

로스레스 스너버를 사용한 고효율의 대용량 AC-DC 강압형 컨버터

°문 상필 서 기영 이 현우
경남대학교 전기공학과

The High Power AC-DC Buck Converter of High Efficiency Using Loss-Less Snubber

°S.P. Moon, K.Y. Suh, H.W. Lee

Dept.of Electrical Engineering, KyungNam University

(Abstracts) This paper proposed that a high power AC-DC Buck Converter topology of high efficiency using loss-less snubber operates with four chopper connecting a number of parallel circuit. To improve these, a large number of soft switching topologies included a resonant circuit have been proposed. And, some simulative results on computer is included to confirm the validity of the analytical results. The partial resonant circuit makes use of a inductor using step-down and a condenser of loss-less snubber. The result is that the switching loss is very low and the efficiency of system is high. And the snubber condenser used in partial resonant circuit makes charging energy regenerated at input power source for resonant operation. The proposed conversion system is deemed the most suitable for high power applications where the power switching devices are used.

1. 서 론

일반적으로 AC를 DC로 변환하는 전력변환 장치에서 정류회로는 콘덴서 입력형 정류회로가 많이 사용되어 지고 있다. 이 회로의 입력전류는 입력전압의 피크 부분에서 흐르는 펄스형으로 되어 입력역율이 낮으며, 많은 고조파 성분이 포함된 전류로서 전원계통에 나쁜 영향을 주게된다. 이러한 문

제점을 해결하기 위해서 “로스레스 스너버를 이용한 고효율의 대용량 AC-DC 강압형 컨버터”가 많이 제안되고 있다. 본 논문에서는 다수개 병렬로 접속한 4초퍼식으로 로스레스 스너버를 이용한 고효율의 대용량 AC-DC 강압형 컨버터를 제안한다.

제안된 컨버터는 듀티율 일정 스위칭 제어에 의해 전류 불연속 모드로 동작되어 고효율 컨버터로 동작되며, 스위칭의 턴-온, 턴-오프 동작을 소프트 스위칭으로 만들어 변환기의 효율의 증대, 고역율화를 해석 및 시뮬레이션으로 확인한다.

2. 회로 구성

제안한 부분공진 회로의 구성을 보면 사용된 공진용 인덕터는 일반적인 강압형 컨버터에 사용되는 에너지 축적용 인덕터로 대치할 수 있으며, 공진용 콘덴서는 스위칭 모드 전력변환기에 이용되는 스너버 회로의 스너버 콘덴서로 대치할 수 있다. 그래서 본 논문에서는 이러한 장점을 겸비한 회로구성의 토폴로지를 제안한다. 그림1은 기존의 하드 스위치의 회로도를 나타낸 것이다. 그림2는 로스레스 스너버를 이용한 고효율의 대용량 AC-DC 강압형 컨버터 주 회로도 나타낸것이다.

회로구성은 기존의 AC-DC 컨버터의 입력측과 부하단 사이에 소프트 스위칭과 강압을 겸하는 부분공진 회로부를 접속한다. 부분 공진회로부는 제어 소자들과 공진용 인덕터 그리고 로스레스 스너버 콘덴서로 구성되며, 콘덴서에 축적된 에너지는 스위치들의 턴-온 시에 전진측으로 회생되는 모드를 가진다. 스위치 S₁, S₂의 턴-온은 인덕터의 전

