

무손실 스너버를 이용한 부분공진 스위칭에 의한 고효율 승압형 단상 컨버터

徐基永, 郭東杰, 田重槭, 李鉉雨

Boost 1ψ converter of high efficiency by partial resonant switching using lossless snubber

K.Y. Suh, D.K. Kwak, J.H. Jun, H.W. Lee

요 약

전력변환 시스템은 소형화, 경량화, 저잡음화를 실현하기 위하여 스위칭 주파수가 증대되어야 한다. 하지만 컨버터의 스위치들은 스위칭 스트레스와 많은 스위칭 전력손실을 동반한다. 이들 때문에 전력 시스템은 낮은 효율을 가져온다. 본 논문에서 부분공진 모드에 의한 고효율의 승압형 단상 컨버터를 제안한다. 제안된 회로의 소자들은 소프트 스위칭으로 동작되며 이것의 제어기술은 일정 듀티 사이클에서 동작되도록 스위치군을 간략화 하였다. 부분공진 회로는 승강압에 사용되는 인덕터와 무손실 스너버의 콘덴서를 사용한다. 또한, 이 회로는 종래의 회로가 가지는 스너버의 손실이 없는 스너버 콘덴서에 축적된 에너지를 입력전원 측으로 회생시킴으로서 효율증대의 장점이 있다. 그 결과로 스위칭 손실이 매우 낮고 효율과 시스템 역률이 높게 된다. 제안된 컨버터는 전력용 스위칭 소자들이 사용되는 고�출력의 응용분야에 가장 적합하다고 생각된다.

ABSTRACT

Power conversion system must increase switching frequency in order to achieve small size, light weight and low noise. However, the switches of converter are subject to high switching power losses and switching stresses. As a result, the power system has a lower efficiency. In this paper, the authors propose an AC-DC boost converter of high efficiency by partial resonant switching mode. The switching devices in the proposed circuit are operated with soft switching and the control technique of those is simplified for switch to drive in constant duty cycle. The partial resonant circuit makes use of an inductor using step up and a condenser of loss-less snubber.

Besides, by regenerating energy, that is charged in a loss less snubber condenser of a snubber adopted to a common circuit, toward an input source part, this circuit can get increased efficiency, as merit. The result is that the switching loss is very low, the efficiency and power factor of system is high. The proposed converter is deemed the most suitable for high power applications where the power switching devices are used.

Key Words: Boost 1ψ converter, High efficiency, Partial resonant switching, loss less snubber condenser

1. 서 론

최근 반도체 제조기술의 발달은 전력용 스위치의 고속 스위칭을 가능케 하였다. 이에 의해 전력변환기들은 스위칭 주파수를 높임으로써 변환기의 소형화, 경량화, 저잡음화 등을 성취하였다.^[1-6] 그러나 이들 변환기에 사용된 스위치들은 높은

스위칭 주파수에 의해 스위칭 손실이 크며 많은 스트레스를 받게 되어 변환기의 효율을 현저히 감소시킨다. 또한 전력변환기들은 하드 스위칭 동작에 의한 스위치를 보호하기 위해서 스위치 주변에 스너버 회로를 이용하여 보완하지만 출력 전류가 증가할 경우 스너버 손실이 크게 되어 효율은 더욱 감소된다. 이들을 개선하기 위하여 본 논문에서는 부분공진의

기법을 전력변환기에 적용시킨 고효율의 전력변환기를 제안한다. 제안된 회로는 부분공진 기법(PRSM : Partial Resonant Switch Method)에 의해 변환기에 사용된 스위치들의 동작을 소프트 스위칭으로 하면 스위칭 손실이 저감되며, 공진 회로부는 부분공진으로 인하여 공진 손실 및 공진용 소자들의 스트레스가 감소되므로 제안한 변환기는 고효율로 동작된다. 또한 입력전류 불연속 제어에 의해 입력전압의 크기에 비례해서 입력전류가 정현파상으로 되므로 입력역률을 거의 단위역률로 만들 수 있다.^[7-13] 그리고 본 회로의 공진회로부는 구조적으로 일반적인 승압형 컨버터에 사용되는 승압용 인덕터와 전력변환기에서 스위치에 이용되는 스너버 회로의 스너버 콘덴서를 이용하여 실현된다. 그러므로 제안회로에서 인덕터는 승압과 공진용으로 이용되고 스너버 콘덴서가 공진용 소자로 이용됨으로써 회로구조가 간단하다. 그리고 회로내에 사용된 제어소자들의 적정배치로 인해 소자들은 용량분담이 좋고, 듀티율 일정한 스위칭 동작에 의해 제어기법이 간단하며, 주회로 소자는 두 개로 되나 전류가 반으로 흘러 소자용량을 반으로 줄일 수 있다. 또한 스너버 콘덴서는 공진회로부의 동작에 의해 콘덴서에 축적된 에너지를 전원측으로 회생시켜 무손실 스너버 콘덴서로 되어 변환기의 효율을 증대시킨다.

