

## Multi Channel LED 조명 Module 구동에서 최대 효율을 위한 최대 Channel 전압 감지회로

김현식<sup>1,a</sup>, 김기원<sup>1</sup>, 김기훈<sup>1</sup>, 김유신<sup>1</sup>, 송상빈<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국광기술원 신광원조명사업단

### Feedback Circuit of Maximum LED Channel String Voltage Detection Converter for Energy Saving on Multichannel LED Module

Hyun-Sik Kim<sup>1,a</sup>, Ki-Woon Kim<sup>1</sup>, Gi-Hoon Kim<sup>1</sup>, Yu-Sin Kim<sup>1</sup>, and Sang-Bin Song<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of New Lighting Solution R&DB Sector, Korea Photonics Technology Institute (KOPTI),  
Gwangju 500-779, Korea

(Received July 30, 2012; Revised September 28, 2012; October 12, 2012)

**Abstract:** LED is divided to multichannel in order not to exceed a certain voltage in aspects of electric standard. However, it's not possible to know in accordance with what channel SMPS controls the constant voltage and current. In order to solve this problem, it needs to detect the maximum LED String voltage which is applied to LED control circuit, and it is possible to minimize the voltage drop when a difference of LED string voltage occurs by each channel if LED is controlled by the maximum LED string voltage detected. In addition, it is also possible to maximize the efficiency of LED if change LED voltage by detecting the maximum voltage. Feasibility of this claim was verified through implementation of the circuit.

**Keywords:** LED lighting, Feedback circuit, Multichannel LED lighting

#### 1. 서론

최근 조명산업에서는 백열등, 형광등 같은 기존 조명을 친환경적이고 고효율, 장수명의 장점을 가진 발광다이오드 (light emitting diode, LED)로 대체하려는 움직임이 활발하게 일어나고 있다 [1]. 적색, 녹색, 청색 LED들을 조합하면 다양한 광색을 만들어 낼 수 있기 때문에 LED 조명은 일반 조명용 광원뿐만 아니라 의학, 디스플레이, 감시 시스템 등 다양한 분야에서 그 응용범위가 넓어지고 있다. 그러므로 관련 업계에서는 10년 안에 LED가 주요 광원이 될 것이라고

전망하고 있다 [2]. LED 조명은 전기적 규격 측면에서 특정 전압을 넘기지 않기 위해서 다채널로 분할해야 하는데, LED의 순방향 전압이 각기 다르기 때문에 각 채널의 전압 차이를 보이며 구동 이후에도 발열 양에 따라 LED 채널의 순방향 전압은 편차를 보이며 떨어지게 된다. 이 때 LED 모듈을 구동하는 전원회로의 출력 전압은 어떠한 채널에 맞춰 정전압 정전류 제어를 할 지 알 수 없고, 시간에 따라 순방향 전압이 떨어지는 것을 추적하여 전압을 제어할 수도 없는 고정된 전압을 갖는다. 이를 해결하기 위해서 본 연구에서는 LED string 최대 전압 감지회로를 개발하여 LED 구동 전원회로인 컨버터의 피드백 노드에 적용하여 출력 전압을 컨트롤하였다. 이를 통해

a. Corresponding author; [power@kopti.re.kr](mailto:power@kopti.re.kr)

LED string이 열적 순방향 전압 변동과 각 채널별로 차이가 있을 때라도 전압 강하를 최소화할 수 있다. 또한 본 연구에서 개발한 최대 전압 감지회로가 LED string의 최대 전압을 감지하여 컨버터의 출력 전압을 가변하고 효율을 극대화할 수 있는지 회로 구현을 통해서 이상이 구현 가능한지 타당성을 검증하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 일반적인 LED 구동 회로

일반적으로 다채널 방식의 LED 조명 장치의 회로는 LED 스트링에 정격 구동전압을 공급해주는 DC-DC 컨버터부, LED string, 그리고 각 LED의 밝기를 일정하게 유지하도록 정전류 구동부를 제어하는 드라이버로 구성된다.

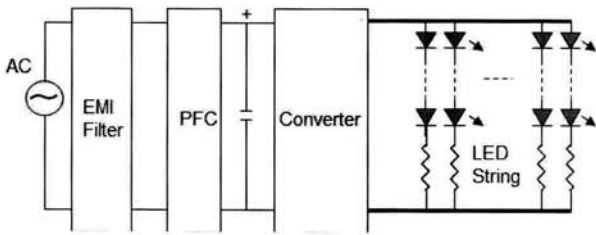


Fig. 1. General LED driver circuit.

