

새로운 고효율 절연형 스텝 업-다운 DC/DC 초퍼에 관한 연구

A Study on Novel Step Up-Down DC/DC Chopper of Isolated Type with High Efficiency

곽 동 길*

Dong-Kurl Kwak*

Abstract

This paper is analyzed for a step up-down DC/DC chopper of high efficiency added electric isolation. The converters of high efficiency are generally made that the power loss of the used semiconductor switching devices is minimized. To achieve high efficiency system, the proposed chopper is constructed by using a partial resonant circuit. The control switches using in the chopper are operated with soft switching by partial resonant method. The control switches are operated without increasing their voltage and current stresses by the soft switching technology. The result is that the switching loss is very low and the efficiency of the chopper is high. The proposed chopper is also added electric isolation which is used a pulse transformer. When the power conversion system is required electric isolation, the proposed chopper is adopted with the converter system development of high efficiency. The soft switching operation and the system efficiency of the proposed chopper are verified by digital simulation and experimental results.

요 약

본 논문에서는 새로운 고효율의 절연형 스텝 업-다운 DC/DC 초퍼에 대해 해석하였다. 일반적으로 고효율의 초퍼를 만들기 위해서는 전력변환기내에 사용된 반도체 스위칭 소자의 손실이 최소화 되어야 한다. 본 논문에서는 부분공진 회로를 초퍼에 추가하여 고효율을 실현시킨다. 제안한 초퍼에 사용된 제어용 스위칭 소자들은 부분공진 기법에 의해 소프트 스위칭으로 동작하고, 이에 따른 제어용 스위칭 소자들은 전압과 전류의 스트레스 없이 동작한다. 그 결과 제안한 초퍼는 스위칭 손실의 저감에 의해 고효율로 구동한다. 그리고 제안한 초퍼는 펄스 변압기를 이용하여 입력단과 출력단을 절연시켜, 전기적 절연이 요구되는 전력변환기들에 적용되어 고효율의 전력변환 시스템을 개발할 수 있는 장점이 부여된다. 제안한 절연형 스텝 업-다운 초퍼의 소프트 스위칭 동작과 시스템 효율은 다양한 시뮬레이션과 실험결과를 통해 그 타당성이 입증된다.

Key words : Step up-down chopper, Soft switching, Partial resonant method, High efficiency converter, Isolated converter

1. 서론

최근 친환경적이면서 부족자원들을 해결하기 위한 신재생 에너지 개발에 많은 관심을 보이고 있으며,

* 江原大學校 防災專門大學院 / 電氣制御工學部

(Professional Graduate School of Disaster Prevention /
Division of Electrical & Control Engineering,
Kangwon University)

接受日: 2009年 12月 7日, 修正完了日: 2009年 12月 23日

특히 연료전지나 태양전지 발전시스템에 많은 연구개발이 이뤄지고 있다[1]-[3]. 이들 연료전지나 태양전지는 화학에너지 또는 광에너지를 전기에너지로 변환시켜 각종 전기·전자기기 및 통신기기 등에 에너지를 공급하는 것으로써, 출력되는 전기에너지는 직류전압의 형태를 가진다. 이렇게 출력된 직류전압은 부하가 요구하는 전압으로 승압(step up) 또는 강압(step down)되어 공급되며, 이 때 신재생 에너지의 출력을 최대한으로 활용하기 위해서는 고효율의 SMPS

