

임계모드에서 동작하는 단일 전력단을 갖는 고역률 형광등용 전자식 안정기에 관한 연구

서철삭· 김동희· 변영복· 이봉섭· 심광열· 오승훈

구미대학· 영남대학교· 한국전기연구소· 삼척대학교· 울산과학기술대학· 동해대학교

Study of Single-Stage High-Power-Factor Electronic Ballast for fluorescent lamps operating in critical conduction mode

C. S. Seo· D. H. Kim· Y. B. Byun· P. S. Lee· K. Y. Sim· S. H. Oh

Kumi College· Yeungnam Univ· KERI· SAMCHOK Univ· ULSAN College· Donghae Univ

Abstract- A single-stage high-power-factor electronic ballast operating in critical conduction mode is presented in this paper. The proposed topology is based on integration of a boost-like converter and a LCC Type half-bridge serial resonant inverter. The power-factor-correction(PFC) stage is a boost-like converter operating in critical conduction mode for positive and negative half cycle voltage respectively at line frequency (60Hz) so that a high power factor is achieved naturally. The simulated and experimental results for 100w fluorescent lamps operating at 42kHz switching frequency and 220V line voltage have been obtained.

1. 서 론

최근 전자식 안정기가 소형화·경량화·고효율화를 이룰 수 있고, 깜빡거림(flicker)과 가청잡음을 줄일 수 있으며, 램프 수명을 향상시킬 수 있다는 장점 때문에 기존의 자기식 안정기를 대신해서 방전램프에 많이 적용하고 있다. 그렇지만, 대부분의 전자식 안정기의 전력단이 브릿지 회로를 이용한 전파정류 회로와 고주파 공진 인버터 회로로 구성됨으로 전원측에 고조파 전류왜곡과 전자파 장애를 야기시킨다. 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 전력 처리단으로 구성됨으로 부품의 소요가 증가하여 가격이 상승하고, 신뢰성이 떨어지는 문제점을 가진다. 따라서, 최근에 이와 같은 문제점을 줄이기 위하여 역률개선용 Converter와 DC/AC 고주파 공진 인버터에서 각각 사용되는 스위칭 소자를 공용으로 사용하는 단일 전력처리단의 구조를 가짐으로 하나의 스위칭을 줄일 수 있고, 이에 따른 제어회로를 간단하게 구성함으로써 고효율·고역률 전자식 안정기를 실현할 수 있게 되었다.[1]-[5]

이들 단일 전력 처리단을 갖는 전자식 안정기에서는 역률개선용 Boost-Converter회로를 불연속 모드(DCM)로 동작시킴으로 단위 역률을 이룰 수 있지만, 불연속의 펄스 입력전류가 흐름으로 용량이 큰 입력 필터가 요구되고, 스위칭소자에 큰 피크 전류가 흐름으로 정격 용량이 큰 스위칭소자가 요구된다. 또한, DC-링크 전압이 전원 전압보다 높아야 한다.

본 논문에서는 임계 모드에서 동작하는 단일 전력처리단을 갖는 새로운 고효율·고역률 전자식 안정기 회로를 제안하고 있다. 제안된 단일 전력처리단을 갖는 전자식 안정기에서는 브릿지 다이오드를 고속 다이오드로 구성하고, 입력 필터용 커패시터를 분할하여 전압 분배용으로 사용함으로써 자연스럽게 boost 인덕터에 흐르는 전류를 임계모드로 동작시킨다. 이로 인하여 전원 전류의

