

# 형광등 안정기 호환형 벡부스트 LED 구동회로

남경훈, 최 윤, 구현수, 강정일\*, 한상규†  
 국민대학교 POESLA, 삼성전자\*

## Buck-boost LED driver compatible with fluorescent lamp ballast

Kyung Hoon Nam, Yoon Choi, Hyun Su Gu, Jeong-il Kang\*, Sang Kyoo Han†  
 Power Electronics System Laboratory, Kookmin Univ., \*Samsung Electronics.

### ABSTRACT

본 논문은 스위치 동작 듀티에 따른 등가임피던스가 광범위하게 변화 하는 벡부스트 컨버터를 이용하여 전자식, 자기식 안정기 모두 호환 가능한 LED(Light Emitting Diode) 구동회로를 제안한다. 현재 사용되는 안정기는 상용 주파수를 출력으로 가지는 자기식 안정기와 LCC 인버터를 거쳐 수십kHz 주파수 출력을 가지는 전자식 안정기가 있다. 제안 회로는 안정기 출력 주파수 특성 차이를 이용하여 High Pass Filter(HPF)를 통해 전자식 또는 자기식 안정기가 연결되었음을 감지하여 서로 다른 제어방식으로 동작시킴으로써 전자식 및 자기식 안정기 모두 호환이 가능하다. 본 논문에서 제안된 회로의 우수성을 검증하기 위하여 이론적 분석 및 16.8W급 LED 구동회로에 적용한 실험결과를 제시한다.

### 1. 서 론

현재 사용되는 조명기기는 형광등, 백열등, 할로젠등과 같이 다양한 종류가 있으나 저효율 및 유해물질 등으로 인한 문제로 친환경적이며 고효율에 유리한 LED조명으로 대체하기 위한 연구개발이 매우 활발히 진행되고 있다.<sup>[1]</sup> 하지만 형광등을 LED로 대체하기 위해서는 형광등 구동을 위한 형광등 안정기를 철거해야 하는 단점이 있다. 이러한 단점은 시간적, 비용적 손실을 초래하기 때문에 본 논문에서는 형광등용 전자식 및 자기식 안정기에 모두 호환 가능한 LED 구동회로를 제안하고 이론적 해석과 실험을 통해 제안 회로를 검증하였다.

### 2. 제안된 형광등 안정기 호환형 LED 구동회로

제안된 형광등 안정기 호환형 LED 구동회로의 구성은 그림 1과 같다. 안정기 단에는 전자식 안정기 또는 자기식 안정기가 위치하게 되며 이로부터 정류기 단과 LC필터 단, 그리고

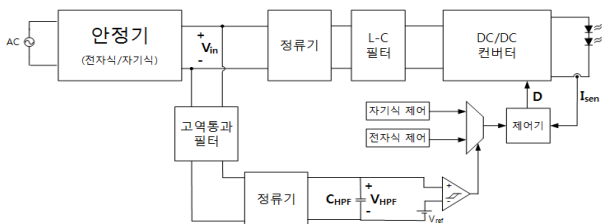


그림 1 제안된 형광등 안정기 호환형 LED 구동회로  
 Fig. 1 Proposed LED driver compatible fluorescent Lamp ballast

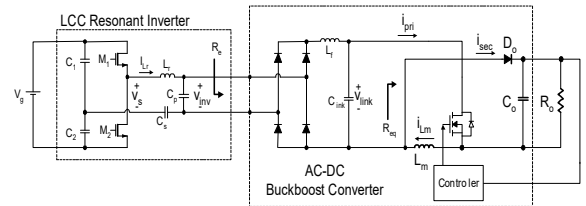


그림 2 전자식 안정기를 입력으로 갖는 제안된 회로  
 Fig. 2 Proposed circuit fed from electronic ballast

DC/DC 컨버터 단이 cascade로 연결되어 있으며 DC/DC 컨버터로는 동작 듀티에 따른 등가 임피던스 Req의 변화가 가장 큰 벡부스트 회로를 적용하고 있다. 그리고 제어단은 전자식 및 자기식 안정기를 구분 인식하여 각 안정기에 따라 서로 다른 제어 방식을 적용할 수 있도록 구성하였다.

### 2.1 전자식 안정기 특성분석

그림 2는 전자식 안정기로 주로 쓰이는 LCC 공진형 인버터를 입력으로 갖는 제안된 회로를 나타내고 있다. 공진형 인버터의 입력을  $V_g$ , 공진형 인버터 출력이 정류단과 LC 필터단을 거친 링크전압을  $V_{link}$ 라 할 때  $V_{link}$ 와  $V_g$ 의 입출력 비는 다음 식(1)과 같다.

