

AC LED 용 Digital Dimmer

김상일*, 박인기**, 하석진**, 김종현***, 유동욱***, 김인동*
부경대학교*, (주)에어텍 시스템**, 한국전기연구원***

Digital Dimmer for AC LED

Sang-Il Kim*, In-Gi Park**, Seok-Jin Ha**, Jong-Hyun Kim***, Dong-Wook Yoo***, In-Dong Kim*
Pukyong National University*, Airtecsystem**, KERI***

ABSTRACT

본 논문은 AC LED에 적합한 Digital Dimmer에 관한 연구이다. PWM 방식을 이용하여 조광 범위를 0~100% 되게 하였을 뿐만 아니라 AC LED를 상용 전원에 연결하여 사용 시 발생하는 플리커 문제를 플리커 개선 알고리즘을 추가하여 해결하였다.

1. 서론

AC LED는 차세대 조명등 램프로 세계 최초로 국내 기업에서 개발되었다. 그 구조는 서로 역방향으로 연결된 한 쌍의 다이오드가 다수 연결된 구조이다. 기존의 조명과 달리 AC LED는 친환경적이고 반영구적인 장점이 있다.

딤머(dimmer)는 최근 생활수준의 향상으로 인해 일반 가정 및 사무실에 각 구성원 간의 시력보호, 능률향상, 실내분위기 조성을 위하여 적절한 조명 시스템을 설치하기 위해 반드시 필요한 기능으로 부각되고 있다.^[1] 또한 에너지 절약을 위해 절전 기능을 강조함에 따라 필요한 곳에 필요한 밝기만 유지하는 딤머의 역할이 더욱 중요해 지고 있다.^[2]

세계 최초로 개발된 AC LED의 딤머로서 기존의 위상 제어(phase control)방식을 이용한 형광등 전용 딤머의 사용이 고려되었으나 조광범위가 AC LED와는 맞지 않고, 조광 시 많은 저주파 고조파를 발생시켜 고조파 규제 대응에 미흡한 것으로 판단되었다.^[3-4] 따라서 저주파 고조파를 발생 시키지 않는 AC LED에 적합한 친환경적인 딤머 개발이 필요하고, 개발한 디지털 딤머의 조광 범위도 사용자 편의성을 위해 0~100% 조정이 가능한 것이 필요하다. 또한 상용 전원에 직접 연결하여 사용되기 때문에 이로 인해 발생 되는 플리커(flicker) 문제를 개선하는 것도 필요하다. 플리커 문제는 전압 변동이 심한 나라에서는 심각하게 발생하는 것으로 사용자의 눈을 매우 피로하게 한다. 따라서 전압 변동에도 AC LED의 밝기를 유지해 주는 플리커 개선 기능이 딤머에 포함되는 것이 반드시 필요하다.

이를 위해 본 논문에서는 AC LED에 적합하고 사용자 편의성이 높은 디지털 딤머를 제안하고 부가기능으로 플리커 개선 기능을 추가하였다. 디지털 딤머는 PWM(pulse width modulation) 방식을 사용하여 기존 방식의 조광범위가 좁은 문제를 해결하였고 저주파 고조파 발생도 없어 고조파 함유율이 작은 장점을 가지고 있다.^[5]

2. 제안된 AC LED Dimmer

2.1 제안된 AC LED 디지털 딤머 회로

제안된 AC LED 딤머의 회로는 그림 1과 같이 구성 되어 있다. 디지털 딤머의 EMC(electromagnetic compatibility) 대책을 위해 딤머의 앞쪽에 EMI(electromagnetic interference) 필터를 배치하였다. 다이오드 브릿지와 MOSFET를 이용하여 전류가 양방향으로 흐를 수 있게 구성 하였다. 딤머에 플리커 개선 알고리즘을 추가하기 위해서 전류제어를 해야 되므로 MOSFET와 접지 사이에 센싱(sensing) 저항을 이용하여 전류를 감지하게 하였다.

