

전력 제어 기능을 가진 DC-DC 내장형 LED Driver IC 설계

이승우^{1*}, 이종기², 김선엽³

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

DC-DC integrated LED Driver IC design with power control 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 시스템의 대형화에 따라서 시스템의 효과적인 전력 제어 방법에 대한 연구가 진행 중이다. 그 중에서 본 논문에서는 BLU(Backlight unit)시스템의 채널 별 LED 특성차에 기인한 전력 손실을 최소화하기 위한 전력 제어 방법을 제안하였다. 제안된 전력 제어 기능을 갖는 LED 드라이버 IC는 전 채널의 정전류 동작이 가능한 최소 headroom 전압을 검출 후 DC-DC 컨버터 출력을 선형적으로 제어하여, 불필요한 추가 전압에 따른 전력 소모를 최소화 할 수 있도록 하였다. 또한 채널 별 전압 감지 비교기와 기준 전압 생성 회로가 필요하지 않아서 집적 회로 구현 시 칩사이즈 감소 및 안정화 측면에서 큰 장점을 갖는다. 제안된 전력 제어 기능 동작을 검증하기 위해서, DC-DC 내장형 전력제어 LED driver IC를 Cadence 및 Synopsys사의 Design Tool을 사용하여 설계하였으며, Magnachip 0.35um 5V/40V CMOS 공정을 사용하여 제작하였다. 제작된 IC실험을 통해서 제안된 전력 제어 방법이 BLU시스템의 최소 필요 전압을 정상적으로 제어함을 확인하였다.

Abstract Recently, as LED display systems have become larger, research on effective power control methods for the systems has been in progress. This paper proposes a power control method to minimize power loss due to the difference in LED characteristics for each channel of a backlight unit (BLU) system. The proposed LED driver IC has a power optimization function and detects the minimum headroom voltage for constant current operation of all channels and linearly controls the DC-DC converter output. Thus, it minimizes power consumption due to unnecessary additional voltage. In addition, it does not require a voltage sensing comparator or a voltage generation circuit for each channel. This has a great advantage in reducing the chip size and for stabilization when implementing an integrated circuit. In order to verify the proposed function, an IC was designed using Cadence and Synopsys' design tools, and it was fabricated with a Magnachip 0.35um 5V/40V CMOS process. The experiments confirmed that the proposed power control method controls the minimum required voltage of the BLU system.

Keywords : LED, Driver IC, BLU, Power Control, DC-DC

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

email: nicekey.lee@gmail.com

Received September 21, 2020

Accepted December 4, 2020

Revised October 7, 2020

Published December 31, 2020

1. 서론

최근 저 소비전력, 친환경적인 백라이트 장치에 대한 요구가 증대됨에 따라서 빠른 응답 속도 및 저 소비전력 특성을 가지고 있는 LED를 이용한 백라이트 장치에 대한 기술 개발이 활발히 진행되고 있다[1]. 특히 디스플레이 화면의 대형화가 진행됨에 따라서 하나의 시스템에 사용되는 많은 수의 LED를 효과적으로 제어 할수 있는 고성능의 드라이버 IC에 대한 필요성이 급증하고 있다. 그 중에서 시스템의 소비전력을 줄이기 위한 블록 디밍 제어 방법들이 활발하게 연구되고 있으나 화면의 크기나 해상도가 증가 할 경우 제어에 대한 복잡성이 증가하게 된다[2-3]. 따라서 본 논문에서는 추가적인 디밍 제어 없이 BLU 시스템의 최적 전력 관리를 이루기 위한 방법을 제안한다. 일반적인 BLU 시스템은 구동전압을 공급해주는 DC-DC 컨버터와 LED열의 전류를 일정하게 만들기 위한 정전류 블록으로 구성된다. 이러한 시스템에 고정된 전압을 사용할 경우, 스트링에 사용되는 각각의 LED가 가지는 순방향 전압차이 및 온도에 따른 특성 변화에 기인하여 채널별 정전류 구동부의 headroom 전압 차이가 발생하게 된다[4].

이러한 상황에서 지나치게 높은 전압을 인가하면 정전류 구동부의 headroom 전압 증가에 따른 발열로 시스템의 온도가 증가되고 정전류 동작보다 낮은 전압을 인가하면 정전류 구동이 불가능해 진다.[5] 이러한 문제점은 시스템 자체의 신뢰성 및 소비전력 증가 원인으로 작용하게 된다. 따라서 LED 백라이트 장치의 최적 전력제어를 구현하기 위해서는 정전류 구동부에 필요한 headroom 전압을 최적화 하여야 한다. 이를 이루기 위해서는, 채널의 최저 전압을 검출하여 DC-DC 컨버터의 출력을 정전류 정상 동작이 가능한 최소 전압으로 유지하여야 한다. 기존의 최적 전력 관리를 위한 방법은 기준 전압과 LED 채널에 연결된 정전류원 양단의 전압을 비교 후 DC-DC 컨버터의 전압을 승압 시키는 방법을 이용하였다. 이는 관리 전압과 전류원 양단 전압의 차이와 무관하게, 동일 값으로 LED 열의 동작 전압이 제어 되므로 각 채널 구성 LED의 온도 변화에 따른 선형 전압제어를 하지 못하는 문제를 갖는다. 또한 채널수와 같은 비교기가 필요하게 되어 제어 및 면적이 커지는 문제점을 갖게 된다. 따라서 본 논문에서는 채널을 구성하는 각각의 LED가 가지는 순방향 전압차이 및 온도에 따른 특성 변화에 무관하게 전 채널의 정전류원이 동작 가능한 최소 전압으로 LED열에 인가되는 DC-DC 출력 전압을 선형

