

전류원 방식의 가시광 무선통신용 LED 스위칭 드라이버

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

Current Source LED Switching Driver for Visible Light Communication

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

ABSTRACT

가시광 무선통신 시스템은 LED 전류를 데이터 신호에 따라 제어하여, 기존의 LED 조명장치를 통신 수단으로 사용 가능하기 때문에 차세대 통신 수단으로 주목 받고 있다. 본 논문에서는 이러한 가시광 무선통신 시스템을 위한 전류원 구동 LED 드라이버를 제안한다. 제안된 LED 드라이버는 컨버터의 전류원을 이용하고 LED와 병렬 연결된 스위치 소자를 스위칭 구동방식으로 제어함으로써, 기존의 선형 구동방식보다 전력손실 및 발열을 크게 개선하여 대용량의 LED 조명장치에 적용할 수 있는 장점이 있다. 제안 회로의 가시광 무선통신 시스템 구현을 통해 제안된 LED 드라이버의 우수성 및 이론적 해석의 타당성을 검증한다.

1. 서론

가시광 통신(Visible Light Communication, VLC)이란 약 380~780nm의 파장의 가시광을 이용하는 통신 기술로써 인체에 무해하며, 주파수 허가를 받을 필요가 없을 뿐 아니라 특히 기존의 조명 장치를 사용하여 통신 기능을 수행할 수 있는 장점 때문에 최근 차세대 통신 기술로 각광받고 있다. 발광 다이오드(LED)는 기존의 광원과 달리 수은을 사용하지 않아 친환경적이며, 반영구적으로 사용 가능하다. 또한 LED는 반도체 소자로서 전기 신호를 광학 신호로 변환하는 속도가 기존 광원 대비 수 만 배 이상 빠르기 때문에 가시광 통신을 위한 광원으로

주목 받고 있다. 그림 1은 LED를 이용한 가시광 통신의 일반적인 시스템을 나타내며 크게 송신부와 수신부로 이루어져 있다. 송신부는 전력 변환부와 LED 드라이버로 구성된다. 전력 변환부는 역률 보정기능을 수행하고, AC 전원의 입력을 LED 구동에 적합한 형태의 DC 전원으로 변환하며, LED 드라이버는 송신 신호를 바탕으로 LED를 점멸한다. 수신부는 크게 PD(Photo-Detector)와 신호처리부로 구성된다. PD는 LED의 점멸을 통해 수신된 빛을 전기적 신호로 변환하며, 신호처리부는 PD에서 변환된 전기적 신호를 출력 시스템에 알맞은 형태의 신호로 복조한다^[1].

기존 LED 드라이버는 송신 신호를 바탕으로 점멸되는 LED 전류의 고속 스위칭을 위해 스위치를 선형영역에서 구동하였다. 그러나 이러한 방식은 스위치에서 소모되는 전력손실이 크게 발생하여 대용량 조명용 LED에 적용하기 어려운 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 그림 2(a)와 같은 전류원 방식의 LED 스위칭 드라이버를 제안하였다. 제안한 방식은 스위칭 영역에서의 스위치 구동을 통해 높은 전력 변환 효율을 가지며 발열 특성 또한 개선되어 대용량의 조명용 LED에 적용할 수 있는 장점이 있다. 그림 2(b)는 제안 방식의 실제 구현을 위해 큰 인덕턴스의 인덕터를 전류원으로 구성하여 설계한 LED 스위칭 드라이버 회로이다.

본 논문에서는 제안한 LED 드라이버의 이론적 분석과 실제 가시광 통신 시스템의 구현을 통해 제안한 회로의 우수성을 검증한다.