2. 부분공진 스위칭 기법과 제안회로 구성

2.1 부분공진 스위칭 기법

부분공진 소프트 스위칭 회로를 그림 1에 나타낸다. 스위칭 소자 S₁, S₂와 병렬로 공진용 콘덴서 C_r이 연결되어 있으며, 직렬로 공진용 인덕터 L_r이 접속된다. 스위치의 턴-온, 턴-오프 시에 대한 각 파라미터의 전압 및 전류파형은 그림 2와 같으며, 스위치 동작을 살펴 보면 다음과 같다.

스위치가 턴-온할 때는 초기조건으로 인덕터 L_r의 전류 I_L는 영이며 콘덴서 C_r에는 전압 V_c로 충전되어 있다고 가정하면, 스위치 온 직전의 인덕터에 흐르는 전류 I_L는 영이므로 스위치 S₁, S₂의 턴-온 동작은 영전류 스위칭(ZCS)을 이룬다. 스위치의 턴-온 동작에 의해서 LC 직렬공진 회로가 형성되어 인덕터 전류 i_L는 식 (1)과 같이 증가하고, 콘덴서 C_r의 전압 v_c는 식 (2)로 되어 영으로 감소한다.

$$i_L = \frac{2V_i + V_c}{X} \sin \omega t \tag{1}$$

$$v_c = (2V_i + V_c) \cos \omega t - 2V_i \tag{2}$$

여기서

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

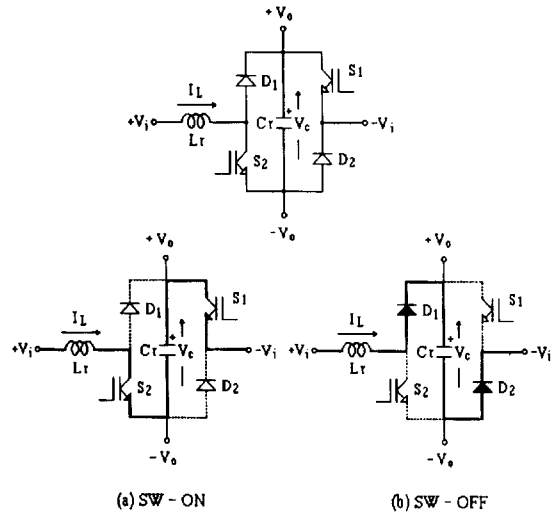


그림 1 PRSM 회로 토폴로지
Fig. 1 PRSM circuit topology

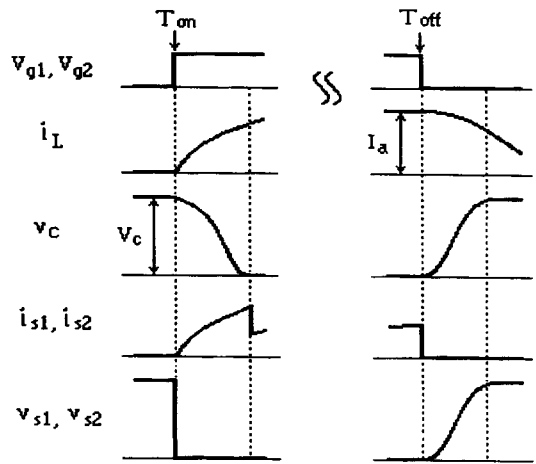


그림 2 PRSM의 동작파형
Fig. 2 Operating waveforms of PRSM

스위치가 오프할 때는 스위치 오프 직전의 조건으로 콘덴서 C_r의 전압 v_c는 영이며 인덕터 L_r에는 전류 I_a가 흐른다고 가정하면, 스위치 오프 직전의 콘덴서에 전압은 영이므로 스위치 S₁, S₂의 오프 동작은 영전압 스위칭(ZVS)을 이룬다. 스위치의 오프 동작에 의해서 다이오드 D₁, D₂가 도통되고 LC 직렬공진 회로가 다시 형성되어 콘덴서 C_r의 전압 v_c는 식 (3)과 같이 증가하고, 인덕터 전류 I_L는 식 (4)로 되어 에너지를 방출한다.

