

## 저가형 DSP를 이용한 LED 구동회로

### LED Driver by the Low Cost DSP

송재욱\*      유진완\*\*      박종연\*\*\*  
Song, Jae-Wook      Yoo, Jin-Wan      Park, Chong-Yeun

---

#### Abstract

Due to improvement of the semiconductor technology, the LED replaces the conventional lighting source and LED drivers have been studied and developed. The LED is driven by the constant current control method according to its characteristics. For the constant current control method, the linear regulator and the switching regulator is used. The switching regulator is usually used to LED drivers because it has specific characteristics as the wide input dynamic range and the high efficiency.

In this paper, we have described the principle and the implement of the switching regulator, using the drive IC and the low cost DSP chip. Also, both methods have been implemented and its electrical characteristics had almost same experimental results in the steady state and the transient state.

키워드 : LED 구동회로, 스위칭 레귤레이터, DSP(Digital Signal Processor)  
Keywords : LED Driver, Switching regulator, DSP(Digital Signal Processor)

---

#### 1. 서론

LED(Light Emitting Diode)는 전자와 정공의 이동으로 인해 발광하는 반도체 소자이다. LED는 Red, Blue, Green의 색상을 기본으로 display나 신호등으로 많이 사용되어 왔지만 반도체 기술의 향상으로 인해 백색 LED가 개발 되어 조명의 광원으로 사용되고 있다. 이와 같이 조명의 광원으로 사용되는 LED는 기존의 HID(High Intensity Discharge)램프나 형광등에 비해 우수한 광효율, 전기적 특성과 장수명이라는 장점들을 가지고 있다. 이러한 장점들로 인해 기존의 조명 광원들이 LED로 대체되고 있으며, LED를 구동하기 위한 회

로에 대한 연구 및 개발이 진행되고 있다[1]~[4].

LED는 특성상 정전류 제어 방식으로 구동 되어야 한다. 정전류 제어를 위해 선형 레귤레이터를 이용한 방식과 스위칭 레귤레이터를 이용한 방식이 사용되고 있다. 선형 레귤레이터를 이용한 방식은 제어되는 전류의 값을 정확하게 제어 할 수 있지만 입력 전압과 출력 전압의 차이가 큰 경우에는 손실이 크다는 단점을 가지고 있다. 스위칭 레귤레이터 방식은 스위칭 duty비를 조절하여 전류를 일정하게 조절하며 정전류로 제어한다. 선형 레귤레이터 방식에 비해 회로가 복잡해지지만 손실이 적다는 장점이 있다[5].

스위칭 레귤레이터 방식을 적용하기 위해 전용의 IC를 사용하는 방식과 DSP(Digital Signal Processor)또는 MCU(Micro Controller Unit)을 사용하는 디지털 방식이 있다. 기존에는 DSP의 가격이 고가이고, MCU의 처리속도가 낮기 때문에 스위칭 레귤레이터를 사용한 LED 구동회로에 사용

---

\* 강원대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정

\*\* 강원대학교 대학원 전기전자공학과 박사과정

\*\*\* 강원대학교 전기전자공학과 교수, 교신저자

되기에는 적합하지 않았다. 그러나 최근에는 저가형 DSP의 개발과 MCU의 처리속도가 향상됨에 따라 DSP와 MCU를 사용하여 LED 구동회로를 제어하기에 적합하다[6].

본 논문에서는 LED 구동회로를 구현하기 위해 IC와 저가형 DSP를 사용하였다. IC를 사용한 방법과 DSP를 사용한 방법의 정전류 제어 방법에 대해 서술 하였으며, 실험을 통해 정상 상태와 과도 상태를 비교하였다.

## 2. 본론

LED는 전류보다 전압에 민감하며, 밝기가 전류에 비례하는 특성을 갖고 있으며 온도에 따라 순방향 전압이 감소하는 특성을 가지고 있다. 따라서 정전압 제어로 구동될 경우 출력 전압의 변동에 의한 밝기의 변화가 크게 나타나게 되며 LED의 온도가 상승함에 따라 순방향 전압이 낮아지고 LED의 전류가 상승하게 되어 LED의 밝기가 변화하게 된다. 또한 LED는 동일한 제조회사의 LED를 사용하더라도 순방향 전압과 전류의 특성의 차이가 크기 때문에 동일한 전압을 인가해도 전류값의 차이 때문에 밝기가 다르게 나타난다. 따라서 조명으로 사용되는 LED는 균일한 밝기를 위해 정전류 제어를 하는 방식이 적합하다.

본 논문에서는 LED를 정전류로 제어하기 위해 modified Buck 컨버터 형태의 스위칭 레귤레이터로 구성 하였으며, 이를 구동 IC와 저가형 DSP를 각각 이용하여 구현하였다.