(switching mode power supply) 즉, 고효율 DC/DC 초퍼가 요구된다. 현재 많이 사용되는 절연형 스텝 업-다운 DC/DC 초퍼는 그림 1과 같이 에너지 축적용 인덕터 L 와 단락용 제어스위치 S 를 이용하여 스위치의 PWM(pulse width modulation)제어에 의해 구현된다. 이러한 전력변환기들은 스위칭 주파수를 높임으로써 변환기의 소형화, 경량화 그리고 저잡음화를 성취한다. 또한 연료전지나 태양전지 발전시스템에서 입력단과 부하단을 보호하고 출력전력을 최대화하기 위해서 입력단과 부하단 사이에 펄스용 변압기를 이용하여 전기적 절연을 부가한 전력변환기들이 개발된다[4][5]. 그러나 이들 전력변환기들에 사용된 스위치들은 높은 스위칭 주파수에 의해 스위칭 손실이 크며 많은 스트레스를 받게 되어 변환기의 효율을 현저히 감소시킨다. 또한 전력변환기들은 스위치를 보호하기 위해서 그림 1과 같이 스위치 주변에 스너버(snubber) 회로를 이용하여 보완하지만 출력전류가 증가할 경우 스너버 손실이 크게 되어 변환기의 효율을 더욱 감소시킨다.

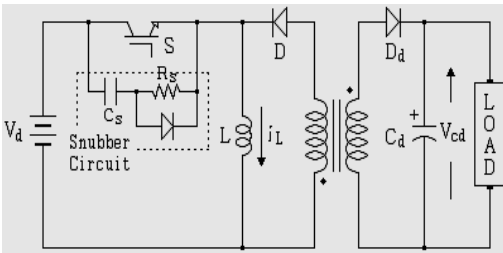


Fig. 1. Conventional step up-down DC/DC chopper of isolated type

그림 1. 기존의 절연형 스텝 업-다운 DC/DC 초퍼

이들을 개선하기 위하여 스위치의 턴-온과 턴-오프 동작을 소프트 스위칭 즉, 영전압 스위칭 (ZVS, zero voltage switching) 또는 영전류 스위칭 (ZCS, zero current switching)으로 만들어 스위칭 손실 및 스너버 손실을 감소시키는 회로 토폴로지들이 많이 연구되고 있다[5]-[7]. 이들 소프트 스위칭 회로들은 변환기의 스위치 단에 다양한 공진회로 기법들을 적용시킨 것으로서, 이들 회로들의 일반적인 문제점으로는 변환기 내에 사용된 스위치 수의 증가로 인한 스위칭 시퀀스가 복잡하고 출력전류를 증가시킬 경우 지속적인 공진에 의한 공진소자들의 손실과 스트레스가 증가되는 문제점이 있다. 본 논문에서는 소프트 스위칭을 위한 공진회로부와 스위칭 제어기법이 간단한 부분공진회로 토폴로지[8],[9]를 개발하여 적용시킨 고효율의 스텝 업-다운 DC/DC 초퍼를 제안한다.

제안한 DC/DC 초퍼의 부분공진회로는 기존의 초퍼에 사용되는 스너버 회로를 공진회로로 변형 설계한 새로운 회로구조로써 회로구성이 간단하며 부분공진으로 인한 공진용 소자들의 손실과 스트레스를 감소시키고, 또한 부분공진용으로 이용된 커패시터는 기존의 스너버용 커패시터와 달리 무손실로 동작되어 출력전압을 증대시키는 이점이 있다.

II. 제안한 절연형 스텝 업-다운 DC/DC 초퍼

1. 회로구성

제안한 고효율 절연형 스텝 업-다운 DC/DC 초퍼의 주회로도들 그림 2에 나타낸다. 회로구성은 스텝 업-다운 제어용 스위치 S_1, S_2 , 소프트 스위칭을 위한 부분공진용 소자 L_r 과 C_r , 전기적 절연을 위한 펄스 변압기, 그리고 주변소자들로 구성된다.

부분공진 회로부는 기존의 전력변환기에 사용되는 스너버 회로를 변형 설계한 구조로써 무손실 스너버 [9]로 동작된다. 스위치 S_1, S_2 의 동작을 살펴보면, 스위치 턴-온은 인덕터 L_r 의 전류가 불연속적으로 제어되므로 영전류 스위칭으로 되고, 턴-오프는 부분공진회로의 동작에 의한 커패시터 C_r 의 전압이 영으로 될 때 동작되어 영전압 스위칭으로 된다.

