

블루이노를 활용한 RGB LED조명 제어

강남규, 이수민, 김광표
한국산업기술대학교 전자공학과
e-mail : skarb5530@naver.com

Smart RGB LED Lighting Control Using Blueinno

Nam-Gyu Kang, Soo-Min Ji, Kwang-Pyo Kim
Dept. of Electronic Engineering, Korea Polytechnic University

요 약

4차 산업혁명이 대두되고 있어 IoT사물인터넷이 각광받고 있다. Bluetooth 4.0 Low Energy를 사용하여 LED조명이 기존의 단순한 조명역할에서 벗어나 IoT(Internet of Things)기술을 결합시켜 사용자가 손쉽게 환경변화에 의한 LED On/Off, Color Control, 밝기 조절을 통해 높은 부가가치를 실현하여 사람의 생활의 가치를 높이도록 한다. 또한, LED소자는 반영구적인 것에 비해 실제 상용화 된 LED등을 사용할 시 드라이버 회로의 문제로 인해 1년 정도의 수명을 가진다. 이러한 드라이버 회로의 문제를 개선하여 LED소자의 반영구적인 특성을 최대한 활용하여 LED조명의 수명을 높이고자 한다.

1. 서론

지능정보기술이 기존의 산업과 서비스에 융합된 사물인터넷(IoT)시대가 열리게 되면서 사람들도 점차 편리하고 환경에 맞게 스스로 변화하는 사물인터넷에 관심을 가지기 시작하였다. 조명 또한 이러한 흐름에 맞춰 사용자가 원하는 환경에 맞게 원격으로 조절이 가능하도록 개발이 되어 상용화 되었다.

Bluetooth 4.0 Low Energy는 기존 Bluetooth를 저전력화한 것이다. 휴대 전화 및 다른 컴퓨팅 장치에서 Bluetooth 는 많이 보급되어 있으며Bluetooth 4.0 Low Energy는 시장에서의 사용을 다양화하고 있다. 이처럼 상용화 되어있는Bluetooth 4.0 Low Energy 를 사용하여 통신하고 핸드폰 Application을 이용하여 조명제어를 한다.

LED는 기존의 백열등에 비해 고 수명, 낮은 전력소모, 빠른 응답속도, 친환경 등의 장점을 가지고 있어 실생활에 많이 사용되고 있으며, 그 범위가 크게 증가하고 있다. 하지만 LED 소자 자체는 반영구적인 것에 비해서 실제 상용화된 LED등을 사용할 시에 드라이버회로의 문제로 인해서 평균1년 정도의 수명을 가진다. 이러한 드라이버 회로의 문제를 개선하여 LED소자의 반영구적인 특성을 최대한 활용하고 LED조명의 수명을 높이고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 연구와 관련되어 사용된 기술을 서술한다. 먼저 PWM Dimming과 BJT와 FET에 대해서 설명한다.

3장과 4장에서는 실제로 구성한 회로도의 구성 및 개요와 결과를 설명한다. 마지막으로는 결론 및 향후 과제에 대해 기술한다.

2. 사용 기술

2.1 PWM Dimming

Dimming 제어 방법 중 대표적인 방법은 Analog 제어와 PWM(Pulse Width Modulation)제어 방법이 있다. 이 기술은 고정된 한 Cycle 안에 가변적인 Pulse Width의 변화함으로써 Duty rate를 바꾸는 데 사용된다. 본 작품에서는 ‘블루이노’라는 MCU(micro controller unit)를 사용하여 디지털 방식인 PWM 제어 방식을 이용하였다. 이 기술과정에서는 Duty rate에 따라 Transistor를 이용해 LED의 공급되는 전류량을 제어하여 밝기를 제어하게 된다.

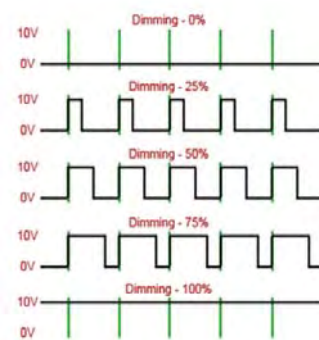


그림 1. Digital PWM Dimming 제어 방식

2.2 Switch로서의 트랜지스터(Transistor)

[1] BJT(Bipolar Junction Transistor)

BJT란 반도체 내부에서 P형 반도체와 N형 반도체의 두 영역 사이의 경계부분을 일컫는 PN 접합을 이용하여 만든 트랜지스터이다. BJT는 활성영역(Active Mode), 포화 영역(Saturation Mode), 차단 영역(Cutoff Mode)로 밀

의 특성 곡선과 같이 나뉜다. BJT의 스위치 역할은 포화 영역과 차단 영역을 사용하게 된다. 이 소자는 FET에 비해 스위치 속도가 빠르다는 장점을 가지고 있다.

