

다단 스위칭 회로를 이용한 정적 전력제어 LED 구동회로 개발

천준필*, 이은수*, 박창병**, 김봉철***, 임춘택*

카이스트 원자력 및 양자공학과*, 카이스트 전기 및 전자공학과**, (주)옵토마인드***

The Development of Static Power Regulation LED Driver Using Multi-stage Switching Circuit

Jun Pil Cheon*, Eun Soo Lee*, Chang Byung Park**, Bong Cheol Kim***, Chun Taek Rim*

Dept. of Nuclear and Quantum Engineering, KAIST*, Dept. of Electrical Engineering, KAIST**, Optonind Inc.***

ABSTRACT

본 논문은 기존의 수동소자만을 가지는 LED 구동회로 동작 시 상용전원인 입력전압 변동에도 정적으로 LED 전력을 제어하는 LED 구동회로를 제안한다. 패시브 구동회로에서 입력전압이 변동할 경우 LED에서 소모되는 전력이 변동하는 문제를 해결하고자, 제안된 다단 스위칭 회로를 이용하여 LED의 개수를 조절함으로써 LED 전력을 일정한 범위 내에 동작하도록 제어하였다. 실험결과 입력전압대비 LED 전력변동률 dP_o/dv_s 는 0.26임을 확인하였다.

1. Introduction

최근 스마트그리드 및 신재생에너지와 같은 에너지 기술개발의 중요성이 부각되는 가운데, 조명분야에서는 기존의 형광등에서 LED 조명으로 교체하기 위해 다양한 LED 구동회로를 개발 중이다. LED 구동회로에서는 대표적으로 SMPS (Switched Mode Power Supply)타입이 주로 사용되고 있으며, 이는 온도 및 입력전압 변동과 같은 외부환경의 변화에도 안정적으로 LED에 전류를 공급할 수 있는 장점을 가진다.^[1] 하지만 높은 동작 주파수로 인한 반도체 정선온도 증가로 파워 스위치의 빠른 노화를 가져오게 되며 이에 따라 개별 LED의 수명은 충분히 남아 있음에도 조명의 수명이 짧아지게 된다. 이러한 단점을 극복하고자 단순 수동소자만을 이용하여 고효율 조장수명을 달성함과 동시에 역률 및 THD 특성을 만족하는 LED 구동회로가 제안되었다.^[2] 하지만 수동소자만을 사용하는 LED 구동회로의 경우 입력전압 변동 시 LED 전력을 원하는 동작범위에서 제어하지 못하여 조명의 휘도가 변한다는 단점이 있다.

본 논문에서는 기존 수동소자만을 가지는 LED 구동회로에 다단 스위칭 회로를 추가하여 입력전압 변동 시 LED 전력을 일정한 범위 내에서 동작하도록 제어하는 LED 구동회로를 제안하였다. 입력전압 변동 시 스위치를 이용하여 동작 LED 개수를 변화시킴으로써 LED 전력을 일정범위 내에 동작하도록 설계하였다.

2. Proposed LED Driver

본 논문에서 제안하는 LED 구동회로는 그림 1과 같다. 제안하는 회로는 220V/60Hz 전원에서 LED를 20W로 구동하도록 수동소자의 용량을 선정하였다.^[2]