또한 제안한 스텝 업-다운 초퍼는 PWM 스위칭 제어에 의해 출력전압이 조정되고 스텝 업-다운용 인덕터에 흐르는 전류는 불연속모드로 제어된다.

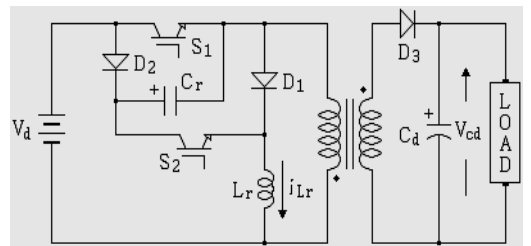


Fig. 2. Proposed step up-down DC/DC chopper with high efficiency

그림 2. 제안한 고효율 스텝 업-다운 DC/DC 초퍼

그 결과 제안한 초퍼는 소프트 스위칭에 의해 고효율로 동작하고 전류 불연속모드 제어에 의한 제어기법과 제어회로가 간단한 장점이 있다.

2. 스위칭 1주기에 대한 회로해석

그림 3은 스위칭 1주기(T_s)에 대한 각 동작모드별 동작회로를 나타내고 있으며 4가지 동작모드로 구분된다.

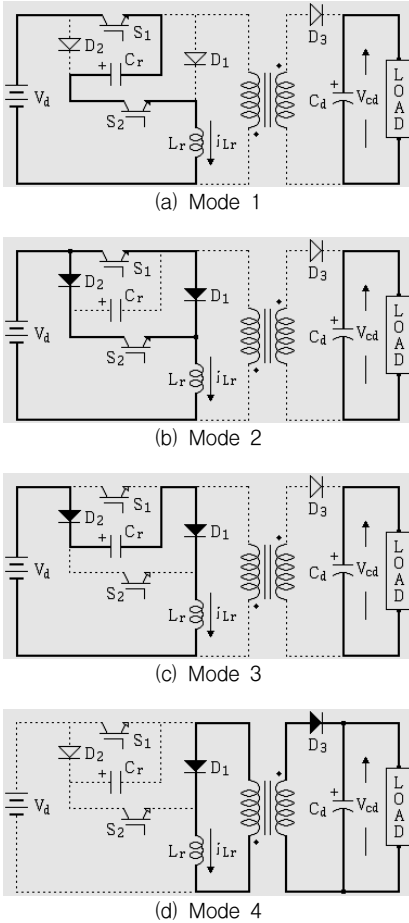


Fig. 3. Equivalent circuits in one cycle switching
그림 3. 스위칭 1주기에 대한 모드별 등가회로

부분공진 회로부의 초기조건으로 스위치 S_1 , S_2 는 오프, 커패시터 C_r 에는 입력전압 V_d 와 출력측 커패시터 C_d 의 전압 V_{cd} 의 합($V_d + V_{cd}$)으로 충전되어 있다.

Mode 1 (T_1 , $t_0 \sim t_1$)

시간 t_0 에서 스위치 S_1 과 S_2 를 동시에 턴-온하면, 회로경로는 $V_d \rightarrow S_1 \rightarrow C_r \rightarrow S_2 \rightarrow L_r \rightarrow V_d$ 의 직렬공진 회로가 형성된다. 스위치 턴-온 직전의 인덕터 L_r 에 흐르는 전류 i_{Lr} 는 영이므로 S_1 , S_2 는 ZCS로 동작을 한다. 그리고 전원전압 V_d 와 커패시터의 충전전압 v_{cr} 와의 합이 인덕터 L_r 에 인가되어 L_r 와 커패시터 C_r 는 직렬공진을 하고 C_r 가 방전한다. 공진 인덕터의 저항을 무시하면, 커패시터의 전압 v_{cr} 는 식 (1)과 같이 방전하고 인덕터 L_r 에 흐르는 전류 i_{Lr} 는 식 (2)와 같이 증가한다. 커패시터 전압 v_{cr} 이 영으로 되면 모드 1은 끝

나며, 식 (3)은 이 모드의 기간이고 식 (4)는 이 모드가 끝나는 시점의 인덕터 전류이다.

