2009년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2009. 7. 14 - 17

고출력 LED 구동회로의 방사잡음 저감에 관한 연구

서정남, 여인선
전남대학교 전기공학과

Investigation on the Reduction of Radiated Emission Noise in a High Power LED Module Circuit

Jung-nam Suh, In-seon Yeo
Dept. of Electrical Engineering, Chonnam National University

Abstract - This paper investigates the reduction of RE(Radiated Emission) noise in a high power LED module circuit using PWM(Pulse Width Module) switching controller circuit. Poorly designed LED lighting module can experience the RE and CE(Conducted Emission) noise problem.

This paper propose the reduction of noise source and improvement of EMI filter design in a high power LED lighting module. The experimental and simulation results showed that reduce the RE noise level effectively.

1. 서 론

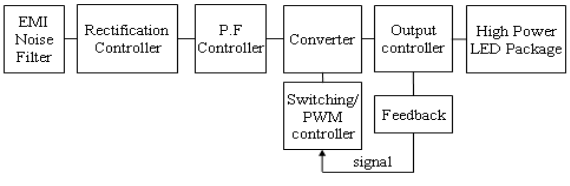
조명설계에 있어 광원 다변화로 인해 LED 응용제품이 많이 출시되고 있지만 고출력 LED 광원을 조명제품에 적용 시, 광효율 증가와 방열문제의 개선뿐만 아니라 제품의 신뢰성과 안전성을 확보하기 위해 전자기파 잡음 저감의 중요성도 대두되고 있다. 고기능성 및 고출력화가 필요한 LED 조명제품은 제품 특성상 좁은 공간에 많은 부품 실장과 고출력 회로 등이 설계되어야 하므로 조명제품에서 방열 문제와 EMI 잡음 문제를 발생 시킬 수 있다.[1]

고출력 LED 조명제품에서 나타날 수 있는 EMI 잡음은 크게 전원선로를 통해 방사되는 전도잡음(CE)과 대기 중에 방사되는 방사잡음(RE)으로 분류된다. 본 논문에서는 방사잡음 대책으로 고출력 LED 조명회로에서 발생되는 잡음원 감소방법과 개선된 필터 설계법을 제안하였으며 시뮬레이션과 실험 결과를 통하여 제안된 기법의 타당성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 고출력 LED 조명 구동회로

고출력 LED 조명용 구동회로 설계 시, 고출력 LED에 일정전압을 인가시키는 SMPS(Switching Mode Power Supply) 구동방식이 많이 사용된다. 일반적인 SMPS 구동방식은 그림 1과 같이 EMI 잡음필터를 거친 후 정류부를 통해 정류 시킨 다음 정류된 전압을 PWM 제어장치를 이용하여 출력전압 및 전류를 일정하게 유지시킨다. 고출력 LED의 전류변화에 따른 출력전압 변동은 Feedback회로에서 검출하여 PWM 제어장치로 보내 일정 전압을 유지시키도록 한다. 이 방식은 고출력 LED에 안정적인 전원공급을 하기위해 많이 사용되며 LED제어를 위한 부가적인 회로와 고역율 구현을 위한 고역율회로를 추가할 수 있다.



〈그림 1〉 고출력 LED 조명 구동회로

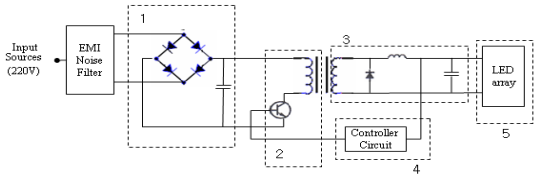
고출력 LED 구동회로는 LED 구동특성, LED 배열방법, LED 수명 등 LED의 광학적 특성과 전력소비량, 제품 효율 등 전기적 특성에 직접적인 영향을 줄 수 있으므로 고출력 LED 특성이 잘 구현될 수 있는 설계가 필요하다.

2.2 고출력 LED 조명 구동회로의 EMI 발생원

저전력이 필요한 용도에서는 상용 IC를 이용하여 LED 구동회로를 구성할 수 있지만 고출력과 교류전력을 사용할 경우는 대부분 전원회로를 직접 설계해야 한다.

