

전류보상 및 보호 기능을 갖는 BLU용 LED Driver IC설계

이승우^{1*}, 이종기², 김선엽³

¹(주)피앤엘세미, ²한국폴리텍대학 메카트로닉스과, ³남서울대학교 정보통신공학과

LED driver IC design for BLU with current compensation and protection function

Seung-Woo Lee^{1*}, Jung-Gi Lee², Sun-Yeob Kim³

¹P&L Semi, ²Mechatronics, Korea Polytechnic University,

³Intelligent Information& Communication Namseoul University

요약 최근 LED 디스플레이 시스템이 활발히 보급됨에 따라서 시스템 구동을 위한 LED 드라이버의 효과적인 제어 방법에 대한 연구가 진행 중이다. 그 중에 가장 대표적인 것이 LED Driver 채널의 균일한 밝기 제어이다. 본 논문에서는 채널 휘도 편차 최소화를 위한 전류보상 및 시스템 보호 기능을 갖는 BLU용 LED driver IC를 제안하였다. 제안하는 LED Driver IC는 채널 간 $\pm 3\%$ 이내의 current accuracy와 150mA 채널 전류를 목표로 설계하였다. 설계 사양을 만족시키기 위해 채널 구동 PWM 신호를 이용한 chopping 동작을 수행하도록 하여 채널 앰프 오프셋을 상쇄할 수 있도록 하였다. 또한 pre-charge 기능을 구현하여 빠른 동작 속도와 채널간 휘도 편차를 최소화할 수 있도록 하였다. LED에 러(오픈, 쇼트), 스위치 TR 쇼트 감지 및 동작 온도 보호 회로를 설계하여 IC 및 BLU 시스템을 보호할 수 있도록 하였다. 제안된 IC는 Cadence 및 Synopsys사의 Design Tool을 사용하여 설계 하였으며, Magnachip 0.35um CMOS 공정을 사용하여 제작되었다. 제작된 LED driver IC는 채널 간 $\pm 1.5\%$ 이내의 current accuracy와 150mA 채널 출력 특성을 만족하였으며, 평가 보드를 통해 에러 검출 회로들이 정상 동작함을 확인하였다.

Abstract In recent years, as LED display systems are actively spread, study on effective control methods for an LED driver for driving the systems has been in progress. The most representative among them is the uniform brightness control method for the LED driver channel. In this paper, we propose an LED driver IC for BLU with current compensation and system protection functions to minimize channel luminance deviation. It is designed for current accuracy within $\pm 3\%$ between channels and a channel current of 150 mA. In order to satisfy the design specifications, the channel amplifier offset was canceled out by a chopping operation using a channel-driving PWM signal. Also, a pre-charge function was implemented to minimize the fast operation speed and luminance deviation between channels. LED error (open, short), switch TR short detection, and operating temperature protection circuits were designed to protect the IC and BLU systems. The proposed IC was fabricated using a Magnachip 0.35-um CMOS process and verified using Cadence and Synopsys' Design Tool. The fabricated LED driver IC has current accuracy within $\pm 1.5\%$ between channels and 150-mA channel output characteristics. The error detection circuits were verified by a test board.

Keywords : LED, Driver IC, Chopping, Current Compensation, BLU

*Corresponding Author : Seung-Woo Lee(P&L Semi.)

