2009년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2009. 7. 14 - 17

파워 LED의 디지털 조도제어 시스템 설계

김배성, 손영대
동서대학교

Design of POWER LED Digital Dimming Control System

Bae-Sung Kim, Young-Dae Son
Dongseo University

Abstract - 본 논문에서는 원칩 마이크로컨트롤러와 ZigBee IC가 내장된 소형 모듈을 사용한 파워 LED의 디지털 조도제어 시스템의 설계 및 구현에 대해 중점적으로 기술한다. 파워 LED의 조광제어 및 특정 조도에서의 정전류 구동을 위해 전류피드백을 통한 디지털 PI 전류제어 및 PWM 구동방식을 행하였고, 시각적인 깜박거림 없는 충분한 주파수의 스위칭을 통해 부스트 컨버터를 연속도통모드로 동작시켰다. 2.4GHz의 주파수 대역을 이용하는 PAN (Personal Area Network) 형태의 ZigBee 무선모듈과 마이크로컨트롤러와의 UART 통신을 통해 조도제어를 위한 PWM 제어를 행하였다. 본 논문에서 제시한 파워 LED의 디지털 조도제어 시스템은 최근의 에너지 및 환경규제에 적합한 조명관련 응용분야에서 다양하게 적용될 것으로 판단된다.

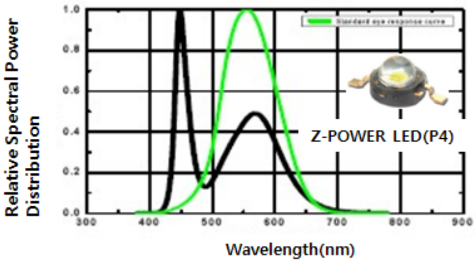
1. 서 론

최근, 반도체 기술발전에 따라 조명용 광원으로 주목을 받고 있는 LED는 기존의 전구 램프처럼 눈이 부시거나 소자가 단락되는 경우가 없어 소형으로 제작되어 각종 표시장치로 폭넓게 사용되고 있으며, 반영구적인 수명을 가지므로 그 활용도가 높다. 또한, LED의 특성상 기존 전구의 1/20~1/50 정도의 저전력 소비와 RoHS와 같은 전기전자제품의 폐기물 처리에 관한 환경규제에 부합하는 특징을 가지므로 다양한 영역으로 그 응용분야가 확대되고 있다. LED는 현재 차세대 후보광원으로 평가받고 있으며 에너지 고갈 및 환경오염의 위기에 대응하는 미래 성장 동력산업의 하나이며, 에너지 변환효율이 높아 전기에너지 절감에 유리하여 조명을 필요로 하는 곳에 빠르게 적용되고 있다. 이미 휴대 가전기기나 신호등, 전광판, 자동차 내장 램프 등은 이미 LED로 교체되었거나 교체중이며 LCD 백라이트 및 자동차 전조등에는 상용화가 이루어지고 있다. 최근 들어서는 해상용 등명기, 오징어 채낚기 집어등과 가로등, 그리고 고속도로급 LED램프도 상용화 단계에 있다. 더불어, LED는 형광등에서 사용하는 수은이 필요 없고 폐기물 처리가 간편하여 환경 친화적인 광원이며 차가운 광원이므로 조명등 표면에서 먼지의 열분해에 의해 발생되는 이산화탄소가 없으므로 온실효과 방지에 기여를 한다. 마지막으로, 기존의 CCFL과 같은 형광등의 인버터 구동시스템에 비해 기동회로가 불필요하고 안전한 저전압으로 구동되므로 한층 구동시스템이 간편해 지는 장점이 있다. 하지만 이러한 장점들을 갖는 LED를 실내나 외부에 조명으로 사용한 기존의 제어 방법들은 연결되어 있는 LED 전체가 제어되는 Group 제어 단방향 통신 방식이다. Group 제어 방식은 각 등에 대한 조도 조절 및 고장을 모니터링 할 수 없으며, 극히 일부분적인 문제가 생길 경우에도 문제점을 찾기 힘들고 전체적인 시스템이 제어되므로 비효율적인 방식이다. 또한 상대적으로 밝거나 유동이 없어 불필요한 지역에 배치된 LED에 의한 전력소비는 낭비로 이어진다. 따라서, 본 논문에서는 LED에 구동제어 시스템과 조도제어 시스템을 접목시켜 에너지 절약에 기여하고 최근 다양한 응용분야에서 접목되고 있는 전력소모가 적고 칩 가격이 저렴하며 통신의 안정성이 높은 IEEE 802.15.4 무선 규격을 따르는 근거리 무선 네트워크 표준인 무선통신 기술 ZigBee를 사용하여 양방향 통신으로 원격제어와 모니터링 시스템을 구축하였다. 또한, 저가형 원칩 마이크로컨트롤러를 이용한 디지털 구동제어 시스템을 설계하였고, 파워 LED의 전류값을 피드백 하여 특정 조도에서 정전류 제어가 이루어질 수 있도록 PI전류제어를 통한 PWM 구동방식을 적용하였다. 또한, 연속도통모드 전류동작의 부스트 컨버터를 설계하여 파워 LED의 구동전원으로 사용하였으며 파워 LED 9개를 직렬 연결하여 조명등으로 활용할 수 있도록 시스템을 설계하였다.