그림 1은 일반적인 LED 조명 장치의 블록도이다. 그리고 DC-DC 컨버터는 일정 전압으로 전력을 전달하고, 정전류 구동부는 정전류 제어를 위해 각 LED string의 채널에 연결된 정전류 제어 소자에 설정된 전류값에 따라 정전류 제어가 된다. 이 때 DC-DC 컨버터의 출력 전압과 string의 필요로 하는 순방향전압 간 편차만큼 정전류 제어 회로에는 열로서 소모된다. 정전류 제어 회로는 그림 1의 LED string에 직렬로 연결된 저항으로 표현하였다. 그러므로 LED string을 포함한 전체 시스템이 최적의 효율을 유지하지 못할 경우 전력소모 발생으로 에너지 손실은 물론 부품소자의 신뢰성이 떨어져서 경쟁력이 크게 약화된다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 LED string 최대 전압 감지회로 개발

#### 3.1.1 LED string 최대 전압 감지회로 구성

LED string 최대 전압 감지회로의 블록도는 그림 2와 같다. 그림 2에서 보는 바와 같이, LED string은 3개의 채널로 구성하였고, 정전류 제어부 (constant current 100 mA)는 각 채널에 할당되어 일정한 전류를 유지시켜 주는 회로이고 반도체 소자인 OP Amp와 BJT (bipolar junction transistor)로 구성된다. 이는 그림 1의 LED string과 GND단 사이에 저항이 가변하여 LED string의 전류가 유지되도록 하는 방법과 동일한 방법으로 컨버터 출력 전압과 LED string 요구 순방향 전압의 차가 BJT에 걸리도록 하여 정전류를 제어한다.

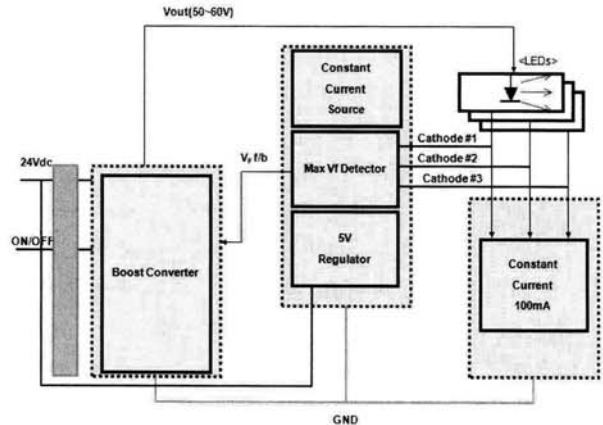


Fig. 2. LED string sensing circuit block.

그리고 최대 전압 감지회로부 (max  $V_f$  detector)는 정전류 제어 회로인 BJT의 collector와의 사이에 0.7 V 전압 drop을 갖는 실리콘 계열의 다이오드를 연결되어 최대 전압 감지회로부에서 collector 방향으로 전류가 흐르도록 구성된다. 최대 전압 감지회로부는 정전압 컨버터인 부스트 컨버터의 피드백 분압저항 노드인  $V_b$ 로 이어져 있어 부스트 컨버터와 정전류 제어부 사이에서  $V_b$  노드의 전기적으로 임피던스의 영향을 끼치게 된다.

최대 전압 감지회로는 부스트 컨버터의 피드백 분압저항 노드 ( $V_b$ )가 항상 2.5 V로 고정되도록 컨버터의 출력 전압을 제어하는 원리를 이용해 구성된 회로이다. 그리고 정전류 회로부는 부스트 컨버터의 출력 전압이 높아지면 LED string의 정전류를 제어하기 위해서 제어소자인 BJT의 collector 전압  $V_{ce}$ 를 높여

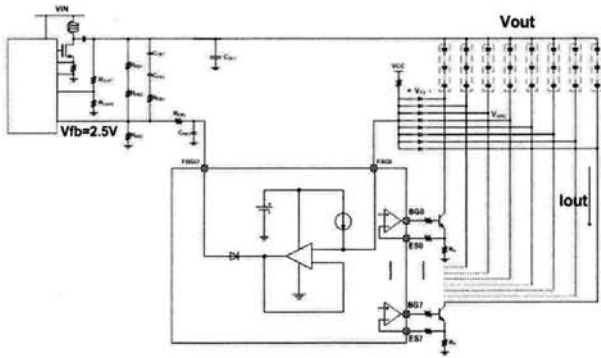


Fig. 3. LED string sensing circuit.

LED string의 정전류가 요구하는 전압으로 유지시켜 줌으로써 전류를 일정하게 하는 원리로 구동된다. 만약에 부스트 컨버터의 피드백 노드단의 고정된 저항 분압 비만큼 전압이 고정되어 있다면 LED의 열적 순방향 전압 drop 만큼 손실이 발생하게 되는데 이는 정전류 제어 회로부인 BJT의 에너지 손실 ( $P = V_{ce} \times I_c$ )을 야기하기 때문이다. 따라서 손실을 최소화 하기 위해서는 LED의 최대 전압을 감지하고, LED string의 전압이 열적으로 하강하게 되면 이를 추적하여 부스트 컨버터의 전압을 제어해야 한다.