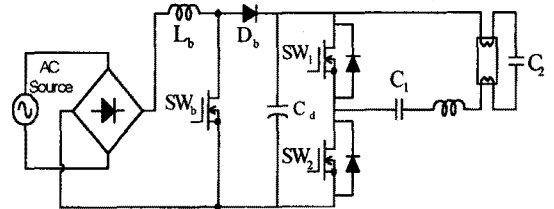


그림 1 두 개의 전력 처리단을 갖는 전자식 안정기

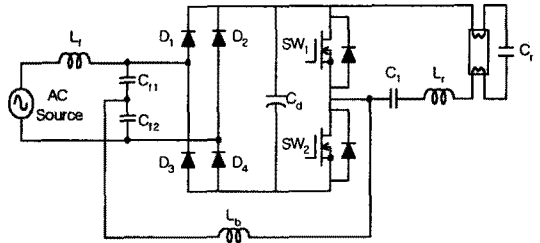


그림 2 제안된 역률 개선 회로를 가진 전자식 안정기

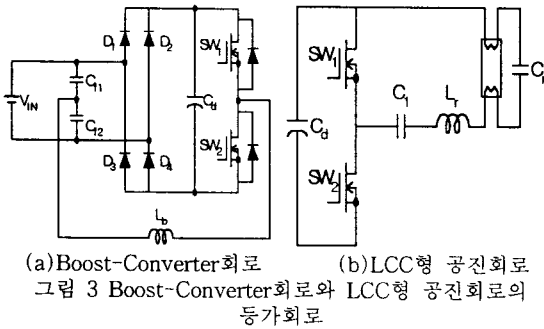
왜곡을 줄일 수 있고, DC-링크 전류의 주파수가 스위칭 주파수의 2배가 되며, 스위칭으로 인한 전류의 리플을 줄이기 위한 입력 필터의 크기를 줄일 수 있다. 또한, 상시 도통되는 다이오드의 수를 한 개 줄일 수 있게 되어 도통손실과 소자에서의 전압강하를 줄일 수 있고, Boost Converter를 역률개선용 회로로 사용함으로써 거의 단위역률로 동작시킬 수 있다. 또한, Boost Converter회로와 고주파 공진 인버터회로의 스위칭을 같이 공유함으로써 제어 회로를 간단하게 구성할 수 있어 회로를 보다 단순화할 수 있다.

2. 본 론

2.1 회로 구성

그림1은 역률개선(PFC)용 Boost Converter 회로와 LCC형 직렬 공진 고주파 인버터 회로로 구성된 두 개의 전력 처리단을 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 단일 전력 처리단을 갖는 새로운 고효율·고역률 전자식 안정기를 나타내고 있다. 그림1에서 역률개선용 Boost Converter회로와 LCC형 직렬 공진 고주파 인버터회로에서 각각 독립적으로 사용하던 스위칭소자(SWb, SW1, SW2)를 단일 스위칭소자(SW1, SW2)로 사용함으로써 회로 구성이 간단해지고, 제어도 용이하게 되었다.[6][7] 또한, 입력 필터용 커패시터를 2개로 분할하여 전압 분할용 커패시터(C1, C2)로 함께 사용함으로써 회



로를 보다 간단하게 구성하고 있다. 제안한 전자식 안정기 회로는 그림3과 같이 크게 2개의 독립된 간단한 컨버터의 구성으로 볼 수 있다. 하나는 그림3(a)와 같은 임계 모드에서 동작하는 Boost Converter로 나타낼 수 있고, 다른 하나는 그림3(b)와 같은 LCC형 직렬 공진 고주파 인버터로 나타낼 수 있다. Boost Converter는 전원의 정(+), 부(-)의 반주기 동안에 각각 4개의 모드로 동작하고, 공진 인버터 회로도 유도성 회로로써 4개의 모드로 동작하고 있다.

2.2 회로해석

정상상태에서의 회로 해석을 위하여 다음과 같은 몇 가지 가정을 한다.

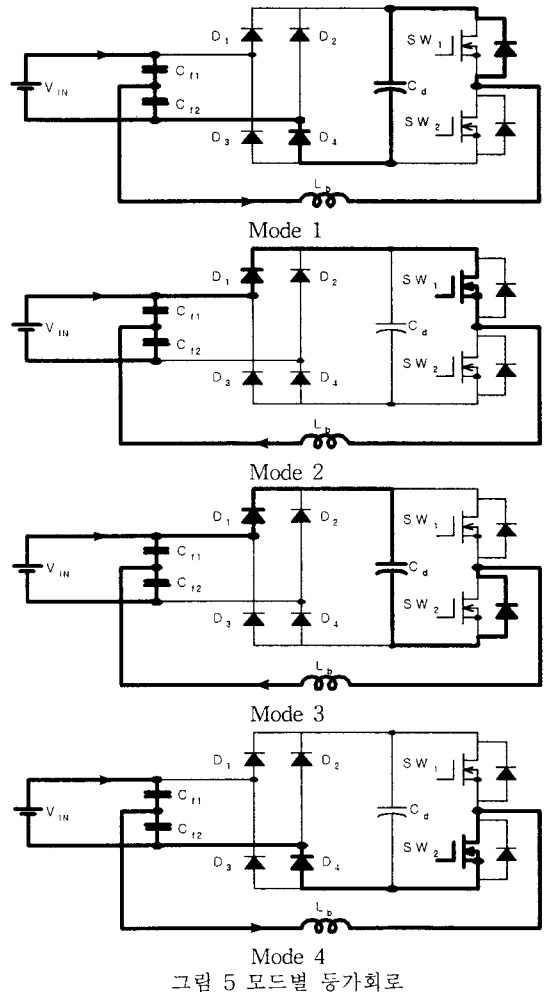
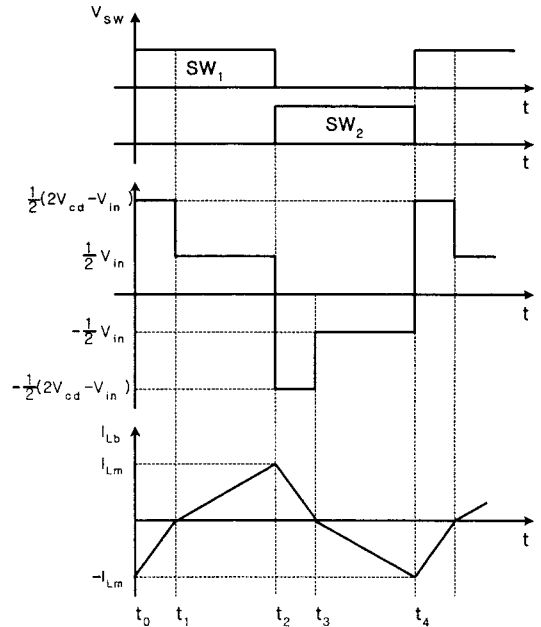
- 1) 모든 소자들은 이상적인 것으로 한다.
- 2) MOSFETs를 이용한 스위치 SW1과 SW2는 듀티비 50%로 동작하며 고정된 주파수로 한다.
- 3) 커패시터 C_d 는 전압원으로 고려할 정도로 충분히 큰 용량을 가진다.
- 4) 정상상태에서 램프는 저항부하로 한다.
- 5) 스위칭 주파수 충분히 높아서 필터용 커패시터(C_{f1} , C_{f2})의 임피던스가 부하에 비해 매우 작기 때문에 필터용 커패시터(C_{f1} , C_{f2}) 양단 전압은 스위칭 주기 동안 일정한 크기를 갖는다고 가정한다.