$$v_c = 2V_i + \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} I_a \sin(\omega t + \theta) \tag{3}$$

$$i_{L_r} = I_a \cos(\omega t + \theta) \quad (4)$$

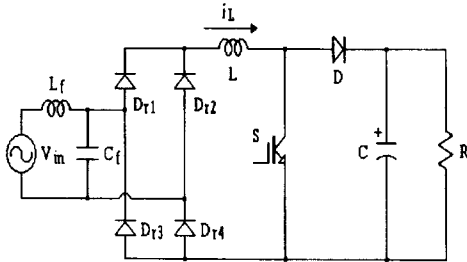
여기서

$$\theta = \sin^{-1}\left(-\frac{2V_i}{\sqrt{\frac{L_r I_a}{C_r}}}\right)$$

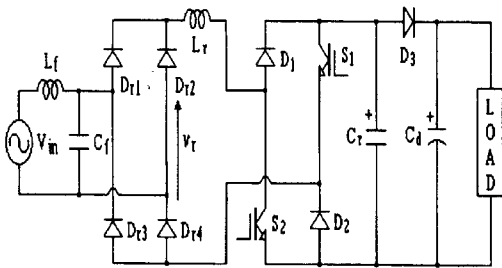
이상에서와 같이 공진회로는 공진 한 주기 동안 지속적으로 이루어지지 않고 스위치 턴-온과 턴-오프 시에 공진 주기 일부분에서 부분적으로 형성되므로 "부분공진 기법"이라 한다. 이것은 공진 소자들의 용량분담과 스트레스를 줄이고 출력전류가 증가할 경우 공진 손실을 감소 시켜준다. 그리고 부분공진의 기법에 의해 사용된 스위치들은 소프트 스위칭으로 되므로 시스템의 효율을 증대시키고 dv/dt, di/dt에 의한 전자유도 잡음 등을 줄일 수 있다.

제안한 부분공진 회로의 구성을 보면 사용된 공진용 인덕터는 일반적인 승압형 컨버터에 사용되는 에너지 축적용 인덕터로 대체할 수 있으며, 공진용 콘덴서는 스위칭 모드 전력변환기에 이용되는 스너버 회로의 스너버 콘덴서로 대체할 수 있다. 그래서 본 논문에서는 이러한 장점을 겸비한 회로구성의 토폴로지를 제안한다.

2.2 회로 구성



(a) 기존의 하드 스위칭 승압형 단상 컨버터



(b) 고효율 승압형 단상 컨버터

그림 3 기존의 컨버터와 고효율 컨버터
Fig. 3 The conventional converter and high efficiency converter

회로 구성은 그림 3에 기존의 하드 스위칭 승압형 단상 컨버터 (그림 3. a)와 본 논문에서 제안하는 고효율의 승압형 컨버터 (그림 3. b)를 나타낸다. 회로구성은 기존의 승압형 컨버터의 입력측과 부하단 사이에 소프트 스위칭과 승압을 겸하는 공진 회로부를 접속한다. 공진 회로부는 제어소자들과 승압용(&공진용) 인덕터 그리고 무손실 스너버 콘덴서로 구성되며, 콘덴서에 축적된 에너지는 스위치 S1, S2의 턴-온 시에 전원측으로 회생되는 모드를 가진다. 스위치 S1, S2의 턴-온은 인덕터 Lr의 전류가 불연속적으로 제어되므로 영전류 스위칭으로 되고, 턴-오프는 Cr의 전압이 영전압이 될 때 동작하므로 영전압 스위칭으로 된다.

3. 시뮬레이션 결과 및 검토

제안한 고효율 승압형 단상 컨버터의 스위치 동작에 대한 각부 동작 시뮬레이션 파형을 그림 4에 나타낸다. 제어 스위치는 가변저항 스위치로 가정하고 그 외 소자는 이상적인 소자로 하여 PSpice에 의한 시뮬레이션을 하였다.

그림 4에는 각 모드의 구간에 대해서 나타내고 있으며, 시각 t0에서 스위치 S1, S2를 턴-온하면, LC 직렬 공진회로에 의한 콘덴서 Cr이 방전을 시작하고 인덕터 Lr는 에너지를 축적하게 된다. 이 시점에서의 스위치 S1, S2를 통하는 전류 is는 인덕터 전류 iLr와 같고, 스위치들은 ZCS로 동작을 한다. 시각 t1에서 콘덴서 전압 vCr이 영전압이 되면, 제어 스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터 Lr의 전류는 직선적으로