$$v_{cr} = (2V_d + V_{cd}) \cos \omega_r t - V_d \quad (1)$$

$$i_{Lr} = \frac{2V_d + V_{cd}}{X} \sin \omega_r t \quad (2)$$

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

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

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

Mode 2 (T_2 , $t_1 \sim t_2$)

모드 2는 커패시터 전압 v_{cr} 이 영으로 되어 다이오드 D_1 , D_2 가 도통되는 모드이다. 제어스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터 L_r 의 전류는 S_1 - D_1 , D_2 - S_2 의 두 회로로 분류한다. 이 모드의 기간에서 인덕터 L_r 는 에너지를 축적한다. 이 때의 인덕터 전류 i_{Lr} 는 식 (5)와 같이 직선적으로 증가한다. T_2 는 스위치 S_1 , S_2 를 오프하기까지의 시간으로 식 (6)과 같다. 식 (7)은 이 모드가 끝나는 시점의 인덕터 전류이다.

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

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

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

Mode 3 (T_3 , $t_2 \sim t_3$)

시간 t_2 에서 스위치 S_1 , S_2 를 오프하면, 인덕터 L_r 의 전류 i_{Lr} 는 D_2 - C_r - D_1 를 통하여 흐르고 인덕터 L_r 와 커패시터 C_r 는 다시 직렬공진을 하여 C_r 를 충전시킨다. 커패시터 C_r 와 병렬로 배치된 스위치들의 턴-오프 동작은 공진 초기에서 커패시터 전압이 영이므로 ZVS로 동작된다. 이 모드에서의 커패시터 전압은 식 (8)과 같으며, 인덕터에 흐르는 전류는 식 (9)와 같다. 커패시터 전압 v_{cr} 이 입력전압 V_d 와 출력전압 V_{cd} 의 합으로 될 때 이 모드는 끝나며, 이 모드의 기간 T_3 은 식 (10)에 주어지고 인덕터의 최종전류 I_3 는 식 (11)과 같다.

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

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

$$T_3 = \sqrt{L_r C_r} \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{V_d}{\sqrt{V_d^2 + \frac{L_r}{C_r} I_2^2}} \right) - \theta \right\} \quad (10)$$

$$I_3 = I_2 \cos \omega_r T_3 + \sqrt{\frac{C_r}{L_r}} V_d \sin \omega_r T_3 \quad (11)$$

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

Mode 4 ($T_4, t_3 \sim t_4$)

모드 4는 커패시터 C_r 의 충전이 끝난 후 다이오드 D_3 를 통하여 인덕터 L_r 의 전류가 부하측으로 유입되는 모드이다. 이 때의 인덕터 전류 i_{Lr} 는 직선적으로 감소하며 인덕터 전류가 영으로 되면 이 모드는 끝나고, 제어스위치들은 다음의 스위칭 사이클에 대기한다. 이 모드에서 인덕터 전류 i_{Lr} 는 식 (12)와 같고 이 모드의 기간 T_4 는 식 (13)과 같다.

$$i_{Lr} = -\frac{V_{cd}}{L_r} t + I_3 \quad (12)$$

$$T_4 = \frac{L_r}{V_{cd}} I_3 \quad (13)$$

III. 시뮬레이션 결과 및 검토

제한한 고효율 절연형 스텝 업-다운 DC/DC 초퍼의 동작특성을 확인하기 위해 PSpice로 시뮬레이션을 하였다. 컴퓨터 시뮬레이션에 사용된 회로정수들을 표 1에 나타낸다. 제한한 초퍼의 스위칭 동작에 대한 각부의 시뮬레이션 파형을 그림 4에 나타낸다. 그림 4에는 공진회로의 커패시터 전압 v_{cr} 와 인덕터 전류 i_{Lr} , 그리고 제어스위치의 양단전압 v_{s1} , v_{s2} 와 스위칭 전류 i_{s1} , i_{s2} 등 주요 동작파형들을 스위칭 1주기에 대해 각 모드별로 나타낸다.