2. 본 론

2.1 파워 LED 구동제어 시스템 구성

본 논문에서 제안한 고효율 파워 LED 구동제어 시스템은 조명등이나 비상등에 적용될 수 있도록 설계 목표를 잡았다. 즉, 기존의 형광등에서 CCFL로, 그리고 파워 LED로 광원이 변화되고 있는 현 추세에 비추어 볼 때 본 연구에서 제안한 구동시스템의 적용범위는 그만큼 넓다고 볼 수 있다. 본 연구에서 적용대상으로 삼은 파워 LED는 서울반도체의 Z-POWER LED 시리즈의 Pure White LED인 W42182(P4/1W/Star) 모델을 사용하였으며, 정격 순전압 및 순전류 값은 각각 3.25V와 350mA 이며, 이때 광속은 100[lm]을 가진다. 그림 1은 25℃일 때의 LED 스펙트럼을 나타내며, 555[nm]의 파장이 눈에 가장 밝은 느낌을 주는 것을 나타내는 비시감도 곡선과 대비한 파워 LED의 스펙트럼 분포를 나타낸다. 가시광선의 좁은 파장대를 발광하는 LED 광원은 적외선과 자외선 방출에 의한 대기로의 열전달은 거의 없는 반면 접합부에서 큰 열이 발생한다. 즉, 파워 LED에 입력되는 에너지의 85% 정도가 불필요한 열에너지와 손실로서 방출되고 15% 정도만이 빛으로 변환되므로 장시간 구동시 LED 발열에 따른 조도감소를 막기 위해서는 정전류 제어가 필수적이기 때문에 마이크로컨트롤러의 PWM 포트에서 출력할 수 있는 PWM 주파수를 결정하고 주어진 입력전압과 출력전압, 그리고 LED 순전류값을 고려하여 부스트 컨버터가 동작하기 위한 각소자 값을 결정하였다.

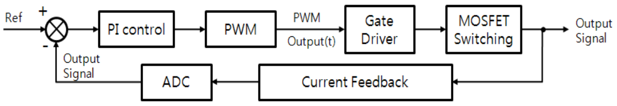


<그림 1> 파워 LED의 스펙트럼 분포

파워 LED의 정전류 제어를 위해 마이크로컨트롤러에서 검출되는 아날로그-디지털 변환된 전류 데이터를 식(1)과 같은 비례적분 제어기를 통해 그 오차를 보상하도록 PWM 구동을 행하였다.

$$Duty_k = Duty_{k-1} + K_p(E_k - E_{k-1}) + K_i E_k \quad (1)$$

여기서, E_k 는 현재오차, E_{k-1} 는 과거오차, $Duty_k$ 는 현재 PWM 듀티비, $Duty_{k-1}$ 는 과거 PWM 듀티비, K_p 는 비례이득, K_i 는 적분이득이다.

