

고역률 단일 전력단을 갖는 형광등용 전자식 안정기에 관한 연구

박재욱*·서철식**·노채균*·김동희*·이경호*·서진우***
 영남대학교*·구미1대학**·구미기능대학***

Study of High-Power-Factor Single-Stage Electronic Ballast for fluorescent lamps

J. W. Park*·C. S. Seo**·C. G. Ro*·D. H. Kim*·K. H. Lee*·J. W. Seo***
 Yeungnam University*·Kumi College**·Kumi Polytechnic College

Abstract- A new low cost single stage high power factor electronic ballast for fluorescent lamps is presented in this paper. The proposed topology is based on integration of two-boost converter and LC type high frequency resonant converter. A ballast is obtained by simple construction, because full bridge rectifier diode is eliminated and simple control circuits is applied. Using two boost converter operating positive and negative half cycle respectively at line frequency (60Hz), operating in discontinuous conduction mode performs high power factor. The simulated and experimental results for 64W fluorescent lamps operating at 45kHz switching frequency and 110V line voltage have been obtained.

1. 서 론

최근 전자식 안정기를 이용한 형광램프의 사용이 급격히 증가하고 있다. 전자식 안정기를 사용함으로써 기존의 자기식 안정기에 비해 소형화, 경량화, 고효율화를 이룰 수 있고, 깜빡거림(flicker)과 가성잡음을 줄일 수 있으며, 램프 수명을 향상시킬 수 있다.

대부분의 전자식 안정기의 전력단이 고주파 공진 인버터로 구성됨으로 전원측에 고조파 전류왜곡과 전자파 장애를 야기시킨다. 따라서, 최근 IEC 1000-3-2와 같은 고조파에 대한 각종 국제 규제가 강화됨으로 고조파 저감과 역률 보상회로에 대한 관심이 높아지고 있다.

일반적으로 전자식 안정기는 역률개선(Power Factor Correction : PFC)용 회로와 DC/AC 고주파 공진인버터 회로로 구성되어 거의 단위역률을 이룰 수 있다. 그렇지만, 두 개의 전력처리단으로 구성됨으로 부품의 소요가 증가함으로 가격이 상승하고, 신뢰성이 떨어지는 문제점을 가진다.

따라서, 최근에 이와같은 문제점을 줄이기 위하여 단일 전력처리단을 갖는 고효율·고역률 전자식 안정기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[2]-[4]

본 논문에서는 단일 전력처리단을 갖는 고효율·고역률의 새로운 전자식 안정기 회로를 제안하고 있다. 제안한 회로에서는 기존의 브릿지 회로를 제거함으로써 상시 도통되는 다이오드의 수를 한 개 줄일 수 있게 되어 도통손실과 소자에서의 전압강하를 줄일 수 있고, Boost Converter를 역률 개선용 회로로 사용함으로써 거의 단위역률로 동작시킬 수 있다. 또한, Boost Converter회로와 고주파 공진 인버터회로의 스위치를 같이 공유함으로써 제어 회로를 간단하게 구성할 수 있어 회로를 보다 단순화할 수 있다.

2. 본 론

2.1 회로 구성

그림 1은 역률개선(PFC)용 Boost Converter 회로와 전원 분할용 커패시터를 갖는 LC형 직렬공진 고주파공

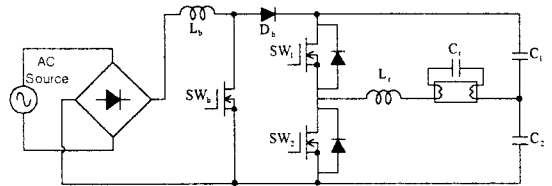


그림 1 두 개의 전력처리단을 갖는 전자식 안정기

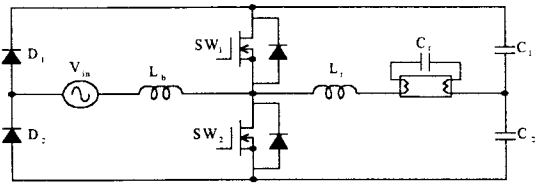


그림 2 제안된 역률 개선 회로를 가진 전자식 안정기

진 인버터 회로로 구성된 두 개의 전력처리단을 갖는 전자식 안정기를 보여주고 있다. 일반적으로 역률 개선용 Boost Converter는 저전력 회로에서는 불연속 모드(DCM)에서 동작시키고 대전력 회로에서는 연속 모드(CCM)에서 동작시킨다.

