

디지털 방식의 정전류 LED 제어기 설계

김철진, 최낙준, 이화준, 김응석
한라대 제어계측공학과

A Digital LED Controller design with Constant Current

Cherl-Jin Kim, Nak-Jun Choi, Hwa-Jun Lee, Eung-Seok Kim
Department of Control and Instrument, Halla University

Abstract - 최근 대체조명으로 Power LED가 각광받고 있다. 그러나 반도체 소자인 Power LED의 특성에 의해 기존의 정전압 제어방식으로는 적절한 제어에 어려움이 있다. 이러한 문제의 해결책으로 본 연구에서는 Power LED를 MCU(Micro Controller Unit)를 이용한 디지털 정전류 제어방법에 대하여 서술하였다.

1. 서 론

기후변화는 인류가 직면한 최대의 위기로 이에 맞추어 저탄소 녹색성장의 화두를 가지고 세계가 움직이고 있다. 그 가운데 현재 사용되고 있는 조명을 Power LED로 교체함으로써 낮은 전력소모와 현저히 긴 수명으로 많은 에너지를 절약할 수 있다. 단적으로 국내 조명의 약 30%를 Power LED로 교체할 경우, 매년 160억kW/h의 전력절감과 약 680만톤의 이산화탄소를 절감할 수 있다. 또한 빛의 조도, 휘도, 파장 등 여러 부분을 제어할 수 있어 이를 통한 응용부분 또한 확대되고 있다.

Power LED의 단점으로는 발열이 심하고 이로 인한 반도체의 특성열화로 인하여 전류량이 변화하고 밝기가 변화한다. 이 때문에 기존의 정전압회로를 통하여 Power LED를 구동한다면 밝기가 불안정하여 조명으로써 역할을 할 수 없을 뿐만 아니라 Power LED 자체가 소손될 수 있다. 이를 방지하기 위해서 Power LED의 정전류 구동은 필수 불가결한 요소이고 현재 Power LED사업에 있어 정전류 구동 드라이버가 가장 취약한 부분이라 할 수 있다.

본 연구에서는 벡(buck) 방식을 이용하여 전류를 제한하고 MCU AVR128 을 이용한 PWM(Pulse Width Modulation)제어로 Power LED를 구동하고 그 타당성을 입증한다.

2. 본 론

2.1 벡 컨버터 방식을 이용한 LED 구동회로

LED부하에 전원공급을 위해 벡 방식을 사용하였고 회로에 연결된 인덕터는 리플전류를 감소시킨다. 1W의 Power LED를 3개로 직렬연결 하였고 회로 입력전압을 24V로 하였다. 자세한 동작 파라미터는 <표1>에 나타나있다.

<표 1> 벡 컨버터 파라미터

<table 1> Buck Regulator operating Parameters

Parameter	Value
Input voltage, V_{in}	24 V
LED Forward Voltage, V_f	3.2 V
LED Current, I_f	0.2 A
Switching Frequency, f_{sw}	56kHz

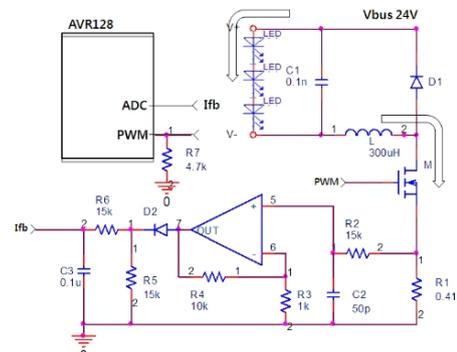
벡 컨버터의 방식은 MOSFET의 스위칭으로 결정되는데 t_{on} 일 때 전류는 인덕터에 에너지를 저장하고 전류검출저항 R1을 경유하여 전류가 흐른다. 이때 R1에 걸린 전압을 OP-amp로 증폭하여 피드백(feedback) 신호로 사용하게 되는 것이다.

t_{off} 일 때 MOSFET는 절연상태가 되고 인덕터에 저장된 에너지가 방출되면서 t_{off} 시에도 LED에 일정한 전류를 공급할 수 있는 조건이 갖추어 진다. 이와 같은 동작을 그림1, 2에서 확인 할 수 있다.

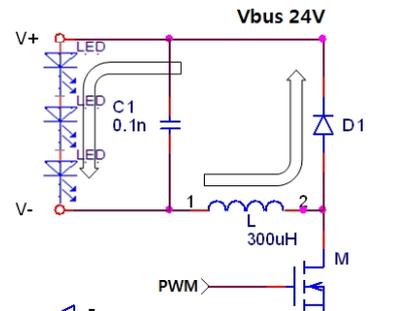
$$L = \frac{(V_{in} - V_f) \cdot t_{on}}{\Delta I} = \frac{V_f}{\Delta I} \cdot t_{off} \quad (1)$$

$$t_{on} = \frac{1}{f_{sw}} \cdot \frac{V_f}{V_{in}} \quad (2)$$

스위칭 주파수에 따라서 인덕터의 리플전류를 조절할 수 있고 식 (1)은 스위칭 주파수와 인덕터의 크기에 대하여 나타내었으며 식 (2)는 인덕터의 충전시간을 나타내었다. 식 (1), (2)를 통하여 적절한 인덕턴스를 계산할 수 있으며 스위칭 주파수를 높이면 인덕턴스의 크기를 절감할 수 있다. 그러나 스위칭 주파수가 고주파화 되면 노이즈가 많이 발생하게 되고 이를 조정하기위한 적절한 필터회로가 강구되어야 한다.