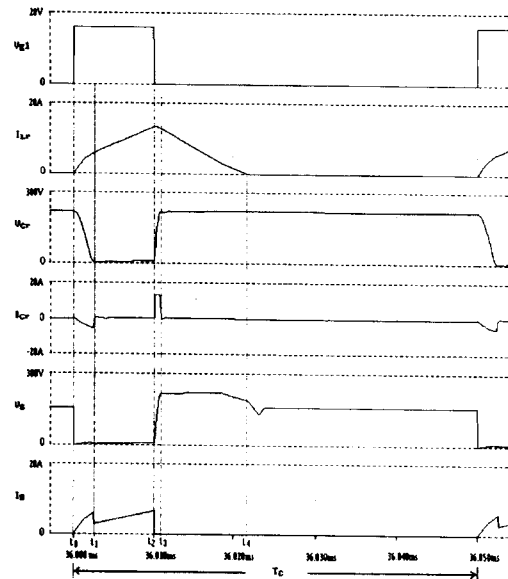
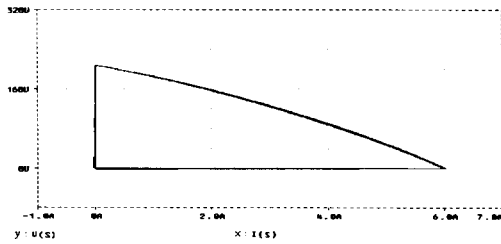
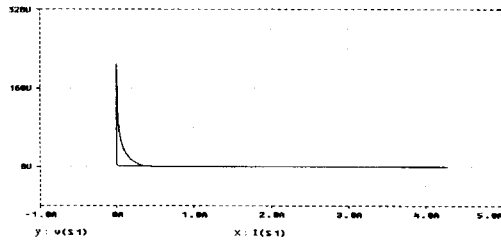


그림 4 스위칭 동작에 대한 각부 시뮬레이션 파형
Fig. 4 Simulated waveforms for switching operation



(a) 하드 스위칭에서의 스위칭 궤적



(b) 소프트 스위칭에서의 스위칭 궤적

그림 5 제어소자의 스위칭 궤적
Fig. 5 Switching locus of control device

증가하며 에너지를 축적한다. 이 시점의 인덕터 전류 i_{Lr} 는 스위치 S_1 과 S_2 로 분류 되므로 스위치의 도통 손실이 반으로 감소된다. 이것은 스위치 한개를 사용한 기존의 승압형 컨버터와 비교하여 제안회로에서는 스위치의 수는 하나 더 증가되었지만 도통손실은 거의 같게 된다. 시각 t_2 에서 스위치를 오프 하면, 다시 LC 직렬 공진회로에 의해 콘덴서 C_f 이 충전 시작한다. 그리고 이 시점에서의 스위치 S_1, S_2 양단전압은 콘덴서 전압 v_{Cf} 과 같고, 스위치들은 ZVS로 동작을 한다. 시각 t_3 에서 콘덴서 전압 v_{Cf} 은 출력전압 V_{cd} 로 되고 인덕터 L_r 의 전류 i_{Lr} 는 부하측으로 유입되어 직선적으로 감소한다. 시각 t_4 는 i_{Lr} 이 영으로 되는 시각이다. 구간 T_c 는 스위치 동작의 1 주기를 나타낸다.

제안된 고효율 승압형 단상 컨버터와 부분공진의 기법이 적용되지 않은 기존의 하드 스위칭 승압형 컨버터의 스위칭 손실을 비교하기 위해서 제어소자의 V-I 특성곡선을 그림 5에 나타낸다. V-I 특성곡선에서 둘러 싸인 면적이 스위치 손실과 비례되므로 제안된 방식의 스위칭 손실이 매우 적음을 알 수 있다.

4. 실험결과 및 검토

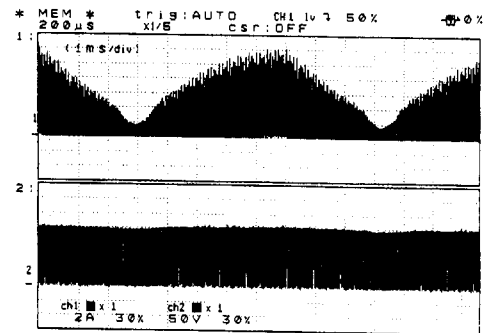
제안한 부분공진 소프트 스위칭 모드 승압형 단상 컨버터의 스위치 동작에 대한 각부 실험파형을 그림 6에 나타냈다. 실험에 사용된 회로정수들은 표 1과 같다.