email: nicekey.lee@gmail.com

Received August 7, 2020

Accepted October 5, 2020

Revised September 7, 2020

Published October 31, 2020

1. 서론

사람이 인식 할 수 있도록 전기 신호를 시각적인 정보로 변환하는 장치인 디스플레이(Display)는 크게 CRT와 평판 디스플레이로 분류 할 수 있다. 평판 디스플레이의 대표적인 제품으로는 PDP(Plasma Display Panel)와 LCD(Liquid Crystal Display)가 있으며, 각각 발광형과 수광형인 특징을 갖는다. 이 대표적인 두 제품 중 최근 각광을 받고 있는 LCD의 경우, 2개의 얇은 유리판 사이에 고체와 액체의 중간 성질을 가진 액정을 주입해 전원 공급 시 액정 분자의 배열을 변화시킴으로써 명암을 발생시켜 영상을 표시하는 디스플레이이다. LCD는 PDP, FED, OLED등과는 달리 그 자체가 비발광형(수광소자)이기 때문에 배면 광원이 없으면 칼라 디스플레이로서 사용이 불가능 하다. 이러한 디스플레이에 필요한 면광원 형태의 광원을 Back Light Unit(BLU)라고 한다. 최근 저 소비전력 및 친환경적인 녹색산업에 대한 요구가 증대되면서 높은 Contrast와 색 재현율을 가지는 LED BLU기술 개발이 활발히 진행 되고 있다[1-3]. LED는 우수한 색 재현성, 고 신뢰성, 빠른 응답 및 저 전력 특성을 가지고 있으며, 동일 휘도에서 LCD의 두께도 줄일 수 있어 그 범위를 넓혀가고 있다. 최근 고품질의 영상을 구현하기 위한 안정적인 고성능 드라이버 IC에 대한 필요성이 급증하면서 빠른 동작 속도 및 채널 휘도 편차 보상에 대한 설계 기술 요구가 증대되고 있다[4-7].

본 논문에서는 LED BLU를 구동하기 위한 고성능 LED 드라이버 IC개발에 대한 내용을 제안 하였다. 제안된 LED 드라이버는 시스템의 안정성을 보장하기 위해 LED 오픈, 쇼트 검출 및 스위치 TR에 대한 쇼트를 감지 할 수 있도록 설계 하였다. 또한 칩의 안정적인 동작을 위하여 동작 온도 보호 회로를 설계하여, IC 및 BLU 시스템을 보호할 수 있도록 하였다. 설계된 IC는 채널 구동 PWM 신호를 이용한 chopping 동작을 수행 하도록 하여 채널 앰프에서 발생하는 옅음을 상쇄 할 수 있도록 하였다. 빠른 응답 특성을 확보하기 위해서 pre-charge기능을 구현하여 빠른 동작 속도 및 채널간 휘도 편차를 최소화 하였다. 제작된 IC는 Cadence 및 Synopsys사의 Design Tool을 사용하여 설계 하였으며, Magnachip 0.35um CMOS 공정을 사용하여 제작하였다. 제작된 IC는 실험을 통하여 검증하였다.

2. 본론

2.1 BLU용 LED드라이버 IC회로 설계

본 논문에서 설계된 BLU용 LED 드라이버 IC는 PAM(Pulse Amplitude Modulation)과 PWM(Pulse Width Modulation)을 이용한 두 가지 방식의 디밍 조절로 16채널의 LED열을 150mA까지 구동 가능하도록 설계하였다. Fig. 1은 제안된 LED 드라이버 IC의 블록 다이어그램을 보이고 있다. 설계된 회로는 BLU 시스템 구성 시 발생할 수 있는 LED 오픈, LED 쇼트 및 TR 쇼트와 같은 에러를 검출 할 수 있는 블록과 칩 내부의 발열에 의한 파손을 방지하기 위한 동작 온도 보호 회로, 각 채널의 LED 전류를 제어하기 위한 스위치 제어 블록으로 구성된다. 각 세부 블록에 대한 동작 및 기능은 다음과 같다.

