

LED driver 모델링 및 시뮬레이션에 관한 연구

(Modeling and Simulation of LED Driver)

한수빈* · 박석인 · 송유진 · 정학근 · 정봉만 · 유승원

(Soo-Bin Han · Suck-In Park · Eugene Song · Hak-Guen Jeoung · Bong-Man Jung · Sung-Won You)
한국에너지기술연구원

Abstract

This paper shows the method of modeling and simulation of LED driver circuit. Simplified LED modeling is introduced and a driver IC, HV9910, is modeled by implementing the major function blocks. Circuit of buck type converter is constructed for simulation. Simulation includes the internal function of IC and various performances such as LED array current control and dimming. This results show that simulation approach is valid for circuit optimization and reduction of development time.

1. 서론

LED 조명은 최근에 LED 광소자의 광효율이 지속적으로 증가하면서 현실화되고 있다. 국내의에서 국가적으로 개발 및 보급을 추진하고 있으며 향후 신성장 동력산업으로도 각광 받고 있다.

LED가 발광하기 위해서는 전기적 구동장치인 driver가 필요하다. 이 전기적 구동은 단순히 보면 LED가 발광할 수 있도록 적절한 전압범위에서 전류를 공급하는 역할을 의미한다. LED에 흐르는 전류에 의해서 광출력과 소비 전력이 결정되고 수명이 영향 받는다. 따라서 LED 구동 회로를 설계하는 것은 결국은 LED 광원 시스템이 제품의 용도에 적합하도록 최적의 광출력, 신뢰성, 수명, 전력소비 등을 만족시키는 역할을 담당하는 것이다.

본 논문은 이러한 LED driver의 최적 설계 및 제작을 효율적으로 수행하기에 필요한 LED driver 모델과 시뮬레이션에 관한 연구이다. 여기에는 LED driver의 구현회로에 대한 회로적 모델 및 모의시험 그리고 driver IC에 대한 모델이 포함된다.

2. LED 모델링

LED는 근본적으로 다이오드이므로 다이오드를 모델링하는 방식을 따를 수 있다. 여러 방식이 있지만 driver에서는 다음의 기본적인 다이오드의 전압 전류 특성을 나타내는 식을 이용한다.

$$i_D = I_o(e^{V_D/NV_T} - 1)$$

식에서 i_D 는 다이오드의 전류이며, v_D 는 다이오드의 순방향 전압, N 은 emission coefficient로 통상 1에서 2사이의 값을 갖는다. I_o 는 역포화전류이고 V_T 는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$V_T = \frac{kT}{q} = 26mV$$

식에서 k 는 볼츠만 상수로 $1.38 \times 10^{-23} J/K$ 이고, T 는 절대온도이며 q 는 전자의 전하량이다. 상온에서 V_T 는 26mV가 된다.

고출력 다이오드는 전류가 350mA에서 통상 3.5V이고 N 은 2로 가정하여 LED를 모델링하기로 한다.

3. Driver 회로의 모델

시뮬레이션의 대상인 LED driver회로는 그림 1과 같이 Supertex사의 HV9910 IC를 사용한 벡형 컨버터 구조로 LED를 구동하는 것으로 한다.

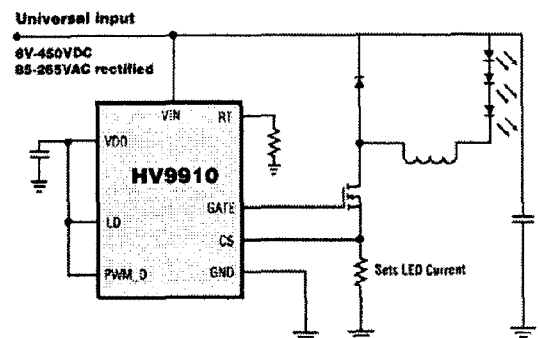


그림 1. HV9910 IC 구동 회로
Fig. 1. Buck Circuit using IC HV9910

이 구동회로를 모델링하기 위해서는 결국 HV9910 IC를 모델링하여야 한다. IC의 모든 특성을 정확히 모델링하는 것은 실제 IC의 내부 집적 회로를 모두 모델링하여야 하는 문제가 있다. 그러나 driver의 특성에서는 IC의 세부 회로의 구현여부가 큰 문제가 되지 않고 거시적인 IC의 동작을 구현하는 analog behavior model방식을 사용해도 충분하다. 다행히 제조회사에서 주요 기능에 대한 블록도를 그림 2와 같이 제공하므로 이 기능을 구현하기로 한다.

HV9910의 내부구조에서 Reg는 내부 regulator로 외부의 전원에서 내부 IC의 회로에 필요한 7.5V를 발생시킨다. 또한 외부의 회로의 정전원으로 이용이 가능하다. 그러나 모델링 및 시뮬레이션 상에서는 고려할 필요가 없다. OSC는 외부 저항값에 의해 내부 발진기의 주파수를 결정하게 되어 있으며 이것은 모델링시 고정된 발진기로 모델링하기로 한다. 결과적으로 시뮬레이션을 위해서 그림 3과 같이 HV9910은 모델링하게 되고 그림 1의 회로동작을 위한 시뮬레이션 회로를 구성할 수 있다.