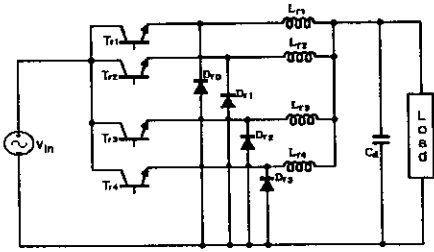


Fig.1 AC-DC Converter of Hard switching mode

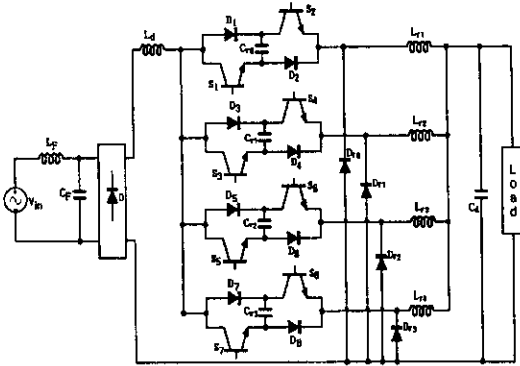


Fig.2 AC-DC Converter of High power factor with soft switching mode

류가 불연속으로 제어되므로 영전류스위칭(ZCS)으로 되고, 턴-오프는 로스레스 스너버 콘덴서의 전압이 영으로 될 때 동작하므로 영전압스위칭(ZVS)으로 된다. 입력단의 인덕터(L_F)와 콘덴서(C_F)는 입력전류의 고조파를 제거하기 위한 필터로 동작한다.

3. 동작 원리의 해석

출력 부하측 인덕턴스와 비교하여 충분히 큰 것으로 가정하면, 공진 1주기 동안에는 부하를 정전류원 I₀로 보는 것이 가능하다. 부분공진 회로부의 초기조건으로 스위치 S₁, S₂는 오프, 로스레스 스너버 콘덴서 C₁에는 출력측 평활용 콘덴서 C_d의 전압 V_{Cd}로 충전되어 있다. 또한 교류 입력전압 V_{in}과 다이오드 브릿지 전파정류기의 출력전압 V_r은 다음 식으로 놓는다.

$$V_{in} = V_m \sin \omega, t$$

$$V_r = \left| V_{in} \right| = V_m \sin \omega, t$$

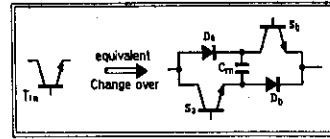


Fig.3 Modified equivalent circuit of T_m

그림3은 모드설명을 간소화하기 위해서 다이오드 2개와 로스레스 tm너버 콘덴서, 소프트 스위치 2개로 적절히 구성된 회로를 T_m으로 등가적으로 표현한 것이다.

한주기 동안에 총 모드는 12가지로 나눌수 있는데 여기서는 몇가지 모드에 대해서만 설명을 한다.

※ 모드 해석

모드 I : 스위치 T₁과 T₄를 Turn-on 하면 L_{r1}, L_{r4}의 전류는 선형적으로 증가한다. 이때 L_{r2}, L_{r3}의 전류는 감소하면서 부하단으로 흐르는 모드이다.

모드 II : 스위치 T₁, T₄는 계속 해서 Turn-on 되고, 이때 L_{r2}의 전류는 0이 되며 L_{r3}의 전류는 플라휠링되는 모드이다.

모드 III : 스위치 T₁은 Turn-on 되고 계속해서 L_{r2}의 전류는 0이 되며, L_{r4}의 전류는 환류가 시작 되는 동작모드이다.

모드 IV : 스위치 T₁이 Turn-on 되어있는 상태에서 스위치 T₂를 Turn-on 하면 L_{r1}, L_{r2}에 전류가 도통되고, L_{r3}, L_{r4}는 부하단으로 플라휠링되는 모드이다.

모드 V : 스위치 T₃는 Turn-off 되어있는 상태에서 L_{r3}로 유입되는 전류는 0이며 이때 L_{r4}만 플라휠링되는 모드이다.

4. 시뮬레이션 결과 및 검토

제어 스위치는 가변저항 스위치로 가정하고, 그 외 소자는 이상적인 소자로 간주하여 PSpice에 의한 시뮬레이션을 실행하는 결과이다. 시뮬레이션에 사용된 회로정수들을 표.1에 나타낸다.

그림.4은 로스레스 스너버를 사용한 고효율의 대용량 AC-DC 강압형 컨버터와 그에 따른 소프트 스위칭 동작을 확인하기 위하여 스위칭 주파수 20kHz, 듀티율 40%인 스위칭 한 주기에 대한 각부 시물레이션 파형을 나타낸다.

