

전력선 통신을 이용한 LED 가로등의 원격조도제어 시스템 개발

Remote Dimming Control System Development of LED Street Light using PLC

김 기 남* 유 진 완* 박 종 연**
Kim, Ki-Nam Yoo, Jin-Wan Park, Jong-Yeon

Abstract

In this paper, We proposed remote dimming control system for Light Emitting Diode(LED) street light using Power Line Communication(PLC). LED will be used widely by indoor or outdoor lighting because of semi-permanent life and environment restriction. For energy saving of street light, the dimming control system is very necessary and the PLC is a very efficient technique. Thus, in this paper we proposed the remote dimming control system for LED street light using PLC. A performance of the proposed system was validated by experimental results.

키워드 : 발광 다이오드, 전력선 통신, 조도제어

Keywords : LED, PLC(Power Line Communication), Dimming Control

1. 서론

최근 RoHs(Restriction of Hazardous Substances)와 WEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment Directive)가 세계화됨에 따라서 전기 전자 제품의 폐기물 처리에 관한 환경 제약이 본격화 되고 있다[1]. 또한, 한정된 에너지 고갈로 인한 에너지 절약과 광원의 고 효율화에 대한 관심이 높아지고 있는 추세이다.

LED는 RGB(Red, Green, Blue)를 기본으로 신호등이나 Display등 표시등으로 많이 사용되어져 왔다. 그러나 청색 발광체와 형광체 기술의 향상으로

백색 고전력 LED가 개발되어 High Intensity Discharge(HID) 광원보다 우수한 구조적, 광학적, 환경적, 전기적 특성을 갖게 되었다. 이와 더불어 기존에 조명으로 사용되어진 나트륨, 메탈 할라이드, 형광등과 다르게 별도의 점화기가 필요 없이 DC 전원만 인가해주면 점등되기 때문에 회로가 다른 램프에 비해 간소화되어 기존에 담당하지 않았던 실내조명으로 확산되어졌다. 최근에는 국가의 녹색성장 산업의 지원으로 가로등 및 방범등과 같은 공공시설 조명에 사용되고 있다.

가로등의 원격 조도 제어를 위해 여러 가지통신 방법을 적용하게 되는데, 그 중 전력선 통신은 다른 것들에 비하여 다음과 같은 장점으로 인하여 활용가능성이 매우 높다. 첫째, 별도의 통신선로 없이 기존의 전력선을 이용하므로 그 설치비에 대한 절감 효과가 크다. 둘째, 통신 장비를 설치하기 위한 과정이 거의 불필요하므로 설치가 간편하다 [2][3].

* 강원대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정
** 강원대학교 전기전자공학과 교수, 공학박사, 교신저자

본 논문에서는 광원의 고 효율화와 에너지 절약을 위해 PLC를 이용한 LED가로등의 원격 조도제어 시스템을 제안하였다.

2. 본론

그림 1은 제안한 시스템의 전체 블록도이다. 제안한 시스템은 크게 EMI 필터, 전파 정류 회로, 능동 Power Factor Correction(PFC), LLC 컨버터, 벽 컨버터와 원격 조도제어를 위한 PLC 모듈로 구성된다.

2.1 PLC 시스템 구성

본 논문에서 구성한 전력선 모듈은 진폭 편이 방식(ASK)보다 에러에 강하고, 회로가 비교적 간단한 FSK 변조방식을 적용하였다. FSK 변복조 IC로는 ST사의 ST7540을 사용하였다.