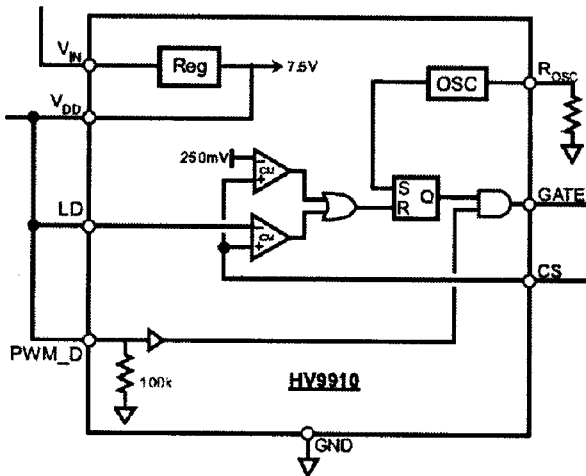


그림 2. HV9910의 내부구조
Fig. 2 Internal structure of HV9910

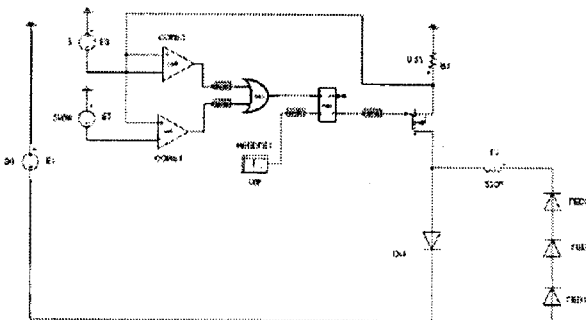


그림 3. 시뮬레이션 도면
Fig. 2 Simulation circuit

4. Driver 회로의 시뮬레이션

그림 3의 시뮬레이션 회로는 Simplorer를 사용하여 구현되었다. 먼저 입력 전압 30V에 대해서 3.5V 고출력 LED 3개를 0.8A로 제어하는 회로를 구현하는 동작을 살펴보기로 한다. 그림 4는 제어기의 동작이며 (a)는 인덕터 L1의 전류 파형, (b)는 COMP1의 출력 파형이다. 이 CMP1은 IC 내부의 전압 250mV(e)와 저항 R1에 흐르는 전류에 의한 전압강하(f)를 입력으로 받는 비교기이다. (c)는 MOSFET의 게이트 구동 신호이며 (d)는 발진기의 출력이다. 발진기의 출력에 의해서 SR FF가 MOSFET의 게이트 신호를 출력하여 MOSFET가 도통하게 되고 이 때 전류가 상승하게 된다. 전류를 R1에서 측정하여 R1의 전압강하가 250mV보다 크게 되면 SR FF를 reset시키게 되어 MOSFET는 off되게 된다. 따라서 전류가 감소하게 되어 그 상태를 유지하다가 주기적으로 발생하는 발진기의 출력에 의해서 다시 MOSFET는 도통하게 되고 같은 동작을 반복하게 됨을 알 수 있다.

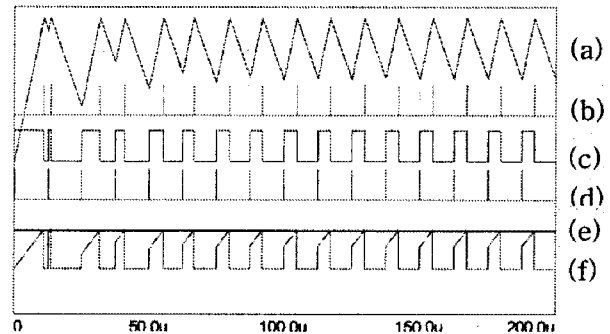


그림 4. 회로내 제어 동작 파형
Fig. 4 Waveform of control part of circuit

실제 LED의 출력 전류와 전압을 보면 그림 5와 같다. (a)는 LED array의 전압이며 (b)는 LED array의 전류이다. 실제 전류값은 그림의 0.1배로 계산된다. 전류는 MOSFET가 on, off되면서 증가하다가 감소하는 동작이 반복된다. 전류의 peak값은 R1의 저항에 의해서 제어된다. 이는 R1의 전압강하가 IC내부의 기준 전압 0.25V를 초과하지 못하도록 설정되어 있음에 따른다. 그러나 LED 램프의 출력광은 LED의 peak 전류보다 평균전류에 따르므로 실제로 평균전류값이 제어대상이 된다. 이 경우 전류의 ripple 허용에 따라 LED의 평균전류가 결정되는데 15%의 ripple을 허용하도록 buck 컨버터를 설계한다면 실제 LED의 평균전류는 다음에 의해서 결정된다.

$$R_1 = \frac{0.25}{1.15 \times I_o}$$

즉 LED의 전류는 현재 R1이 0.27ohm이므로

800mA로 동작되어야 한다. 실제로는 소자 값의 편차 등 오차를 발생시키는 여러 원인이 존재하므로 이후 회로의 파라미터를 세밀히 조정해서 출력 전류를 조절하게 된다. 예로서 평균 전류가 목표값보다 적은 경우는 주파수를 보다 증가시키거나 저항값을 미세하게 감소시킴으로 평균전류를 높일 수 있다.