그림2는 그림 1에서 역률개선용 Boost Converter회로와 LC형 직렬 고주파 공진 인버터회로에서 각각 독립적으로 사용하던 스위칭소자(SW₁, SW₂)를 단일 스위칭소자(SW₁, SW₂)로 사용함으로써 회로 구성이 간단해지고, 제어도 용의 하게 되었다.[7]

그림 2는 단일 전력처리단을 갖는 새로운 고효율·고역률 전자식 안정기를 나타내고 있다. 제안한 회로는 크게 5개의 모드로 동작하는데, 전원의 정(+), 부(-)의 반주기 동안에 각각 5개의 모드로 동작하고, 불연속 모드로 동작하는 Boost Converter에 의해서 역률을 개선할 수 있다. 또한, 정류용 브릿지 다이오드를 제거함으로써 기존의 안정기에서는 항상 3개의 반도체 소자를 통해서 전류가 흐르게 되지만, 이 회로에서는 2개의 소자를 통해서 흐름으로 도통손실 및 전압강하를 줄일 수 있다. 또한, 그림1(b)의 회로에서는 Boost Converter회로가 동작할 때는 항상 스위치SW2에 의해서 동작하는데 비해, 그림 2의 회로에서는 전원의 정(+의 반주기 동안은 스위치SW1이 동작하고, 부(-)의 반주기 동안은 스위치SW2가 동작함으로써 스위칭소자에서의 발열에 의한 손실을 줄일 수 있다.

2.2 회로해석

정상상태에서의 회로 해석을 위하여 다음과 같은 몇가지 가정을 한다.

- 1) 모든 소자들은 이상적인 것으로 한다.

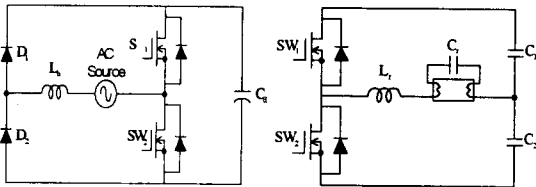


그림 3 Boost-Converter회로와 LC형 공진회로의 등가회로

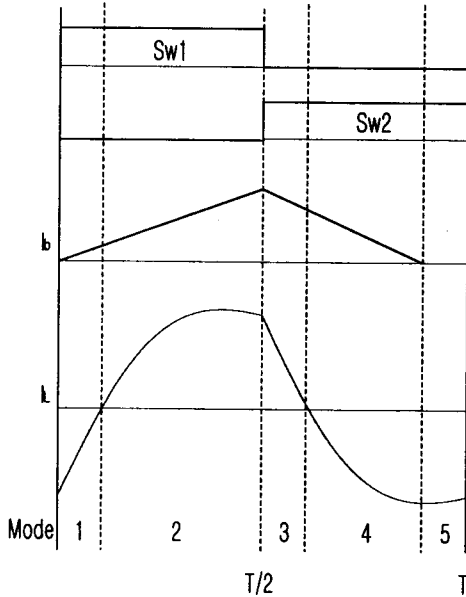


그림 4 구동 신호 패턴과 이론 파형

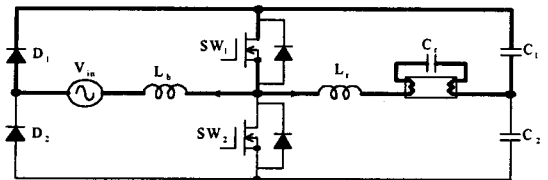
- 2) MOSFETs SW1과 SW2는 듀티비 50%로 동작하며 고정된 주파수로 한다.
- 3) 커패시터 Cd는 전압원으로 고려할 정도로 충분히 큰 용량을 가진다.
- 4) 정상상태에서 램프는 저하부하로 한다.

그림 2의 전자식 안정기는 그림 3(a)와 3(b)와 같은 간단한 2개의 독립된 컨버터로 볼 수 있다. 그림3(a)는 전원 전압의 정(+), 부(-) 파형에 따라 각각 2개의 모드로 동작하는 boost-converter회로고, 그림(b)는 4개의 모드로 동작하는 LC형 고주파 공진 인버터이다. 따라서, 그림 2의 회로는 boost converter회로가 불연속 모드(DCM : Discontinuous Conduction Mode)로 동작하게 되어 정(+), 부(-)의 전원 전압에 대하여 각각 5개의 동작모드를 이루게 된다. 그림 4는 각 동작 모드에서의 전압, 전류 및 제어신호 파형을 나타내고 있다.

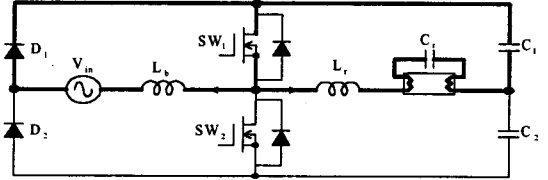
Mode 1 : 이 모드는 스위치SW1이 동작함에 따라 인덕터 L_b , 다이오드 D_1 을 통해서 흐르는 전류가 영(zero)에서 선형적으로 증가하고, 부하전류는 인덕터에 축적된 에너지에 의해서 스위치SW1의 역병렬 다이오드를 통해서 흘러 커패시터 C_1 으로 에너지를 회생하는 모드이다. 그림 5(a)는 모드1의 등가회로를 나타내고 있다.