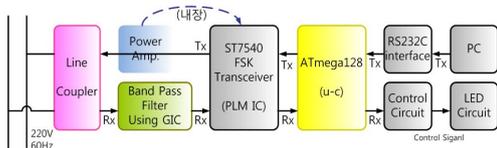


그림 2 FSK 모듈의 블록 다이어그램

FSK 모듈은 그림 2와 같이 구성하였다. 구성된 모듈은 커플링 회로, 송수신 증폭기, 수신필터, 변복조기(ST7540), u-processor, 외부 인터페이스 회로들로 구성된다. PC와의 인터페이스를 구현하기 위하여 RS232 프로토콜을 사용하였으며, 송수신 데이터의 처리 및 부하 제어를 위하여 ATmega 128 프로세서를 사용하였다. 모듈의 캐리어 주파수는 132.5kHz로 구성하였다.

ㄱ. 커플링 회로

커플링 회로의 목적은 모듈로 60Hz의 성분이

유입되지 않도록 하기 위해 기본적으로 High pass Filter의 형태를 하며, 송신 시 전력선으로 모듈의 캐리어 신호를 실어줄 수 있도록 하는 역할을 한다. 커플링 회로는 트랜스포머를 이용하여 모듈회로와 전력선을 절연하며 1:1의 권선 비를 갖도록 하였다.

ㄴ. 송수신 증폭기

통신대역에서의 전력선의 임피던스가 매우 낮고, 변화의 폭이 크기 때문에 출력의 임피던스가 낮고 출력전류 용량이 커야하기 때문에 사용된다. 증폭기는 ST7540 내부의 증폭기를 사용하였다.

ㄷ. 수신 필터

수신 필터는 수신신호만을 검출하기 위한 밴드패스 필터이다. 구성된 필터는 RLC를 이용한 수동필터로 구성하였으며, 제작 시 가장 오차가 큰 소자인 L은 GIC를 이용하여 구성하였다.

ㄹ. FSK Transceiver

ST7540의 송신 주파수는 60-132.5kHz이며, 내부 레지스터의 설정에 의해 결정된다. 데이터 전송 속도는 600bps에서 4800bps까지 가능하며, 0과 1을 구분하는 주파수의 차이는 bps에 따라 다르게 된다.

통신의 신뢰성을 높이기 위하여 여러 가지 코딩 방법 중 DS/SS(Direct Sequence/Spread Spectrum) 방식을 적용하여 에러율을 낮추었다. DS/SS는 데이터 비트에 PN코드를 곱하여 신호의 대역을 확산시킨다. 신호의 대역 확산 시 잡음에 강한 특성을 보이게 된다[4][5].

2.2 LED 전원공급 장치

LED를 구동함에 있어서 가장 중요한 것은 효율이다. LED 자체가 컴팩트하고 효율이 우수하기 때문에 그에 따른 전력변환 장치의 효율도 우수해야

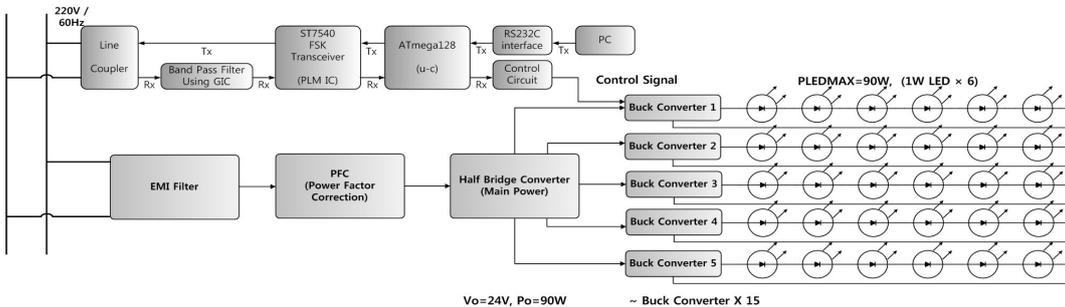


그림 1 전체 시스템의 블록도

LED 조명으로서의 효과를 극대화 할 수 있다.

LED의 시장이 급격히 성장하면서 그에 따른 LED 전용의 고효율 DC 전력변환 기술이 요구되어 지고 있다. 따라서 아래와 같은 LED에 적합한 DC 전원을 공급하는 고효율의 전력변환 장치를 설계하였다.

