

소프트 스위칭 3상 단일 스위치 승압형 컨버터

문상필 · 진찬욱 · 박성우* · 김대웅 · 김영문** · 서기영
 경남대학교 · 한일컨트롤* · 마산대학**

Soft Switched Three-Phase Single Switch Boost-Type Converter

S.P.Mun · C.W.Jun · S.U.Pack* · D.U.Kim · Y.M.Kim** · K.Y.Suh
 Kyungnam Univ · Han-il Control* · Masan College**

Abstract - In most power electronic applications, the AC power input provided by the electronic utility needs to first converted to a DC voltage. Such conversion is accomplished by a diode rectifier due to its circuit simplicity and low cost. However, since diode rectifiers have some intrinsic problems such as low power factor and high harmonic distortion, a wide use of such rectifiers may cause noises, malfunction and heat damage in both electrical power systems and electrical machinery systems. This paper proposes soft switched three-phase single switch boost-type converter. The proposed circuit can perform Zero Voltage Switched(ZVS) without using any current and voltage sensors. For this circuit, both simulation and experiments have been performed. The results not only confirmed the ZVS but also indicated that, compared to the conventional hard switched converter, the proposed circuit can improve the efficiency as much as 1.7 to 4.7[%] while keeping the same high power factor and small harmonic distortion in their AC input.

1. 서 론

산업용, 가정용의 전기기기등에 광범위하게 사용되어 지고 있는 직류전원은 다이오드 정류기가 널리 이용되어 지고 있다. 일반적으로 다이오드 정류기는 회로구성이 용이하면서 가격이 저렴하지만 입력전류에 포함되어진 고조파 성분이 많이 발생하는 단점이 있다. 이러한 입력측에 발생하는 고조파 성분을 저감하기 위해서 입력측에 매우 큰 리액터를 사용하지만 가격이 상승하고, 장치 전체의 무게가 크게 되며, 입력 전원 역률이 나빠진다. 최근 이러한 문제점들을 해결하는 고역률 컨버터가 많이 이용되어지고 있다. 고역률 컨버터는 인버터의 회로구성을 이용하는 것과 다이오드 정류 회로에 초퍼를 접속한 것이 있다. 이 중에서 다이오드 정류회로에 초퍼를 접속한 것은 초퍼의 분류와 동일하므로 승압형, 강압형, 승·강압형으로 분류되어 진다. 본 논문에서는 스위치 소자를 하나만 사용한 승압형 고역률 정류회로를 제안하고자 한다. 제안한 단일 스위치 승압형 컨버터는 전압, 전류 센서 등을 사용하지 않고 입력전류의 파형개선 및 회로를 간단히 구성할 수 있으며, 입력전류에 포함된 고조파 성분, 전자유도장해 (EMI : Electro Magnetic Interference)의 저감시키는 효과가 있다. 이러한 모든 사항은 실험을 통하여 타당성을 증명하고자 한다.

2. 소프트 스위칭 3상 단일 스위치 승압형 컨버터

2.1 제안한 회로구성 및 동작분석

그림 1은 기존의 3상 단일 승압형 컨버터를 나타내었으며 스위칭에 의한 전류 리플을 소거하기 위해 필터 L_f, C_f ,

승압용 리액터 L_e , 다이오드 정류기, 스위치 S , 평활 콘덴서와 역전류를 방지하는 다이오드로 구성된다. 그림 2는 제안한 소프트 스위칭 3상 단일 스위치 승압형 컨버터를 나타낸 것이다. 그림 2에서 제안한 회로는 필터 L_f, C_f , 승압용 리액터 L_e , 다이오드정류기, 스위치 S , 소프트스위칭을 행하기 위한 콘덴서 C_r , 리액터 L, L_r , 평활콘덴서 C_0 , 역전류를 방지하는 다이오드 D_2, D_3, D_4, D_5 로 구성되며, 평활 콘덴서 C_0 는 C_r 과 비교해서 용량이 대단히 큰 것을 사용한다. 그리고 제안한 컨버터는 스위치 턴-온시 DCM(Discontinuous Conduction Mode)로서 동작하기 때문에 기존회로와 동작원리가 거의 비슷하다. 하지만 스위치를 턴-오프 했을 때 기존회로에서는 평활 콘덴서의 전압을 직렬 스위치 S 의 콜렉터에 인가시키는데 반해 제안회로에서는 전압을 C_r 에 의해 제로상태로 되므로 제로 전압 스위칭 (ZVS)이 실현 가능하다.