<그림 1> 스위치가 on일 때 전류의 방향
<Fig 1> current flow during turn-on



<그림 2> 스위치가 off일 때 전류의 방향
<Fig 2> current flow during turn-off

MOSFET의 소스(Source)단에 직렬로 연결된 R1은 구동회로에 흐르는 전류를 검출하기 위해 사용하였으며 회로에서의 전력손실을 고려하여 본 연구에서는 0.41Ω을 사용하였다.

R1을 이용하여 검출한 전압을 비반전 증폭기를 이용하여 11배 증폭하였다. 스위칭소자로 인해 노이즈가 많이 발생하기 때문에 피드백회로의 출력단에 저역통과필터를 구성하여 노이즈를 제거하였다. 디지털제어를 이용해 전류를 정확히 제어하기 위해서 저역통과필터의 차단주파수는 전류 샘플 속도의 약 1/10로 선택하였다. 식 (3)에 차단주파수에 관한 식을 표시 할 수 있고 식(3)을 통하여 f_c 는 100Hz로 설정하였다.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3)$$

2.2 MCU를 이용한 디지털 제어기

제어기 부분은 주변회로를 간략화하기 위해서 MCU를 이용하여 디지털 방식으로 PI제어기를 구성하였으며 ADC (Analog Digital Converter) 기능을 이용하였다. LED의 전류 값을 10bit의 분해능으로 검출하고 PWM을 이용하여 64step의 분해능을 가진다. 또한 스위칭 주파수는 약 56kHz로 설정하였다.

PI제어기의 출력은 벡-컨버터의 duty비를 결정하며 관련수식은 식(4), (5), (6)에 나타나있다.

$$error = setpoint - feedback \quad (4)$$

$$integral = integral + error \quad (5)$$

$$output = \frac{K_p * error + K_i * integral}{K} \quad (6)$$

식 (4)는 PI제어기에서 원하는 시스템의 출력 값인 지령치(setpoint)와 실제 출력 값인 피드백과의 오차이며 값이 너무 작을 경우 불필요한 연산을 하지 않게 설정하였다.

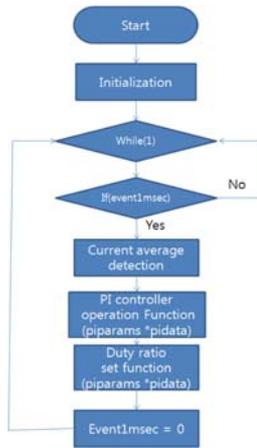
식 (5)는 제어기의 적분항으로 오차값을 계속해서 누적시켜준다.

PI제어기 알고리즘은 비례항만으로는 안정된 응답을 얻을 수 없기 때문에 적분항에 이득계수를 곱하여 적분응답을 만들어주어 정상상태오차를 개선해 줌으로써 안정된 응답을 얻을 수 있다.

식 (6)은 PI제어기의 출력 값으로 PWM 파형의 duty비를 결정하며 최대 제한 값은 50(duty비로는 약 78%)으로 설정하였다.

본 연구에서 최소 duty비는 0%이고 최대 duty비는 100%에 가까우며 만약 최대 또는 최소 duty비에 접근하게 되면 제어기의 포화상태를 알려주기 위해 flag가 발생하며 이러한 포화검사를 통해 적분누적상태를 예방할 수 있다.