그리고 LED string 최대 전압 감지회로의 구동원리를 자세히 살펴보면 LED string이 구동 중 열적으로 순방향 전압이 낮아지면 정전류 제어소자인 BJT의 collector 전압도 상승하여 다이오드 cathode 전압이 anode단의 전압인 2.5 V 보다 높아지는 순간 도통되던 다이오드에 전류가 더 이상 도통되지 않게 된다. 이 때, 부스트 컨버터의 분압저항 노드인  $V_{fb}$ 의 임피던스가 높아지게 되어 부스트 컨버터는  $V_{fb}$  전압이 2.5 V가 되도록 출력 전압을 하강시킨다. 한편 출력 전압이 하강하다가 LED string에 흘러보내야 하는 전압보다 낮은 영역에 이르면 정전류 제어소자인 BJT의  $V_{ce}$ 는 포화상태에 이르러 최소 전압 약 0.2  $V_{ce}$ 가 된다. 이 때 부스트 컨버터의 분압저항 노드전압 2.5 V가 다이오드의 anode를 통해 걸리면 도통전류는 cathode를 거쳐 BJT로 흐르게 되고 분압저항 노드의 임피던스는 낮아져 2.5 V를 유지하기 위한 부스트 컨버터는 다시 승압하게 된다. 즉 최대 전압 감지 회로부는 'impedance variable feedback roof'를 갖는다.

그림 3은 그림 2를 구체화한 회로도이며, 박스 안은 LED string 최대 전압 감지회로도이고, OP Amp

와 실리콘 계열의 다이오드, 정전류원으로 구성되어 있다.

본 연구에서 개발한 LED string 최대 전압 감지회로의 동작 원리도 여러 채널의 string이 병렬로 연결되어 있는 모듈에서 각 LED 채널에 동일 전류를 흘렸을 때, 순방향 전압이 가장 높은 string의 정전류 제어소자인 BJT collector 전압은 다른 이웃하는 collector 전압보다 가장 낮다. 최대 전압을 갖는 string의 collector단에 cathode를 동일 노드로 공유하는 다이오드에는  $V_{fb}$  2.5 V가 anode를 통해 항상 미세 전류가 흐르는 수준에서 도통되도록 부스트 컨버터의 전압을 가변 유지하도록 동작한다.

3.2 회로 구현 및 동작 결과

본 연구에서 개발한 LED string 최대전압 감지회로의 구성은 그림 3과 같으며, LED string 출력 전압이 가변되었을 때, 전류는 동일하게 유지하면서 변화된 LED string의 전압에 맞게 출력 전압  $V_{out}$ 의 전압이 가변되는 것을 확인하기 위하여 회로 구동을 수행하였다. 한 개의 LED가 100 mA 전류를 흘렸을 때 3.5 V의 순방향 전압을 갖는 LED 14개를 직렬로 연결하여 순방향 전압 49 V를 갖는 하나의 string으로 구성하고 이를 3개의 string으로 병렬 구성한 모듈을 대상으로 첫 번째 실험을 하였다.

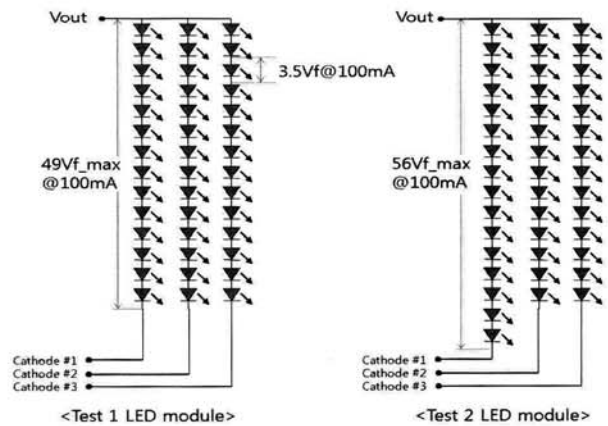


Fig. 4. Test 1 and test 2 LED modules.

그 이후 임의의 한 채널을 선택하여 LED 두 개를 추가 직렬 연결하여 순방향 전압을 약 7 V 상승시켜 그 임의의 한 채널은 약 56 V의 순방향 전압을 갖도록

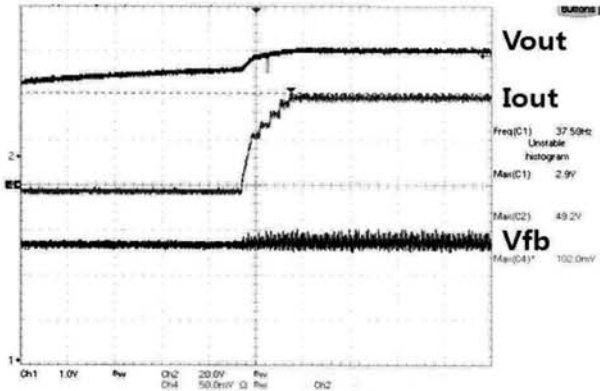


Fig. 5. In case of minimum output voltage (49.2 V) of LED string, output current (Iout) and feedback voltage (Vfb).