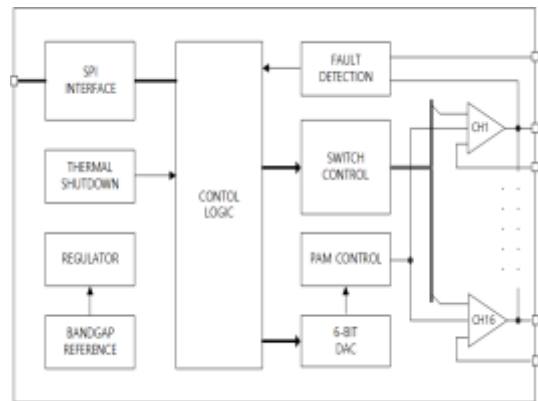


Fig. 1. Functional Block Diagram

2.1.1 BIAS & BGR & REF block

Bias block은 입력 전압으로부터 BGR(Bandgap Reference)를 형성하고, BGR을 이용하여 온도에 관계 없이 일정한 전압 및 전류를 각 블록의 기준 전압 및 bias 전류로 제공한다. REF 블록은 각 블록에 사용되는 필요 전압을 생성하고, PAM제어에 필요한 기준 전압을 생성한다.

2.1.2 Control logic & Switch control block

SPI 인터페이스, PWM control, 디밍 제어 및 16채널에 대한 독립적인 PWM 제어 신호를 생성하기 위한 블록이 포함된다. 또한 최소 전압 유지를 위한 LED 스트링의 그룹 제어, 낮은 PWM duty에서 LED 구동 전압이 순간적으로 낮아지는 digging 현상을 방지하기 위한 pumping function, phase delay와 같은 채널 및 fault에 대한 제어 역할을 수행 한다.

2.1.3 DAC & PAM control

펄스 진폭 변조는 제어 비트에 따라서 0.2V~ 0.6V 사이의 아날로그 전압을 생성하여 전 채널의 밝기를 조절하는 역할을 한다. 제어 비트에 따른 64step의 아날로그 값을 생성시키기 위해서 6bit R2R DAC를 이용하여 VPAM 전압을 생성 하도록 설계하였다. 설계된 R2R DAC는 디지털 상태의 입력 코드에 따라서 스위치를 VH와 VL레퍼런스 전압에 연결한 후 출력 버퍼를 이용하여, VPAM 값을 출력한다.

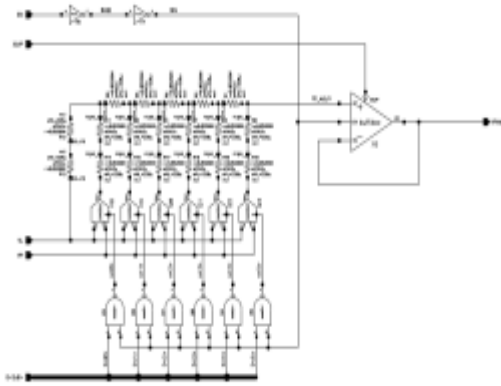


Fig. 2. DAC & VPAM create circuit

2.1.4 Fault detection block

BLU를 구성하는 LED 스트링의 open이나 short를 감지하여 시스템의 과열을 방지하는 역할을 한다. 설계된 BLU driver IC는 각 채널별로 LED open 감지회로를 삽입하고, 각 채널의 LED String이 온 되는 구간을 센싱하여 LED open 여부를 저장함으로 별도의 여러 검출 과정 없이 정상동작 하는 중에 open이 발생한 채널을 검출할 수 있다.

1) LED short 검출회로

LED Short 검출 회로는 LED 스트링을 구성하는 LED가 Short 여부를 검출하기 위한 회로이다. 이 회로는 LED Short가 발생한 LED String은 채널 온 시 short된 LED의 개수와 비례하여 LED String 마지막 cathode단의 전압이 상승하는 특성을 이용하여 LED short여부를 판별한다. Fig. 3은 설계된 LED short검출 회로 블록을 나타내고 있으며, Fig. 4와 같이 외부 제너 다이오드를 이용한 short 레벨(LED개수)을 설정할 수 있도록 하여 시스템 설계 시 유연성을 갖도록 하였다.