본 절에서는 구현된 두 가지 방법에 대한 동작 원리와 제어방법에 대해 서술 하였다.

### 2.1 하드웨어 구성 및 동작원리

LED를 정전류로 제어하기 위해 그림 1과 같은 modified Buck 컨버터 형태로 스위칭 레귤레이터를 구성하였다. 그림 1의 controller는 LED에 흐르는 전류에 따라 MOSFET의 on, off를 제어하는  $V_{gate}$  신호를 결정한다.

스위치의 on, off에 따른 파형을 그림 2에서 보여준다.  $V_{gate}$ 가 high일 때 MOSFET가 도통되어 인덕터와 LED에 전류가 흐르게 된다. 이때 인덕터에 흐르는 전류가 상승하게 되며, 인덕터의 전류값을 센싱하는  $V_{cs}$ 의 전압도 상승하게 된다.

$V_{gate}$ 가 low일 때, 다이오드를 통해 인덕터에 흐르던 전류가 환류하게 되며 이때의 인덕터의 전류가 하강하게 된다.

controller는 인덕터의 전류가 일정 값에 도달하게 되면 즉, 센싱된  $V_{cs}$ 의 전압이 일정 값에 도달하게 되면 되면  $V_{gate}$ 의 신호를 low로 하여 스위치를 off하게 되며, 일정 주기마다  $V_{gate}$ 의 신호를 high로 하여 스위치를 on하게 된다. 이러한 on, off

의 반복을 통해 일정한 전류값을 유지하게 된다.

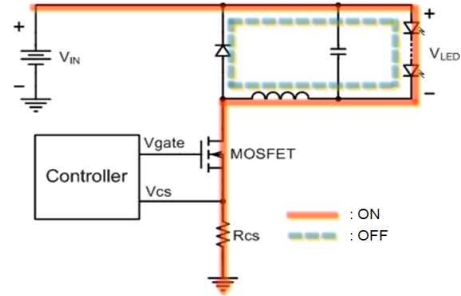


그림 1 Modified Buck 구조의 LED 구동회로

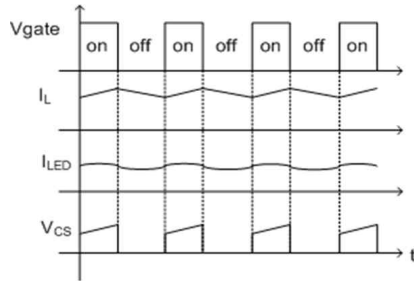


그림 2 Modified Buck 구조의 파형

### 2.2 IC를 이용한 정전류 제어

본 논문에서는 Supertex社의 HV9910을 사용하여 정전류 제어 LED 구동회로를 구성하였다. 회로의 구성은 그림 1과 동일하며, HV9910이 controller의 기능을 수행한다. HV9910의 내부 주요 block은 그림 3과 같다[7].  $V_{cs}$ 의 값을 외부의 단자를 통해 센싱 받으며 내부의  $V_{ref}(250mV)$ 값과 비교한다.  $V_{cs}$ 의 값이  $V_{ref}$ 보다 커질 때 reset신호가 high가 되어  $V_{gate}$ 신호를 low로 만들어 스위치를 off한다. 스위치가 off되면  $V_{cs}$ 도 0이 되므로 Reset 신호는 다시 low으로 된다. 설정된 주기가 되면 oscillator에 의해 Set의 신호가 high가 되고  $V_{gate}$ 의 신호가 high가 되어 스위치를 on하게 된다. 따라서 on, off를 반복하게 되어 정전류로 제어 된다.

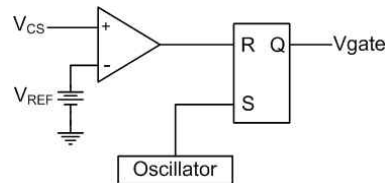


그림 3 HV9910의 내부 주요 Block

### 2.3 DSP를 이용한 정전류 제어

LED 구동회로를 그림 1과 같이 구성하였으며, controller의 기능을 DSP가 수행한다. 정전류 제어를 하기 위해 스위치가 on일 때 인터럽트를 발생시켜  $V_{cs}$ 의 전압값을 ADC(Analog to Digital Conversion)한다. 이때의 ADC된 값을 통해 현재의 인덕터 전류를 계산한다. 계산된 인덕터 전류가 원하는 전류값과 비교하여 작은 경우  $V_{gate}$ 신호의 duty를 증가시키고, 큰 경우  $V_{gate}$ 신호의 duty를 감소시킨다. 이와 같은 과정을  $V_{gate}$ 의 신호가 일정한 duty값을 갖게 되며 일정한 전류를 유지하게 된다.