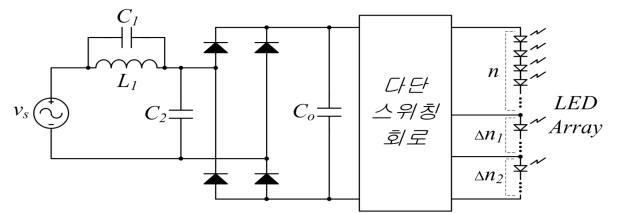


그림 1 제안하는 다단 스위칭 회로를 이용한 LED 드라이버

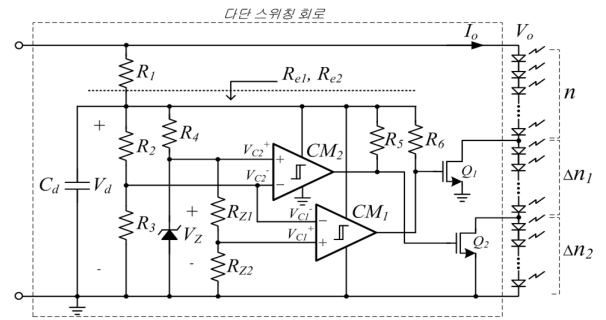


그림 2 다단 스위칭 회로의 회로도

다단 스위칭 회로는 그림 2와 같이 저항, 비교기, MOSFET, 제너다이오드 등으로 구성되며 비교기는 LM3302, MOSFET은 BS270 소자를 사용하였다. 입력전압 v_s 의 변화는 출력전압 V_o 의 변화로 나타나며, V_d 를 전압변화에 대한 센싱전압으로 이용함으로써 다단 스위칭 회로를 구현할 수 있다. 초기 낮은 입력전압에서 LED 구동 시 Q_1, Q_2 는 on이 되어 n 개의 LED 개수로 동작하며, 입력전압이 증가할 경우 Q_1, Q_2 는 순차적으로 off가 되어 동작 LED 개수가 $n, n+\Delta n_1, n+\Delta n_1+\Delta n_2$ 로 증가하도록 설계되었다. 다단 스위칭 회로 내부의 비교기 CM_1, CM_2 의 (+)에는 제너 다이오드의 정전압이 인가되므로 MOSFET 동작을 위한 기준전압으로 선정가능하며, (-)에는 R_2 와 R_3 를 통해 분배된 전압이 인가되며 입력전압 증가를 센싱할 수 있다.

제너다이오드를 이용하여 형성된 V_Z 는 V_{C2}^+ 로 연결되며, V_{C1}^+ 은 R_{21} 과 R_{22} 를 이용하여 다른 기준전압을 구현할 수 있다. 그림 3과 같이 n 개의 LED 구동 시 CM_1 의 V_{C1}^- 는 V_d 의 증가에 대하여 선형적으로 증가하며, V_{C1}^- 는 제너다이오드에 전류가 도통될 경우 V_Z' 의 정전압을 가진다. 이와 동일하게 CM_2 의 V_{C2}^+ 와 V_{C2}^- 도 설정가능하며 아래와 같은 식으로 표현할 수 있다.

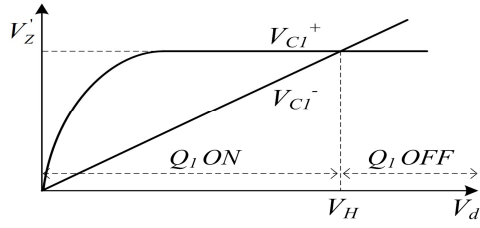


그림 3 V_d 에 따른 V_{C1}^- , V_{C1}^+ 의 변화

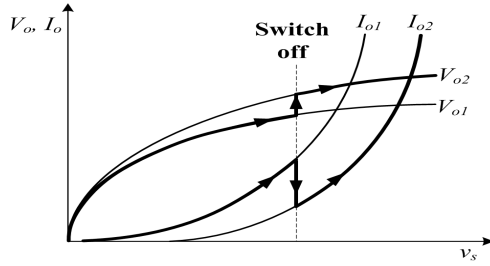


그림 4 입력전압에 따른 LED 전압 및 전류 변화

$$V_{C1}^- = V_{C2}^- = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \times V_d \quad (1)$$

$$V_{C2}^+ = V_Z \quad (2)$$

$$V_{C1}^+ = V_z' = \frac{R_{Z2}}{R_{Z1} + R_{Z2}} \times V_Z \quad (3)$$

입력전압이 증가함에 따라 V_{C1}^- 가 V_{C1}^+ 보다 높아지는 지점인 V_H 에 도달할 경우 CM_1 의 출력은 low가 되어 Q_1 를 off하고, 이는 동작 LED 개수를 n 에서 $n + \Delta n_1$ 로 증가시킨다. 이로 인해 그림 4와 같이 LED 전압은 추가적으로 도통된 Δn_1 에 비례하여 V_{o1} 에서 V_{o2} 로 다소 증가한 반면, LED 전류는 I_{o1} 에서 I_{o2} 로 크게 감소하여 최종적으로 LED에 소비되는 전력을 감소시킨다. CM_2 도 CM_1 과 동일한 원리로 동작하여 Δn_2 를 추가적으로 동작시킬 수 있다.