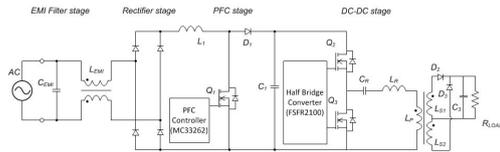


그림 3 LED 전원공급 장치 전체 블록도

그림 3은 LED의 전원공급 장치의 블록도를 나타낸 것이다. 구성은 EMI 필터, 능동 PFC, LLC Half Bridge Converter로 되어있다.

EMI 필터는 외부의 전자기 잡음을 차단하여 회로의 오동작을 방지하며, 능동 PFC는 부스트 컨버터의 형태로 입력 전압을 DC 400V로 승압시키며, 시스템의 역률을 향상 및 총 고조파 왜곡(THD)를 저감시키는 역할을 한다. LLC Half Bridge Converter는 1차측과 2차측이 절연되어 안정적으로 400V의 높은 DC전압을 24V의 낮은 DC 전압으로 변경해주는 DC-DC 컨버터의 일종이다. 플라이 백 컨버터나 벽 컨버터에 비해 공진형 컨버터는 스위칭 순간 스위치의 전압, 전류가 0이 되는 순간에 스위칭 동작을 함으로써 스위칭 손실을 최소화시킨다. 따라서 구조가 복잡하고 가격이 상승하지만 효율성 때문에 100W이상의 고전력에 주로 사용된다[6][7].

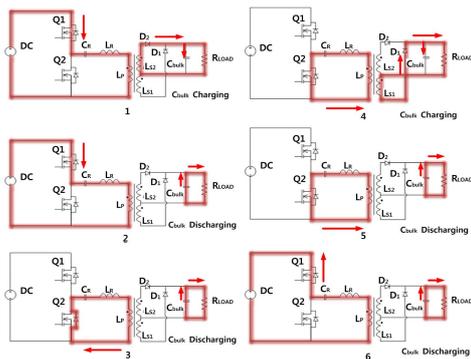


그림 4 LLC 하프 브리지 컨버터 동작원리

그림 4는 LLC 하프 브리지 컨버터의 동작원리에 대해서 나타내었다. 그림에서 1차측의 Q1, Q2는 두 개의 FET로 구성되며, CR, LR, LP는 공진

을 위한 커패시터와 인덕터이다. 여기에서 인덕터는 모두 하나의 트랜스포머에 의해서 구성된다. LR은 실제적으로 공진점을 결정하는 소자로서 1차측 인덕턴스 LP에 따른 누설 인덕턴스(Leakage Inductance)로 구성된다. 2차측은 트랜스포머의 권선비에 따라 크기가 결정되는 정현파를 DC 전압으로 변환하기 위해 두 개의 다이오드와 Bulk 커패시터를 이용하여 정류 하도록 한다. Q1과 Q2는 일정한 스위칭 주파수에 ON / OFF 간 가 일정 시간의 Dead Time을 갖고 스위칭 동작을 한다.

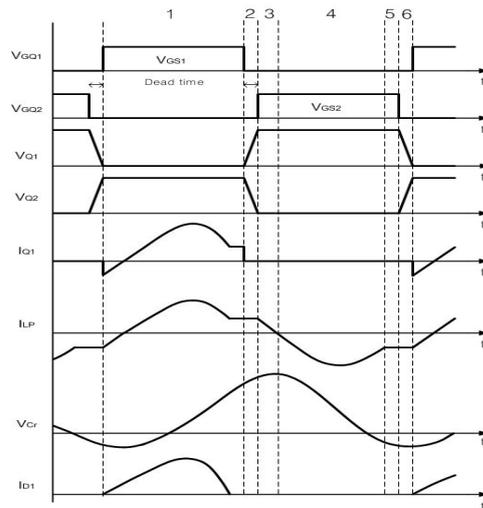


그림 5 LLC 하프 브리지 컨버터의 각 상태별 파형

ㄱ. State 1 (Q1 Turn On State)

