

대형 LED lamp용 직렬 공진형 Direct AC-DC 컨버터

이성호, 박천윤, 권봉환
포스텍

A Direct Series Resonant AC-DC Converter for Large Scale LED lamp

Sung Ho LEE, Chun Yoon Park, Bong Hwan Kwon
POSTECH

ABSTRACT

본 논문에서는 대형 LED lamp용 직렬 공진형 direct ac dc 컨버터를 제안하였다. 교류상용전원을 통한 LED lamp에 전원 공급 시, 입력전류의 왜곡을 방지하기 위해, PFC ac dc 컨버터가 적용된다. 하지만 PFC 컨버터의 특성에 따라 회로의 복잡도 및 수용 전력의 한계가 존재한다. 제안된 컨버터는 기존의 전력변환 방식과 다른 형태로서, 교류 초퍼(AC chopper)와 직렬공진회로가 혼합된 구성을 가지며, 교류 초퍼의 직접 전력 변환을 통해 PFC 회로 구성없이도 고 역률을 획득할 수 있으며, 직렬공진회로를 통하여 제안된 컨버터의 모든 스위치의 영전압 스위칭(ZVS) 턴 온동작을 통해 손실저감을 도모한다. 본 논문에서는 제안된 컨버터의 동작원리를 간단히 설명하고, 250W의 프로토타입을 통하여 제안된 컨버터의 우수성을 검증한다.

1. 서론

최근 Light Emitting Diode(LED)는 친환경성과 광 효율 및 공간효율이 우수하여 LCD TV, 모니터, 조명등과 같은 다양한 응용분야로 시장이 확대되고 있다. 특히, LED를 통해 기존의 형광등과 같은 조명등을 교체하고 있는 추세이다. 교류 상용전원을 통해 LED에 전력을 공급할 경우, IEC 61000 3 2와 같은 고조파에 대한 국제규격을 만족시켜야 한다. 이에 다양한 PFC ac dc 컨버터들에 대한 연구가 진행되어 왔다.^{[1],[2]} 기존의 2단 PFC 컨버터에선 bridge 다이오드 정류기, 큰 전해 콘덴서 및 dc dc 컨버터 구성되어 있으며, 2단 PFC 회로구성은 부품 증가로 인한 컨버터의 가격상승과 회로가 복잡해진다는 단점이 있다. 단일 스위치의 1단 PFC 컨버터는 2단 PFC 컨버터의 단점을 보완하지만, 더욱 높은 전력을 요구하는 대형 LED Lamp에는 적절하지 못하다. 또한 두 PFC 컨버터는 큰 전해 콘덴서로 인한 컨버터의 수명 감소 및 콘덴서에 인가되는 큰 전압스트레스 고려한 복잡한 제어방식이 필요한 단점을 지닌다.

본 논문에서는 대형 LED lamp용 직렬공진형 ac dc 컨버터를 제안한다. 기존의 ac dc 변환과 달리 역률 보정과 같은 전력처리과정을 배제하면서도 고 역률, 고 효율의 새로운 접근 방식을 제시하며, 또한 LED lamp에 큰 전해 콘덴서의 제거를 통하여, 컨버터의 부피 감소 및 수명연장을 기대할 수 있다. 250W의 프로토타입을 통해 제안된 회로의 특성 및 성능을 검증한다.

2. AC 초퍼를 이용한 직접 AC-DC 변환

2.1 제안된 컨버터의 구성 및 특징

그림 1은 제안된 컨버터로서, 입력 측에 다이오드 정류기, 전해 콘덴서 및 PFC와 같은 별도의 회로가 존재하지 않는다. 대신 $S_1 \sim S_4$ 의 4개의 스위치로 구성된 강압형 교류 초퍼를 통해 입력 전압을 제어하여, 출력 측으로 전력을 직접 공급한다.^[3] 교류 초퍼는 고주파 PWM 스위칭 동작을 통해 입력필터 크기 축소 및 PFC 회로 구성없이도 고 역률의 정현파 입력 전류를 가진다는 장점을 있다. 특히, PFC 컨버터 설계에서 고려사항인 큰 전해 콘덴서를 포함하고 있지 않는다. 한편, 고주파 스위칭 동작 시에 발생하는 도통손실은 공진 콘덴서 C_r 와 변압기의 누설 인덕턴스 L_{lk} 로 구성된 직렬 공진회로를 통해 ZVS 동작을 통해 스위칭 손실을 감소시켜 전력변환 효율을 증가시킨다.

