

가시광 통신을 위한 고효율·대용량 LED 드라이버

조상호, 김진호, 장병준, 노정욱, 홍성수, 한상규
국민대학교 전력전자 연구소

High-Efficiency & High-Power LED Driver for Visible Light Communication

Sang-Ho Cho, Jin-Ho Kim, Byung-Jun Jang, Chung-Wook Roh, Sung-Soo Hong, Sang-Kyoo Han
Kookmin University Power Electronic Center

ABSTRACT

본 논문에서는 가시광 통신을 위한 고효율·대용량 LED 드라이버를 제안한다. 기존 가시광 통신을 위한 LED 드라이버는 LED의 선형 구동방식으로 인한 전력 손실 및 발열이 매우 심각하여 대용량의 조명용 LED에 적용하기에는 현실적인 어려움이 뒤따랐다. 하지만 제안 회로는 LED의 스위칭 방식 구동을 통해 전력 변환 효율 및 발열이 크게 개선되어 대용량의 조명용 LED에 적용할 수 있을 뿐 아니라 효율 저하 없이 최대 10Mbps의 높은 데이터 전송 성능을 가지는 부가적인 무선통신 시스템을 구현할 수 있다. 최종적으로, 제안회로의 우수성을 검증하기 위하여 무선통신 오디오 시스템을 구현하여 고찰된 실험 결과를 제시한다.

1. 서론

유무선 통신 및 인터넷 서비스가 일반화되면서 보다 향상된 정보통신을 위한 근거리 무선 통신 기술로 가시광 통신 기술이 부각되고 있다. 가시광 통신이란 사람의 눈에 보이는 가시광 파장(380~780nm)을 이용한 통신으로, 조명 장치와 PD(Photo Diode)의 접목을 이용한 송·수신을 기본 원리로 한다. 가시광 통신은 통신 수단으로 빛을 사용하기 때문에 조명과 동시에 통신을 할 수 있다는 것이 특징이며, 인체 무해, 무선 주파수의 비허가권 사용, ISM(Industrial Scientific Medical)대역과의 비간섭, 물리적으로 보안기능, 초정밀 측위 등의 장점이 있다^{[1],[2]}.

이러한 가시광 통신의 조명 장치로는 LED가 주로 사용되고 있다. LED는 형광등과 달리 수은을 사용하지 않아 친환경적이며, 10만 시간 이상의 긴 수명, 백열등에 비해 90% 이상 전력 효율 향상 등의 장점이 있으며, 특히 전기 신호를 빛으로 변환하는 속도가 약 30~250ns 이하로 이러한 고속 스위칭 특성을 통신 변조에 활용할 수 있어 가시광 통신에 매우 유리하다^[3].

따라서 본 논문에서는 가시광 통신에 매우 적합한 LED를 이용하여 조명과 동시에 통신 기능을 수행할 수 있는 고효율 LED 드라이버를 제안하고, 이를 이론 및 실험적으로 검증한다.

2. 기존 가시광 통신용 LED 드라이버

아래 그림 1은 기존 가시광 통신용 LED 드라이버를 나타내고 있다. 기존 회로는 송신 데이터에 따른 LED 전류의 고속

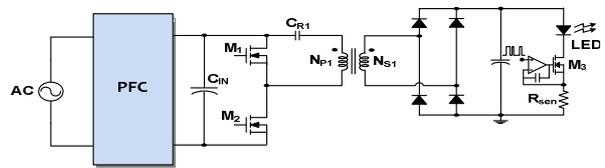


그림 1. 기존 가시광 통신용 LED 드라이버

스위칭을 위해 LED와 직렬 연결된 스위치 M3를 선형 영역에서 구동한다. 그러나 이와 같은 기존 회로는 스위치 M3를 선형 영역에서 구동함에 따라 LED 드라이버의 전력 변환 효율이 저하되며, 이에 따른 발열 등의 문제로 대용량의 조명용 LED에 적용하기 어렵다. 또한 통신 시스템의 SNR(Signal to Noise Ratio)이 저하되어 통신 품질의 저하를 가져온다.

기존 회로의 스위치 M3를 수 MHz 이상의 주파수로 스위칭 영역에서 동작시킬 경우 고속으로 스위칭하는 LED 전류의 순시값 제어를 위해서는 전력단을 전송 데이터 대역폭의 3~5배 정도의 고속 스위칭 주파수로 구동해야 하기 때문에 구현상 한계가 존재한다.

