전압 v_{in}	100V, 60Hz	평활 커패시터 C_f	2000 μ F
필터 인덕터 L_f	3mH	스위칭 주파수 f_s	40kHz
필터 커패시터 C_f	3 μ F	출력전압 V_{cd}	250V
공진 인덕터 L_r	60 μ H	부하저항 R_L	100 Ω
공진 커패시터 C_r	55nF	듀티율 D_c	30%

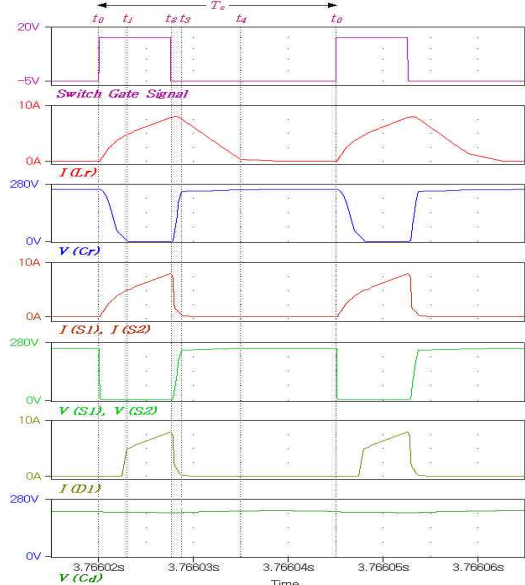


그림 5. 스위칭 동작에 대한 시뮬레이션 파형
Fig. 5. Simulation waveforms with switching operation

그림 5의 시뮬레이션 결과파형을 검토해보면, 시각 t_0 에서 스위치 S_1, S_2 를 턴-온하면 LC 직렬공진 회로에 의한 커패시터 C_i 이 방전을 시작하고 인덕터 L_r 은 에너지를 축적하게 된다. 이 시점에서의 스위치 S_1, S_2 를 흐르는 전류 i_s 는 인덕터 전류 i_{Lr} 과 같고 스위치들은 ZCS로 동작된다. 시각 t_1 에서 커패시터 전압 v_{Cr} 이 영으로 되면 제어스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터 L_r 의 전류는 직선적으로 증가하며 에너지를 축적한다. 그리고 시각 t_2 에서 스위치를 오픈하면 다시 LC 직렬공진 회로에 의한 커패시터 C_i 이 충전 시작한다. 그리고 이 시점에서의 스위치 S_1, S_2 양단전압은 커패시터 전압 v_{Cr} 과 같고 스위치들은 ZVS로 동작한다. 시각 t_3 에서 커패시터 전압 v_{Cr} 은 입력전압 과 출력전압 v_{o} 의 합으로 충전되고, 충진이 완료되면 인덕터 전류 i_{Lr} 은 부하측으로 전송되어 직선적으로 감소하여 시각 t_4 에서 영으로 된다.

또한 상기 결과파형에서 공진회로는 공진 1주기 동안 지속적으로 이루어지지 않고 스위치의 턴-온과 턴-오프에서 부분적인 공진동작을 볼 수 있으며, 이러한 유사공진 동작에 의해 공진소자들의 용량분담과 스트레스를 줄인다. 이상의 컴퓨터 시뮬레이션 결과들은 앞서의 이론적 해석의 타당성을 입증한다.

그림 6과 그림 7은 기존의 DCM 컨버터[그림 1]와 제안한 DCM-ZVS 컨버터에 대해 동일한 회로정수 및 조건에서 측정된 입력전압과 입력전류 파형, 그리고 입력전류에 대한 고조파 성분을 분석하기 위한 주파수 스펙트럼을 보인다.

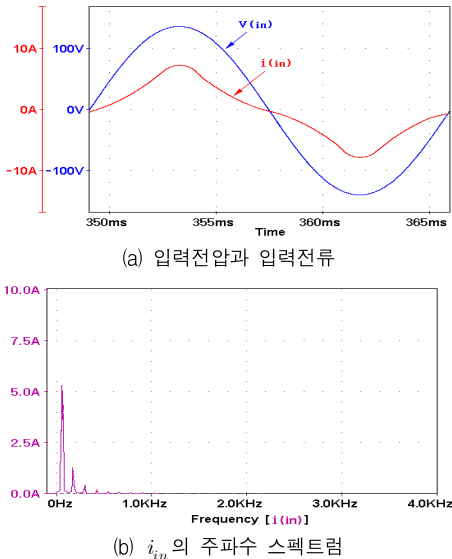


그림 6. 기존의 DCM 컨버터의 파형분석
Fig. 6. Waveform analyses of conventional DCM converter

그림 6에서 기존의 DCM 컨버터의 입력전류 파형이 제로 부근에서 감소된 것은 주파수 스펙트럼 분석에서 제3고조파 성분 및 저차 고조파 성분이 많이 포함된 것이라 할 수 있다. 그러나 제안한 컨버터는 공진용 스너버 커패시터의 충전전류가 입력측으로 유입되어 인덕터에 인가되므로 그림 7처럼 입력전류는 제로 부근에서 상승된 형태를 보이며 더욱 정현파에 가깝게 된다.