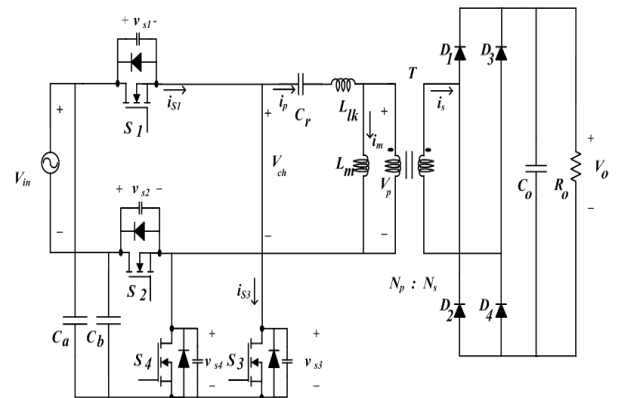


그림 1 제안된 직렬 공진형 direct ac-dc 컨버터
Fig. 1 Proposed direct series resonant ac-dc converter

2.2 제안된 컨버터의 동작원리

제안된 컨버터은 PWM 스위칭 동작을 하게 되는데, 스위칭 주기(T_s)하에서 같은 시비율을 가지는 주 스위치 S_1, S_2 는 서로 입력전압의 반주기에 위상차가 있으며, 입력 전압의 극성에 따라 스위칭 동작이 달라진다. 입력 전압이 양(음)일 때, S_2, S_4 (S_1, S_3)가 항상 도통된 상태이며, S_1 과 S_3 (S_2 와 S_4)은 스위칭 주파수 f_s 로 PWM 게이트 신호에 의해 데드타임을 가지고 상보적으로 동작한다. 그림 2는 교류초퍼의 동작파형을 도식화하였다.

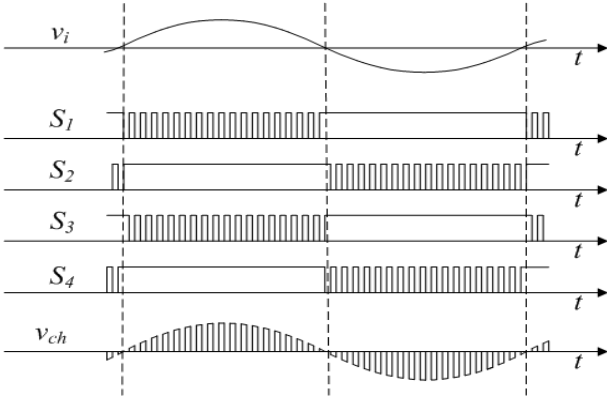


그림 2 교류차oppers의 동작파형
Fig 2. Operation waveform of AC chopper

입력전압의 극성이 양의 값을 가질 때, 한 스위칭 주기(T_s)에 대한 제안된 컨버터의 동작모드는 4가지 모드로 구분된다. 스위칭 주파수 f_s 가 직렬공진회로의 공진 콘덴서 C_r 과 변압기의 누설인덕턴스 L_{lk} 를 통한 공진주파수보다 클 경우, 각 동작모드는 다음과 같다.

Mode 1 : 스위치 S_1 은 턴 온한다. 1차 측 전류 i_p 는 스위치 S_1 의 역 병렬로 연결된 다이오드를 통해 흐르므로, 스위치 S_1 은 ZVS 턴 온한다. 한편, i_p 는 유도성 전류이며, 초퍼에 의해 제어된 입력전압 V_{ch} 에 변화에 따라, 변압기의 1차 측 양단의 전압변화가 즉시 일어나지 않는다. 이때의 변압기 1차 측의 전압은 nV_o 이다. 따라서 변압기의 누설 인덕터에 순간적으로 큰 양(+)의 전압이 걸려 음의 1차 측 전류는 급격히 증가한다.

Mode 2 : 변압기 1차 측 양단의 전압은 $+nV_o(n=N_p/N_s)$ 로 변한다. 자화 전류 i_m 은 선형적으로 증가하며, 누설인덕턴스 L_{lk} 와 공진 콘덴서 C_r 에 의한 공진이 시작된다.

Mode 3 : 스위치 S_1 은 소거되고, 스위치 S_3 가 턴 온한다. 양의 전류 i_p 는 스위치 S_3 의 역 병렬로 연결된 다이오드와 스위치 S_4 를 통해 양의 전류가 흐르며, S_3 의 양단에 걸리는 전압은 영으로, 스위치 S_3 는 ZVS 턴 온이 이루어진다. 또한, 이때의 변압기의 누설 인덕터에 순간적으로 큰()전압이 걸리므로 1차 측 전류 i_p 는 급격하게 감소한다.