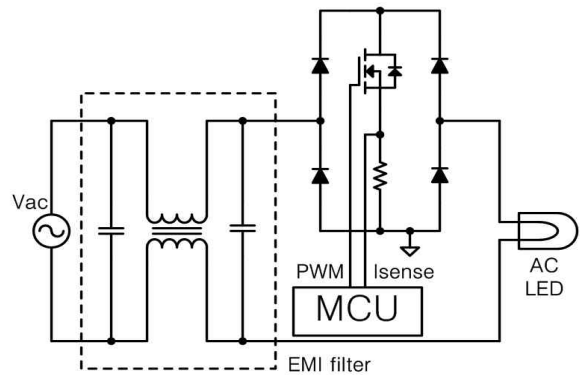


그림 1. 제안된 AC LED 딤머 회로

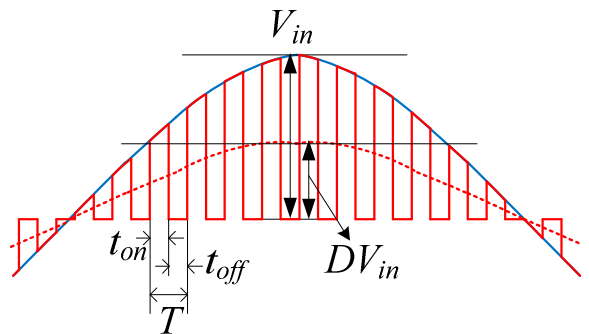


그림 2. AC LED 딤머의 동작파형
(파란 실선 : 입력 전압, 빨간 실선 : 출력 전압
빨간 점선 : 평균 출력 전압)

그림 2는 AC LED 댐퍼의 동작 파형이다. 입력전압을 일정한 주기로 PWM하고 시비율을 변화 시켜서 출력 전압의 평균치를 제어 한다. 출력 전압 방정식은 다음과 같다.

$$V_{out} = D \cdot V_{in} = \frac{t_{on}}{T} \cdot V_{in} \quad (1)$$

V_{out} 은 댐퍼의 출력 전압, D 는 시비율, V_{in} 은 입력 전압을 나타낸다. 입력 전압 변동에도 AC LED의 밝기를 유지해 주는 플리커 개선 기능을 추가하면 V_{in} 이 바뀌어도 V_{out} 을 일정하게 유지할 수 있다. 순간적으로 입력전압이 증가하면 시비율을 감소시키고, 입력 전압이 감소하면 시비율을 증가시켜 플리커를 줄이게 된다.

2.2 디지털 댐퍼의 동작 설명

디지털 댐퍼의 조광동작과 플리커 저감 알고리즘을 설명하면 다음과 같다.

AC LED에 입력전원이 인가되면 디지털 댐퍼를 통해서 AC LED를 ON/OFF 및 0~100% 조광범위 조정이 가능해야 한다. 또한 부가기능으로 입력 전압 변동에도 AC LED의 밝기를 유지해 주는 플리커 개선 기능이 댐퍼에 추가 되어야 한다. 이러한 기능은 MCU(microcontroller unit)를 사용하여 구현하였다. MCU는 ATMEGA8을 사용하였다.

PWM을 만들기 위해 MCU의 내부 타이머/카운터를 이용하였다. MCU에서 PWM 모드를 동작 시키면 AC LED는 켜지고, PWM 모드를 동작 시키지 않으면 AC LED는 꺼지게 하였다. 댐퍼의 밝기는 제어에 이용되는 기준 값(reference)을 변화 시켜서 AC LED의 밝기를 조절 하였다. AC LED의 ON/OFF와 기준 값 설정은 푸쉬(push) 스위치를 사용하여 조절 하였고, 폴링(polling)방식을 이용하였다. 스위치 입력 시 외부에서 스위치는 한번 누르지만 MCU에서는 스위치 동작을 여러 번 인식하므로, 임의의 카운터를 주고 스위치 한 번의 개념을 주어서 오동작을 방지 하였다.

