

고출력 MHL용 저주파수 구형파 구동 방식의 전자식 안정기 설계

김기남, 최영민, 박종연
강원대학교 전기전자공학과

A Design of Low Frequency Square-Wave Electronic Ballast for High Power MHL.

Ki-Nam Kim, Young-Min Choi, Chong-Yeun Park
Dept. of Electrical and Electronic Engineering Kangwon National University

ABSTRACT

본 논문에서는 Buck Converter 동작 원리를 이용한 Full-Bridge Inverter를 제안하였다. 제안한 Full-Bridge Inverter는 왼쪽 브리지와 오른쪽 브리지의 구동 주파수를 각각 저주파와 고주파로 구동하여 Buck Converter의 동작과 유사하게 하였다. 동작은 두 가지 모드로 구분되며, 이로 인해 램프에 저주파수 구형파를 인가한다. 램프를 저주파수 구형파로 구동하여 음향 공명현상을 피하게 되었으며, 고주파 스위칭으로 인덕터의 부피를 줄였다. 제안한 방법은 시뮬레이션을 통해 증명하였다.

1. 서 론

HID 램프 중 MH(Metal Halide) 램프는 수은, 아르곤 가스 외에 스칸튬(Sc), 토륨(Th), 나트륨(Na) 등의 알칼리 금속 원소를 할로겐 원소와 화합시킨 금속 할로겐이 봉입되어 있어 광 효율 상승과 높은 연색성, 다양한 색온도, 긴 수명 등의 장점을 가지고 있다.[1] 이와 같은 장점으로 인해 가로등 및 옥외 조명 등에서 주로 사용되어져 왔으나 최근에는 운동장, 대형 매장의 전시용 조명등으로 사용 범위가 확대되고 있다.[2] 전자식 안정기는 자기식 안정기보다 무게가 가볍고, 크기가 작으며, 광 효율이 높다는 장점이 있다. 그러나 스위칭 소자의 사용으로 신뢰성이 저하되며, 음향공명현상이 발생하는 문제점이 있다.

음향공명현상을 제거하기 위해서는 저주파 구형파 구동, 스위칭 주파수 변조기법 등 여러 방법들이 있다. 이들 중 저주파 구형파 구동 방식은 부하의 인덕터의 부피 상승과 회로가 복잡해지는 문제로 인해 많은 제한이 뒤따른다.[4]

본 논문에서는 수동 PFC와 Buck Converter 동작 원리를 이용한 Full-Bridge Inverter를 제안하여 회로의 구성을 간단하게 하였고, 적은 부피의 부하 인덕터와 램프에 저주파수 구형파를 공급하였다. 이로 인해 음향공명현상에 대한 문제점을 해결하도록 하였다.

2. 본 론

그림 1은 제안된 전자식 안정기 개략도이다. 제안된 전자식 안정기는 입력 단부터 EMI 필터, 수동 PFC, Full-Bridge(FB) 인버터 그리고 점화기로 구성된다.

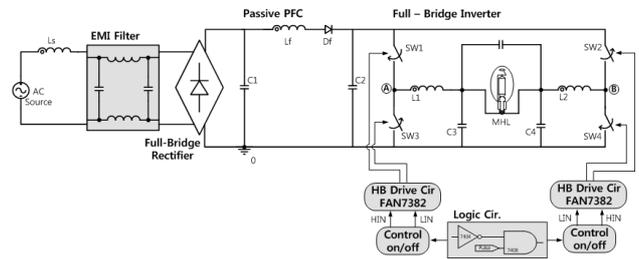


그림 1. 제안된 전자식 안정기 블록도
Fig. 1. Configuration of the Proposed Electronic Ballast

제안한 안정기는 기존의 전자식 안정기에서 주로 사용되는 능동 PFC를 수동 PFC로 대체하여 Buck 컨버터를 제거하였다. 이에 따라 스위칭 소자 및 드라이브 IC의 사용량이 감소하여 신뢰성이 향상하였으며, 기존의 3-stage 구조를 2-stage 구조로 하여 회로의 구성이 간단해졌다.

2.1 수동 역률 보상 회로

PF와 THD를 국제 기준에 맞추기 위해 여러 형태의 수동 역률 보상 회로가 사용되어지고 있다. 본 논문에서는 여러 수동 역률 보상 회로 중 LCD타입에 SI(Series Inductor) Filter를 결합한 형태의 수동 역률 보상 회로를 제안하였다[3].

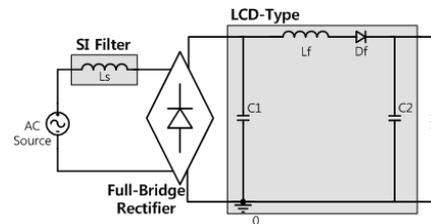


그림 2. 제안한 수동 역률 보상 회로
Fig. 2. Propose Passive PFC

그림 2는 제안한 전자식 안정기의 수동 역률 보상 회로이다. LCD-Type의 PFC는 다이오드에 의해 C2에 저장된 에너지가 부하에 모두 공급되는 특징을 가지며, SI Filter의 Ls는 입력으로 유입 되는 돌입전류를 제한하여 회로를 보호하는 역할을 한다. 제안한 수동 PFC는 이 두 가지 특징을 결합하여 돌입전류로부터 회로를 보호하고, 역률을 개선하였다.

2.2 Full-bridge Inverter

전자식 안정기는 THD와 역률을 개선하기 위해 역률보상회로(PFC)를 사용하며, 램프의 정격을 맞추기 위하여 Inverter를 사용한다. 제안한 Full-Bridge Inverter 각각의 전력용 스위치가 Buck converter의 동작을 하도록 그림 5와같이 스위치의 ON 신호를 인가한다.