Mode 4 : 변압기 1차 측 양단의 nV_o 의 전압이 걸리고, 자화전류는 감소하기 시작한다. 동시에 1차 측의 누설 인덕턴스와 공진 콘덴서를 통해 공진이 일어나게 된다. 이때의 공진주파수와 공진 임피던스는 Mode 2와 동일하다.

3. 실험 파형 및 결과

본 논문에서 제안된 컨버터의 특성을 실험을 통해 확인하였다. 제안된 컨버터는 입력전압 220V, 출력전압 98V, 스위칭 주파수 50kHz, 공진 주파수 45.5kHz, 시비율은 0.5로 동작하며, 250W 급으로 제작되었다. 그림 3은 입력전압, 입력전류의 파형이며, 그림 4 (a)와 (b)는 각각 입력전압의 양의 반주기에서, 스위치 S_1 과 S_3 의 ZVS 턴 온 동작의 검증하는 실험 파형이다. 그림 3에서 보듯, 입력전류는 거의 정현파형태를 나타내며, PFC 회로구성 없이도 역률 0.96을 나타낸다.

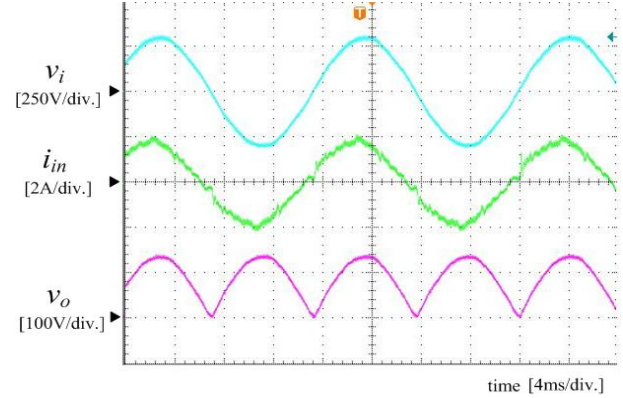


그림 3 제안된 컨버터의 입력전압, 입력전류, 출력전압파형
Fig 3. input voltage, input current and output voltage

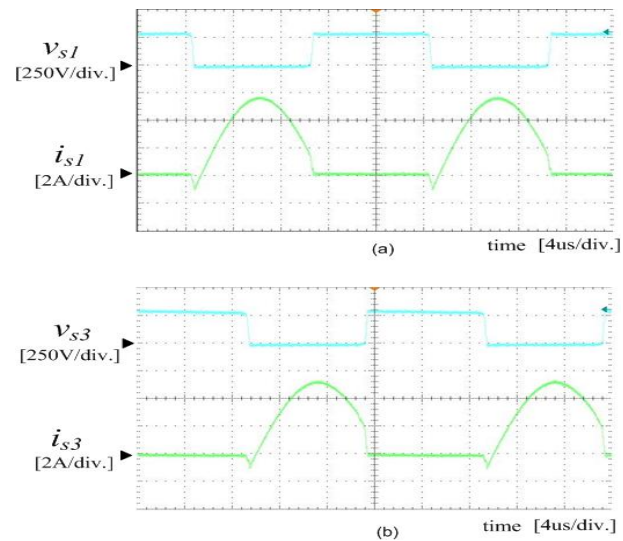


그림 4 ZVS 턴-온 동작 (a) 스위치 S_1 , (b) 스위치 S_3
Fig 4. ZVS turn - on operation (a) S_1 , (b) S_3

4. 결론

본 논문에서는 대형 LED lamp용 직렬 공진형 ac dc 컨버터를 제안하였다. AC 초퍼를 통하여, PFC 회로구성없이 고 역률을 획득하면서 동시에 직접전력변환이 이루어지며, 제안된 컨버터는 모든 스위치의 ZVS를 통하여 250W에서 95.1%의 높은 전력 변환 효율을 가진다.

참고 문헌

- [1] J. Zhang, M. M. Jovanovic, F. C. Lee "Comparison between CCM single stage and two stage boost PFC converters", in *Proc. APEC'99*, 1999, pp 335 341
- [2] K.Y. Lee, Y.S. Lai "Novel circuit design for two stage AC/DC converter to meet standby power regulations" *IET Power Electron.*, Vol.2, No. 6 pp 625 634, 2009. Nov.
- [3] B.H. Kwon., B.D.Min., J.H.Kim., "Novel topologies of AC choppers". *IEE Proc Electr. Power Appl.*, Vol 143, No. 4, pp.323 330 1996, July