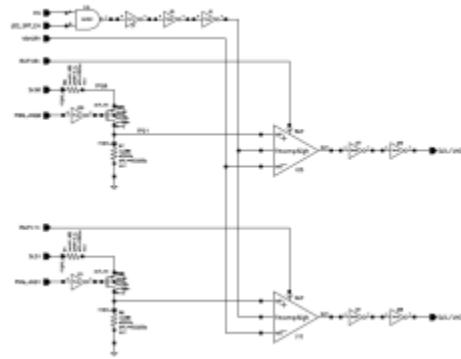


Fig. 3. LED Short detect circuit

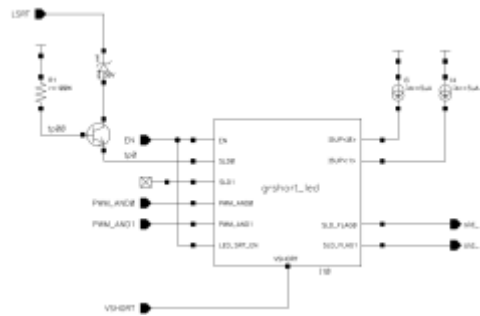


Fig. 4. LED Short detect Application circuit

Fig. 5는 LED short 감지 회로에 대한 시뮬레이션 결과를 보이고 있다. LED Short 전압은 30V 제너 다이오드를 이용하여 설정 하였으며, LSRT전압을 0V에서 40V로 sweep시킨 후 정상동작 여부를 검증 하였다. Fig. 5의 시뮬레이션 결과 파형에서 보이는 것과 같이 설계된 LED Short회로는 설정된 30V전압에서 정상적으로 LED Short 상태를 검출하는 것을 확인 할 수 있다.

2) LED open 검출회로

LED open 검출 회로는 LED 스트링을 구성하는 LED의 open여부를 검출하기 위한 회로이다. 이 회로는 LED OPEN이 발생한 LED string은 채널 온 시 ES단의 전압이 ground에 가까운 상태를 유지하는 특성을 이용하여 LED open 여부를 판별한다. Fig. 6은 설계된 LED open 검출 회로를 나타내고 있다. 설계된 회로는 채널 온 구간에서 기준전압과 ES단자 전압을 비교하여 LED open여부를 검출하도록 설계하였다.

3) TR short 검출회로

TR short 검출 회로는 채널을 구성하는 TR의 short 여부를 검출하기 위한 회로이다. TR short가 발생한 채

널의 경우 LED string이 오프 된 구간에서 ES단의 전압이 LED String의 마지막 cathode단의 전압에 가까운 상태를 유지하는 특성을 이용하여 TR short 여부를 판별한다. Fig. 6은 설계된 TR short 검출 회로를 나타내고 있다. 설계된 회로는 채널 오프 구간에서 기준전압과 ES단자 전압을 비교하여 TR short 발생여부를 검출하도록 설계하였다. 설계된 BLU driver IC는 각 채널별로 TR short 감지회로를 삽입하고, 각 채널의 LED String이 오프 되는 구간을 감지해 TR short 여부를 저장함으로써 별도의 에러 검출 과정 없이 backlight module이 정상동작 하는 중에 TR short이 발생한 채널을 검출할 수 있도록 하였다.