3. 제안 가시광 통신용 LED 드라이버

상기한 바와 같이 기존의 가시광 통신용 LED 드라이버는 스위치 M3의 선형 영역 구동에 따른 전력 변환 효율 저하 및 대용량의 조명용 LED에 적용하기 어려운 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존 회로의 문제점을 해결하는 새로운 방식의 회로를 제안하고, 이를 이론 및 실험적으로 검증한다.

3.1 제안 LED 드라이버의 동작 원리

본 논문에서 제안하는 가시광 통신용 LED 드라이버를 아래 그림 2에 나타내었으며, LED 드라이버의 전력단은 고효율 및 저가형에 유리한 LLC 공진형 컨버터로 구성하였다.

LED와 직렬 연결된 스위치 M3는 스위칭 영역 구동을 통해 LED 전류를 고속으로 스위칭하며, 저항 Rsen을 통해 전압의 형태로 검출된 LED 전류값은 저역 통과 필터(LPF)를 통해 LED 전류의 평균치 $\langle I_{LED} \rangle$ 를 검출한다. 검출된 LED 전류의 평균치 $\langle I_{LED} \rangle$ 는 전류명령 I_{ref} 를 추종하도록 LLC 공진형 컨버터를 펄스 주파수 변조를 통해 제어한다. 여기에서 제안 회로는 LED 전류의 순시값이 아닌 평균값을 제어하기 때문에 기존 회로와 달리 전력단의 저속 스위칭 구동이 가능하며 LED 전류의 평균치 제어를 통해 조명 기기의 휘도 조절 또한 가능하다.

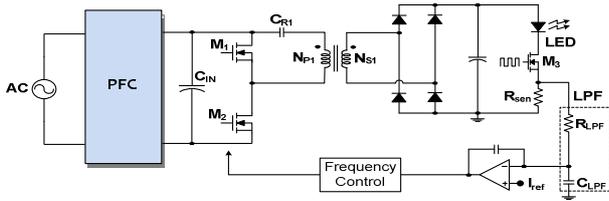


그림 2. 제안 가시광 통신용 LED 드라이버

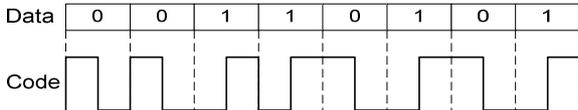


그림 3. 맨체스터 코딩 기법

3.2 송수신 데이터의 코딩 기법

본 논문에서 제안하는 가시광 통신용 LED 드라이버를 통해 송수신하는 데이터는 그림 3과 같은 맨체스터 코딩 기법^[4]을 적용하여 변조하였으며, 그림에서 확인할 수 있듯이 송수신 데이터의 종류에 관계없이 항상 50%의 시비율을 보장하는 것을 특징으로 한다.

3.3 제안회로의 조명 및 통신 기능 융합

본 논문에서 제안하는 가시광 통신용 LED 드라이버를 데이터 통신 기능과 더불어 LED 본래의 조명 기능 구현을 위해서는 사용자의 명령에 따른 휘도 조절이 가능해야 한다. 제안 회로의 LED 휘도 조절은 전류 명령인 I_{ref} 전압 가변을 통해 이루어지며, LED 전류의 평균치 $\langle I_{LED} \rangle$ 가 I_{ref} 를 추종하면서 휘도가 조절된다. 이 때, LED 전류의 시비율은 항상 50%로 동작하기 때문에 LED 전류의 최대값은 LED 평균 전류 $\langle I_{LED} \rangle$ 의 2배의 값을 가진다.

3.4 제안 LED 드라이버의 특징

제안 회로는 스위치 M_3 를 스위칭 영역에서 구동하기 때문에 전력 변환 효율 및 발열 특성이 크게 개선되어 대용량의 조명용 LED 구동이 가능하고, 통신 시스템의 SNR이 개선되어 통신 품질이 개선된다. 또한, LED 전류의 평균치 제어를 통해 스위치 M_3 의 고속 스위칭에 관계없이 전력단의 저속 스위칭 동작이 가능해 실제 구현 가능성 측면에서 매우 유리하다.