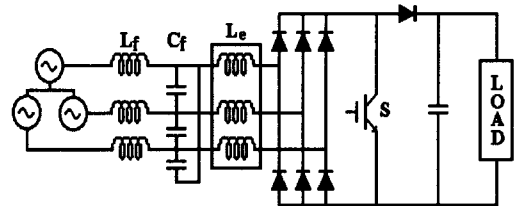


그림 1 3상 단일 스위치 승압형 정류 회로
 Fig. 1 Single switch boost type three-phase rectifier circuit.

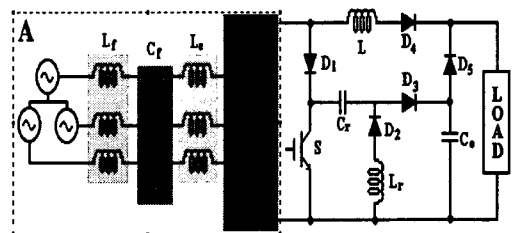


그림 2 제안한 소프트 스위칭 3상 단일 스위치 승압형 정류회로
 Fig. 2 Proposed soft switching three-phase single switch boost type rectifier circuit.

그림 3은 제안한 컨버터의 각 모드별 동작원리를 나타낸 것이다. 설명의 간략화를 위해 그림 2의 A의 부분

을 등가적으로 직류 전원과 L_e 로서 나타내었으며, 모든 동작은 정상 상태로 두는 것으로서 평활 콘덴서 C_0 에는 입력전압보다 높은 전압이 인가되어 있는 것으로 가정한 후, 콘덴서 C_r 의 좌측에 정전하 q_{cr} 이 축적되고 있는 것으로 하며, 부하는 저항 R 만으로 설정하였다. 그림 4는 이론적 파형을 나타내었다.

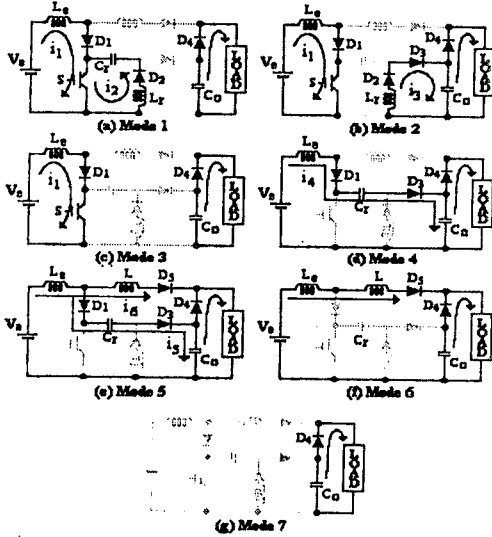


그림 3 각 모드별 동작과 등가회로
Fig. 3 Operating and equivalent circuits of each mode.

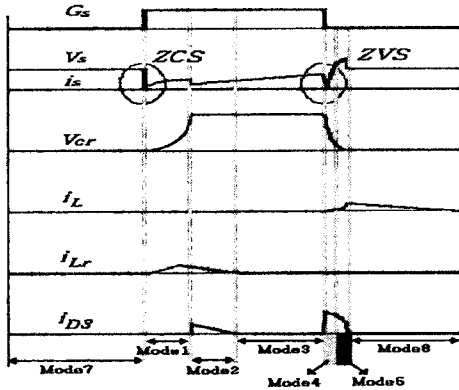


그림 4 제안한 회로의 이론적 파형
Fig. 4 Theoretical waveforms of the proposed circuit.

◎모드1 ($0 \leq t < t_1$)

모드 1은 스위치 S 를 OFF 에서 ON 으로 되는 상태며, 전류의 경로는 그림 3(a)와 같이 나타낼 수 있다. 이때 스위치에 흐르는 전류는 전원에서의 전류 i_1 과 C_r , L_r 의 공진 전류 i_2 의 합이 되며, i_1 의 초기전류는 제로이므로 i_2 의 초기전류도 제로가 된다. 그리고 i_1 과 i_2 의 경로에 각각 L_g , L_r 이 되기 때문에 전류는 서서히 인가하며, ZCS가 실현된다. 모드 1은 C_r 과 C_0 의 전위가 같게 되기까지 연속적으로 동작되어지며, 콘덴서 C_r 의 전압이 C_0 보다

크게 되면 다이오드 q_{cr} 가 도통하고 모드 2로 이동한다.