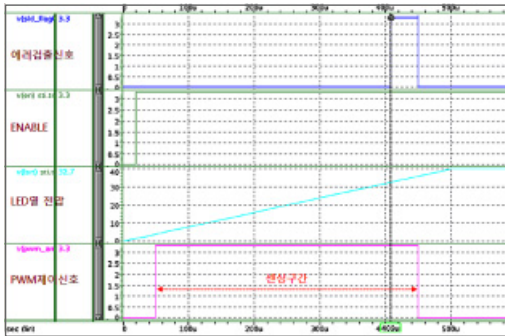


Fig. 5. LED Short detect simulation

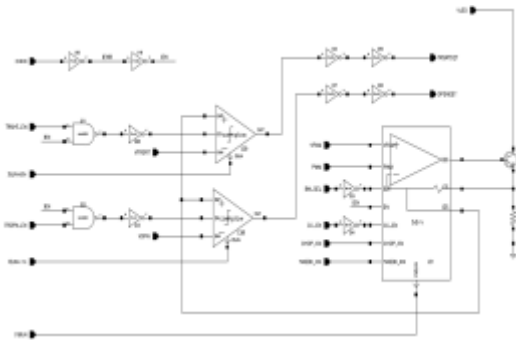


Fig. 6. LED Open, TR Short detect circuit

Fig. 7과 8은 LED open 및 TR Short 감지 회로에 대한 시뮬레이션 결과를 보이고 있다. 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있는 것처럼, 채널 제어신호인 PWM의 high시 LED open 검출 신호와 TR Short 검출 신호가 각각의 조건에서 정상적인 검출이 이루어짐을 확인 할 수 있다.

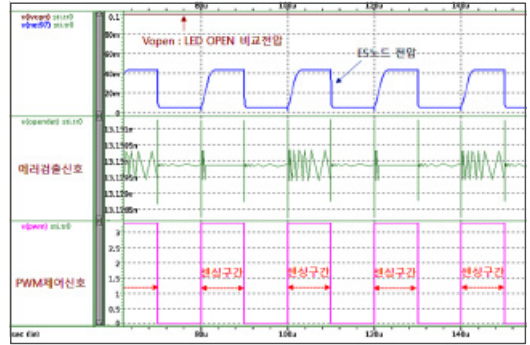


Fig. 7. LED Open detect simulation

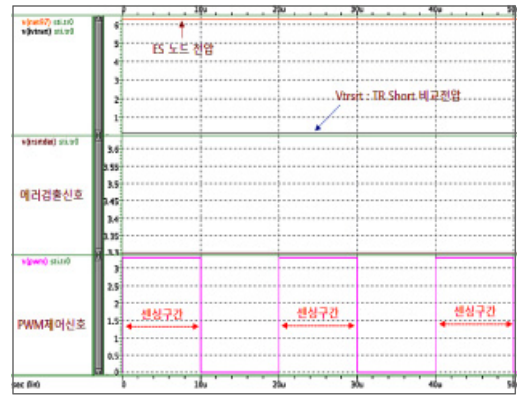


Fig. 8. TR Short detect simulation

2.1.5 채널 앰프 블록

Fig. 9는 LED 채널을 구성하는 BJT(FET)를 구동하기 위한 채널 앰프를 보이고 있다. 채널 앰프 동작 시 발생하는 앰프 옵셋은 채널 간 전류 편차로 나타나게 되며, 발생한 편차는 LED 드라이버 IC에서 가장 중요한 특성인 채널 간 휘도 편차를 야기하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 chopping 기능을 사용하여 채널 앰프에서 발생하는 옵셋을 상쇄 할 수 있도록 회로를 설계 하였으며, 빠른 응답 특성을 확보하기 위해서 pre-charge 기법을 적용하였다.

Fig. 10은 설계된 LED Driver IC의 전체 회로를 보이고 있다. 설계된 회로는 앞에서 살펴 본 바와 같이 크게 디지털 블록과 기준 전압 생성회로, 채널 앰프 블록으로 구성되어 있다.

3. 측정 결과 및 검토

Fig. 12는 설계된 IC의 레이아웃과 평가 보드를 보이고 있다. 설계된 칩은 아날로그 블록과 디지털 블록의 간섭을 최소화하기 위해 guard ring 및 아날로그와 디지털 블록의 전원 분리 하였으며, 칩의 전체 크기는 $2,150\mu\text{m} \times 1,770\mu\text{m}$ 이다.

제작된 BLU용 LED driver IC는 48 TQFP 패키지를 사용하여 제작 되었으며, 검증용 실장 보드는 LED string과 driver IC 및 인터페이스를 위한 MCU 블록으로 구성 하였다.