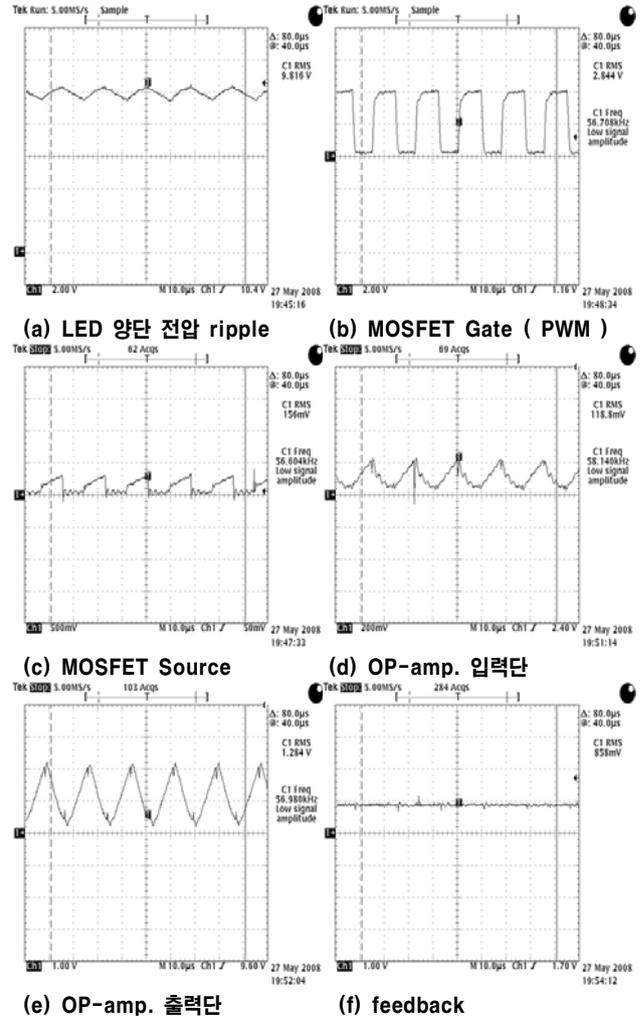
PI제어기에서 비례항과 적분항의 이득 값인 Kp와 Ki는 여러번의 실험을 통하여 적절한 값을 결정하였다. 개략적인 프로그램에 관한 Flow chart는 그림 3과 같다.



〈그림 3〉 프로그램 순서도
〈Fig 3〉 Flow chart

2.3 실험을 통한 파형측정

그림 4를 통하여 LED Driver에서 관찰할 수 있는 파형을 표시 하였다. 그림 4 (a)는 LED 양단의 파형으로 LED 양단에 걸리는 전압과 미소한 리플(ripple) 전류를 관찰할 수 있다. (b),(c)는 벡-컨버터의 중요한 MOSFET의 게이트(Gate)단과 소스단을 측정된 것이고 게이트단의 파형은 AVR128에서 피드백 전류를 입력받아 듀티비를 조절하여 LED에 일정한 전류를 유지시켜 준다. 또한 소스단의 파형은 LED에서 소모한 후 MOSFET를 통과한 전류로 전류검출저항을 지나는 파형이다. (d)는 소스단을 거쳐 RC필터를 경유한 후 OP-amp의 (+)단자에 입력되는 파형이고 (e)는 OP-amp의 출력단 파형이다. 이는 기준전압이 5V인 ADC를 사용하기 때문에 적절한 증폭으로 제어를 쉽게 할 수 있도록 이득값을 조절하였다. (f)는 최종적으로 저역통과필터를 통해 일정한 값으로 출력되어지는 피드백단이다. 여기서 노이즈가 심할 경우에 피드백에 오류가 많아져 LED의 밝기가 변동하여 조명으로써 적용하기에는 어려움이 발생할 수 있다.



(a) OP-amp. 출력단 (b) feedback
〈그림 4〉 LED Driver의 실험파형
〈Fig 4〉 experiment waveform of LED Driver

3. 결론

벡 방식의 컨버터에 AVR128을 이용하여 Power LED를 정전류 구동하기 위한 회로를 구성하였고 조명용 Power LED 특성을 확인하였다.

Power LED는 일종의 반도체 소자로 온도가 높아질수록 전류량이 증가하기 때문에 조명용으로 일정한 밝기를 유지시키기 위해 적절하다.

피드백 회로에서 발생하는 노이즈가 A/D컨버터에 영향을 끼쳐 노이즈의 제거가 중요하게 적용된다. 디지털제어를 사용함으로써 회로에 생기는 간섭을 프로그램 적으로 쉽게 보완할 수 있는 장점이 있다.

향후 고주파 동작을 실현하여 소형 경량화를 기하고 전압 피드백회로를 추가 함으로써 Power LED를 보다 실용적인 회로로 개발이 가능할 것으로 생각된다. 나아가서는 통신기능을 통하여 다양한 시도로 폭넓은 응용분야를 가질 것이라 예상된다.

[참고 문헌]

[1] Cherl-Jin Kim, "The Parameter Estimation and Stability Improvement of the Brushless DC Motor", 대한전기학회 논문집 Vol48, No.3 page 131~138, 1999년 3월
[2] Microchip Technology inc. "Software PWM Generation for LED Dimming and RGB Color Applications", AN1074, 2007
[3] Carl Wadding, "Designing Offline HB LED Current Sources with Primary Side Control Using E-series Fairchild Power Switch", page 10
[4] Tan, F.D and Middlebrook, R.D., "A Unified Model for Current-Programmed Converters", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 10, Issue 4, page 397-408.1995.
[5] Sheehan, Robert, "Emulated Current Mode Control for Buck Regulators Using Sample and Hold Technique", Power Electronics Technology Exhibition and Conference, PES02, 2006.