그림 6 (a)에서 인덕터 전류 i_{Lr} 는 입력전원 반주기에 대해

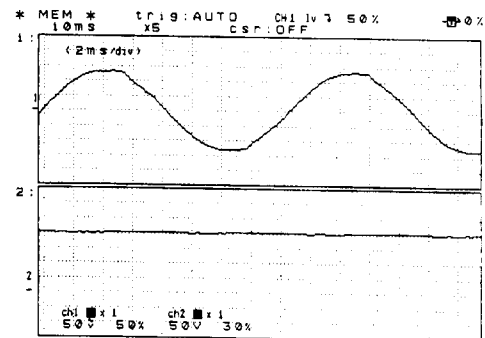
표 1 실험에 사용된 회로정수

Table 1 Parameters in experimental circuit

입력전압 v_{in} (rms)	100V, 60Hz
출력전압 V_{cd}	200V
필터 인덕터 L_f	3mH
필터 콘덴서 C_f	3 μ F
공진 인덕터 L_r	70 μ H
공진 콘덴서 C_r	100nF
평활용 콘덴서 C_d	1000 μ F
부하저항 R_L	100 Ω
스위칭 주파수 f_c	20kHz
듀티율 D_c (T_{on}/T_c)	20%



(a) 인덕터 전류 i_{Lr} 와 콘덴서 전압 v_{Cr} ($i_{Lr}:1, v_{Cr}:2$)



(b) 입력전압 V_{in} 과 출력전압 v_{cd} ($V_{in}:1, v_{cd}:2$)

그림 6 각 부의 실험파형 (출력=0.5kW, 입력전압=100V)
Fig. 6 Experimental waveforms of each part

정현파와 입력전압의 크기에 비례한 정현파상의 펄스열로 나타남을 알 수 있다.

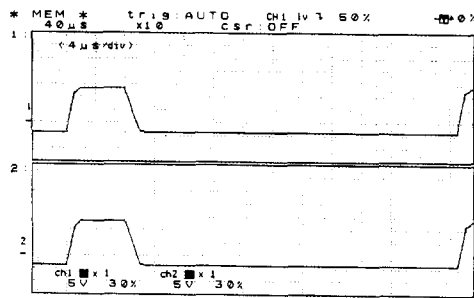
그림 7은 부분공진과 그에 따른 소프트 스위칭 동작을 확인하기 위하여, 스위칭 주파수 20(kHz), 듀티율 20(%)인 스위칭 한 주기에 대한 각부 실험 파형을 나타낸다.

그리고 사용된 스위치들은 부분공진 동작에 의해 영전류에서 턴-온되며, 영전압에서 턴-오프되는 소프트 스위칭 동작을

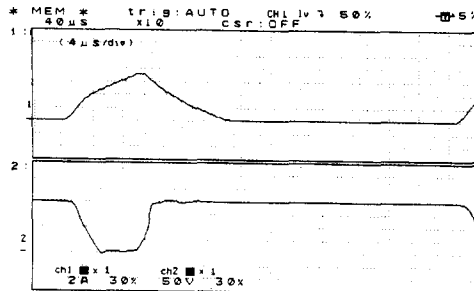
보인다. 이것은 기존의 AC-DC 승압형 컨버터 [그림 3 (a)]와 비교하여 스너버 회로가 필요 없으며, 그에 따른 스위칭 손실이 존재하지 않으므로 변환기의 효율이 증대된다. 또한 스위치들은 dv/dt , di/dt 의 영향이 없으므로 EMI 등의 전자유도 잡음이 나타나지 않으며, 스위치의 파괴 및 스트레스가 무시되고 소자 과열에 따른 소자 방열기구들을 축소화시킬 수 있다.

이상의 실험파형들은 스위칭 주파수 20[kHz], 듀티율 20(%)에 대한 앞서의 시뮬레이션 결과들과 잘 일치된다.

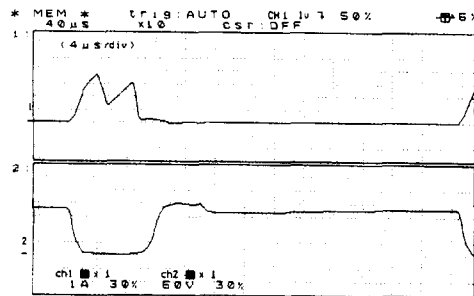
입력전류를 분석하기 위하여, 그림 8은 듀티율 20(%)에 대한 입력전원 전압 V_m 과 입력전류 i_m 의 파형을 나타낸다. 이



(a) 스위치 S_1 , S_2 의 제어신호 (S_1 : 1, S_2 : 2)

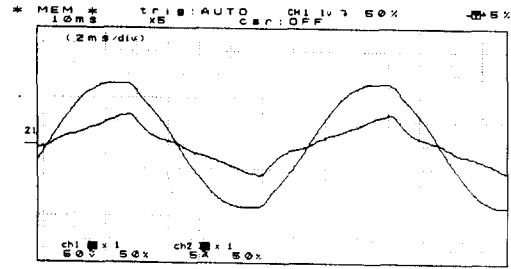


(b) 인덕터 전류 i_{Lr} 와 콘덴서 전압 v_{cr} (i_{Lr} : 1, v_{cr} : 2)