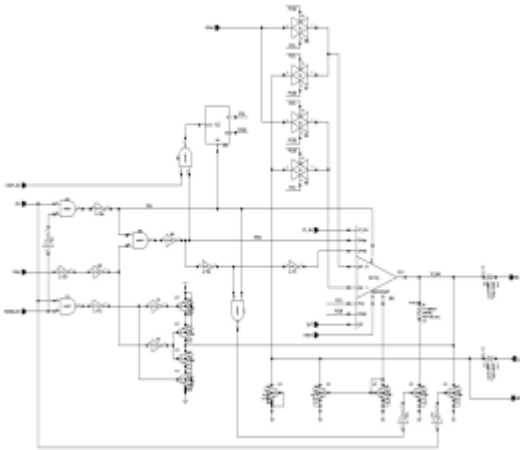


Fig. 9. Channel AMP circuit

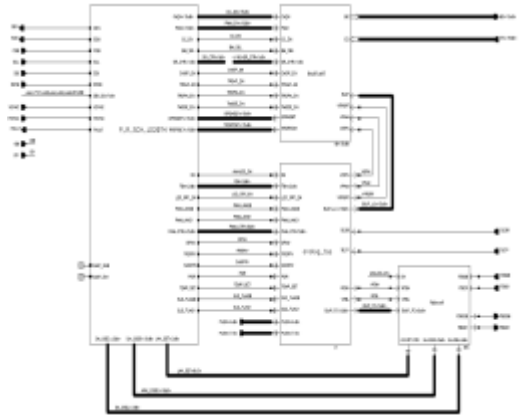


Fig. 10. LED driver circuit

Fig. 11은 설계된 전체 회로에 대한 시뮬레이션 결과로 입력 PWM 제어 신호에 따라 정상적인 100mA의 LED 전류값을 출력하는 것을 확인 할 수 있다.

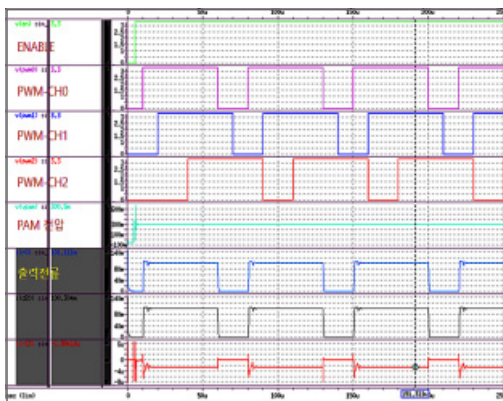
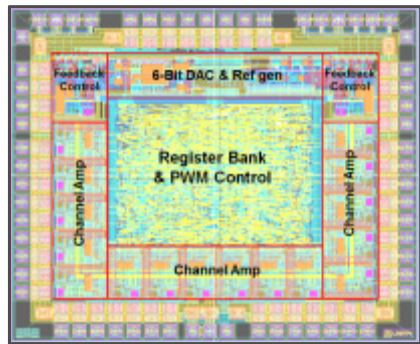
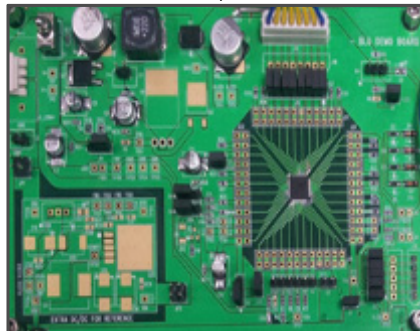


Fig. 11. Top simulation



(a) layout



(b) Evaluation board

Fig. 12. Fabricated IC layout & Evaluation board

Fig. 13은 제작된 4096개의 IC에 대한 EDS측정 결과를 보이고 있다. 좌측은 제어비트에 따른 VPAM 출력을 측정 한 결과를 보이고 있다. 측정 결과에서 보이는 것처럼 제어비트 입력에 따라서 기준전압 0.2V ~ 0.6V 사이의 전압이 정상적으로 출력됨을 확인 할 수 있다. 우측은 채널간 휘도 편차를 보기위한 채널 옴셋 특성을 측정한 결과를 보이고 있다. 4096개의 IC측정 결과 설계 목표인 $\pm 3\%$ 보다 낮은 $\pm 1.5\%$ 이내의 current accuracy 만족함을 확인 할 수 있다.