Table 1. Parameters of simulated circuit

표 1. 시뮬레이션 회로정수

입력전압 V_d	DC 100 V	부하저항 R_L	100 Ω
출력전압 V_{cd}	DC 200 V	스위칭 주파수 f_c	40 kHz
공진인덕터 L_r	100 μ H	듀티율 D_c (T_{on}/T_c)	40 %
공진커패시터 C_r	50 nF	펄스 변압기 (권선비)	1 : 1
평활 커패시터 C_d	2000 μ F	결합계수 K	1

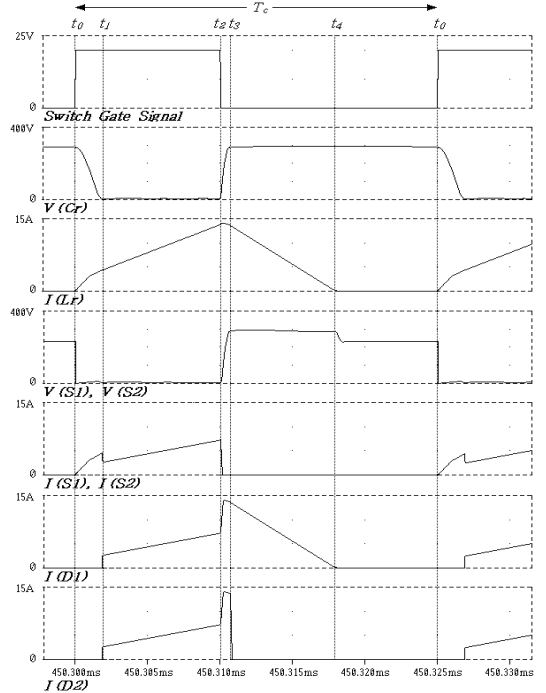


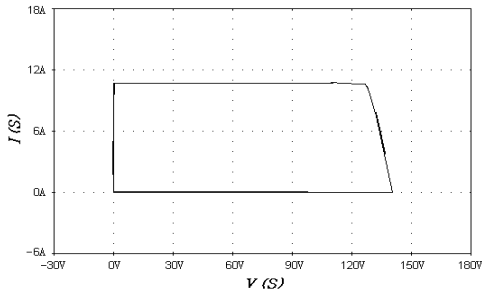
Fig. 4. Simulation waveforms in switching one cycle

그림 4. 스위칭 1주기에 대한 시뮬레이션 파형

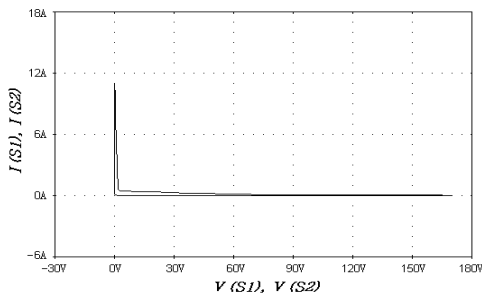
그림 4의 시뮬레이션결과를 검토해보면, 시각 t_0 에서 스위치 S_1, S_2 를 턴-온하면 LC 직렬 공진회로에 의한 커패시터 C_r 가 방전을 시작하고 인덕터 L_r 는 에너지를 축적하게 된다. 이 시점에서의 스위치 S_1, S_2 를 흐르는 전류 i_s 는 인덕터 전류 i_{Lr} 와 같고 스위치들은 ZCS로 동작된다. 시각 t_1 에서 커패시터 전압 v_{cr} 가 영으로 되면 제어스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터 L_r 의 전류는 직선적으로 증가하며 에너지를 축적한다. 이 시점의 인덕터 전류 i_{Lr} 는 스위치 S_1 과 S_2 로 분류된다. 시각 t_2 에서 스위치를 오프하면 다시 LC 직렬 공진회로에 의한 커패시터 C_r 가 충전을 시작한다. 그리고 이 시점에서의 스위치 S_1, S_2 양단전압은 커패시터 전압 v_{cr} 와 같고 스위치들은 ZVS로 동작한다. 시각 t_3 에서 커패시터 전압 v_{cr} 는 입력전압 V_d 와 출력전압 V_{cd} 의 합으로 되고 인덕터 전류 i_{Lr} 는 부하측으로 유입되어 직선적으로 감소하여 시각 t_4 에서 영으로 된다.