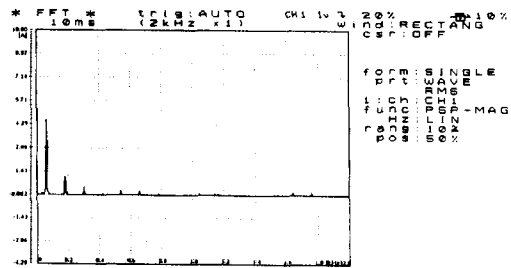


(c) 스위치 전류 i_s 와 양단전압 v_s (i_s : 1, v_s : 2)

그림 7 스위칭 한주기에 대한 각 부의 실험파형
Fig. 7 Experimental waveforms of each part in one cycle switching

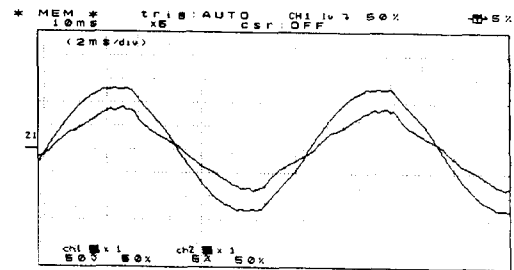


(a) 입력전압과 전류파형

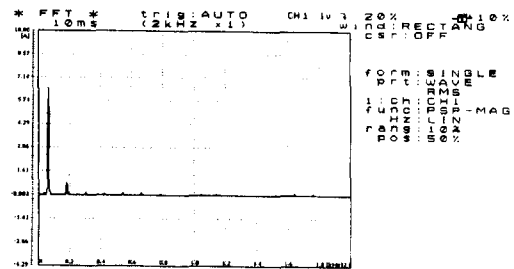


(b) 입력전류의 주파수 스펙트럼

그림 8 입력전압, 전류와 주파수 스펙트럼 (듀티율 20%)
Fig. 8 Input voltage, current and frequency spectrum ($D_c=20(\%)$)

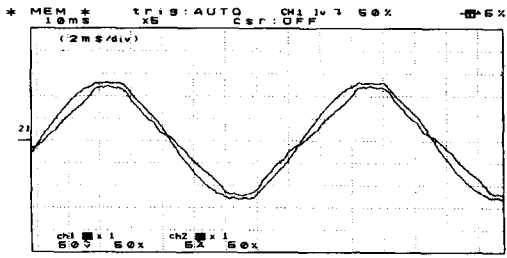


(a) 입력전압과 전류파형

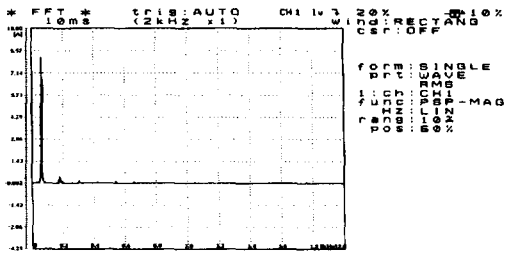


(b) 입력전류의 주파수 스펙트럼

그림 9 입력전압, 전류와 주파수 스펙트럼(듀티율 30%)
Fig. 9 Input voltage, current and frequency spectrum ($D_c=30(\%)$)



(a) 입력전압과 전류파형



(b) 입력전류의 주파수 스펙트럼

그림 10 입력전압, 전류와 주파수 스펙트럼(듀티율 40%)
Fig. 10 Input voltage, current and frequency spectrum ($D_c=40\%$)

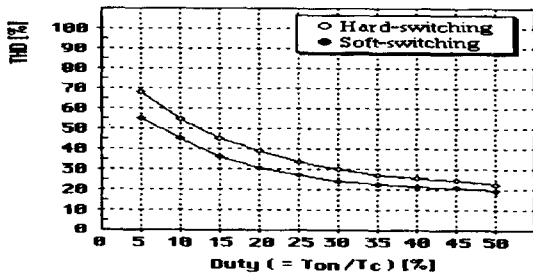


그림 11 듀티율 변화에 대한 고조파율의 변화
Fig. 11 Relationship between total harmonic distortion factor and duty cycle