DSP를 사용하여  $V_{cs}$ 의 전압을 ADC하기 위한 인터럽트 타이밍을 그림 4에 나타냈다.  $V_{gate}$ 신호의 duty는  $V_{cs}$ 의 값에 의해 결정이 되기 때문에 인터럽트 타이밍은 정전류 제어를 하기위해 중요한 요소가 된다. 특히, 스위치가 on될 때  $V_{cs}$ 에서 링잉 현상이 발생되기 때문에 이러한 구간에서 ADC를 하게 될 경우 정확한  $V_{cs}$ 의 값을 얻을 수 없다. 따라서 DSP 내부의 PWM count를 center aligned PWM mode로 사용하여 PWM count값이 항상 0이 될 때 인터럽트를 발생시켜 링잉이 발생하는 구간을 피해 이와 같은 문제점을 해결하였다.

이때의 스위칭 주파수는 인터럽트의 주파수와 동일하며 내부의 PWM count값을 조절하여 스위칭 주파수를 가변 할 수 있다.

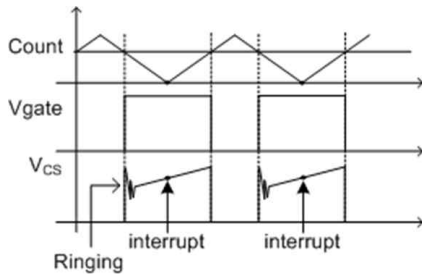


그림 4 인터럽트 타이밍

계산된 현재 전류값과 원하는 전류값을 통해 duty값을 결정하기 위해 PI 제어기를 사용 하였다. PI제어기는 그림 5와 같이 P제어기와 I제어기 두 가지로 구성된다. P제어기는 목표 값과 출력 값을 feedback한 현재 값의 오차에 비례계수를 곱한 만큼의 출력을 제어 한다. 그러나 P제어기만을 사용했을 경우 정상상태 오차가 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 I제어기를 추가하였다. I제어기는 제어가 실행될 때 즉, DSP의 ADC가 실행될 때 마다 오차 값을 더해서 누적된 값에 적분계수 값을 곱해서 출력 값을 얻는다. PI제어기에 의해 구해진 값을 통해 PWM신호의 duty를 제어 하게 된다. PI제어기는 다음과 같은 식을 통해 PI

제어기를 DSP로 구현하였다.

$$I_{error} = I_{ref} - I_l \quad (1)$$

$$Term = Term + I_{error} \quad (2)$$

$$Duty = K_p \times I_{error} + K_i \times Term \quad (3)$$

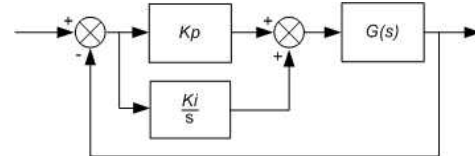


그림 5 PI 제어기

### 3. 실험 결과

#### 3.1 실험 구성

IC를 사용한 LED 구동회로와 DSP를 사용한 LED 구동회로를 비교하기 위해 사용된 전용 IC는 supertex社의 HV9910이며 DSP는 Freescale社의 MC56F8006을 사용 하였다. 사용된 DSP는 core 주파수가 최대 32MHz이며 ADC는 8bit, 10bit, 12 bit의 분해능을 선택하여 사용 할 수 있다. ADC의 bit수가 높아질수록 정확한 ADC값을 얻을 수 있지만, 변환 시간이 증가하게 된다. 본 논문에서는 정확한  $V_{cs}$ 의 값을 얻기 위해 12bit의 분해능을 갖도록 설정 하였으며, 변환 시간을 고려하여 스위칭 주파수를 50kHz로 설정하였다. 또한 전용 IC에서도 동일한 실험 구성을 위해 50kHz로 동작 하도록 설정 하였다.

동일한 사양에서 실험을 하기 위해 표 1과 같이 실험 조건을 구성하였다.

표 1 실험 구성 사양

입력 전압	50 V
스위칭 주파수	50 kHz
LED 전류	350 mA
LED 직렬 갯수	6 EA
인덕터	2.1 mH
출력 커패시터	10 uF

#### 3.2 결과 파형

그림 6과 그림 7은 전용 IC를 사용하여 LED를 정전류로 구동했을 때 파형이다. 그림 6은 정상 상태에서의 파형을 보여주며 그림 7은 과도 상태에서의 LED 전류 파형을 보여준다.

그림 8과 9는 DSP를 사용하여 LED를 정전류로 구동했을 때 파형을 보여준다. 그림 8은 정상 상태에서의 파형을, 그림 9는 과도 상태에서의 LED 전

류 파형을 보여준다.