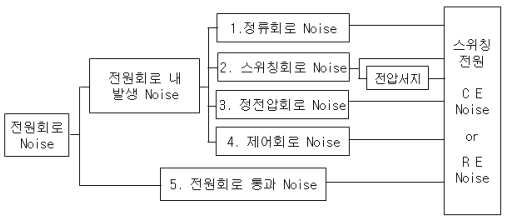
고출력 LED 조명 구동회로 설계는 일정 전압을 출력하는 PWM 스위칭 회로가 많이 적용된다. PWM 스위칭 전원은 효율이 좋고 소형화할 수 있기 때문에 가장 일반적인 고출력 LED 조명 전원장치로 많이 사용되고 있다. PWM 스위칭 전원은 상용 교류전원을 정류한 다음 스위칭을 한 후 정류하는 방식이 사용되는데 이때 각 공정제어 시, FET의 스위칭 주파수에서 고조파 성분을 많이 포함하고 있는 왜곡파가 발생하여 스위칭 전원에서 불필요한 EMI 잡음이 발생될 수 있다.[2]

고출력 LED 조명설계는 구동회로와 여러 부가적 기능을 구현하기 위한 여러 회로들로 구성되어 동작하는데 이런 부가회로에서도 EMI 잡음이 발생될 수 있다. 고출력 LED 조명 구동회로 설계 시, 그림 2와 같이 상용전원을 사용하여 LED array들에 대한 전원을 구성하는 경우는 정류회로(1), 스위칭회로(2), AC-DC convert회로(3), 제어회로(4), LED 소자(5) 등으로 구성이 되며 각 모듈별 특성에 따라 자체 잡음원이 될 수 있으며 상호 모듈별 연결에 의해서 신호간섭 등 상호 잡음원이 존재 할 수 있다.



〈그림 2〉 고출력 LED 조명의 EMI 잡음 발생원

스위칭 전원의 잡음 발생원인은 상용전원의 정류 파형에 의한 것과 스위칭 파형에 기인하는 것이 있으며 정전압 IC의 방열판, 트렌스퍼머 그리고 대용량 수동소자 주위에서도 발생한다. 전원부에서 방사되는 EMI 주파수 대역은 약 30 MHz에서 300 MHz 대역에서 주로 나타난다. 고출력 LED 조명 구동회로에서 발생할 수 있는 잡음원별 구분을 하면 그림 3과 같이 전원회로 내에 발생하는 잡음과 전원을 통과하는 잡음으로 구분할 수 있으며 전원회로내의 잡음은 정류회로 잡음, 스위칭회로 잡음, 정전압회로 잡음, 제어회로 잡음 등으로 구분된다. 이 중 스위칭회로의 잡음은 서지전압에도 취약한 구조를 가지고 있다.



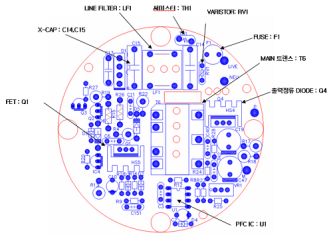
〈그림 3〉 고출력 LED 조명 전원회로의 잡음 계통도

이러한 고출력 LED 구동회로에서 발생되는 잡음성분들은 상호 융합과 간섭을 통해 전도성잡음 성분이나 방사성잡음 성분으로 고차의 고조파 성분으로 잡음을 유출한다.

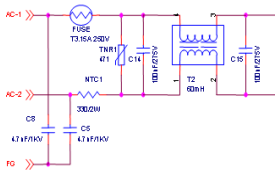
2.3 고출력 LED 조명제품의 EMI 측정

고출력 LED 조명 구동회로에서 발생되는 EMI 잡음 분석을 하기 위해 국내사의 15 W급 Flyback Converter방식의 고출력 LED 센서등을 선정하였으며 이 제품은 E26 베이스 기반의 고역율(90 %이상)을 구현하고 있다. 실험에 사용된 고출력 LED 조명 구동회로의 부품 배치도는 그림 4와 같이 좁은 실장 공간에 능동소자, FET, 라인필터 등 많은 부품들이 실장되어야 함으로 발열과 신호간섭에 의한 전자기적 잡음 발생이 다른 LED 응용 조명제품보다 쉽게 노출되어 있는 구조이다. 1차측 EMI 필터설계 부분은 그림 4의 회로도에서 위쪽 부분에 나타나