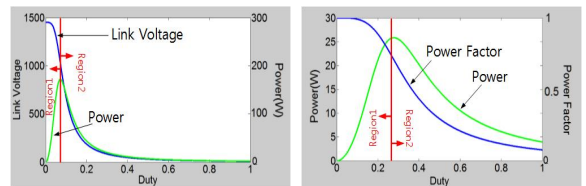
$$\frac{V_{link}}{V_g} = \frac{4}{\pi^2 \sqrt{\left\{1 + \frac{1}{m}(1-F^2)\right\}^2 + \left\{\frac{1}{Q_e}\left(F - \frac{1}{F}\right)\right\}^2}} \quad (1)$$

식 (1)에서 사용된 파라미터는 다음과 같이 정의된다.

$$f_o = 1/2\pi\sqrt{L_r C_s}, \omega_o = 2\pi f_o, Z_o = \sqrt{L_r / C_s}, m = C_s / C_p,$$

$$F = f_s / f_o, Q_e = R_e / \sqrt{L_r / C_s} = R_e / Z_o, R_{eq} = 1.2337 R_e$$

상기 식 (1)에 일반적으로 사용되는 전자식 안정기의 파라미터인  $V_g=311V$ ,  $f_{sw\_ballast}=47kHz$ ,  $C_s=20.2nF$ ,  $L_r=2.793mH$ ,



(a) Electronic ballast

(b) Magnetic ballast

그림 3 듀티(Duty)에 따른 링크 전압, 출력 전력, 역률  
 Fig. 3 Link voltage, output power, and power factor according to duty ratio

### 3. 실험 결과

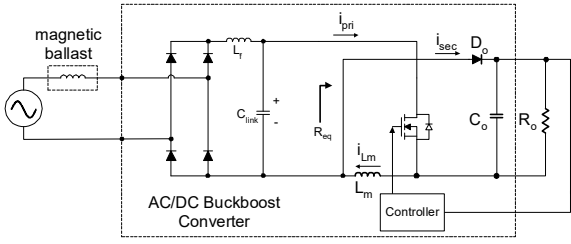


그림 4 자기식 안정기를 입력으로 하는 제안된 회로  
Fig. 4 Proposed circuit fed from magnetic ballast

$C_p=5.6nF$ 와 제안된 회로의 파라미터인  $L_m=520\mu H$ ,  $f_{sw}=80kHz$ , DCM (Discontinuous Conduction Mode) 벅부스트 컨버터의  $R_{eq}=2L_m/(T_{sw}D^2)$ 를 이용하여 동작 듀티 D에 따른 Link전압과 출력 전력 그래프를 그림 3(a)에 나타내었다.<sup>[2]</sup> 그림 3(a)에 보인 바와 같이 Region 1영역은 동작 듀티에 따른 출력 전력의 변화가 크고 링크 전압이 매우 높은 반면 Region2영역은 동작 듀티에 따른 출력 전력의 변화가 완만하고 링크 전압의 크기가 낮다. 따라서 Link 커패시터의 내압과 제어 특성 관점에서 Region 2영역을 사용하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

#### 2.2 자기식 안정기 특성분석

그림 4는 자기식 안정기를 입력으로 갖는 제안된 회로를 나타내고 있다. 자기식 안정기의 경우 큰 인덕턴스 값을 가지는 인덕터만으로 이루어져 있다.

자기식 안정기를 입력으로 할 경우  $V_{link}$ 와  $V_m$ 의 입출력 비와 역률은 각각 다음 식(2)와 식(3)과 같다

$$V_{link} = \frac{2}{\pi} \frac{R_{eq} V_m}{\sqrt{R_{eq}^2 + (\omega L_{ballast})^2}} \quad (2)$$

$$\cos(\tan^{-1} \frac{\omega L_{ballast}}{R_{eq}}) = \frac{R_{eq}}{\sqrt{R_{eq}^2 + (\omega L_{ballast})^2}} \quad (3)$$

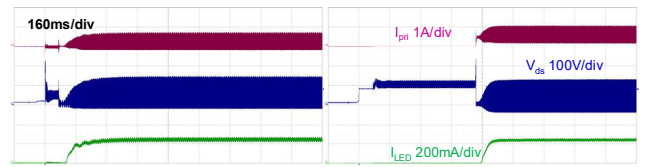
상기 식에 일반적으로 사용되는 자기식 안정기의 파라미터인  $V_m=311V$ ,  $L_{ballast} = 1.1H$ 를 이용하여 듀티에 따른 출력 전력과 역률 특성을 그림 3(b)에 나타내었다. 그림에서 보인 바와 같이 Region 1영역이 Region 2영역보다 역률이 우수하며, 따라서 역률 관점에서 Region 1영역을 사용하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