실험 결과 IC를 사용한 경우와 DSP를 사용한 경우의 정상상태 및 과도 상태를 살펴보았을 때, 정상 상태일 경우 입력전압이 50V일 때 MOSFET의 gate 신호의 주기가 둘 다 20 $\mu$ sec 정도로 스위칭 주파수가 50 kHz로 동일한 것을 알 수 있으며 출력 전류가 약 350mA로 동일하다. 과도 상태에서의 경우에는 DSP를 사용한 방식 보다 IC를 사용한 방식이 20ms가량 짧다.

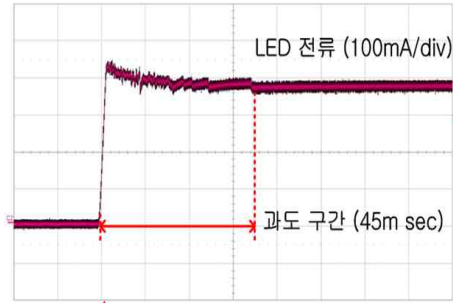


그림 9 DSP를 사용한 경우 과도상태

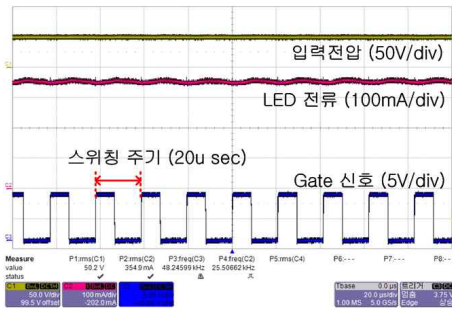


그림 6 IC를 사용한 경우 정상상태



그림 7 IC를 사용한 경우 과도상태

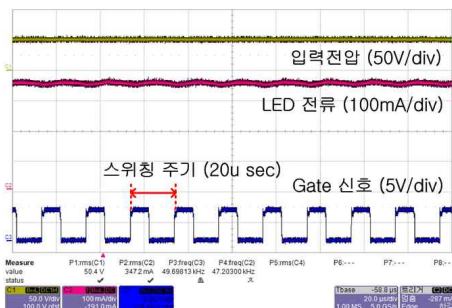


그림 8 DSP를 사용한 경우 정상상태

#### 4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 LED를 정전류로 구동하기 위한 방법으로 전용 IC를 사용한 방법과 DSP를 사용하여 구현한 방법을 비교하였다. 두 방식 모두 정상 상태에서는 동일한 특성을 보이며, 과도 상태에서는 IC를 사용한 방식이 우수한 특성을 나타냈다.

저가형 DSP를 사용한 LED 구동회로는 추후 디지털 제어기에 대한 연구를 통해 과도 상태 특성을 향상될 수 있을 것으로 보인다. 또한 센서신호나 통신제어신호에 의해 LED의 조도를 변경하는 경우에는 IC를 사용한 방식에 추가적인 MCU를 사용하지 않고 단일 DSP나 MCU를 통해 조도제어가 가능하기 때문에 이에 대한 연구를 통해 시스템의 구성을 간소화 할 수 있고 단가를 낮출 수 있을 것으로 기대 된다.

#### 감사의 글

"본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2011-C6150-1101-0002)

#### 참고 문헌

- [1] 박종연, 유진완, 최왕섭, "PIR 센서와 정 전류 IC를 이용한 인체 감지형 POWER LED 구동 회로", *대한전기학회 하계 학술대회 논문집*, 2295-2296p, 2008.
- [2] 한수빈, 정학근, 정봉만, 박성인, 유승원, "고휘도 LED 램프의 전원기술 동향", *전력전자 학술대회 논문집*, 906-909p, 2004.
- [3] Cheng, Y.K, Cheng, K.W.E, "General Study for using LED to replace traditional lighting devices", *ICPESA 2nd International Conference*, pp.173-177, 2003.
- [4] Fusheng Li, Dahua Chen, Xianjie Song, Yuming Chen, "LEDs a Promising

- Energy-Saving Light Source for Road Lighting”, *Power and Energy Engineering Conference*, 1-3p, 2009.
- [5] Tim Kaske, Paul Decloedt, “첨단 고휘도 LED 조명 솔루션을 위한 정전류 레귤레이터의 적용 및 평가”, *LED 산업 및 최신기술 동향*, 39-41p.
- [6] 김응석, 김철진, “파워 LED 구동을 위한 정전류 제어기 설계”, *대한전기학회 전기학회 논문지*, 555-561p, 2010.
- [7] Supertex inc., “Universal High Brightness LED Driver”, *HV9910B datasheet*