있으며 컨버터회로는 중앙에 있고 스위칭회로는 중앙 우측으로 설계하였다. EMI 필터 설계는 그림 5와 같이 나타내었으며 상용전원 입력단에 라인필터용으로 커패시터(104)를 사용하고 surge 차단용으로 TNR을 사용하였으며 잡음 감쇄용 코일인 페라이트코일(60 mH)을 입력단에 사용하였다.

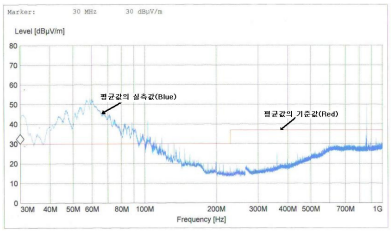


〈그림 4〉 15W급 LED 센서등의 부품 PCB 배치도



〈그림 5〉 15W급 LED 센서등의 EMI 필터

시료에 대한 방사잡음 측정은 그림 6과 같이 KS C 0262-4(R-B, Vertical standard)기준에 의거 평균값의 실측값을 30 MHz에서 1 GHz 대역의 주파수 범위에서 측정하였다. 방사잡음 레벨은 30 MHz ~ 100 MHz 대역에 걸쳐 주로 높게 나타나고 있으며, 이 값은 평균값의 기준값에 비해 약 10 ~ 20 dB을 초과한다. 이와 같은 잡음원은 구동회로 설계 시, FET에서 스위칭 주파수의 고조파 성분에 기인하여 발생된 잡음이 저주파수 대역에 고르게 존재하거나 회로 자체의 방사원 잡음 성분이 공존하고 있음을 알 수 있다.



〈그림 6〉 초기 고출력 LED 조명램프의 방사잡음 측정결과

2.4 고출력 LED 조명 구동회로에서의 잡음 저감 대책

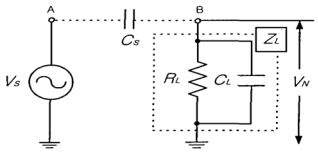
고출력 LED 조명 구동회로에서 발생된 잡음 저감을 위해 구동회로 PCB 상에서 발생되는 원천적 잡음원을 감쇄시켜 불필요한 잡음성분을 제거한 후 입력단에 EMI 잡음 필터인 라인필터와 X, Y 커패시터 시정수 값을 최적으로 선정하여 EMI 잡음을 기준값 이하로 저감 시킨다.

방사잡음원 성분 원인은 제품 내부에 이웃하는 회로나 도체에 어떤 영향을 미치느냐에 따라 정전결합, 복사성 결합 형태 등으로 나타날 수 있으며 이들 결합이 제품 내부에 어떤 영향을 미치는지를 알아야 방사 잡음 저감 대책을 세울 수 있다.[3]

2.4.1 정전결합

정전결합은 그림 7과 같이 잡음원 회로 A와 잡음에 영향을 받는 회로 B가 커패시터로 결합되어 있는 상태에서 나타나며 A, B 간의 결합정도는 B와 접지 사이의 임피던스로 나타낸다. Z_L은 R_L과 C_L의 조합으로 나타냄으로 잡음전압 크기는 식 (1)과 같이 나타내며 임피던스를 낮출수록 잡음을 줄어든다.

$$V_N = 2\pi f R_L C_s V_s \qquad (1)$$

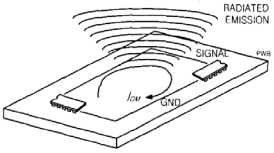


〈그림 7〉 정전결합 형태

이와 같은 정전결합 형태의 잡음을 저감시키기 위해 고출력 LED 구동회로 설계 시, 회로 선간 간격을 크게 하고 잡음원의 영향을 받을 만한 회로에 임피던스를 낮추어 방사 잡음원을 감소 시켰다.