Fig. 14는 $I_{LED}=150mA$ 로 설정 후 출력단의 전압 변화 및 LED 스트링의 전류특성 파형을 보이고 있다. 우측의 확대 파형에서 측정된 것처럼 최대 설계치인 150mA의 전류가 제어신호에 따라 정상적으로 출력됨을 확인 할 수 있다.

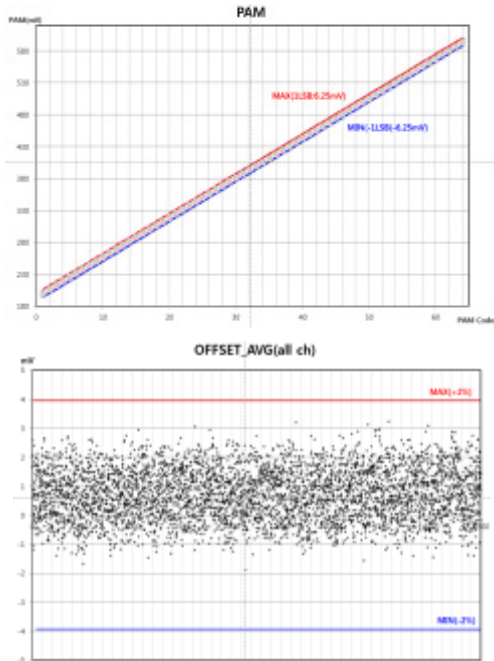


Fig. 13. IC EDS Measure result

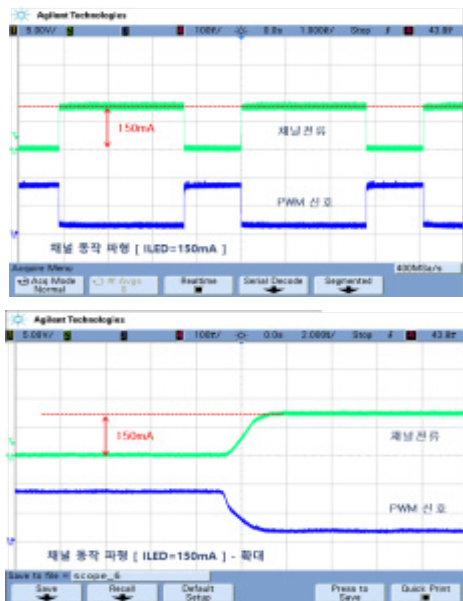


Fig. 14. Designed IC current measurement waveform ($I_{LED}=150mA$)

4. 결론

본 논문에서는 전류보상 및 보호 기능을 갖는 BLU용 LED driver IC의 설계 제작 및 특성 검증을 진행 하였다. 채널 간 $\pm 3\%$ 이내의 current accuracy와 150mA 채널 전류를 목표로 driver IC를 설계하였으며 Cadence 및 Synopsys사의 Design Tool을 사용하여 시뮬레이션 및 검증을 수행 하였다. 설계된 IC는 3.0V~ 3.6V의 동작 범위와 150mA의 출력 전류 및 $\pm 3\%$ 이내의 current accuracy를 만족시키기 위해 채널 구동 PWM 신호를 이용하여 chopping 동작을 수행 하도록 하여 채널 앰프에서 발생하는 오프셋을 상쇄 할 수 있도록 하였다. 빠른 응답 특성을 확보하기 위해서 pre-charge기능을 구현하여 빠른 동작 속도 및 채널간 휘도 편차를 최소화 할 수 있도록 하였다. 또한 시스템의 안정성을 보장하기 위해 LED 오픈, 쇼트 검출 및 스위치 TR에 대한 쇼트를 감지 할 수 있도록 설계 하였다. 또한 칩의 안정적인 동작을 위하여 동작 온도 보호 회로를 설계하여, IC 및 BLU 시스템을 보호할 수 있도록 하였다. 제작된 칩의 특성 검증 결과 $\pm 1.5\%$ 이내의 current accuracy 및 150mA 채널 전류 요구 사항을 만족하였으며, LED open, LED short, TR short와 같은 여러 검출 회로들이 정상적으로 동작함을 실장보드를 통해 검증 하였다.