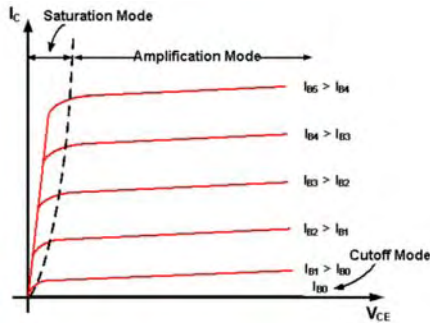


그림 2. BJT 특성 곡선

포화 상태의 경우 그림 2의 그래프와 같이 전류 I_C 는 크고 V_{CE} 는 작다. 이때 Collector와 Emitter사이의 저항은 다음 식과 같다.

$$R_{sat} = \frac{V_{CE_{out}}}{I_{C_{sat}}}$$

V_{CE} 의 일반적으로 0.15V로 수 $k\Omega$ 의 저항과 같이 쓰이면 0Ω 으로 두 단자가 단락되었다고 볼 수 있다.

그와 반면에 차단 상태의 경우 Base 단자에 0V로 두 단자의 저항은 다음 식과 같다.

$$R_{cutoff} = \frac{V_{CC}}{I_{CEO}} = \frac{V_{CC}}{0} = \infty\Omega$$

개방회로의 저항과 같아 차단됨을 알 수 있다.

[2] MOSFET(metal-oxide-semiconductor-field effect transistor)

MOSFET란 금속 반도체 전계효과 트랜지스터로 Gate에 SiO₂ 등의 얇은 산화막이 막고 있어 큰 입력 임피던스를 가지고 있어 매우 적은 전력을 소비한다. 본 작품에서는 P형 기판에 Source와 Drain 단자는 n형으로 도핑된 n 채널 증가형 MOSFET를 사용하였다. 그러므로 Gate에 전압이 인가되게 되면 채널이 형성이 되어 전류가 Drain에서 Source로 전류가 흐르게 된다.

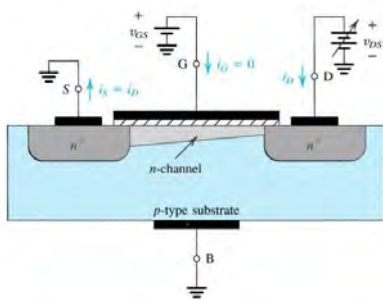


그림 3. MOSFET

3. 시스템 개요 및 회로 구성

그림 4는 Software 구성도로 User가 device의 application에서 BLE 통하여 MCU와 연결한다. 그 후 선택한 조명 값에 따라 LED의 색 및 ON/OFF 제어를 하게 된다.

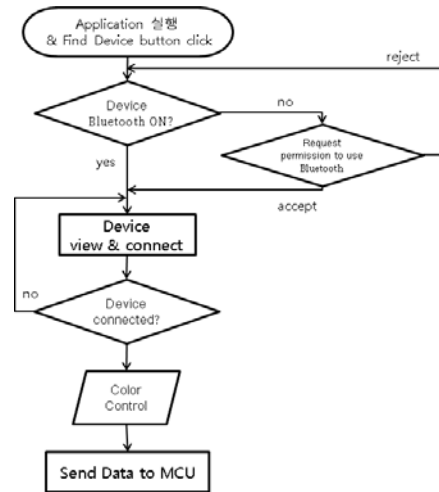


그림 4. Software 구성도

그림 5의 Hardware의 구성도를 보면 경우 전압 공급 시 만약 과전압이 걸리게 되면 LED로 흐르는 전원을 차단하여 LED 소자들을 보호하게 된다. 정상 상태에서는 기기에서 수신 받은 데이터를 PWM 값으로 출력하게 되어 LED 조명 제어를 하게 된다.