전압 변동 발생시 AC LED의 밝기를 유지해 주는 플리커 개선 기능을 추가하기 위해 디지털 댐퍼에 PID제어를 추가 하였다. 디지털 댐퍼 제어는 그림 3의 동작을 반복함으로써 입력 전압이 바뀌어도 빠르게 AC LED의 밝기를 유지 하도록 한다.

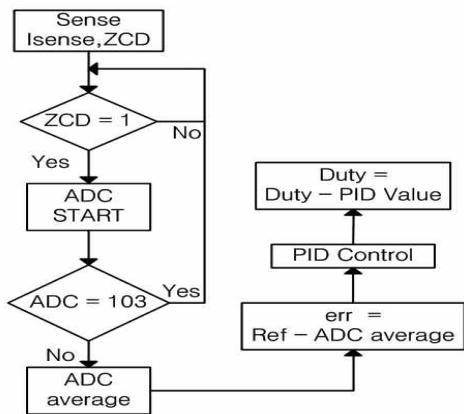


그림 3. 디지털 댐퍼 제어 동작 순서도

먼저 ZCD(Zero Current Detector)를 이용하여 입력 전류가 0이 되는 순간을 파악하고 이 순간에 발생하는 펄스를 이용하여 센싱 전류의 평균값을 내는 시작점을 주었다.

센싱 전류의 평균값은 일정 주기(16.66ms)에 일정한 시간으로 받아들여 구하였다. 평균은 링 카운터 방식을 사용하여서 계속해서 구해진다. 입력 전원의 반주기(8.33ms) 동안 103번을 나누어 평균을 구하였다. 반주기를 나누는 값이 작으면 ADC(Analog to Digital Converter)하여 받아들인 전류 평균값의 변화가 크고, 반주기를 나누는 값이 크면 MCU의 연산 시간이 길어져서 제어가 느려진다.

원하는 기준 값과 ADC하여 받아들인 전류 평균값(ADC average)의 차를 에러(err) 값으로 한다. 이렇게 얻은 에러 값을 이용하여 빠른 응답 속도와 정상 상태 오차를 줄이기 위해서 비례적분미분(PID)제어를 한다. 비례제어만 있을 경우 평균값은 기준 값 근처로 가지만 정확히 기준 값에는 도달하지 못하고 정상 상태 오차가 발생 한다. 이 경우 AC LED의 밝기는 입력 전압이 바뀌면 일정한 밝기로 유지가 되지 않는다. 비례 제어에 적분제어를 추가 할 경우 정상상태 오차가 줄어들고 목표 값에 따라간다. 하지만 천천히 따라가므로 입력이 바뀌면 AC LED의 밝기는 바뀐 입력 전압의 밝기에서 원하는 밝기로 천천히 따라 가게 된다. 비례적분제어에 미분제어를 추가하면 입력 전압에 빠르게 반응하여 원하는 밝기를 출력 하게 된다.

2.3 실험 파형

제안한 디지털 댐퍼의 동작과 플리커저감 기능을 확인 하기 위해 아래 표 1의 조건으로 실험을 진행하였다.

표 1. 디지털 댐퍼의 동작 조건

입력전압	220Vac, 60Hz	입력전압변화	40Vac
부하	4W×10, Acriche	동작주파수	100kHz
MCU	ATMEGA8	주 스위치	11N60C3
다이오드	BYV27-400	센싱저항	1Ω

그림 4는 AC LED 출력전압과 센싱 전류 파형이다. 출력 전압은 디지털 댐퍼의 스위치 온 시 입력 전압이 출력 전압이 된다. 스위치 오프 시 AC LED의 저항이 무한대로 되기 때문에 오프 시에도 전압이 인가된다. AC LED 특성상 -160~160V를 넘어선 구간에서 PWM동작이 나타난다. 이 구간에서 시비율을 조절하여 AC LED의 밝기를 조절한다.