2. 전류원 방식의 LED 드라이버

2.1 제안하는 LED 드라이버의 동작원리

그림 3은 그림 2(b)에서 구현한 전류원 방식 LED 스위칭 드라이버의 주요 파형을 나타낸다. 이때 인덕턴스는 충분히 크기 때문에 전류의 리플 성분은 무시한다. 그림 3(a)는 LED 구동 전류원인 인덕터 전류이며, 그림 3(b)는 데이터의 송신 신호이다. LED 어레이와 스위치(Q)는 병렬 구조이므로 LED 구동 전류를 송신 신호와 동일하게 출력하기 위해 스위치의 앞 단에 반전 회로를 추가하였다. 그림 3(c)와 (d)는 각각 스위치의 게이트-소스 전압과 스위치 전류 파형을 나타낸다. 송신신호에 의해 제어된 LED 구동 전류를 그림 3(e)에 나타내었다.

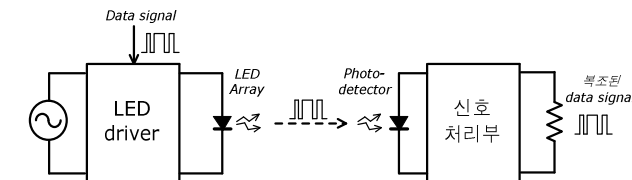
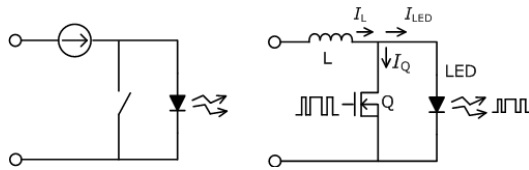


그림 1 가시광 무선 통신 시스템



(a) 제안된 방식

(b) 제안된 방식의 실제 구현

그림 2 전류원 방식의 LED 드라이버

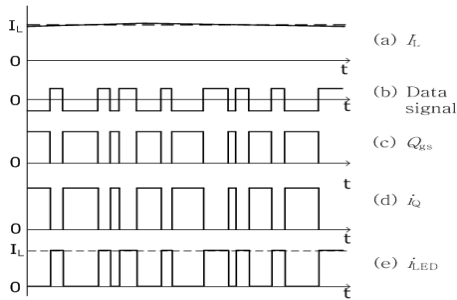


그림 3 제한한 LED Driver의 주요파형

2.2 회로구성

본 논문에서 제안한 전류원 방식의 LED 스위칭 드라이버를 검증하기 위해 그림 4와 같이 벡 컨버터를 적용하여 구현하였다. 기존의 벡 컨버터에서 출력 캐패시터 대신 LED 어레이와 병렬 스위치가 삽입된 구조이다. LED의 광량은 전류에 비례하므로 정전류 제어를 위해 센싱 저항(R_{sen})을 삽입하여 제어단을 설계하였다^[2]. 또한 반전된 송신 신호를 스위치의 게이트에 인가하기 위해 비교기를 사용한 반전회로를 삽입하였다.

2.3 전력변환비

그림 5는 제안된 벡 컨버터를 적용한 LED 스위칭 드라이버의 주요 파형을 나타내며, 인덕터 양단 전압과 시간의 곱 법칙 (voltage-second balance law)을 적용하면 다음과 같이 전력 변환 비 M 을 구할 수 있다.

$$M_{LED, on} = V_o/V_{in} = 2D \quad (D = \text{스위칭주파수}) \quad (1)$$

이때 송신 신호는 맨체스터 코딩 방식^[3]으로 '0'은 High→Low로 표현되며, '1'은 Low→High로 표현되는 신호가 발생된다. 이 방식의 duty(d_{tx})는 50%로 항상 일정하며, V_{sen} 은 V_o 에 비해 매우 작으므로 무시한다. 식 (1)은 LED 도통 시 전력 변환비를 나타내며, 이때 LED 양단 전압(V_o)은 $2DV_{in}$ 이 된다. LED는 50%의 duty를 가진 송신신호에 의해 점멸을 반복하므로 LED 양단 전압 평균은 DV_{in} 이 되며 이는 벡 컨버터의 전력변환 비와 일치한다.