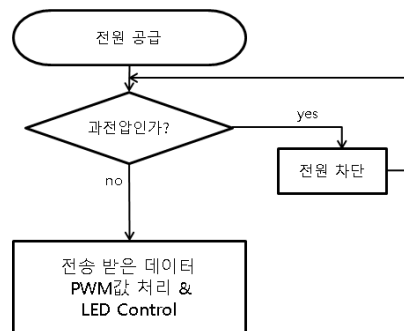


그림 5. Hardware 구성도

3.1 전원

대개 LED 회로를 보게 되면 SMPS를 이용하여 전압 낮추고 DC를 이용하게 된다. 하지만 SMPS 사용 시 내부의 전해커패시터로 인해 수명이 낮아지게 된다. 그러므로 본 작품은 LED에 브릿지 다이오드를 통과한 맥류 220V를 사용함으로써 LED의 반영구적인 수명을 보장하였다. LED의 수는 Datasheet 상의 IV그래프를 참고하여 최대 전류를 약 80[mA]로 설정하였다. LED는 RGB 모두 최대 밝기로 구동될 시 약 17W의 백색광으로 활용 가능하다.

$$P_{Red} = IV = 79.552[\text{mA}] \div \sqrt{2} \times 220[\text{V}] = 12.375[\text{W}]$$

$$\text{turn on time } 0.4 \times 12.375 [\text{W}] = 4.95 [\text{W}]$$

$$P_{green} = IV = 78.924[\text{mA}] \div \sqrt{2} \times 220[\text{V}] = 12.433[\text{W}]$$

$$\text{turn on time } 0.5 \times 12.433 [\text{W}] = 6.22 [\text{W}]$$

$$P_{blue} = IV = 79.913[\text{mA}] \div \sqrt{2} \times 220[\text{V}] = 12.431[\text{W}]$$

$$\text{turn on time } 0.5 \times 20.63 [\text{W}] = 6.21 [\text{W}]$$

$$P_{total} = P_{Red} + P_{green} + P_{blue} = 4.95[\text{W}] + 6.22[\text{W}] + 6.21[\text{W}] = 17.38[\text{W}]$$

위 계산식은 소모 전력을 이론적으로 계산한 식이다.

3.2 과전압 차단 회로 및 색 제어

LED가 맥류 220V로 구동하기 때문에 소자의 안정성이 매우 중요하게 된다. 그러므로 과전압이 인가되었을 시 LED에 전류를 차단시켜 안정성을 높여 주어야 한다.

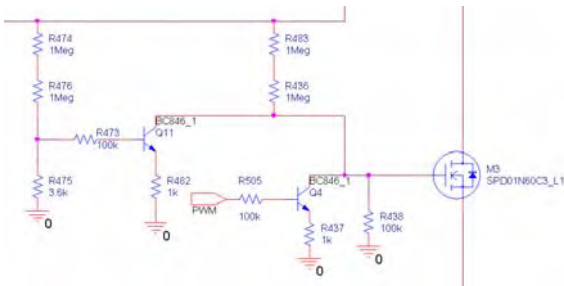


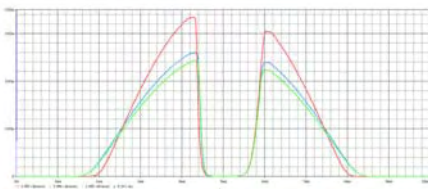
그림 6. 과전압 차단회로 및 색 제어 회로

BJT의 Base에 인가되는 전압은 밑의 전압 분배 법칙을 통하여 결정되게 된다.

$$V_{OUT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in}$$

위의 식을 이용하여 도출한 Base와 Emitter 단자 사이의 전압은 $V_{BE} = \frac{0.7[V]}{0.0018} V_{in}$ 이다. 사용한 BJT인 BC846의 Data Sheet를 참고하면 $V_{BE} = 0.7\text{V}$ 로 약 388[V] 인가 시 포화 상태가 되어 FET에 채널이 형성되지 않아 Drain과 Source가 차단되어 LED를 보호하게 된다.