센싱 전류파형은 MCU에 들어가기 전의 파형이다. 센싱 저항에서 받아들인 전류의 크기가 작아서 증폭하고 정류를 하였다. 센싱 전류파형은 출력전압의 PWM동작 구간에서 나타난다.

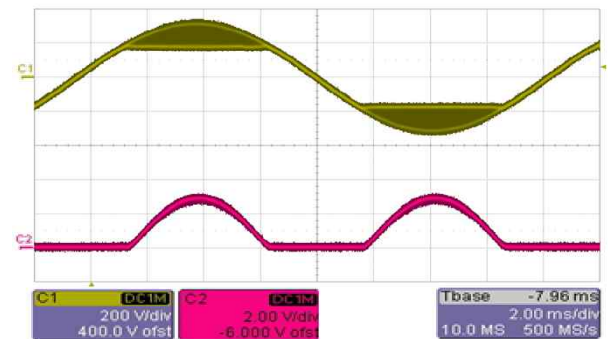


그림 4. AC LED 댐퍼 C1 출력전압, C2 센싱 전류

디지털 댐퍼의 제어 성능을 명확히 확인하기 위해 저항 부하를 이용하여 실험 하였다. 그림 5는 입력전압을 천천히 증가,

감소시켰을 때의 파형으로 플리커 저감 제어 기능이 없을 때 입력전압과 출력전압의 파형이다. 입력전압이 바뀌므로써 출력전압도 같이 바뀌는 것을 볼 수 있다. 이 경우 AC LED의 밝기가 바뀐다. 그림 6은 플리커 저감 제어 기능이 있을 때 파형으로 입력 전압이 바뀌어도 일정한 출력 전압이 출력됨을 볼 수 있다. 이 경우에는 입력전압이 바뀌어도 출력 전압이 일정하므로, AC LED의 밝기는 일정하게 유지된다.

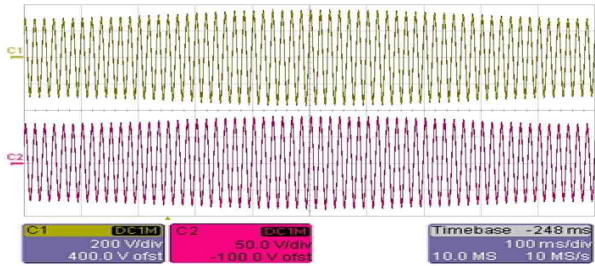


그림 5. 플리커 저감 제어 기능이 없을 때 C1입력전압, C2출력전압

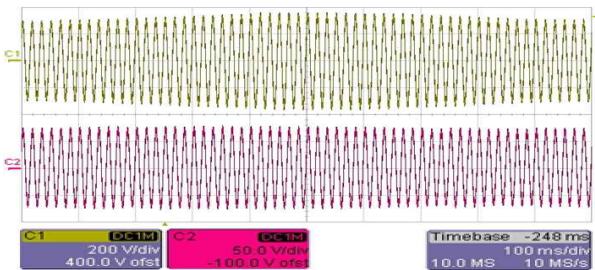


그림 6. 플리커 저감 제어 기능이 있을 때 C1입력전압, C2출력전압

그림 7, 8은 제안된 디지털 댐퍼의 스텝(step) 응답을 실험한 결과이다. 입력전압을 200V에서 240V로 스텝 증가시켰을 때 플리커 저감 제어 기능이 있을 경우, 댐퍼의 출력은 한주기(16.6ms) 시간 후에 안정되는 것을 볼 수 있다.