◎모드2 ($t_1 < t \leq t_2$)

모드 2는 스위치 S 가 ON 하기까지 전원에서의 전류 i_1 이 흐르고 있는 모드이다. 이때 콘덴서 C_r 의 전압을 C_0 의 전압보다 크게 되게 하였을 때 다이오드 D_3 가 ON 이 되고, C_r 과 L_r 의 공진 전류 i_2 는 C_0 와 L_r 의 공진 전류 i_3 으로 전환되며, 그림3(b)와 같이 전류의 경로를 나타낼 수 있다. 그리고 평활 콘덴서 C_0 는 C_r 에 비해서 대단히 크기 때문에 C_0 의 전압 V_{c0} 는 일정하다고 보면, 공진 전류 i_3 는 거의 직선적으로 제로까지 감소하다가 제로에 도달하면 다이오드 D_3 은 OFF 되고 모드3으로 이동한다.

◎모드3 ($t_2 < t \leq t_3 = t_{OFF}$)

모드 3은 스위치 S 를 ON 의 상태에서 그림3(c)에 나타난 경로에서 전류가 흐르는 모드이다. 모드 3에서는 모드 1, 2에서 이용한 공진 현상이 완료되고 전류는 전원에서 L_g , S 를 통한 경로만으로 된다. 모드 3은 스위치 S 가 OFF 가 되기까지 계속된다.

◎모드4 ($t_3 = t_{OFF} < t \leq t_4$)

모드 4는 스위치 S 가 턴-오프되는 모드이다. 그림3(d)에 나타난 것처럼 전류 i_4 는 콘덴서 C_r , C_0 에 흐르는 경로로 흐른다. 이때 C_r 과 C_0 의 전압은 거의 같으며, 역의 극성으로 되고 있다. 그러므로 스위치 S 의 양단의 전압은 ZVSO 실현되며, i_4 는 C_r 의 전압이 상승하면 함께 서서히 감소하고, C_r 의 전압이 제로에 도달하면 모드5로 이동한다.

◎모드5 ($t_4 < t \leq t_5$)

모드 5는 스위치 S 가 OFF 되는 상태에서 C_r 의 전압이 제로에 도달하면, 그림3(e)에 나타난 i_5 와 i_6 의 전류가 흐르는 모드이다. 그림 3(e)에서 i_6 의 경로에는 리액터 L 가 포함되어지고 있기 때문에 서서히 증가하며, i_5 의 경로의 전류는 C_r 의 좌측을 정의 상태로 충전하기 때문에 서서히 감소하고 결국은 제로로 되는 모드 6이 시작한다.

◎모드6 ($t_5 < t \leq t_6$)

모드 6은 승압용 리액터 L_g 와 리액터 L 에 축적된 에너지를 출력측에 방출되는 모드이며, 전류의 경로는 그림 3(f)와 같다. 이때 전류 i_6 는 감소하고 결국은 제로로 되면 모드 7로 이동한다.

◎모드7 ($t_6 < t \leq t_7$)

모드 7은 그림3(g)에 나타난 것처럼 전원에서 전류가 흐르지 않는 모드이다. 이때 부하에서의 전류는 평활 콘덴서에서 흐르게 되며 모드 7은 다음 사이클에서 스위치를 ON 했을 때까지 동작되어진다.

2.2 실험 결과 고찰

표 1은 실험에 사용된 회로정수를 나타낸 것이며, 이 회로정수를 이용하여 스위치 S 와 각 소자의 전류와 전압의 실험 파형을 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 알 수 있듯이 스위치를 ON/OFF 할 때 ZCS, ZVS가 실현되는 것을 확인할 수 있다.

표 1 실험에 사용된 회로정수
table 1 Experimental parameters.