그림.4에서 스위치의 스트레스를 줄이고, 출력전류가 증가할 경우의 공진 시물레이션 결과 파형

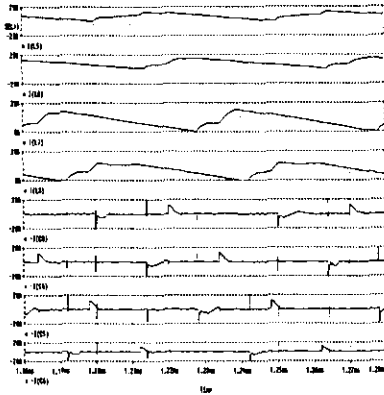


Fig.4 Simulation waveforms of each part

Table 1 Parameters of simulated circuit

입력전원전압실효치	100V
입력전원주파수	60Hz
스위칭주파수	20kHz
듀티율	40%
평활인덕턴스	40uH
평활콘덴서	1000μF
필터인덕턴스	80uH
필터콘덴서	100μF
부하저항	1Ω

에서 부분공진회로는 공진 한주기 동안 지속적으로 이루어지지 않고 스위치의 턴-온과 턴-오프 때에 부분적인 공진 동작을 볼 수 있으며, 이러한 동

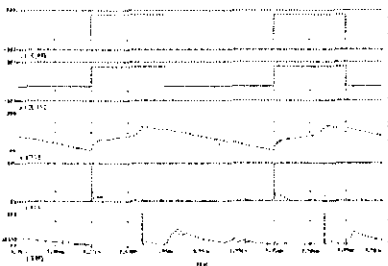


Fig.5 Simulation waveforms of each part in one cycle switching

작에 의해 공진 소자들의 용량분담과 스위칭 손실이 감소된다.

그림.5에는 각 모드의 구간에 대해서 나타내고 있으며, 시각 t_0 에서 스위치 s_1, s_2 를 턴-온하면, LC 직렬 공진회로에 의한 로스레스 스너버 콘

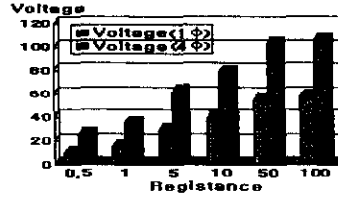


Fig.6 Relationship between output voltage and resistance ($D_c (= T_{on} / T_c)$)

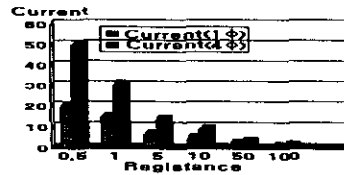


Fig.7 Relationship between output current and resistance ($D_c (= T_{on} / T_c)$)

덴서 C_r 이 방전을 시작하고 인덕터 L_r 는 에너지를 축적한다. 이 시점에서의 스위 s_1, s_2 를 통하는 전류 i_s 는 인덕터 전류 i_{L_r} 와 같으므로, 스위치들은 ZCS로 동작을 한다. 시각 t_1 에서 스너버 콘덴서 전압이 영으로 되면, 제어 스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터 L_r 의 전류는 직선으로 증가하며 에너지를 축적한다.

그림.6과 그림.7은 듀티율 $D_c (= T_{on} / T_c)$ 가 일정할 때 저항에 대한 출력전압과 출력전류의 변화를 시물레이션 결과를 토대로 하여 나타내었으며, 시물레이션에 있어서 사용된 다른 회로 정수들은 표.1를 근거로 한다.

그림8은 듀티변화에 대한 효율의 변화를 나타낸 것이다. 제안한 고효율의 AC-DC 강압형 컨버터는 동일한 전력용량하에서 기존의 하드 스위칭 강압형 컨버터와 비교하여 스위칭의 듀티율을 적게해도 동일출력을 낼 수 있다는 장점이 부여된다.

이것은 스위치의 턴-온 동작에 의해 부분 공진용으로 이용된 로스레스 스너버 콘덴서의 축적된

에너지가 입력측으로 회생되어 인덕터에 부가되기 때문이다.