소프트 스위칭 기법이 적용된 제한한 고효율 스텝 업-다운 초퍼와 기존의 스텝 업-다운 초퍼[그림 1]의 스위칭 손실을 비교하기 위해서 제어소자의 V-I 특성곡선을 그림 5에 나타낸다. V-I 특성곡선에서 둘러싸인 면적이 스위칭 손실과 비례하므로 제한한 초퍼의

스위칭 손실이 매우 적음을 알 수 있다. 제안한 초퍼에는 소프트 스위칭을 위한 새로운 부분공진회로 즉, 무손실 스너버 회로가 설계되어 기존의 초퍼에서 나타나는 스너버 손실이 없이 소프트 스위칭으로 동작하여 초퍼의 효율을 증대시키는 결과를 가져온다.



(a) Conventional chopper



(b) Proposed chopper

Fig. 5. Switching locus of controlling switch
그림 5. 제어 스위치의 스위칭 궤적

또한 제안한 스텝 업-다운 초퍼의 시뮬레이션 결과 파형에서, 공진회로는 공진 1주기 동안 지속적으로 이루어지지 않고 스위치의 턴-온과 턴-오프에서 부분적인 공진동작을 볼 수 있다. 이러한 동작에 의해 공진소자들의 용량분담과 스트레스를 줄인다. 이상의 컴퓨터 시뮬레이션 결과들은 앞서의 이론적 해석의 타당성을 입증시킨다.

IV. 실험결과 및 검토

실험회로 구성은 전력용량 1kW급, DC 100V의 입력전압에 DC 200V의 출력전압으로 설계하였으며, 실험회로에 사용된 소자들의 정수값을 표 2에 나타낸다. 제어스위치의 구동 스위칭 주파수는 40kHz를 기준으로 DSP프로세서에 PWM 데이터 테이블을 작성하여 듀티율 변화에 따른 각부 동작파형들을 측정 검증하였다.

Table 2. Parameters of experimental circuit
표 2. 실험회로의 회로정수

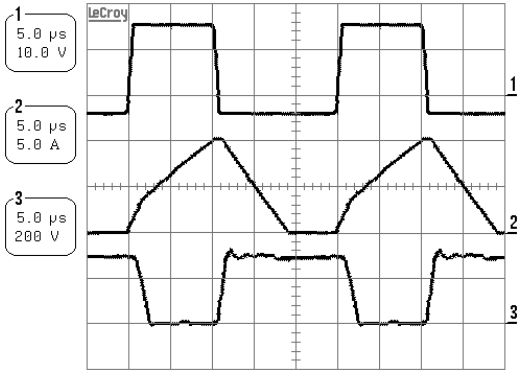
구성 소자	규격	특성
전력용 스위치 (S_1, S_2)	IGBT_HGT 1N40N60A4D	$V_{CE}=600V, I_c=40A$ $T_{on}=25ns, T_{off}=145ns$
전력용 다이오드 (D_1, D_2, D_3)	FRD타입 KSF30A60E	$V_r=600V, I_f=30A$ $T_{rr}=60ns$ ($I_f=10A$ 기준)
공진 인덕터 L_r	100 μH	Mn-Zn 페라이트 코어, 공극: 0.5mm
공진 커패시터 C_r	50 nF	다층 세라믹 재질, 양방향성
평활 커패시터 C_d	2000 μF	전해질, 단방향성
펄스 변압기	2mH/2mH	페라이트 코어, $K=0.98$
부하저항 R_L	100 Ω / 1kW	무유도성 저항기