그림3(a)의 역률개선용 Boost Converter회로는 임계 모드에서 동작하게 되고 정(+), 부(-) 각각 4개의 모드로 동작하게 된다. 그림4는 입력 전압이 정(+)일 때의 각 소자에서의 전압 및 전류에 대한 이론 파형을 나타내고 있다.

Mode 1 ($t_0 \sim t_1$) : 이 모드는 스위치 SW2가 턴-오프 되고 스위치 SW1이 턴-온이 된 경우로, boost 인덕터 L_b 에 흐르는 전류로 인하여 스위치 SW2와 다이오드 D_1 를 통해서 흐르던 전류가 스위치 SW1의 역병렬 다이오드와 다이오드 D_3 로 바뀌어 흐르면서 커패시터 C_d 로 에너지를 회생하는 모드이다. 이때, 인덕터 L_b 에는 $V_{cd} - \frac{1}{2} V_{in}$ 의 전압이 걸리면서 인덕터 L_b 를 통해서 흐르는 전류는 직선적으로 감소하여 0이 된다. 그림5(a)는 모드1의 등가회로를 나타내고 있다.

Mode 2 ($t_1 \sim t_2$) : 이 모드는 인덕터 L_b 의 전류가 스위치 SW1과 다이오드 D_1 을 통해서 0에서 직선적으로 증가하는 모드로 인덕터 L_b 에는 $\frac{1}{2} V_{in}$ 의 전압이 인가된다. 그림5(b)는 모드2의 등가회로를 나타내고 있다.

Mode 3 ($t_2 \sim t_3$) : 이 모드는 스위치 SW1이 턴 오프 되고 스위치 SW2가 턴-온이 되는 경우로 boost 인덕터 L_b 에 흐르는 전류로 인하여 스위치 SW1과 다이오드 D_1 을 통해서 흐르던 전류가 스위치 SW2의 역병렬 다이오드와 다이오드 D_3 으로 바뀌어 흐르면서 커패시터 C_d 로 에너지를 회생하는 모드이다.



Parameter	$V_{in}=220[V]$, $P_{out}=100[W]$, $f_{sw}=42[kHz]$
L_b	0.42[mH]
L_f	2.8[mH]
C_f	5.6[nF]
C_{in}	1[μF]
C_{out}	47[μF]
C_{f1}	0.33[μF]
C_{f2}	0.33[μF]
B_f	20[mH]

표 1 회로 정수

이때, 인덕터 L_b 에는 $-V_{\alpha} + \frac{1}{2} V_{in}$ 의 전압이 걸리면서 인덕터 L_b 를 통해서 흐르는 전류는 직선적으로 감소하여 0이 된다. 그림5(c)는 모드 3의 동작회로를 나타내고 있다.

Mode 4 ($t_3 \sim t_4$): 이 모드는 인덕터 L_b 의 전류가 스위치 SW2와 다이오드 D_4 을 통해서 0에서 직선적으로 증가하는 모드로 인덕터 L_b 에는 $-\frac{1}{2} V_{in}$ 의 전압이 인가된다. 그림5(d)는 모드4의 동작회로를 나타내고 있다.