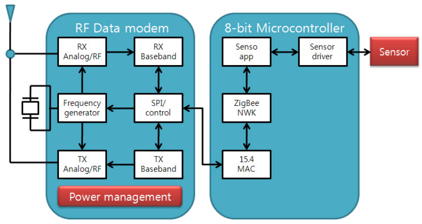


<그림 2> PI control 블록선도

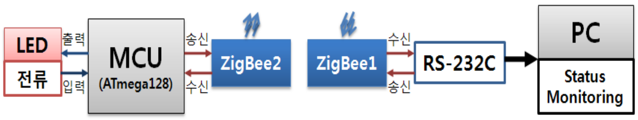
2.2 파워 LED 조도제어 시스템 구성

그림 3은 무선 통신을 위한 ZigBee 모듈의 블록 다이어그램을 나타낸다. 이 시스템에서 사용한 ZigBee는 2.4GHz 주파수 대역에서 동작하는 chipcon사의 CC2420이고 Baudrate는 9600bps으로 설정하였다. 조도를 무선으로 제어하기 위하여 마이크로컨트롤러와 UART 통신을 하는 ZigBee 모듈을 그림 4처럼 PC와 MCU에 각각 연결시켜 회로를 구성하였다. 파워 LED의 전류값을 피드백 하여 마이크로컨트롤러에 입력하고, Timer와 Analog-to-Digital Converter(ADC) 기능을 이용하여 100μs마다 전류의 아날로그 신호를 디지털 형태의 데이터로 변환한다. 변환된 데이터는 PC 측에 무선 전송하여 현재 전류값을 모니터링하고 원하는 조도를 위한 PWM 듀티비를 예상할 수 있게 된다. PC와 연결된 ZigBee 모듈1은 마이크로컨트롤러와 연결된 ZigBee 모듈2로부터 전류

데이터를 수신하며 PWM 듀티비 조절 데이터를 PC에서 입력받게 되면 마이크로컨트롤러 측으로 데이터를 송신하게 된다. ZigBee 모듈2가 데이터를 수신하여 마이크로컨트롤러에 전달하면 데이터 패킷이 설정하였던 값과 정확한지 확인한 뒤 불일치할시 무시하고 일치할시 데이터만큼 PWM 듀티비가 제어되어 원하는 조도를 출력한다.

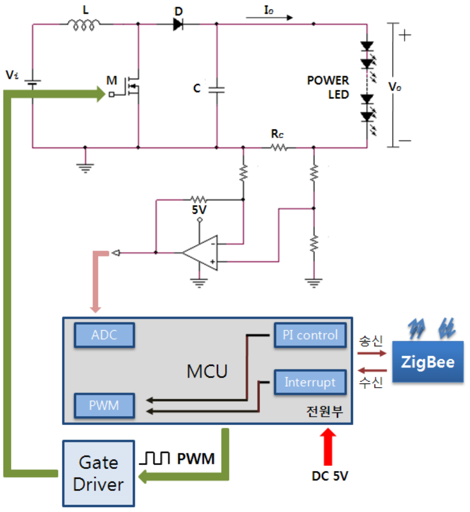


<그림 3> ZigBee 모듈의 블록 다이어그램



<그림 4> ZigBee 회로 구성도

그림 5는 본 연구에서 제시한 파워 LED 구동제어를 위한 부스트 컨버터부와 구동 회로부, 파워 LED 전류피드백 회로부, 그리고 전류 PI제어기 연산 및 PWM 출력, A/D 변환기능을 갖는 마이크로컨트롤러부와 무선 양방향 통신 ZigBee를 결부한 전체 시스템 구성도를 나타낸다.



<그림 5> 전체 시스템 구성도

2.3 전체 시스템의 구성 설계

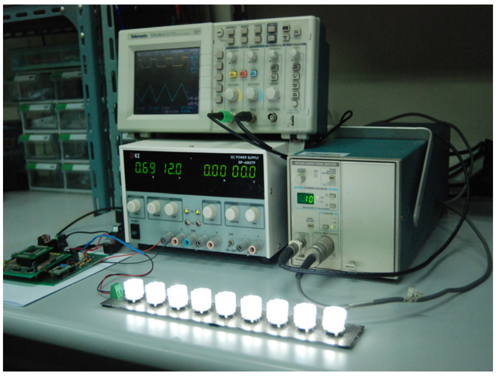
본 연구의 파워 LED 구동제어 시스템에 적용한 부스트 컨버터 회로 파라미터와 소자 및 ZigBee 모델은 표 1과 같다. 파워LED는 총 9개가 직렬로 연결되어 있고 입력전압은 12V로 설정되어 있으므로, 입력전압과 LED 순전압 강하값을 고려하여 입출력의 전기적 절연이 필요 없고 설계가 상대적으로 간단한 부스트 컨버터를 적용하였으며 전류연속모드(CCM)로 동작시켰다. 부하에 인가되는 전류값을 피드백하여 특정 조도에서 정전류 제어가 이루어질 수 있도록 PI전류제어를 통한 PWM 구동방식을 적용하였다. 그리고 ZigBee 무선모듈을 연결하여 양방향 통신을 통한 조도제어와 모니터링 시스템을 구성하였다.