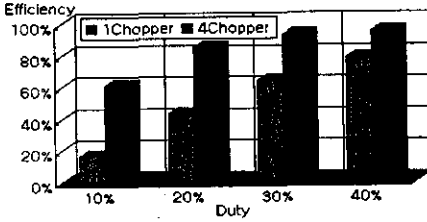


Fig.8 Relationship between efficiency and duty cycle ($D_c (= T_{on} / T_c)$)

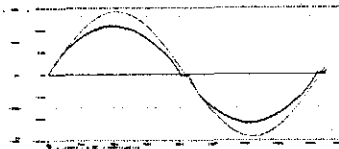


Fig.9 Simulation waveforms with input voltage and current of conventional hard switching circuit

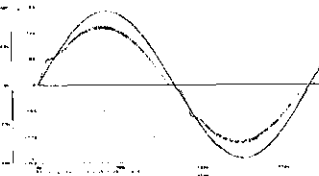


Fig.10 Simulation waveforms with input voltage and current of proposed soft switching circuit

그림9은 기존의 하드스위칭 AC-DC 강압형 컨버터의 입력전압과 전류의 파형이다. 그림.10은 제안된 고효율의 AC-DC 강압형 컨버터의 회로 정수들을 이용한 입력전압과 입력전류에 대한 시뮬레이션 파형이다. 이 회로에서는 부분공진용으로 이용된 로스레스 스너버 콘덴서의 방전전류가 전원측으로 회생되어 입력전류의 제로 부근을 Boost 시키므로 파형이 정현파에 더욱 가깝게 된다. 그래서 본 방식은 저차 고조파 성분이 감소되어 왜형율이 개선되는 특징이 주어진다. 입력전류의 고조파 성분을 해석하기 위하여 복소 이중 푸리에 급수전개를 이용하면 입력전류 I_{in} 은 다음 식으로 주어

$$i_{in} = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} K_{mn} e^{j(mx+ny)}$$

$$K_{mn} = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} i_{Lr}(x,y) \cdot e^{-j(mx+ny)} dx dy$$

여기서 i_{Lr} 는 인덕터 L_r 의 전류이며, $x = \omega_c t$, $y = \omega_c t$ 로써 ω_c 는 스위칭 각주파수이고, ω_s 는 교류입력 전원의 각주파수를 나타낸다.

6. 결 론

본 논문은 고효율의 AC-DC 강압형 컨버터의 모드를 제안하였다. 부분 공진형 소프트 스위칭 기법(PRSSM)에 의해 사용된 스위치들은 소프트 스위칭에 스위칭 손실이 저감되며, 공진회로부는 부분공진으로 인하여 공진손실 및 공진용 소자들의 스트레스가 감소되므로, 변환기들은 고역률, 고출력으로 동작된다. 로스레스 스너버 콘덴서를 사용한 고효율의 대용량 AC-DC 강압형 컨버터는 스위치 듀티율 일정 제어에 의해 정현파 입력전압의 크기에 비례해서 입력전류가 불연속적인 정현펄스상의 전류가 되므로 입력역율이 거의 단위역율로 되며, 로스레스 스너버 콘덴서의 에너지 회생에 의해 기존의 AC-DC 컨버터 보다 제3고조파 성분이 상쇄되어 왜형율이 개선되는 특징을 갖는다.

본 논문은 컴퓨터 해석과 시뮬레이션을 통하여 그 효율성과 타당성을 입증하였고, 앞으로 AC-DC 컨버터를 최적 필터를 부가하여 실험을 하고자한다.

참 고 문 헌

1. Meng-Yu Chang, Jiann-Yow Lin, Ying-Yu Tzou, "DSP-based Fully Digital Control of a AC/ DC Converter with Nonlinear Digital Current Mode Control", '96 IEEE Records, pp. 1702 -1708, 1996.
2. 長尾道彦, 今永定利, 原田耕介, "不連続 モー ト動作 高力率 昇降壓形 AC-DC 레ギュ 레타特性 解析", 電子情報 通信 學會 新學 技報, 93-9pp.12-22,1993
3. Hyun-woo Lee etc: "Using a Lossless Snubber for Soft-Switching Three-Phase High Power Factor Converter ", ICPE '95, pp.355- 360, 1995