그림 4의 1은 Q1이 턴 온 되고, Q2는 오프 상태의 동작을 나타낸다. 스위치 Q1이 턴 온이 되면 공진 전류는 사인파 형태로 증가하게 되고, 최대 전류가 되는 시점에 도달하게 된 후 다시 전류가 감소하게 된다. 이때 2차측 다이오드 D2를 통해 부하에 전력이 공급되어지며, 전력의 일부는 커패시터에 충전 된다.

ㄴ. State 2 (Resonant State)

그림 4의 2는 Q1이 턴 온 된 상태의 공진전류가 흐르는 상태를 나타내고, 2차측 다이오드 D1, D2가 오픈 되어 있기 때문에 Bulk 커패시터의 방전에 의해서 부하에 전력을 공급한다.

ㄷ. State 3 (Free Wheeling State)

그림 4의 3은 Dead Time 구간으로서 Q1과 Q2 모두 턴 오프 된다. 이때 남아있는 공진 전류는 Q2의 환류 다이오드(Free Wheeling Diode)를 통해 흐르게 된다. 이 순간에도 2차측의 Bulk 커패시터의 방전은 지속된다.

르. State 4 (Q2 Turn On State)

그림 4의 4는 Q2가 턴 온이 되면서 역방향의 공진 전류가 흐르게 된다. State 1과 마찬가지로 역방향의 사인과 형태로 감소하게 되며, 최소 전류가 되는 시점에 도달하게 된 후 다시 전류가 증가하게 된다. 마찬가지로 2차측 다이오드 D1을 통해 부하에 전력이 공급되어지고, Bulk 커패시터는 충전된다.

마. State 5 (Resonant State)

그림 4의 5는 Q2가 턴 온이 된 상황이고 역방향의 공진 전류가 증가하게 되고, 2차측 다이오드가 OFF 상태가 되어 Bulk 커패시터가 방전하여 부하에 전력을 공급하게 된다.

바. State 6 (Free Wheeling State)

그림 4의 6은 Q1, Q2 모두 턴 오프 된 Dead Time 구간이다. Q1의 환류 다이오드를 통해 역방향의 공진 전류의 루프를 형성시키고, 전류는 증가하게 되고, 2차측은 Bulk 커패시터의 방전으로 부하에 전력 공급이 이루어진다.

설계된 LED 전원공급 장치의 사양을 표 1에 나타내었다.

표 1 전원공급장치 설계 규격

구분	사양	비고
V_{input}	195V~220VAC	RMS
PF	99%	Full Load
THD	15% 이하	I_{input}
$V_{LLC-output}$	24V	
$I_{LLC-output}$	0 ~ 4A	
$P_{LLC-output}$	96W	Full Load

3. 실험 결과

3.1 PLM의 송·수신

PLM의 송·수신과정을 나누어 각부파형을 그림 6과 그림 7에 나타내었다.

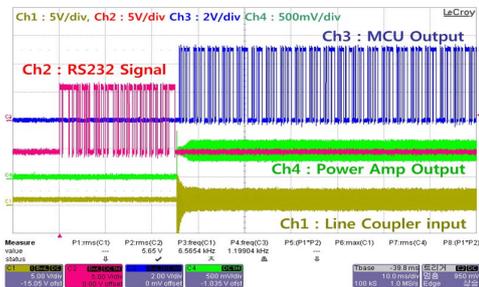


그림 6 데이터 송신 시 모뎀 각부 파형

그림 6에는 PLM의 데이터 송신과정을 나타낸다. 먼저 PC에서 RS232통신을 이용하여 모뎀의 u-processor로 데이터를 전송하게 된다.(Ch2) 전송 받은 데이터는 u-processor에서 PN코드를 곱하여 DS/SS 코딩을 한 후 ST7540에 입력된다.(Ch3) ST7540에 입력된 데이터는 FSK변조가 되어 채널 임피던스에 적합한 크기의 정현파 신호로 Power Amp에 의해 증폭된 후,(Ch4) 라인커플러를 통해 전력선에 신호를 실어준다.(Ch1)