27°C Peak 450V(RMS 318V)
Rvar = 3.6K[Ω]



80°C Peak 311V(RMS 282V)
Rvar = 3.9K[Ω]

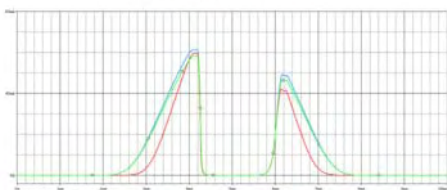


그림 5. 시뮬레이션을 통한 과전압 차단 상온(27°C)에서는 약 390V에서 차단이 되고 80°C에서는 330V에서 차단됨을 확인하였다.

색 제어 회로는 BJT Base 단자에 3V, 0V의 디지털 신호가 인가되어지는 것을 제외하면 과전압 회로와 같은 원리로 구동된다.

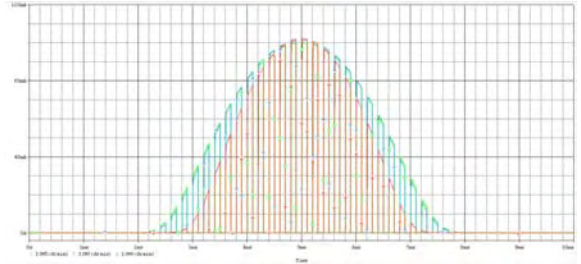


그림 6. 색제어 회로 시뮬레이션

3.3 최종 회로도 및 PCB ARTWORK

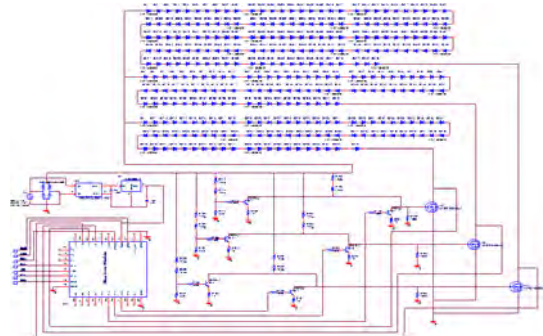


그림 7. Pspice를 이용한 최종회로도

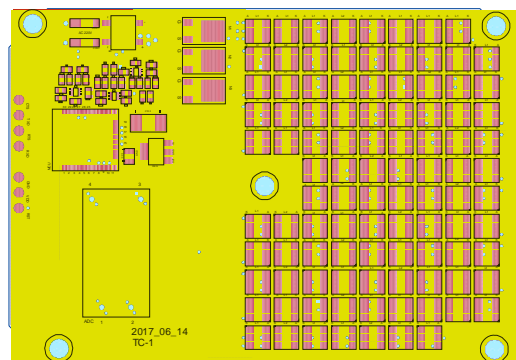


그림 8. ADS를 이용한 PCB ARTWORK

4. 결과

실제 LED 등에서는 드라이브 회로 문제로 인해 낮은 수명을 갖는다. 드라이브 회로를 개선하여 LED 소자의 반영구적인 특성을 살려 수명을 높이고, 블루투스를 사용하여 단순한 조명의 역할에서 벗어나 IoT 기술을 결합시켜 사용자가 핸드폰을 통해 손쉬운 제어로 생활의 가치를 보다 더 높인다. 사용되는 기술로써 트랜지스터의 스위칭 기능을 활용하여 ON/OFF, 과전압을 차단한다. 또 PWM을 활용하여 공급되는 전류량을 제어하여 RGB 밝기를 각각 조정한다. 세 번째는 수명의 문제를 개선하기 위해서 브리지 다이오드를 통과한 맥류 220V를 사용함으로써 전해 캐패시터의 사용을 피해 수명을 보장하였다. PWM 제어를 확인하기 위해 어플리케이션을 통해 밝기를 각각 0%, 50%, 100%로 설정 후 오실로스코프로 측정하였다. 다음의 그림 9와 같이 파형이 나왔음을 확인할 수 있었고 예상대로 정확한 수치 0/255(0%), 123/255(50%), 255/255(100%)가 나온 것을 확인했다. 결과적으로 RGB 밝기 제어가 정확하게 됐다는 점을 알 수 있었다.