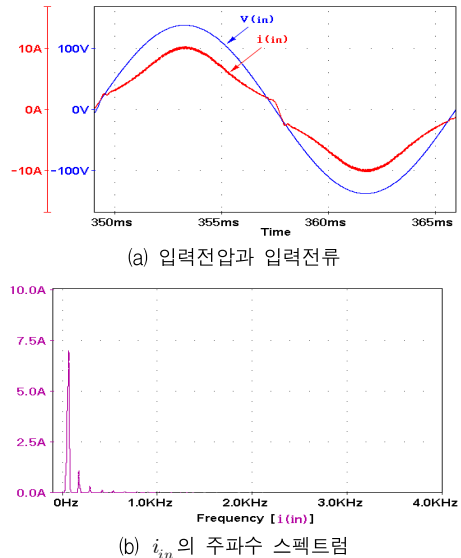


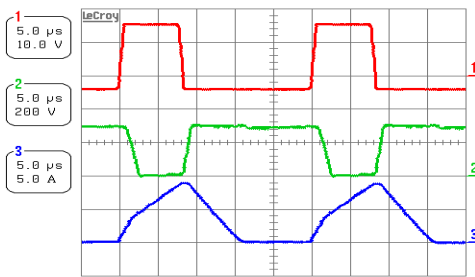
그림 7. 제안한 DCM-ZVS 컨버터의 파형분석
Fig. 7. Waveform analyses of proposed DCM-ZVS converter

IV. 실험결과 및 검토

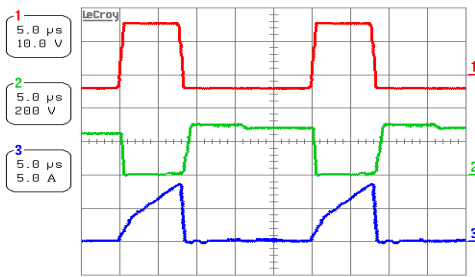
실험회로 구성은 전력용량 1.0kW급으로 하여 사용된 입력전원과 수동소자들의 상수들은 표 1에 주어진 값들을 기준하여 설계하였다. 전력용 스위치는 IGBT (Fairchild사, HGT 1N40N60A4D)를 사용하였고 다이오드는 역회복시간(t_{rr})이 60ns인 고속 역회복용 FRD (NIE사, KSF30A60E)를 사용하였다. 제어스위치의 구동 스위칭 주파수는 40 kHz를 기준하여 DSP프로세서에 PWM 데이터 테이블을 작성하여 듀티율 변화에 따른 각부 동작파형들을 측정 검증하였다.

그림 8은 부분공진과 소프트 스위칭동작을 확인하기 위해 듀티율 30%의 스위칭 1주기에 대한 커패시터 전압 v_{Cr} , 인덕터 전류 i_{Lr} 그리고 스위치 양단전압 v_s , 스위치 전류 i_s 를 나타낸다. 그림 8(a)에서 공진동작은 공진 1주기 동안 지속적으로 이뤄지지 않고 스위치의 턴-온과 턴-오프에서 부분적인 공진동작을 볼 수 있

으며, 이러한 동작에 의해 공진소자들의 용량분담과 스트레스를 줄이고, 출력전류가 증가할 경우 공진손실이 감소된다. 그리고 그림 8(b)에서 제어스위치들은 유사공진 동작에 의해 영진류에서 턴-온되고 영진압에서 턴-오프되는 소프트 스위칭 동작을 보인다. 이것은 무손실 스너버 회로가 적용된 제안한 DCM 컨버터가 기존의 하드 스위칭 DCM 컨버터와 비교하여 스위칭 손실이 적게 되어 컨버터의 효율을 증대시켰다. 또한 스위치들은 v/dt , di/dt 의 영향이 없으므로 EMI 등의 전자유도 잡음이 나타나지 않았다.