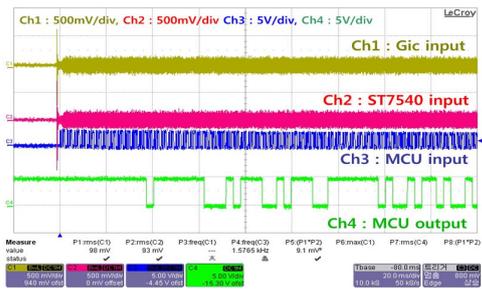


그림 7 데이터 수신 시 모뎀 각부 파형

그림 7은 PLM의 데이터 수신과정을 나타낸다. 라인커플러를 통해 입력받은 정현파 신호는(Ch1) GIC를 이용한 밴드패스필터에 입력되어 노이즈를 걸러낸다.(Ch2) 필터링 된 신호는 ST7540에 입력되어 0, 1의 데이터 신호로 복조된다.(Ch3) 복조된 신호는 PN코드를 곱하여 원신호로 복원된다.(Ch4)

3.2 LED 가로등의 조도제어

LED 전원공급기에 의해 벽 컨버터는 24V를 입력 받아 LED의 V_F 를 만족시켜 줄 수 있는 20V($3.3 \times 6 = 19.8V$)로 강압하며 전류 피드백을 이용하여 LED 모듈을 정 전류로 제어해 준다.