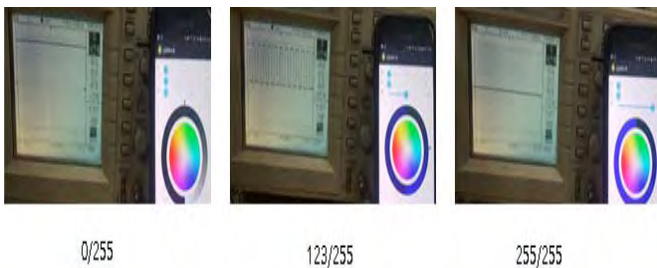


그림 9. 오실로스코프로 측정한 PWM 파형 및 어플 구동

완성된 PCB를 통하여 시연을 한 결과는 그림 10과 같다. 이것을 통하여 디바이스와의 블루투스를 이용하여 사용자가 RGB LED 제어 가능함을 확인하였다.

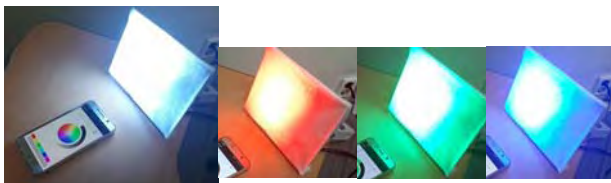


그림 10. 시연

위 시연 결과에서 Red, Green, Blue의 최대치인 White 빛의 역률 및 전력을 측정하였다. 그 결과 그림 11과 같이 소비 전력이 14.57[W]로 수식으로 예상한 17.38[W]에 비해 2.81[W] 더 적게 나왔음을 알 수 있다. 이는 계산에서는 220V의 입력을 사용하였지만 실제 측정값은 215V의 입력이 인가된 것과 전력 $P=IV$ 에서 전류의 실효치를 정현파로 생각하여 계산하였기 때문에 오차가 발생하였다. 또 역률은 86.4%가 나옴을 측정하였다.



그림 11. 역률(우) 소비 전력(좌)

5. 결론 및 활용분야

실제 LED 등에서는 드라이브 회로 문제로 인해 낮은 수명을 갖는다. 전해 Capacitor의 사용을 제한하고, 드라이브 회로의 개선을 통해서 LED소자의 반영구적인 특성을 최대한 활용할 수 있었다. 블루투스를 사용하여 단순한 조명의 역할에서 벗어나 IoT 기술을 결합시켜 사용자가 핸드폰을 통해 손쉬운 제어로 생활의 가치를 보다 더 높인다. 사용되는 기술로써 트랜지스터의 스위칭 기능을 활용하여 ON/OFF, 과전압을 차단하였다. 두 번째는 PWM을 활용하여 공급되는 전류량을 제어하여 RGB 밝기를 각각 조정하였다. 세 번째는 수명의 문제를 개선하기 위해서 브리지 다이오드를 통과한 맥류 220V를 별도의 SMPS와 같은 소자의 사용을 제한함으로써 전해 캐패시터의 사용을 피해 LED소자의 수명을 보장할 수 있었다.

모든 광원 중에서 LED광원은 예측 기간 동안 가장 높은 비율로 성장할 것으로 예상된다. 이러한 높은 성장은 LED가 낮은 유지비용과 전력소비 및 긴 내구성을 가지기 때문이다. 본 작품의 목적은 조명 그 이상의 가치를 실현하여 단순한 조명의 역할을 떠나 상황에 맞는 환경 분위기를 조성하고 이를 활용하여 향후에 서비스 산업의 부가가치를 높이는 데에 있다.

참고 문헌

- [1] A Study on Efficient Advertiser Discovery in Bluetooth Low Energy : 저전력 블루투스에서의 효율적인 advertiser 발견연구
- [2] The Capacitor-less LED Lamp using FR-4 PCB : Choong-Mo Nam, Nam-Jin Kim, Hyun-Soo Yoon, Hyun-Kee Min, In-Hak Lee, Byung-Tak Jang and In-Ho Jeong
- [3] MCU를 이용한 POWER LED의 효과적인 Dimming 제어 = Effective Dimming Control of the Power LED Using the MCU
- [4] <http://electronics.stackexchange.com/questions/207320/bjt-characteristic-curves-generating-them>
- [5] <http://xenon87.tistory.com/61>
- [6] Robert L. Boylestad · Louis Nashelsky 『ELECTRONIC DEVICES AND CIRCUIT THEORY』, 김수원 · 김윤현 · 김종수 · 나유찬 · 윤길원 · 이적식 · 정유정 · 정천석, PEARSON(2011), p255-p259, p479-p489