References

- [1] G. Sauerlander, D. Hente, H. Radermacher, E.Waffenschmidt, J. Jacobs, "Driver Electronics for LEDs," Industry Applications Conference, 2006. 41st IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2006 IEEE , vol.5, no., pp.2621-2626, 8-12 Oct. 2006
DOI:<https://dx.doi.org/10.1109/IAS.2006.256909>
- [2] Y. Yuan, S. Zhenghua, G. Yong, "Design of High-Power White LED Drive Chip with Fully Integrated PWM Dimming Function," Photonics and Optoelectronic (SOPO), 2010 Symposium on, vol., no., pp.1-4, 19-21 June 2010.
DOI:<https://dx.doi.org/10.1109/SOPO.2010.5504059>
- [3] Y.-T. Hsieh, B.-D. Liu, J.-F. Wu, C.-L. Fang, H.-H. Tsai, Y.-Z. Juang, "A High- DimmingRatio LED Driver for LCD Backlights," Power Electronics, IEEE Transactions on , vol.27, no.11, pp.4562-4570, Nov. 2012.
DOI:<https://dx.doi.org/10.1109/TPEL.2012.2188306>
- [4] C.-C. Chen, C.-Y. Wu, and T.-F. Wu, "LED Back-Light Driving System for LCD Panels", IEEE APEC 2006, pp.381-385, March. 19, 2006
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/APEC.2006.1620566>

- [5] Jin-Ho Ahn, "Implementation of an LED tile controller for high-quality image display", Displays, Volume 34, Issue 1, January 2013, Pages 17-26
DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.displa.2012.10.004>
- [6] Behzad Razavi, "Design of Analog CMOS Integrated Circuits", MCGrawHill, pp. 246-290, 2001
- [7] Maxim-Dalls Semiconductor, "Why drive white LEDs with constant current," Jun. 2004, [cited 2020 Aug 3], Available From :
<http://www.maximintegrated.com/an3256>

김 선 엽(Sun-Yeob Kim)

[중신회원]



- 1995년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 2006년 9월 ~ 현재 : 남서울대학교 지능정보통신공학과 교수

이 승 우(Seung-Woo Lee)

[정회원]



- 1995년 2월 : 원광대학교 전자공학과 (공학사)
- 1998년 2월 : 원광대학교 전자공학과 (석사)
- 2004년 8월 : 원광대학교 전자공학과 (박사)
- 2007년 10월 ~ 2019년 12월 : (주)엘디티 수석연구원
- 2020년 4월 ~ 현재 : (주)피엔엘세미 개발이사

<관심분야>

ADC/DAC, DC-DC converter, ROIC, Low voltage Low-power analog circuit

<관심분야>

임베디드, 회로

이 중 기(Jung-Gi Lee)

[정회원]



- 2002년 2월 : 원광대학교 전기전자공학부 (전자전공 공학사)
- 2005년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과 (석사)
- 2007년 1월 ~ 2009년 3월 : (주)유타렉스 기술연구소 책임연구원
- 2009년 4월 ~ 2015년 1월 : (주)스마트온커뮤니케이션 선임연구원
- 2015년 3월 ~ 현재 : 한국폴리텍대학아산캠퍼스 메카트로닉스과 교수

<관심분야>

전자 및 통신시스템, RFID/USN, IoT 및 융합기술