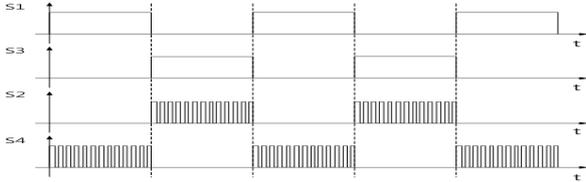


그림 3. Full-Bridge Inverter의 출력 전압 및 게이트 전압
fig. 3. Gate signals and output voltage of full-bridge inverter

제안한 Full-Bridge Inverter는 S1과 S3은 150Hz의 저주파수로, S2와 S4는 100kHz의 고주파수로 스위칭을 하여 벡 컨버터의 형태로 부하에 전력을 공급한다. 제안한 Full-Bridge Inverter는 스위치의 상태에 따라 부하를 기준으로 2가지 모드로 구분할 수 있다.

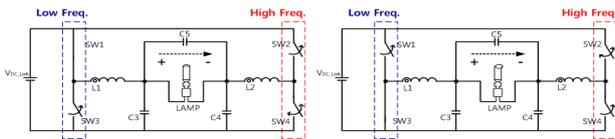
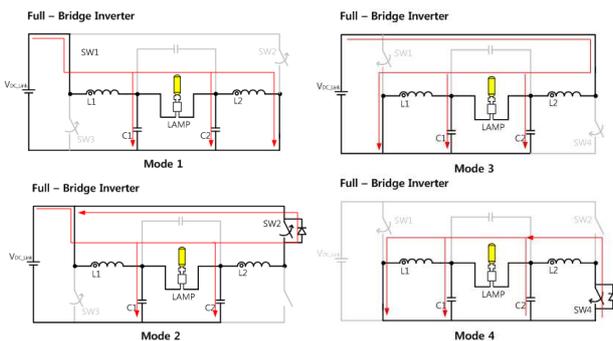


그림 4. Positive Mode
fig. 4. Positive Mode

그림 5 Negative Mode
fig. 5. Negative Mode

그림 4와 같이 S1,S4가 동작을 하는 구간을 Positive Mode, S2, S3이 동작하는 구간을 Negative Mode로 구분하며, 총 4단계로 표현할 수 있다.



- Mode 1 :** S1, S4가 on상태로 L1, L2에는 전류가 부하를 기준으로 선형적으로 증가한다.
- Mode 2 :** S1은 on, S4는 off인 상태로 L1, L2에 흐르던 전류는 S2의 Body Diode를 통해 환류하게 된다.
- Mode 3 :** S2, S3가 on상태로 L1, L2에는 전류가 부하를 기준으로 선형적으로 감소한다.
- Mode 4 :** S3은 on, S2는 off인 상태로 L1, L2에 흐르던 전류는 S4의 Body Diode를 통해 환류하게 된다.

다음과 같은 동작을 정해진 스위칭 주파수에 따라 하게 된다. 이때 고주파 성분은 부하 앞, 뒤에 위치한 LPF(Low Pass Filter)를 통해 제거되고, 저주파 성분만 부하에 공급된다.

2.3 시뮬레이션 결과

부하에 흐르는 전류와 전압을 고려하여 Full-bridge Inverter의 소자값은 표 1에 나타내었다. 부하는 Philips 社의 MH램프 MSR-700으로 하였다.

표 1 Full-Bridge Inverter 소자값
Table 1 Per unit values of the system parameters

R_{Lamp}	9Ω	L1, L2	1.4[mH]
C3, C4	2[nF]	C5	47[nF]
HFsw	100[kHz]	LFsw	150[Hz]

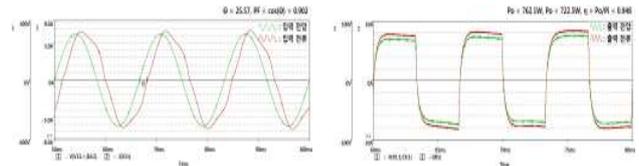


그림 6. 입력 전압 / 전류
그림 7. 출력 전압 / 전류
fig. 6. Input Voltage/Current
fig. 7. Output Voltage/Current

시뮬레이션 결과 입력 전압/전류의 역률은 0.902로 나타났으며, 램프에는 150Hz의 구형파로 722.5W가 출력되었다.

3. 결론

본 논문에서는 수동 PFC와 Buck Converter 동작 원리를 이용한 Full -Bridge Inverter를 제안하였다. 기존의 단일 주파수의 형태를 2개의 주파수로 구동을 하여 Buck converter의 동작을 하도록 하였다. 이로 인해 부하 인덕터의 크기는 줄어들면서 램프에는 저주파수 구형파를 공급하여 음향공명현상을 제거하였다.

참고 문헌

- [1] 박종연, 이봉진, 김기남 “음향 공명 현상을 제거한 MHL용 고출력 전자식 안정기 설계”, 대한전기학회, Vol.57, pp1187~1194, 2008.
- [2] Weiping Zhang, Yuanchao Liu, Xiaoqiang Zhang, Hongtao Li and Wenji Liu “Low Frequency Model for the Metal Halide Lamp”, IPEMC 2006, Vol.2, pp.14~16, 2006.
- [3] Mangesh Borage, Sunil Tiwari and S.Kotaiah, “Passive Techniques for Compliance of Single-phase Rectifiers with IEC 1000-3-2 Norms”, Processing of INCENIC, 2003
- [4] Moo. C.S., Huang. C.K., Lee. K.H., Huang. D.J., “Two-stage electronic ballast for metal halide lamps with embedded buck-conversion and ignition circuit”, ISIEA 2009, Vol.2, pp.895~899