만약 입력 전압이 감소하게 될 경우는 전류의 변화가 입력전압이 큰 경우보다 늦어지게 되지만 전류제어는 동작이 된다. 그림 6의 경우는 입력전압이 15V로 감소한 경우의 결과로 전류는 제어됨을 알 수 있다. 그러나 MOSFET의 실제 스위칭 주파수는 감소하게 되고 전류 ripple은 증가하게 된다. 그리고 전류 제어시 instability가 증가할 수 있다. 실제로 Supertex사에서는 LED array 전압의 최소 2배는 입력에서 공급해 주도록 언급하고 있다.

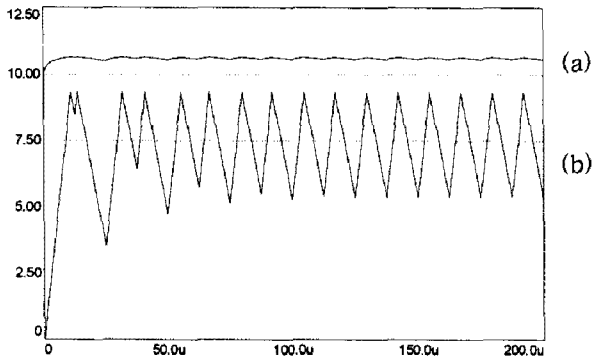


그림 5. LED array의 전압, 전류
Fig. 5 Voltage and current of LED array

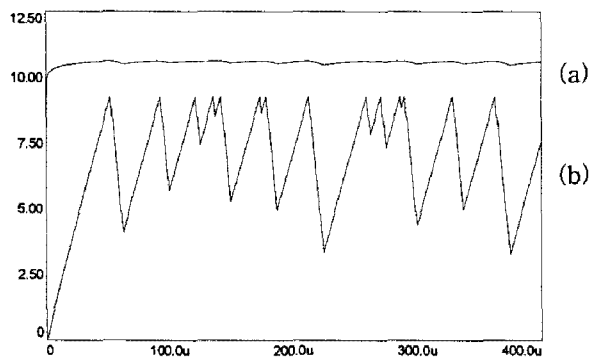


그림 6 입력전압 감소시 LED array의 전압, 전류
Fig. 6 Voltage and current of LED array under reduced input voltage

LED 광원의 장점중 하나는 조광(dimming)이 쉽게 된다는 것이다. HV9910의 경우도 조광이 가능하며 이는 두가지 방식에서 가능하다. 하나는 IC의 LD핀을 통한 아날로그 신호에 의한 조광과 PWM_D를 통한 디지털 신호에 의한 조광이다.

그림 7은 LD핀을 통한 조광의 예이다. LD핀이

250mV에서 100% 광출력이 나오지만 0V에서 0% 조광이 되는 특성을 갖는다. 따라서 LD핀을 200mV로 설정하면 80%의 조광이 되도록 전류가 감소한다.

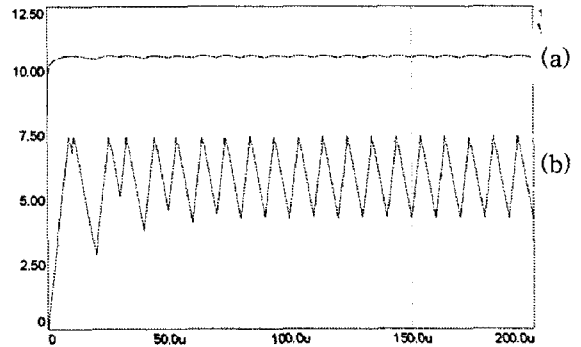


그림 7. 조광시 LED array의 전압, 전류
Fig. 7 Voltage and current of LED array for dimming

5. 결론

본 논문에서는 LED 램프에 필수적인 driver 회로의 설계를 위한 모델링 및 시뮬레이션에 대해 소개하였다. 간단한 LED 모델과 함께 HV9910을 이용한 벡형 컨버터를 예로서 시뮬레이션을 보였다. 특히 driver IC의 기능을 시뮬레이션에 반영하여 설계 및 모의실험을 통해, 회로 파라미터의 결정 및 조광성능의 확인 등 실제적인 도움을 얻을 수 있음을 확인하였다.

이상과 같은 driver 회로에 대한 시뮬레이션 방식은 IC의 종류와 구현하려는 회로의 구조에 상관없이 모두 적용이 가능하며 실제 제품을 개발할 때 많은 시간을 단축하는 도움을 줄 것이다.

참고 문헌

- [1] R. Erickson, "Fundamentals of Power Electronics" Springer, 2001
- [2] HV9910 : Universal High Brightness LED Driver, Supertex, 2004
- [3] "Buck-based LED Drivers Using the HV9910B", Supertex, 2008