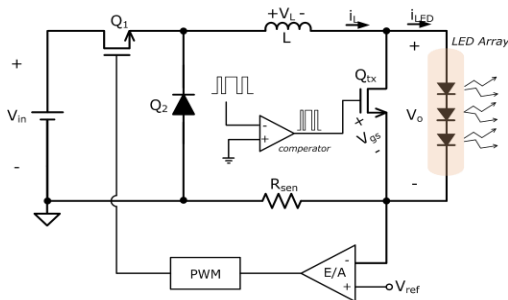


그림 4 벡 컨버터를 적용한 LED 스위칭 드라이버

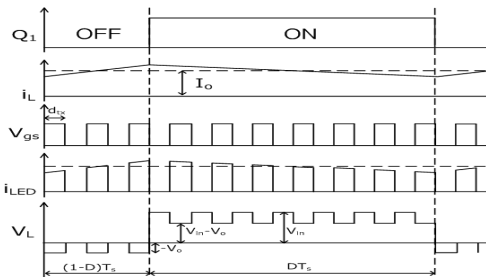


그림 5 벡 컨버터를 적용한 LED 스위칭 드라이버의 주요 파형

3. 실험 결과

제안된 LED 스위칭 드라이버를 검증하기 위해 20W급 LED Array를 사용하여 가시광 무선 통신 오디오 시스템을 구현하였다. DVD 플레이어에서 출력된 오디오 재생 신호는 제안한 LED 드라이버를 통해 LED를 점멸시키게 된다. 구현된 시스템의 실험 파형을 그림 6에 나타내었다. 첫 번째 파형과 두 번째 파형은 각각 가시광 통신을 통해 송신할 데이터 신호(DVD 플레이어의 출력)와 LED 전류 제어 스위치(Q_{tx})의 게이트-소스 전압을 나타낸다. 데이터신호와 LED 전류의 동일한 출력을 위해 송신신호가 반전되어 스위치의 게이트에 인가되는 것을 확인할 수 있다. 반전된 송신 신호를 바탕으로 LED와 병렬 연결된 스위치가 턴-오프 동작을 하므로써 LED가 송신신호와 동일하게 점멸되는 것을 세번째 파형으로부터 확인할 수 있었다.

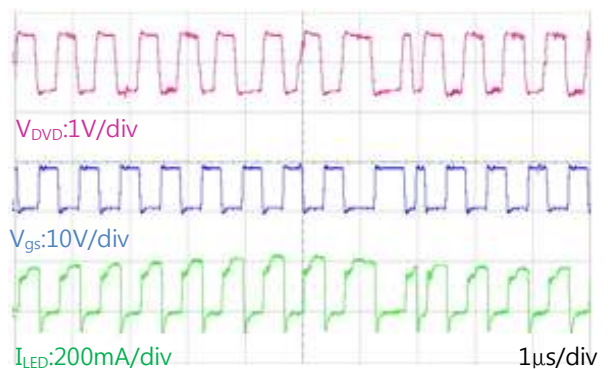


그림 6 가시광 통신 시 주요 동작 파형

4. 결론

본 논문에서는 가시광 무선통신 시스템을 위한 전류원 방식의 LED 스위칭 드라이버를 제안하였다. Linear 방식의 기존 LED 드라이버는 낮은 전력 변환 효율과 이에 따른 발열이 큰 단점이었다. 본 논문에서 제안한 LED 드라이버는 기존 Linear 방식과 달리 LED를 스위칭 방식으로 구동하여 전력 변환 효율이 우수해 대용량 조명 장치에도 적용 가능한 장점이 있다. 제안된 LED 드라이버의 이론적 해석을 실시하였고, 이를 통한 설계와 실제 20W급 LED를 이용한 가시광 무선통신 시스템을 구현하여 제안 시스템의 우수성과 이론적 분석의 타당성을 검증하였다.

본 연구는 지식경제부 및 정보통신 연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C1090-1021-0005)

참고 문헌

- [1] 조상호, 한상규, 노정욱, 홍성수, 장병준, "조명용 LED를 이용한 가시광 통신 시스템 구현", 마이크로파 및 전파전파 학술대회, 2010
- [2] 최진봉, 김관우, 임영철, "FlyBack Converter를 이용한 절연형 조명용 LED Driver", 전력전자학회 논문지, 2009, p167-170
- [3] 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.