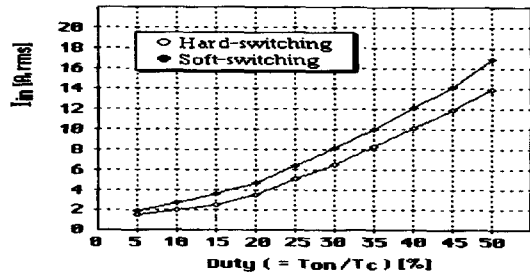


그림 12 듀티율 변화에 대한 입력전류 기본파 성분(rms)의 변화
Fig. 12 Relationship between fundamental component of input current (rms) and duty cycle

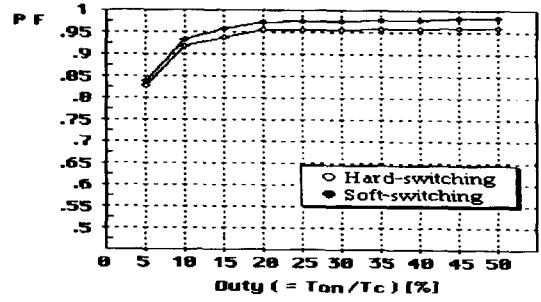


그림 13 듀티율 변화에 대한 입력역률의 변화
Fig. 13 Relationship between input power factor and duty cycle

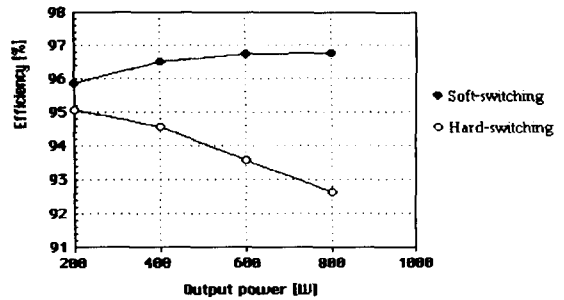


그림 14 제안한 소프트 스위칭 컨버터와 기존의 하드 스위칭 컨버터의 효율 측정 비교
Fig. 14 Efficiency comparison of proposed soft switching converter and conventional hard switching converter

실험파형에서 인덕터 전류는 정현파 입력전압의 크기에 비례해서 정현 펄스상으로 되며 [그림 6 (a)], 입력단 AC 필터를 통한 입력전류는 거의 단위역률의 정현파로 됨을 알 수 있다. 그림 8(a)는 입력전압과 전류파형이며, (b)는 입력전류 i_{in} 의 주파수 스펙트럼을 나타낸다.

그림 9와 그림 10은 듀티율 30%, 40%에 대한 입력전압, 입력전류와 주파수스펙트럼 분석결과를 각각 나타낸다.

위의 주파수 스펙트럼 결과들에서 듀티율 증가와 더불어 입력전류의 고조파 성분이 감소되고 기본파성분이 증가됨을 알 수 있다.

그림 11과 그림 12는 듀티율 D_c 의 변화에 대한 고조파율 (THD: Total Harmonic Distortion factor)의 변화와 입력전류 기본파 성분의 실효치 (rms) 변화를 하드 스위칭 회로와 소프트 스위칭 회로에 대해 각각 나타낸다

그림 13은 듀티율 변화에 대한 입력역률 (PF; Power Factor)을 나타낸다. 소프트 스위칭 회로에서 입력역률이 상승되는 주된 원인은 하드 스위칭 회로와 동일 조건에서 승압율이 높기 때문이다. 즉 제안한 소프트 스위칭 회로에 사용한 공진용 콘덴서가 무손실 스너버 콘덴서로 동작하기 때문이다.

그림 14는 제안된 소프트 스위칭 컨버터와 부분공진의 기법이 적용되지 않은 기존의 하드 스위칭 컨버터의 효율측정 비교를 나타내며, 스위치 턴-온, 턴-오프 손실이 크게 줄어 효율이 상당히 개선되었다.

이들 실험결과들에서 제안한 부분공진 소프트 스위칭 컨버터는 동일한 전력용량 하에서 기존의 하드 스위칭 컨버터와 비교하여 스위칭의 듀티율을 다소 적게해도 동일 출력을 낼 수 있었다. 이것은 스위치의 턴 온 동작에 의해 공진용으로 이용된 무손실 스너버 콘덴서에 축적된 에너지가 입력측으로 회생되어 승압용 소자인 인덕터에 추가되기 때문이다.

5. 결 론

본 논문에서는 회로가 간단하면서도 부분공진 스위칭이 되는 고효율 고역률의 승압형 단상 컨버터를 제안하였다. 사용된 스위치들의 동작은 스위치 동작 시에만 공진회로를 형성시키는 부분공진의 기법이 적용되어 스위치들을 소프트 스위칭으로 만들어 스위칭 손실을 저감시키며, 부분공진으로 인하여 공진 회로부의 손실 및 공진용 소자들의 스트레스를 감소시켜 주어 시스템의 효율이 증대 되었다.