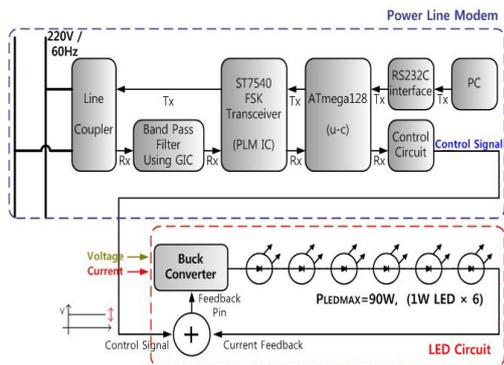


그림 8 LED 가로등의 조도제어원리

그림 8에는 LED 가로등의 조도제어원리를 나타

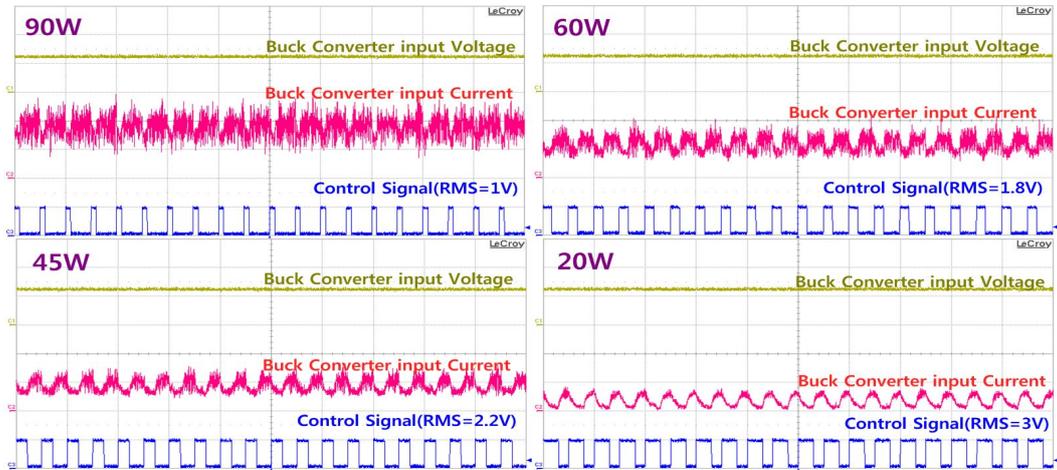


그림 9 제어신호에 의한 LED 가로등의 입력 전압/전류

내었다. LED 가로등의 조도제어는 PLC를 통해 수신된 PWM 신호를 평활한 DC로 변환하여 전류 피드백된 전압과 가산된 후 백 컨버터 구동 IC의 피드백 단자에 입력된다. 가산된 전압을 피드백 받은 백 컨버터 구동 IC는 실제 LED에 흐르는 전류에 대한 피드백 전압보다 높기 때문에 출력을 줄이게 된다.

이와 같은 원리를 이용하여 PLC에서 수신된 조도제어 신호에 따른 LED 가로등의 출력변화를 그림 9에 나타내었다. 실험을 통해 측정된 값은 모뎀의 u-processor의 출력(control signal), LLC 컨버터의 출력(백 컨버터 입력)의 전압, 전류를 측정하였다. LLC 컨버터의 출력 단에 15개의 백 컨버터와 LED 모듈이 병렬 연결되어 있기 때문에 LED 모듈의 전압, 전류 측정이 어렵기 때문에 LLC 컨버터의 출력 전압, 전류를 측정하였다. 조도제어는 20W에서 90W의 범위를 갖는다.



그림 10 PLC 모뎀



그림 11 전원 공급 장치

그림 10과 그림 11에는 제작된 PLM과 LED 전원 공급 장치의 프로토타입을 나타내었다.

4. 결론

광원의 고 효율화에 따라 기존의 HID 램프는 LED로 교체되는 추세이다. 따라서 본 논문에서는 24V 출력 및 효율 85% 이상의 하프 브리지 컨버터, 95% 이상의 고 역률 능동 PFC를 설계 하여 실험을 통해 LED 가로등 시스템을 제안하였고, 실험을 통하여 그 성능을 입증하였다. 또한 에너지 절약을 위해 전력선 통신을 이용한 조도 제어 시스템을 제안하였다. 따라서 가로등, 보안등 및 공원등에 응용 가능하기 때문에 LED 가로등의 제품 시장 확대에 큰 기여를 할 것으로 사료 된다.

참 고 문 헌

- [1] 황명근, 장우진, 양승용, “환경 규제에 따른 조명 산업 발전 방안 연구”, *한국조명·전기설비학회 2007춘계학술대회 논문집*, 160p, 2007.
- [2] Moon kyou Song, Sug chin Sakong, Kyunhyon Tchah, “Realization of power line modem using a direct sequence spread spectrum technique”, *IEEE trans. on Consumer Electronics*, pp. 646-652, Aug. 1993.
- [3] Goiser, A.M.J, “Direct-sequence spread-spectrum modem for data communications over power-lines”, *MILCOM 97 Proceedings*, pp.1052-1056, Nov. 1997.
- [4] Mok-soon Jang, “The design and realization of a power line communication MODEM using the direct sequence spread spectrum

- technique”, Kangwon national university graduate school dotor thesis. 1998.
- [5] Won-ho Choi, “A study of the synchronized system in the DS/SS power line modem”, Kangwon national university graduate school master thesis. 2004.
- [6] Lin, B.-R., Chen, J.-J. and Yang, C.-L. “Analysis and Implementation of Dual-Output LLC Resonant Converter”, *IEEE International Conference, Industrial Technology*, pp. 1-6, 2008.
- [7] Yilei Gu, Lijun Hang, Chen, Zhengyu Lu, Zhaoming Qian, Jun Li .“A Simple Structure of LLC Resonant DC-DC Converter for Multi-output Applications” *APEC 2005. Twentieth Annual IEEE*, Vol. 3, pp. 1485-1490, 2005.