(a) 커패시터 전압 $v_c(2)$ 와 인덕터 전류 $i_L(3)$

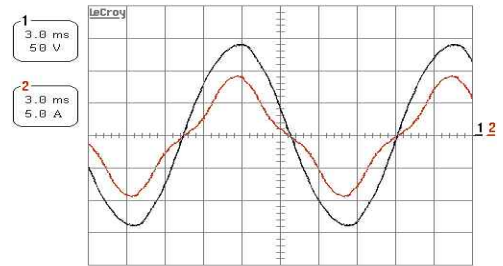


(b) 스위치 양단전압 $v_s(2)$ 와 스위치 전류 $i_s(3)$

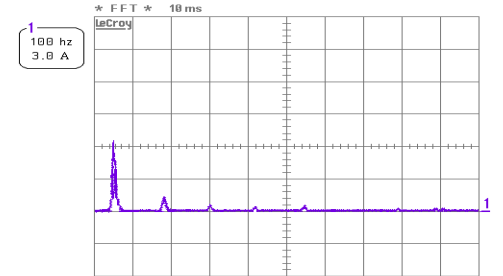
그림 8. 스위치 제어신호(1)에 대한 각 부의 실험파형
Fig. 8. Experimental waveforms of each part for switching control signal(1)

입력전류 파형을 분석하기위해 그림 9와 그림 10에 기존의 DCM 컨버터와 제안한 DCM-ZVS 컨버터의 입력필터를 통한 입력전류 i_n 의 파형과 입력전류에 대한 주파수 스펙트럼을 각각 나타낸다. 제안한 컨버터가 기존의 컨버터보다 기본파성분은 증대되고 고조파성분이 감소된 결과를 보인다. 이상의 실험파형들은 스위칭 주파수 40 kHz, 듀티율 30%에 대한 앞서의 시뮬레이션 결과와 잘 일치한다.

제안한 DCM-ZVS 컨버터와 기존의 DCM 컨버터에 대한 듀티율(D_c) 변화에 따른 출력전압 V_{cd} 의 관계를 그림 11에 나타낸다. 제안한 컨버터가 듀티율 변화에 따른 더욱 상승된 출력전압 분포를 보인다.

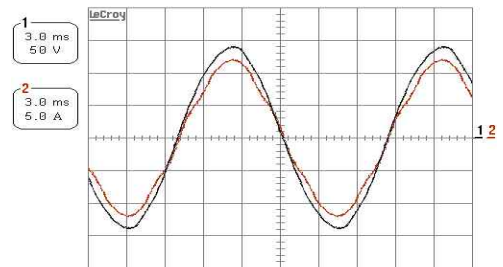


(a) 입력전압 $v_{in}(1)$ 과 입력전류 $i_{in}(2)$

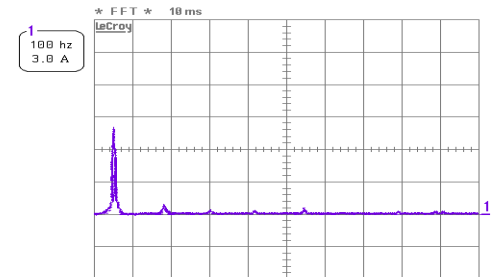


(b) 입력전류 i_{in} 의 주파수 스펙트럼

그림 9. 기존의 DCM 컨버터의 입력파형 및 주파수 스펙트럼
Fig. 9. Input waveform and frequency spectrum of conventional DCM converter



(a) 입력전압 $v_{in}(1)$ 과 입력전류 $i_{in}(2)$



(b) 입력전류 i_{in} 의 주파수 스펙트럼

그림 10. 제안한 DCM-ZVS 컨버터의 입력파형 및 주파수 스펙트럼
Fig. 10. Input waveform and frequency spectrum of proposed DCM-ZVS converter

이것은 제안한 컨버터에 유사공진용으로 이용된 커패시터 C_c 의 축적된 에너지가 유사공진에 의해 손실 없이 입력측으로 회생되었기 때문이다[모드 1].

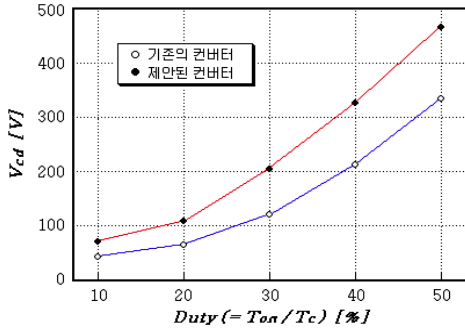


그림 11. 듀티율 변화에 대한 출력전압의 변화
Fig. 11. Relationship between V_{cd} and D_c

제안한 DCM-ZVS 컨버터와 기존의 DCM 컨버터에 대한 듀티율 변화에 따른 입력역률(PF)의 변화를 그림 12에 나타낸다.