<표 1> 회로 파라미터 및 소자 모델

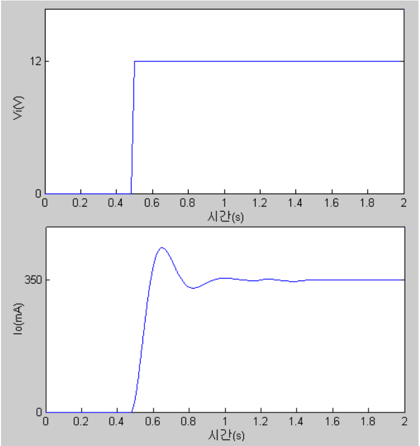
파라미터	값	소자	모델
L	100[μH]	M	IRF740B
C	47[μF]	D	1N5819
V_i	12[V]	Gate Driver	TC4420CPA
V_o	29.75[V]	OP-Amp.	LM358
D	0.6	Power LED	W42182(P4)
f_s	30[kHz]	MCU	ATmega128
I_o	350[mA]	ZigBee	CC2420

2.4 실험 시스템 구성 및 결과

그림 6는 본 연구의 파워 LED의 구동 및 조도제어 실험 시스템이다. 그림 7은 입력전압을 스텝입력으로 인가할 때 PI control을 통해 부하에 350[mA]의 정전류가 흐르는 것을 보여주는 스텝응답이다.



<그림 6> 실험 시스템



<그림 7> $t-V_i$, $t-I_o$ 그래프

3. 결 론

본 연구에서는 파워 LED의 조도제어를 위해 원칩 마이크로컨트롤러를 이용한 디지털 구동제어 시스템을 설계하였고, 파워 LED의 전류값을 피드백 하여 특정 조도에서 정전류 제어가 이루어질 수 있도록 PI전류제어를 통한 PWM 구동방식을 적용하였다. 조도제어를 위한 전류제어 영역은 시스템의 안전성과 조도의 규정값 이내에서 동작시켰다. 또한, 연속도통모드 전류동작의 부스트 컨버터를 설계하여 파워 LED의 구동전원으로 사용하였으며, 파워 LED 9개를 직렬 연결하여 조명등 또는 비상등으로 활용할 수 있도록 시스템을 설계하였다. 또한 ZigBee 모듈을 이용해 마이크로컨트롤러에서 출력되는 PWM의 듀티비를 가변하여 조도제어하고 실시간 데이터 송수신 모니터링 시스템을 구현하였다. 실험결과를 토대로 본 시스템의 타당성을 입증했으며 향후 다양한 응용분야에 적용가능 할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

[1] 서울반도체, "Z-POWER LED Series Technical Data sheet for W4218X", www.zled.com, 2007.3.

[2] 김래현 외 6인 공저, 고출력 LED 및 고체광원 조명기술, 도서출판 아진, 2006.4.

[3] A.J.Calleja 외 5인 공저, "Evaluation of Power LEDs Drivers with Supercapacitors and Digital Control", *IEEE IAS*, pp.1129~1134, Sept., 2007.

[4] 윤덕용, AVR ATmega128 정복, OHM사, 2006.9.

[5] 송봉길, AVR ATmega128 마이크로컨트롤러, 성안당, 2005.4.

[6] 김희준, 스위칭 전원의 기본 설계, 성안당, 2002.1.

[7] 심재창・김익동 공저, 지그비 기술의 응용과 실습, 홍릉과학출판사, 2007.6.

[8] 최동훈・배성수・최규태 공저, 지그비 기술과 활용, 도서출판세화, 2007.2