또한 입력전류 불연속 제어에 의해 입력전압의 크기에 비례해서 입력전류가 정현파상으로 되므로 입력역률을 거의 단위 역률로 만들 수 있었다. 그리고 본 회로의 부분공진 회로부는 구조적으로 일반적인 승압형 컨버터에 사용되는 승압용 인덕터와 스위칭 모드 전력변환기에 이용되는 스너버 회로의 스너버 콘덴서를 이용하여 실현되었다. 그러므로 제안회로에서 인덕터는 승압과 공진용으로 이용되고 스너버 콘덴서가 공진용 소자로 이용됨으로써 회로구조가 간단하다. 또한 스너버 콘덴서는 공진회로부의 동작에 의해 콘덴서에 축적된 에너지를 전원측으로 회생시켜 무손실 스너버 콘덴서로 되며, 회생된 에너지는 승압용 소자에 부여되어 입력전류 왜형율을 개선시키고, 같은 전력용량 하에서 하드 스위칭 동작과 비교하여 스위칭의 듀티율이 적게 되어 변환기의 효율을 더욱 증대시키는 장점을 얻었다.

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학 공동 연구소 주관(과제관리번호 : 96-003)으로 수행되었음.

참 고 문 헌

[1] B.K. Bose, J.S. Lai, "An Improved Resonant DC Link Inverter for Induction Motor Drives", Conf. Rec. of IEEE/IAS Annu Meeting, pp.742~748, 1988

- [2] 田中, 他, "整流回路の等價回路と高調波電流に関する一考察", 日電氣學會全國大會, No.488, 1992
- [3] R.Keller, G.Baker, "Unity power factor off line switching power supplies", in IEEE INTELEC Record, pp.332~339, 1984
- [4] W.McMurray, "Modulation of the Chopping Frequency in DC Choppers and PWM Inverters having Current-hysteresis Controllers", IEEE Trans .Ind Appl.,Vol. 1A-20, No. 4, pp.763~768, July/Aug. 1984
- [5] D.K. Kwak, H.W. Lee, "Single-Phase converter with partial resonant circuit", KIEE Autumn Conf. Rec, pp.129~131, 1993
- [6] D.K.Kwak, K.Y.Suh, S.K.Kwon, H.W.Lee, "Novel soft-switching DC-DC converter of high efficiency", International Conference on Power Electronics, '95Proceeding, pp.730~735, 1995
- [7] G.L.Skibinski and D.M.Divan, "Characterization of Power Transistors under Zero Voltage Switching", IEEE-IAS Annual Meeting, pp.493~503, Oct. 1987
- [8] A.R.Prasad, P.D.Ziogas and Manias, "An Active Power Factor Correction Technique for Three-Phase Diode Rectifiers", IEEE Trans. Vol. 6, No. 1, pp.83~92, 1991
- [9] D.K. Kwak, H.W. Lee, "Partial resonant PWM converter using snubber condenser", KIEE Spring the West & Kyungnam Local. Conf. Rec, pp.58~61, 1994
- [10] H.L.Huy, J.P.Ferrieux and E.Toutain, "An AC-DC Converter with Low-Harmonics Input Current", EPE, pp.1201~1207, 1987
- [11] D.K. Kwak, H.W. Lee, etal, "A high Efficiency DC-DC Boost Converter by Partial Resonant Switching Mode", KIEE, Vol. 45, No. 9, pp.1272~1278, 1996.

〈저 자 소 개〉



서기영(徐基永)

1942년4월18일생, 1965년2월 한양대학교 전기공학과 졸업(학사), 1980년8월 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1988년2월 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사), 현재 경남대학교 전기공학과 교수, 대한전기학회 기획이사



곽동길(郭東杰)

1964년 11월 11일생, 1990년 경남대학교 전기공학과 졸(학사), 1993년 경남대학교 대학원 전기공학과 졸(석사), 1996년 경남대학교 대학원 전기공학과 졸(박사), 현재 동해대학 전기통신설비과 전임강사



전중함(田重槓)

1955년5월13일생, 1979년 명지대학교 전기공학과 (학사), 1986년 명지대학교 대학원 전기공학과(석사)

1998년 경남대학교 대학원 전기공학과(박사), 현재 대구보건전문대학 조교수



이현우(李鉉雨)

1953년4월28일생, 1979년 동아대학교 전기공학과 졸업(학사), 1984년 영남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1992년 동아대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사), 1993년 일본대판공대 객원연구원, 현재 경남대학교 공대 전기공학과 교수, 당학회 학술이사