Mode 2 : 인덕터 L_b 의 전류는 계속 선형적으로 증가하고, 부하전류는 커패시터 C_1 에 의해서 스위치SW1을 통해서 흐르게 된다. 그림 5(b)는 모드 2의 등가회로이다.

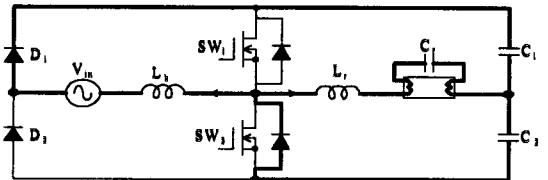
Mode 3 : 스위치SW1이 턴-오프되고, 스위치SW2가 턴-온됨에 따라 Boost용 인덕터에 흐르는 전류는 인덕터



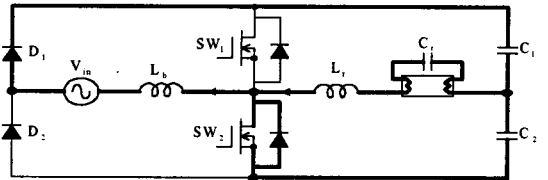
Mode 1



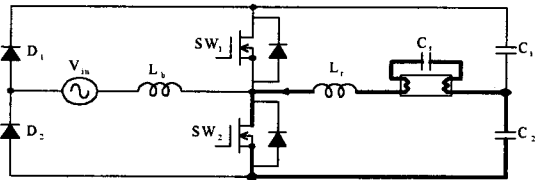
Mode 2



Mode 3



Mode 4



Mode 5

그림 5 모드별 등가회로

L_b 에 축적된 에너지에 의해서 스위치SW2의 역병렬 다이오드를 통해서 직선적으로 감소되면서 커패시터 C_1 , C_2 로 에너지를 축적한다. 부하전류는 스위치SW2의 역병렬 다이오드를 통해서 흘러 인덕터(L_r)에 축적된 에너지를 커패시터 C_1 , C_2 로 회생하게 된다. 그림 5(c)는 모드 3의 등가회로이다.

Mode 4 : 인덕터 L_b 에 흐르는 전류는 커패시터 C_1 , C_2 및 스위치SW2의 역병렬 다이오드를 통해서 직선적으로 감소하여 완전히 영(zero)이 된다. 한편, 부하전류는 커패시터 C_1 에 의해서 스위치SW2를 통해서 흐르게 된다. 그림 5(d)는 모드 4의 등가회로이다.

Mode 5 : 인덕터 L_b 의 전류가 완전히 영(zero)이 됨으로 불연속 모드를 형성하게 되고, 부하전류는 스위치SW2를 통해서 계속 흐르게 된다. 그림 5(e)는 모드 5의 등가회로이다.

2.3 시뮬레이션 및 실험

본 논문에서 제안한 단일 전력단을 갖는 고역률·고효율 형광등용 전자식 안정기에 대한 Pspice로 시뮬레이션을 행하였고, 실험을 통하여 타당성을 증명하였다. 이때, 입력 전압 $V_{in}=110V$, $f=60Hz$, 출력 전력 $P_{out}=64W$, 스위

Circuit Parameter	$V_{in}=110[V], P_{out}=64[W], f_{sw}=45[kHz]$
Lb	0.45[mH]
Lr	2.7[mH]
Cr	4.7[nF]
C1	47[μ F]
C2	47[μ F]

표 1 회로 정수

칭 주파수 $f_{sw}=45kHz$, 듀티비 $D=0.5$ 로 하였고, 회로 정수는 표 1로 하였다.