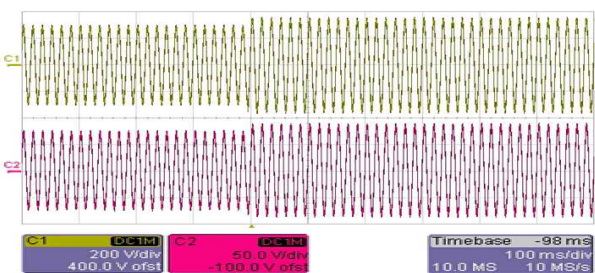


그림 7. 플리커 저감 제어 기능이 없을 때 스텝 증가 파형

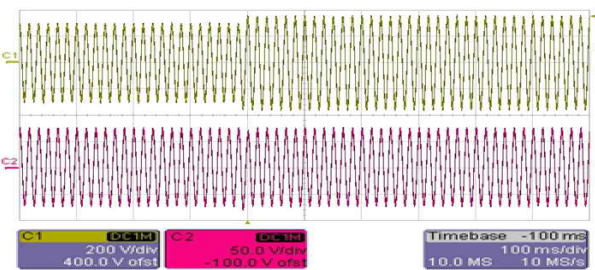


그림 8. 플리커 저감 제어 기능이 있을 때 스텝 증가 파형

그림 9, 10은 제안된 디지털 댐퍼의 스텝(step) 응답을 실험한 결과이다. 입력전압을 240V에서 200V로 스텝 감소시켰을 때 플리커 저감 제어 기능이 있을 경우, 댐퍼의 출력은 한주기(16.6ms) 시간 후에 안정되는 것을 볼 수 있다.

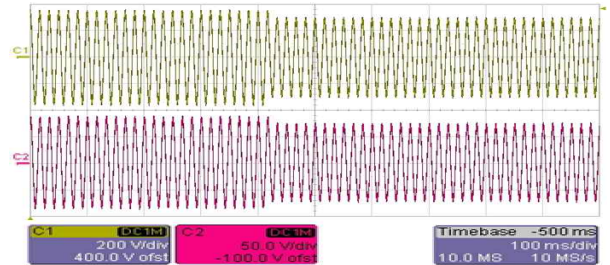


그림 9. 플리커 저감 제어 기능이 없을 때 스텝 감소 파형

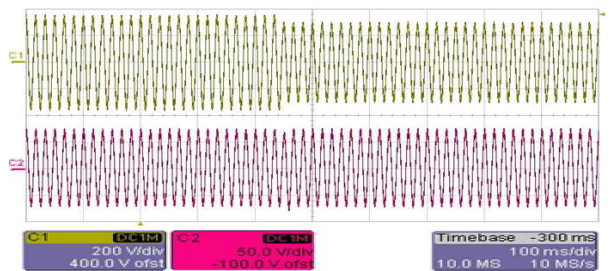


그림 10. 플리커 저감 제어 기능이 있을 때 스텝 감소 파형

3. 결론

본 논문에서 제안된 디지털 댐퍼는 EMI 필터, 다이오드 브릿지 회로, MOSFET로 구성 되어있고, 사용한 MCU는 ATMEGA8이다. PWM 방식을 사용하여 기존의 위상 제어 방식의 조광범위가 좁은 문제와 저주파 고조파 발생 문제를 해결하였다. 또한 플리커 개선 알고리즘을 디지털 댐퍼에 추가하여 플리커로 인한 사용자의 불편함을 감소시키고자 하였다. 실험을 통해 제안된 AC LED용 디지털 댐퍼의 성능을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] 정승환, 최익, 최주엽, "디지털 디머 시스템 개발 연구", 한국조명·전기설비학회, 조명·전기설비학회 논문지 제22권 제 5호, pp. 108-115, 2008년 5월.
- [2] J. Smith, J. Speakes, and M. H. Rashid, "An overview of the modern light dimmer: design, operation, and application", IEEE Power Symposium, Proceedings of the 37th Annual North American, pp. 299-303, 2005, October.
- [3] C. S. Wang, "Flicker-insensitive light dimmer for incandescent lamps", IEEE Trans. Indus. Elec., vol. 55, no. 2, pp. 767-772, 2008, February.
- [4] M. H. Rashid, "Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications", Third edition. Peason Education, pp. 309, 2004.
- [5] 김종현, 배주원, 민병덕 "A PWM Dimmer Using Two Active Switches for Incandescent Lamp" 전력전자학회 학회학술대회 발표 자료, 2009년 7월.