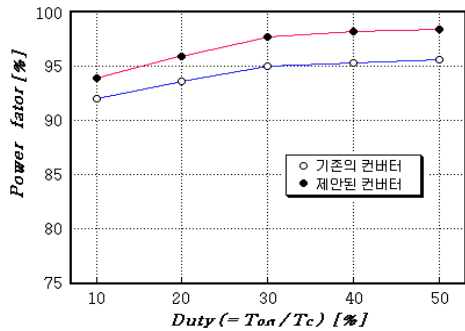


그림 12. 듀티율 변화에 대한 입력역률의 변화
Fig. 12. Relationship between PF and D_c

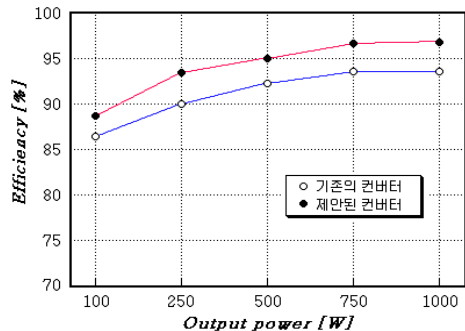


그림 13. 효율측정 비교
Fig. 13. Measured efficiency comparison

제안한 컨버터가 듀티율의 증가에 따른 높은 입력역률을 보인다. 이것은 유사공진용으로 사용된 스너버 커패시터의 충전전류가 손실없이 입력측으로 유입되기 때문이다.

그림 13은 제안한 컨버터와 기존의 컨버터에 대한 출력용량 변화에 따른 효율측정 비교를 나타낸다. 소프트 스위칭으로 동작되는 제안한 컨버터가 스너버 회로를 장착한 기존의 컨버터보다 상당한 효율증대를 보였다. 이것은 기존 컨버터의 경우 출력용량의 증가와 더불어 스너버 회로의 손실이 증대되기 때문이다.

V. 결론

본 논문에서는 새로운 DCM-ZVS 스텝 업-다운 컨버터를 제안하여 기존의 DCM 스텝 업-다운 컨버터와 비교 검토하였다. 제안한 컨버터는 기존의 컨버터에 스위치 보호용으로 사용되는 스너버 회로를 소프트 스위칭을 위한 유사공진 회로로 설계한 새로운 무손실 스너버 회로를 제안하여 회로구조가 간단하였으며, 전류불연속모드 방식과 일정 스위칭 주파수에 의해 제어방식 또한 용이하였다. 그리고 소프트 스위칭에 의해 기존의 컨버터에서 나타나는 스너버 손실이 없었으며, 공진회로는 지속적인 공진동작이 아닌 스위칭 동작 시에 부분적인 공진동작으로 인한 공진소자들의 용량분담과 스트레스를 저감시켜 전력변환기의 효율을 증대시켰다. 제안한 DCM 컨버터가 기존의 DCM 컨버터와 비교하여 약 2~5%의 상승된 효율을 가졌다. 특히 제안한 컨버터는 공진용 스너버 커패시터의 축적된 에너지의 입력측 유입으로 인해 기존의 DCM 컨버터와 비교하여 저차 고조파 성분이 감소되어 입력역률이 더욱 증대되었다. 제안한 컨버터가 기존의 컨버터보다 약 2~4% 우수한 역률을 보였다.

References

- [1] 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
- [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] Y. Jang, M. Jovanovic, and D.L. Dillman, "Soft-Switched PFC Boost Rectifier With Integrated ZVS Two-Switch Forward Converter", IEEE Trans. on PE, Vol. 21, No. 6, pp. 1600-1606, 2006

- [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, and C. S. Kim, "A Study on High Efficiency Boost DC-DC Converter of Discontinuous Current Mode Control", Trans. KIEE. Vol. 54B, No. 9, pp. 431-436, 2005
- [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-Off", IEEE Trans. on PE, Vol. 19, No. 4, pp. 918-927, 2004
- [7] Y. Tsuruta, and A. Kawamura, "A High Efficiency and High Power Chopper Circuit QRAS using Soft Switching under Test Evaluation at 8KW", Journal of Power Electronics, Vol. 6, No. 1, pp. 1-7, 2006
- [8] S. K. Chung, and J. G. Lim, "Design of Bootstrap Power Supply for Half-Bridge Circuits using Snubber Energy Regeneration", Journal of Power Electronics, Vol. 7, No. 4, pp. 294-300, 2007

BIOGRAPHY

Dong-Kurl Kwak (Life Member)



1990, 1993, 1997 : Dept. of Electrical Eng., Kyungnam Univ. (B.S., M.S., and Ph.D. degree)
 1991 : Research Engineer, KERI
 1998~2006 : Professor, Dept. of Electrical and Electronic Eng., Hanzong Univ.

Since 2007 : Professor, Grad. School of Disaster Prevention/Dept. of Control Instrumentation Eng., Kangwon National University

<Principal interest research> Power electronics, Digital system, Electric machine, Ubiquitous disaster prevention system