초기 LED n 개 구동 시, Q_1 는 on 상태이며 V_d 는 그림 2와 같이 V_d 전위에서 접지로 본 등가저항 R_{e1} 에 의해 결정된다. Q_1 이 on에서 off로 동작 시 R_6 에 전류가 흐르므로 R_{e1} 은 추가적으로 R_6 가 병렬로 연결된 R_{e2} 로 바뀌므로써 Q_1 의 on 상태 이전의 V_d 가 아닌 V_d' 로 바뀐다. V_d , V_d' 는 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$V_d = \frac{R_{e1}}{R_1 + R_{e1}} \times V_o \quad (4)$$

$$V_d' = \frac{R_{e2}}{R_1 + R_{e2}} \times V_o' \quad (5)$$

Q_1 이 off되어 LED 개수가 증가할 경우 V_o 증가에 따라 V_d' 도 동일하게 증가해야 한다. 하지만 R_{e2} 가 R_{e1} 보다 충분히 작을 경우 부하효과에 의해 V_d' 는 스위칭 이전의 V_d 보다 작은 값을 가질 수 있다. 이러한 경우 회로의 제어루프의 발진이 일어나 LED가 깜빡이게 되며, 발진현상을 방지하기 위해 적절한 값의 R_6 를 선정해야 한다.

표 1 제안하는 LED 구동회로 소자 값 선정

L_1	1.82 H	n	85 개	R_2	68 k Ω	R_6	220 k Ω
C_1	0.2 μ F	Δn_1	5 개	R_3	100 k Ω	R_{Z1}	7 k Ω
C_2	0.2 μ F	Δn_2	5 개	R_4	10 k Ω	R_{Z2}	470 k Ω
C_o	100 μ F	R_1	100 k Ω	R_5	280 k Ω	V_Z	5.0 V

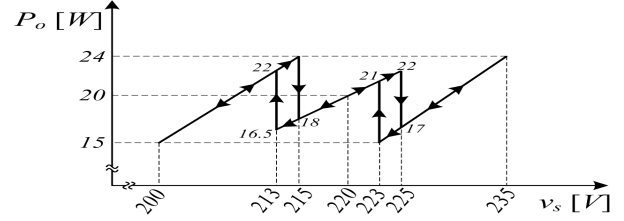


그림 5 v_s 변화에 따른 P_o 실험측정 결과

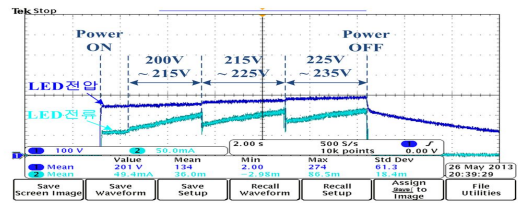


그림 6 결과 파형

3. Experimental Result

실험을 위해 표 1에 제시된 값을 이용하여 회로를 구성하였으며 슬라이더를 이용하여 입력전압을 변동시켰다. 실험결과 그림 5, 그림 6과 같이 200V ~ 235V 증가 시 LED 전력은 15W ~ 24W의 동작범위를 가짐으로써 입력전압대비 LED전력 dP_o/dv_s 는 0.26을 가진다. 스위칭 off시점에서 입력전압을 다시 낮출 경우 스위칭 on 동작점은 기존보다 약 2V 만큼 적은 값을 가지게 되며 R_5 , R_6 값을 적절하게 선정함으로써 간격을 조절할 수 있다.

4. Conclusion

본 논문에서는 기존 수동소자만을 사용한 LED 구동회로의 단점을 극복하고자 다단 스위칭 회로를 이용하여 정적으로 LED 전력을 제어하는 회로를 제안하였다. 제안하는 회로를 이용하여 입력전압 변동에도 LED 전력을 일정범위 안에서 동작할 수 있도록 LED를 구동할 수 있다.

본 연구는 산학 협력의 일환으로 옵토마인드의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Yuan Fang, Siu Hong Wong, Hok Sun Ling. L, "A Power converter with pulse level modulation control for driving high brightness LEDs," *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2009, IEEE*, pp. 577-581.
- [2] 이은수, 최보환, 김봉철, 임춘택, "LC 병렬공진을 이용한 초장수명 고효율 수동형 LED 구동회로 개발," *전력전자학회 2012년도 추계학술대회 논문집*, pp. 155-156.