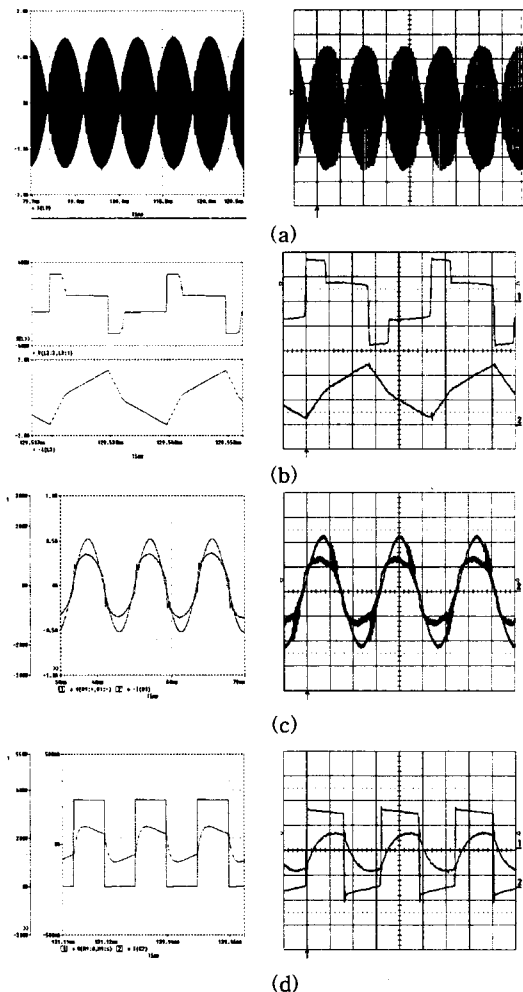


그림 6 시뮬레이션 파형 및 실험 파형

2.3 시뮬레이션 및 실험

본 논문에서 제안한 임계 모드에서 동작하는 단일 전력단을 갖는 고역률·고효율 형광등용 전자식 안정기에 대한 타당성을 증명하기 위하여 Pspice 시뮬레이션과 실험을 행하였다. 이때, 입력 전압 $V_{in}=220V$, $f=60Hz$, 출력 전력 $P_{out}=100W$, 스위칭 주파수 $f_{sw}=42kHz$, 듀티비 $D=0.5$ 로 하였고, 회로 정수는 표 1로 하였다.

그림 6(a)(b)는 Boost-Converter회로의 인덕터(L_b)에 흐르는 전류 파형을 나타내고 있다. 임계 모드에서 동작한다는 것을 알 수 있으며, 전류의 피크값이 임계 모드에서 동작함으로 불연속 모드의 경우 보다 작다는 것을 알 수 있다. 그림6(c)는 입력 필터 $C_{f1} = C_{f2} = 0.47[\mu F]$, $L_f = 20[mH]$ 을 사용했을 경우의 입력 전압·전류 파형을 나타내고 있다. 그림6(d)는 부하 전류에 대한 시뮬레이션 파형과 실험 파형을 나타내고 있다. 그림6에서 보면 Pspice를 이용한 시뮬레이션 파형과 실험 파형이 거의 일치함을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구는 임계 모드에서 동작하는 역률 개선용 Boost-Converter회로와 LCC형 직렬 공진 고주파 인버터로 구성된 간단한 구조의 전자식 안정기를 제안하였다. 두 회로에서 사용하는 스위칭 소자를 공동으로 사용함으로써 소자의 숫자를 줄였고, 제어회로를 간단하게 구성함으로써 소형·경량화를 이룰 수 있었다. 또한, 입력 필터용 커패시터를 2개로 분할하여 전압 분할용으로 같이 사용하여 Boost Converter를 임계 모드에서 동작시킴으로써 입력전류의 피크값을 줄임으로 정격 용량이 작은 스위칭 소자를 사용할 수 있었고, 상시 도통하는 반도체 소자의 숫자를 줄임으로 도통손실과 소자에 의한 전압강하를 줄일 수 있었다. 또한, 스위칭 소자를 전원 입력의 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]E. Deng and S. Cuk, "Single stage, high power factor, lamp ballast," in Proc. IEEE Applied Power Electronics Conf., Feb. 1994, pp. 441-449
- [2]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
- [3]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
- [4]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
- [5]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.
- [6]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.
- [7]Marcio Almeida Co, Domingos S. L. Simonetti, and Jose Luiz F. Vieira, "High-Power-Factor Electronic Ballast Operating in Critical Conduction Mode", IEEE Transactions on Power Electronics, VOL. 13, NO.1, pp93-101, JANUARY, 1998.