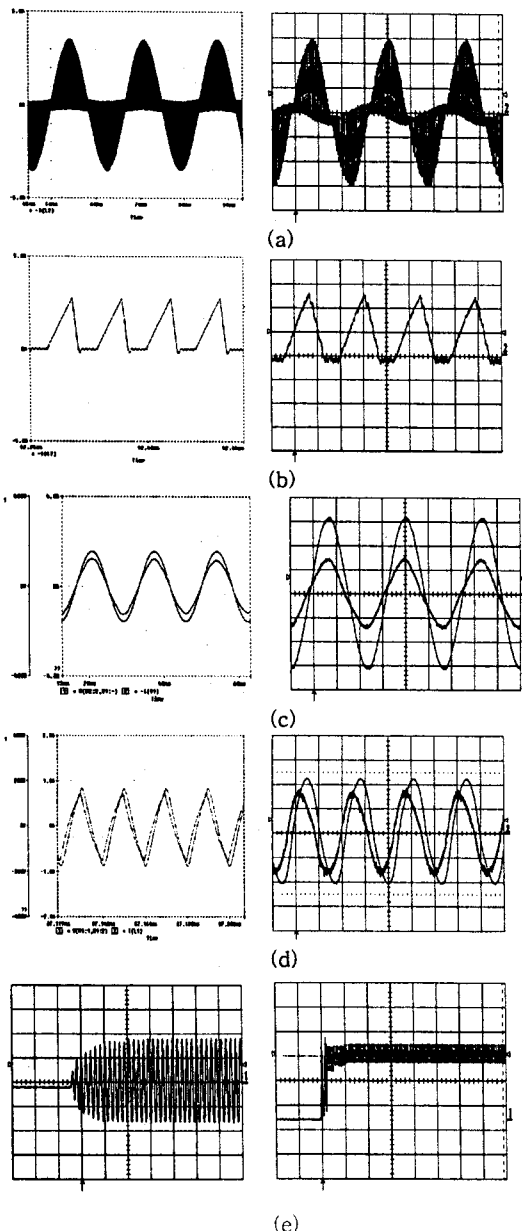


그림 6 시뮬레이션 및 실험 파형

그림6(a)(b)는 Boost-Converter회로의 인덕터(L_b)에

흐르는 전류 파형을 나타내고 있다. 그림(b)에서 전류가 불연속 모드(DCM)에서 동작한다는 것을 알 수 있다. 그림(c)는 $C_f=0.47[\mu F], L_f=20[mH]$ 의 필터회로를 통해서 필터링(Filtering)된 전원 전압 및 전류 파형을 나타내고 있다. 그림(d)는 형광램프 양단 전압과 전류 파형을 나타내고 있고, 그림(e)는 실험파형으로 소프트웨어 스타팅이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 그림6에서 보면 시뮬레이션 파형과 실험 파형이 거의 일치함을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구는 역률 개선용 Boost-Converter회로와 전원 분할용 커패시터를 갖는 LC형 직렬 공진 고주파 인버터로 구성된 고효율·고효율의 전자식 안정기를 제안하였다. 두 회로에서 스위칭 소자를 공통으로 사용함으로써 소자의 숫자를 줄였고, 간단하게 제어 회로를 구성함으로써 소형·경량화를 이룰 수 있었다. 또한, 입력측 정류용 다이오드를 제거함으로써 회로구성 시 도통하는 반도체 소자의 숫자를 줄임으로 도통손실과 소자에 의한 전압강하를 줄일 수 있었으며, Boost-Converter로 사용되는 스위칭 소자를 입력전압의 반주기동안 교대로 사용함으로써 스위칭 소자에서의 발열을 감소시킬 수 있었다.

Power-MOSFET를 스위칭 소자로 한 회로를 구성하여 얻은 실험 결과와 시뮬레이션 결과를 비교·검토하여 회로의 타당성을 확인하였다.

(참 고 문 헌)

- [1]A. Takeuchi et. "Zero-Voltage-Switching Controlled High Power-Factor Converter", PESC'96, Vol. 1, pp. 1859~1864, 1996
- [2]E. Deng and S. Cuk, "Single stage, high power factor, lamp ballast," in Proc. IEEE Applied Power Electronics Conf., Feb. 1994, pp. 441-449
- [3]J. L. F. Vieira, M. A. Co, and L. D. Zorzal, "High power factor electronic ballast based on a single power processing stage," in IEEE-PESC Proc., 1995, pp. 687-693
- [4]R. N. Prado, S. A. Bonaldo, M. C. Moreira, and D. L. R. Vidor, "Electronic ballast with a high power factor for fluorescent lamps," in conf. rec. IEEE PESC'96, 1996, pp. 1215-1220
- [5]E. E. Hammer, "Starting voltage characteristics of 40-w biaxial fluorescent lamps," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. IA-18, pp.647-652, Nov/Dec. 1982
- [6]Richard Redl, "A Novel Soft-Switching Full-Bridge DC/DC Converter : Experimental Results at 1.5kW, 100 KHZ", IEEE TRANS ON PE, VOL. 6, NO.3 pp 408~418, JULY, 1991.
- [7]Tsai - Fu Wu, Te - Hung Yu, Meng - Chian Chiang, "Single-Stage Electronic Ballast with Dimming Feature and Unity Power Factor", IEEE Transactions on Power Electronics, VOL. 13, NO.3, pp 586-597, MAY, 1998.