Line voltage (V_R, V_S, V_T)	100[V]
Source frequency	60[Hz]
Filter inductor (L_f)	1[mH]
Filter capacitor (C_f)	5[uF]
Boost reactor (L_e)	60[uH]
Balancing capacitor (L_0)	1800[uF]
Resonant inductor (L_r)	120[uH]
Inductor (L)	60[uH]
Resonant capacitor (C_r)	0.1[uF]
Snubber resistor	
Snubber capacitor	
Switching frequency (f_s)	20[kHz]
Duty ratio	0.4

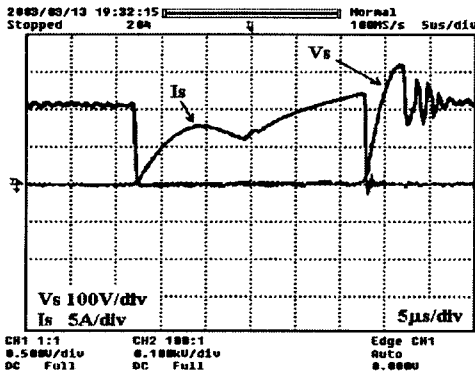


그림 6 제안한 회로의 스위치 전압과 전류의 실험 파형
Fig. 6 Experimental waveforms of the switch current and voltage of the proposed circuit.

실험에서 사용된 필터 리액터 L_f 는 동심구조강판 UU 형, 승압리액터 L_e, L_r, L_n 는 페라이트 코일을 사용하였다. 그리고 필터 콘덴서 C_f 는 전력용 콘덴서, 공진 콘덴서 C_r 은 내압 100[V]의 필름 콘덴서를 사용하였다. 그림 6은 스위치 S 의 전류와 전압의 실험파형을 나타낸 것이다. 그림 6에서 알 수 있듯이 턴-온시 ZCS로, 턴-오프시 ZVS가 실현가능하고, 소프트스위칭이 달성되고 있는 것을 알 수 있다.

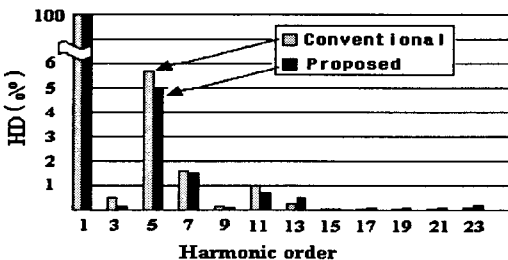


그림 7 고조파 왜율의 비교
Fig. 7 Comparison of the harmonic distortions.

그림 7은 입력 전류에 있어서 23차까지의 주파수해석 결과를 나타낸 것이다. 그림 7에서 제안회로는 3차, 7차, 11차의 저차 고조파 성분이 기존회로 보다도 저감되는 것을 알 수 있다. 그림 8은 듀티 변화에 대한 변환효율을 나타낸 것이다. 그림 8에서 제안된 회로가 기존회로보다 변환효율이 1.7-4.7[%]개선되는 것을 알 수 있다.

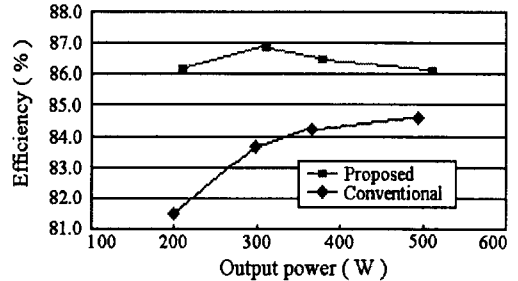


그림 8 듀티변화 대 효율
Fig. 8 Duty ratio versus efficiency.

3. 결론

본 논문에서는 스위칭 손실이 적은 소프트스위칭 방식 3상 단일 스위치 승압형 컨버터를 제안하였으며, 모드해석을 검증하였다. 따라서 고역률화와 입력전류의 고조파 성분이 저감되었으며 변환효율이 1.7-4.7[%]로 개선되었다. 이러한 모든 사항은 실험을 통하여 타당성을 확인하였다.

[참고 문헌]

- H. Nakano : "Improvement Effect of Input Current of Boost Type One Main Switching Element Rectifier without Using Feed Back Control ", T. IEE, Vol.115-D, No.5, pp.562-569, 1995.
- M. Matsubara: "Study on AC Line LC Filter in Boost Type Rectifier with Single Switching Device ", T.IEE, Vol.120-D, No7, pp.870-876, 2000.
- N. Kimura: " Analysis of PFC Boost Converter with Soft-switching Configuration ", T. IEE, Vol. 119-D, No.5, pp.617-627, 1999.
- K. Taniguchi: "Soft-Switching Circuit for Three-Phase Converter with Unity Power Factor ", T.IEE, Vol.117-D, No2, pp.142-149, 1997.
- H. Ishikawa: A New Soft-Switched PWM Inverter with simple Control ", T. IEE, Vol. 120-D, No.7, pp.905-915, 2000.