4. 제안 LED 드라이버의 실험 결과

앞서 고찰된 동작 해석을 바탕으로 무선 통신 오디오 시스템을 제작하여 고찰된 실험 결과를 아래 그림 4에 나타내었다.

그림 4의 첫 번째 파형은 오디오 재생을 위한 송신 데이터로써 맨체스터 코딩 변조를 통해 50%의 시비율이 보장되는 것을 확인할 수 있다. 두 번째 파형은 송신 데이터에 따라 스위치 M_3 의 스위칭 영역 구동을 통해 도통하는 LED 전류를 나타내었다. LED 평균 전류의 명령을 100mA로 설정했고, LED 전류의 최대값이 평균 전류 명령의 2 배인 200mA로 제어되는 것을 확인할 수 있다. 세 번째 파형은 PD를 통해 수신된 가시광 신호를 전기적 신호로 복조한 파형으로 약 300ns의 시간 지연을 가지고 가시광을 통해 오디오 신호의 통신이 가능함을 확인할 수 있었다. 한편, 송신 데이터의 주파수는 약 4MHz, LED 드라이버 전력단인 LLC 공진형 컨버터의 구동 주파수는 약 100kHz로서 LED의 평균 전류 제어를 통해 고속으로 스위칭하

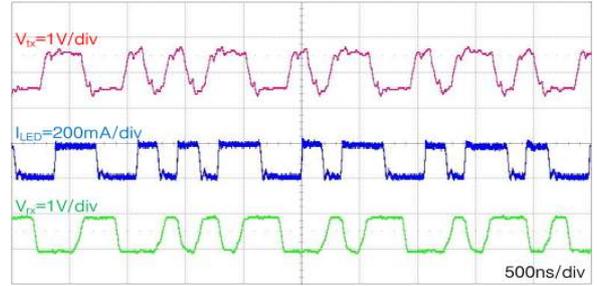


그림 4. 제안 가시광 통신 시스템의 주요 동작 파형

는 송신 데이터에 관계없이 전력단의 저속 스위칭 구동이 가능함을 확인하였다.

5. 결론

본 논문에서는 최근 근거리 무선 통신 기술로 주목 받고 있는 가시광 통신을 위한 LED 드라이버를 제안하였다. 기존 가시광 통신용 LED 드라이버는 스위치 M_3 의 선형 영역 구동으로 인해 LED 드라이버의 전력 변환 효율이 낮아 조명 장치와 같은 대용량 LED 조명에 적용하기 어려운 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 스위치 M_3 를 스위칭 영역에서 구동하면서, LED 전류의 고주파 스위칭이 가능한 새로운 방식의 가시광 통신용 LED 드라이버를 제안하였다. 제안 방식은 기존 회로와 같이 LED 전류의 고주파 스위칭이 가능해 높은 데이터 전송률을 달성할 뿐 아니라, 전력 변환 효율이 크게 개선되어 대용량 구동 회로에 매우 적합해 LED 본래의 조명 기능에 부가적인 통신 수행이 가능하다.

제안 가시광 통신용 LED 드라이버의 이론적 해석을 통해 실제 무선 통신 오디오 시스템을 구현하여 제안 회로의 우수성과 이론적 분석의 타당성을 검증하였다.

따라서 본 논문에서 제안하는 LED 드라이버는 LED의 고유의 조명 기능에 부가적인 근거리 무선 통신을 수행하는 가시광 통신 시스템에 매우 적합하게 적용될 수 있을 것이다.

지식경제부 및 정보통신 연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원 사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C1090-1021-0005)

참고 문헌

- [1] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama, M. Nakagawa, "Indoor Visible Light Transmission System Utilizing White LED Lights", IEICE Trans. on Commun., vol. E86-B, no. 8, pp.2440-2454, Aug. 2003.
- [2] T. Komine, M. Kakagawa, "Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED lights", IEEE Trans. on Consumer Electron., vol. 50, no. 1, pp.100-107, Feb. 2004.
- [3] 채균, "LED 응용 제품 개발 및 사례", 전력전자학회지 제 14권 제 3호, pp.36-40. June. 2009.
- [4] K. Inoue, "Waveform Distortion in a Gain-Saturated Semiconductor Optical Amplifier for NRZ and Manchester formats", Optoelectronics, IEE Proceedings, vol. 44, Issue 6, pp. 433-437, 1997.