그림 6은 제어스위치 S_1, S_2 의 듀티율 40%인 게이트 제어신호에 대한 인덕터 전류 i_{Lr} 와 커패시터 전압 v_{cr} 의 파형과 스위치 S_1, S_2 에 흐르는 전류 i_s 와 스위치 양단에 걸리는 전압 v_s 의 파형을 나타낸다. 그림 6(a)의 실험파형에서 공진회로는 공진 1주기 동안 지속적으로 이루어지지 않고 스위치의 턴-온과 턴-오프시에만 부분적인 공진동작을 볼 수 있으며, 이러한 동작에 의해 공진소자들의 용량분담과 스트레스를 줄이고, 출력전류가 증가할 경우 공진손실이 감소된다. 그리고 그림 6(b)에서 제어스위치들은 공진동작에 의해 영전류에서 턴-온되며 영전압에서 턴-오프되는 소프트 스위칭 동작을 보인다. 이것은 무손실 스너버 회로가 적용된 제안한 초퍼가 기존의 초퍼와 비교하여 스위칭 손실이 적게되어 변환기의 효율을 증대시켰다. 또한 스위치들은 $dv/dt, di/dt$ 의 영향이 없으므로 EMI 등의 전자유도 잡음이 나타나지 않았다.

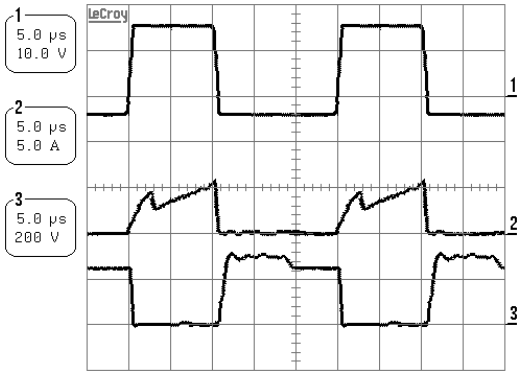
이상의 실험파형들은 스위칭 주파수 40[kHz], 듀티율 40[%]에 대한 앞서의 시뮬레이션 결과와 잘 일치된다.

그림 7은 제안한 스텝 업-다운 초퍼와 기존의 스텝 업-다운 초퍼에 대한 듀티율 변화에 따른 출력전압 V_{cd} 의 관계를 나타낸다. 제안한 초퍼가 듀티율 변화에 따른 더욱 상승된 출력전압 분포를 보인다. 이것은 제안한 초퍼에 부분공진용으로 이용된 커패시터 C_r 의 축적된 에너지가 부분공진에 의해 손실없이 입력측으로 회생되었기 때문이다 [Mode 1].

그림 8은 제안한 초퍼와 기존의 초퍼의 효율측정 비교를 나타낸다. 제안한 초퍼는 기존의 초퍼와 비교하여 사용된 제어스위치의 턴-온과 턴-오프 손실이 크게 줄어 효율이 상당히 개선되었다.