2.4.2 복사성 결합

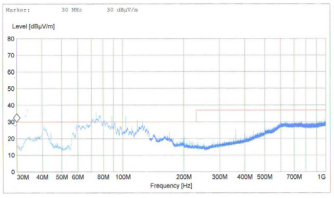
복사성 결합은 잡음원으로부터 전파가 복사가 되고 그것이 다른 회로에서 수신되어 방해 전압이 유기되는 결합이다. 그림 8과 같이 복사성 결합의 차상모드(DM)는 폐회로 내에 전류가 흘러 폐회로 전체가 안테나 역할을 함으로써 발생되는 장해이다. 차상모드의 잡음은 PCB 기판의 패루프 패턴에서 나타날 수 있고 복사되는 전계의 영향을 감소시키기 위해 패루프 면적을 줄인 설계를 한다.[3]



〈그림 8〉 복사성 결합 형태DM(Differential-Mode)

2.5 실험결과 및 분석

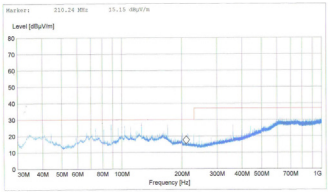
고출력 LED조명 구동회로 설계 시, PCB 잡음원을 감소시키기 위하여 선간간격을 크게 하였고 PCB기판의 패루프 면적을 작게 설계하였으며 방열판의 모든 면에 대한 접지 등을 실시한 후, 측정한 고출력 LED 구동회뢰의 방사잡음 측정결과를 그림 9에 나타내었다.



〈그림 9〉 잡음원 개선 후 방사잡음 측정결과

측정결과 30 MHz에서 100 MHz 대역의 전체적인 잡음 감쇄결과를 볼 수 있었으나 70 MHz에서 110 MHz 대역에서 기준보다 약간 높은 5 dBuV /m 정도의 잡음파형이 존재한다. 이는 1차 입력단 EMI필터의 시정수 값의 수정을 통하여 해결하였다.

공진주파수의 FET 잡음을 감쇄시키고자 여러 반복 실험을 통해 1차측 EMI 필터 중 공통 모드 필터, X-cap(104)을 X-cap(334)로 변경하고 라인 필터 용량을 60 mH에서 25 mH로 교체하였다. 커패시턴스값은 올리고 인덕턴스값은 감소하는 시정수변동을 통해 잡음을 그림 10과 같이 70 MHz ~ 110 MHz 대역에 걸쳐 전반적으로 약 15 dB/uV의 잡음 감쇄가 나타났다. 이는 라인필터 용량 값 큰 것이 주파수 대역에 따른 잡음저감효과에 항상 좋은 영향을 끼치는 것이 아니라 회로 내부 역할에 맞게 선정되어야 한다는 것을 알 수 있다.



〈그림 10〉 개선된 고출력 LED 조명램프의 방사잡음 측정결과

3. 결 론

고출력 LED 구동회로에서 발생되는 EMI 잡음 중 방사잡음 저감을 위해 구동회로의 잡음원 감쇄와 EMI 필터 시정수 변경을 통해 방사잡음이 저감된 결과를 도출하였다. 구동회로는 좁은 공간상에 많은 회로를 설계해야 함으로 EMI 필터 크기를 최소화하는 설계가 필요하며 근본적인 구동회로에서 발생할 수 있는 잡음원 제거를 통해 잡음을 줄이는 설계를 해야 한다. 향후 EMI 잡음 중 SMPS 회로에서 주로 나타나는 전도성분의 잡음 시험도 실시하여 모든 EMI 잡음 문제를 해결해야 한다.

[참 고 문 헌]

[1] H. Ott, "Noise Reduction Techniques in Electronic System", 2/e, New York, 1988, John Willy & Sons.
[2] Sheng Ye, Wilson Eberle, and Yan-Fei Liu, "A Novel EMI Filter Disgn Method for Switching Power Suppliers", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 19, No. 6, Nov., 2004.
[3] 박석하, "전기·전자장비의 EMI/EMC", 조명전기설비학회지, 13권, 제4호, 1999.