#### 2.3 제안 회로의 제어원리

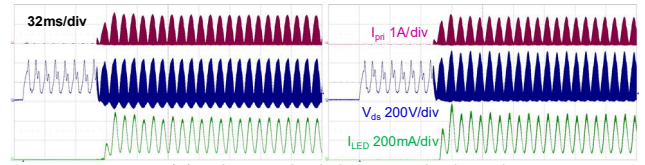
그림 1에 보인 바와 같이 LED 구동회로의 입력으로 인가되는 안정기 출력전압을 HPF를 통과 시켜 특정 레벨 이상의 높은 전압이 출력될 경우 수십kHz의 고주파 전압을 출력하는 전자식 안정기가 접속되었음을 인지한다. 그리고 특정 레벨 이하의 낮은 전압이 출력될 경우 50~60Hz의 저주파 전압을 출력하는 자기식 안정기가 접속되었음을 알 수 있다.

한편, 전자식 안정기의 경우 2.1절에서 고찰된 바와 같이 Region 2에서 동작시켜야 하며 이를 위해 출력전력이 감소할수록 듀티를 감소하도록 제어해야 한다. 자기식 안정기의 경우 2.2절에서 고찰된 바와 같이 Region 1에서 동작시켜야 하며 이를 위해 출력전력이 감소할수록 듀티를 증가하도록 제어해야 한다.

제안 회로의 타당성 검증을 위해 16.8W급 LED 구동회로를 제작하여 형광등용 안정기의 호환성 테스트를 진행하였다. 실험에 사용된 입출력 사양과 소자 파라미터는  $V_{in}=220V_{rms}$  (198~264V<sub>rms</sub>),  $V_o=67V$ ,  $I_o=250mA$ ,  $P_o=16.8W$ ,  $L_m=520\mu H$ ,  $L_f=500\mu H$ ,  $C_{link}=100nF$ ,  $f_{sw}=80kHz$ 이다. 그림 5는 초기 기동 및 정상상태시 각부 주요 파형을 나타낸 것으로 2가지 종류의 전자식 및 자기식 안정기 모두 호환 가능함을 보이고 있다. 그림 5(a)의  $V_{ds}$ 파형에서 보이는 바와 같이 전압이 약 110~120V 정도로 낮으며 이는 Region 2에서 동작하고 있음을 알 수 있다. 또한 그림 5(b)에 보인 바와 같이  $I_{pri}$ 가 정류된 입력 사인파 전압과 동일한 형태로서 계측기 측정결과 역률이 1에 가까우며 이로부터 Region 1에서 동작하고 있음을 알 수 있다. 특히 모든 안정기에 대해 LED 구동회로의 출력 전류  $I_o$ 는 250mA로 일정하게 제어되고 있다. 결론적으로 제안된 LED 구동회로는 전자식 및 자기식 안정기에 모두 호환 가능함을 실험을 통해 확인하였다.



(a) O사 및 P사 전자식 안정기 적용 시



(b) H사 및 V사 자기식 안정기 적용 시

그림 5 제안회로의 주요 실험 파형  
Fig. 5 Key experimental waveforms of proposed circuit

### 4. 결론

본 논문에서는 전자식 및 자기식 안정기에 동시 호환 가능한 LED 구동회로를 제안하였다. 제안 회로는 전자식 안정기와 자기식 안정기의 출력 주파수 차이를 이용하여 각 안정기를 구별하였고 이로부터 안정기에 따라 서로 다른 제어 방법을 적용하여 호환성을 획득하였다. 이를 위해 전자식 안정기와 자기식 안정기를 이론적 분석과 분석 내용을 토대로 시제품 제작을 통한 실험결과를 제시함으로써 그 타당성을 검증하였다. 따라서 제안된 회로는 기존에 설치되어 있는 형광등용 안정기를 제거하지 않고도 LED 조명을 설치할 수 있어 향후 LED 조명 시장과 활성화에 더욱 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

- [1] Liang, Tsomng Juu, et al. "Design and implementation of retrofit LED lamp for fluorescent lamp driven by electronic, electromagnetic ballast and AC mains." Future Energy Electronics Conference (IFEEC), 2013 1st International. IEEE, 2013.
- [2] Reatti, Alberto, and Marianna Balzani. "PWM switch model of a buck boost converter operated under discontinuous conduction mode." Circuits and Systems, 2005. 48th Midwest Symposium on. IEEE, 2005.