(a) Inductor current i_{Lr} and capacitor voltage v_{cr}



(b) Switch current i_s and voltate v_s

Fig. 6. Experimental waveforms of each part for switching control signal

그림 6. 스위칭 제어신호에 대한 각부의 실험파형

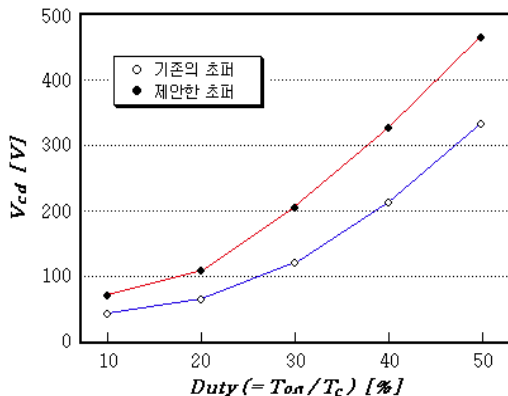


Fig. 7. Relationship between output voltage V_{cd} and duty factor

그림 7. 듀티율에 대한 출력전압 V_{cd} 의 관계

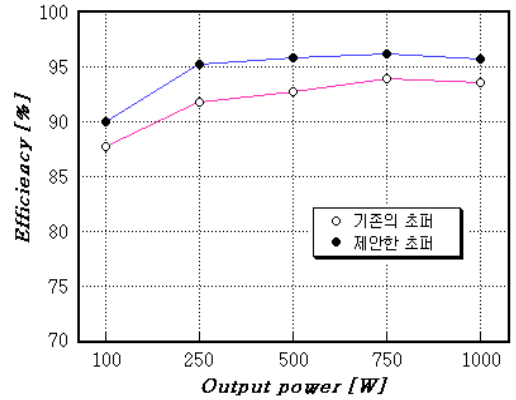


Fig. 8. Measured efficiency comparison

그림 8. 효율측정 비교

V. 결론

본 논문에서는 새로운 고효율 절연형 스텝 업-다운 DC/DC 초퍼를 제안하여 기존의 초퍼와 비교하여 검토되었다. 제안한 초퍼는 부분공진 기법이 적용된 새로운 소프트 스위칭 회로가 설계되어 회로구조와 제어기법이 간단한 이점이 있다. 제안한 컨버터의 부분공진회로는 구조적으로 기존의 초퍼에 사용되는 스텝 업-다운용 인덕터와 스너버 회로를 공진회로로 변형 설계한 새로운 무손실 스너버 회로구조로써 회로구성이 간단하였으며, 사용된 제어용 스위치들의 소프트 스위칭에 의한 컨버터의 효율을 증대시켰다. 또한 제안한 초퍼의 공진용 소자들은 부분공진에 의해 용량분담과 공진 스트레스가 줄어드는 이점이 있다. 더욱이 제안한 초퍼에 부분공진용으로 이용된 커패시터의 축적된 에너지가 부분공진에 의해 손실없이 입력측으로 회생되어 기존의 초퍼와 비교하여 더욱 높은 출력전압을 가졌다. 또한 제안한 고효율 초퍼는 절연형으로 설계되어 절연이 요구되는 전력변환기에 적용될 수 있는 장점이 있다.

참고문헌

- [1] Y.M.Choi, J.Y.Lim, "A Study on Optimal Design of Photovoltaic System for Efficiency Progress", *Journal of IKEEE*, Vol. 13, No. 2, pp. 175-180, 2009
- [2] Y. M. Farrell, D. W. Keith, and J. J. Corbett, "A strategy for Introducing Hydrogen into Transportation", *Energy Policy* 31, pp. 1357-1367, 2003
- [3] K-A. Adamson, "Calculating the Price Trajectory of Adoption of Fuel Cell Vehicles", *International Journal of*

Hydrogen Energy 30, pp. 341-350, 2005

[4] Y. Jang, M. Jovanovic, 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

[5] D. Sadamac, 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

[6] S. J. Park, "A development of noise improvement DC-DC converter for PM OLED module", *Journal of IKEEE*, Vol. 13, No. 2, pp. 248-252, 2009

[7] 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

[8] B. Feng, D. Xu, "1-kW PFC Converter With Compound Active-Clamping", *IEEE Trans. on PE*, Vol. 20, No. 2, pp. 324-331, 2005

[9] D. K. Kwak, "A Study on ZVCS DC-DC Chopper by using Partial Resonant Method", *Journal of the Microelectronics & Packaging Society*, Vol. 15, No. 1, pp. 59-64, 2008

저 자 소 개

곽 동 결 (정회원)



1990년 : 경남대학교 전기공학과
졸업 (공학사)

1993년 : 경남대학교 대학원
전기공학과 (공학석사)

1997년 : 경남대학교 대학원
전기공학과 (공학박사)

1991년 : 한국전기연구원 고전압시험실
기술원

1997년~2006년 : 한중대학교 전기전자
공학과 교수

2007년~현재 : 강원대학교 방재전문대학원 / 전기제어공학
부 교수

<주관심분야> 전력전자, 전기기기, 디지털제어시스템, 유비
쿼터스 방재시스템