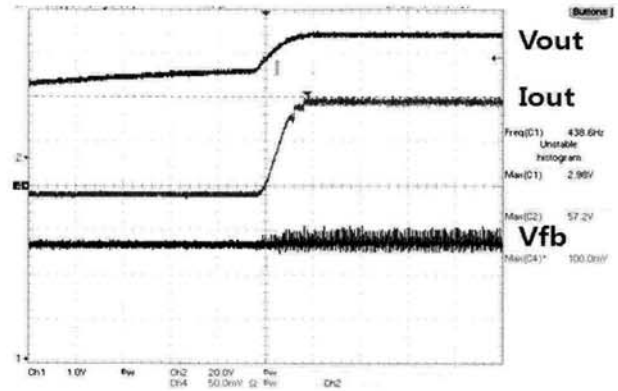


Fig. 6. In case of maximum output voltage (57.2 V) of LED string, output current (Iout) and feedback voltage (Vfb).

하여 두 번째 구동 실험을 하였다. 첫 번째 실험과 두 번째 실험에 사용한 LED module은 그림 4와 같다.

첫 번째 실험에서 그림 5와 같이 LED string의 전류가 100 mA를 유지하면서 순방향 전압이 49.2 V를 유지하는 것을 확인하였다. 이 때  $V_{fb}$ 는 2.5 V를 유지하는 것은 적절하게 피드백 루프가 구동되고 있음을 증명한다.

두 번째 실험에서는 100 mA의 전류를 흘려보내기 위해 필요로 하는 LED 순방향 전압인 56 V를 부스트 컨버터가 승압시키는지 확인하였다. 그림 6에서 보는 바와 같이 부스트 컨버터는 LED string이 100 mA 순방향 전류가 흐르기 위한 순방향 전압 안 56 V에 근사한 출력 전압을 57.2 V로 승압시키는 것을 확인할 수 있다. 피드백 루프가 의도하는 대로 구동되는지를 가능하는  $V_{fb}$  전압도 2.5 V로 유지하는 것을 확인하였다. 이를 통해서 부스트 컨버터의 피드백 분압저항 노드의 전압인  $V_{fb}$ 가 항상 2.5 V로 유지되고, 출력전류 Iout은 100 mA를 유지하였으며, LED string 중 최대 순방향 전압을 갖는 LED string의 스위치단 부분의 collector 전압에 의해 제어되는 것을 확인하였다. 기존의 LED 조명에서 멀티채널 구동 시 LED string을 한꺼번에 묶어서 컨버터의 출력을 단일화할 경우에 LED 순방향 전압을 정밀하게 선별하여 모듈 구성을 해야 했다. 또 순방향 전압의 편차가 커, 전류가 순방향 전압이 낮은 string으로 과다하게 쏠리게 되는 것을 방지하기 위하여 전류제어 저항이나 리니어 정전류 제어 회로를 직렬로 연결하여 구성한다. 그러나 컨버터의 출력 전압을 LED string 최대 전압만큼 제어하지

못하기 때문에 신뢰성 문제를 안고 있다.

본 연구는 컨버터의 출력 전압이 승압될 때 LED string의 필요 순방향 전압만큼만 전압을 승압시켜 정전류제어 소자인 BJT에 전압을 최소화할 수 있다. 이는 필요 이상의 소비전력을 최소화할 수 있어 LED 구동회로의 수명을 증대시킬 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 multi channel LED string module에서 LED string의 열적 순방향 전압 변화와 각 채널 중 가장 높은 전압을 갖는 string의 collector 전압에 의해 부스트 컨버터 출력 전압이 제어되도록 LED string 전압 검출 회로를 구성하였다. LED string 전압 검출 회로가 적절한 string 전압 가변 범위 내에서 정전류 제어 및 LED string의 가변 전압을 추적하는지를 확인하기 위하여, 특정 채널의 전압 출력을 최소치와 최대치로 가변하여 측정하였으며, LED string 중 가장 높은 LED 전압을 감지하여 그 전압을 찾아가 가변되는 것을 확인하였다.

#### REFERENCES

- [1] H. S. Choi, J. S. Yoon, T. W. Lim, and H. Y. Seo, *J. Kor. Soc. Mar. Eng.*, 34, 1100 (2010).
- [2] X. Qu, S. C. Wong, and C. K. Tse, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 59, 164 (2010).