적으로 제어할 수 방법을 제안하였다. 제작된 IC는 Cadence 및 Synopsys사의 Design Tool을 사용하여 설계 하였으며, Magnachip 0.35um CMOS 공정을 사용하여 제작하였다. 제작된 IC는 실험을 통하여 동작을 검증하였다.

2. 본론

Fig. 1은 일반적인 LED BLU 시스템의 구성을 보이고 있다. 다채널 방식의 LED BLU 장치는 LED 구동에 필요한 구동전압을 생성해주는 DC-DC 컨버터, LED열 그리고 각 LED 전류를 제어하는 LED 드라이버로 구성된다[3-4].

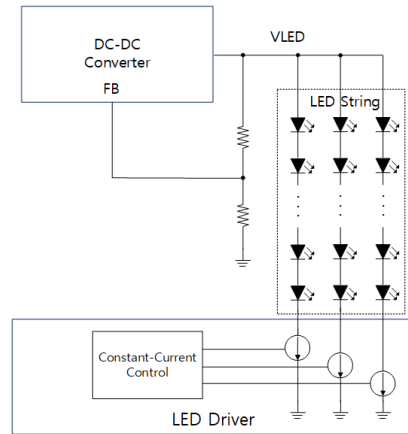


Fig. 1. Block diagram of LED BLU device

LED 백라이트 장치의 소비 전력을 최소화하기 위해서는 채널별 LED의 순방향 전압차이와 온도 변화에 따른 특성 변화에 무관하게 전 채널의 정전류원이 동작 가능한 최소 전압으로 구동 전압(VLED)이 유지 되도록 해야 한다. Fig. 2는 최소전압을 관리하기 위한 기존의 LED 백라이트 장치의 구성을 보이고 있다. 각 채널 LED 열의 정전류원과 이에 연결된 비교기의 출력에 따라서 DC-DC 변환기의 피드백 전압을 제어하기 위한 블록으로 구성되어 진다. 이러한 방식을 적용할 경우, BLU 시스템을 구성하는 채널수에 비례한 비교기 및 DC-DC전압 제어 블록에 따른 회로 면적이 증가한다. 또한 채널별 전류원 양단의 전압차 변화와 무관한 고정된 값으로 DC-DC변환기의 출력값을 제어하게 되어, 필요한 최소 전압을 선형적으로 제어할 수 없게 된다. 이러한 문제점은 시스템의 안정성 및 전력손실 증가 요인이 된다.

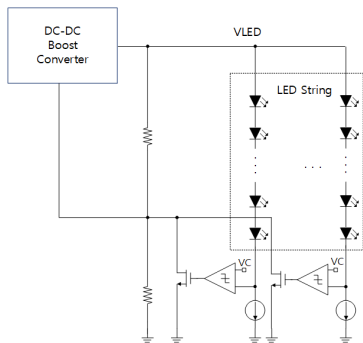


Fig. 2. Feedback control method of conventional LED BLU device

따라서 본 논문에서는 LED BLU 시스템의 최적 전력 제어를 위해서, 정전류 동작이 가능한 최소 headroom 전압으로 DC-DC 컨버터 출력을 제어할 수 있는 방법을 제안한다.

Fig. 3은 본 논문에서 제안된 최적 전력 제어를 위한 전력 제어 방법을 보이고 있다. 제안된 구조는, 각 LED 스트링의 최소 전압을 검출한 후 설정된 기준 전압에 따라 DC-DC 컨버터의 출력을 필요한 최소 구동 전압으로 유지 할 수 있도록 하였다. 제안된 제어 방법은 선형 방식으로 DC-DC변환기의 세밀한 출력제어가 가능하며, 채널 구성 회로의 단순화로 집적 회로 구현시 칩사이즈 감소를 얻을 수 있다.

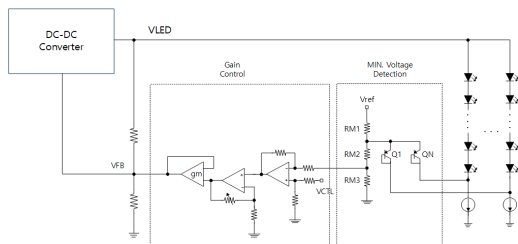


Fig. 3. Feedback control method of the proposed LED BLU device

세부적인 블록별 역할 및 동작은 다음과 같다. 각각의 LED 스트링에 구동 전류가 흐르면서 개개의 LED 특성에 기인하여 각기 다른 전압이 정전류원 양단에 걸리게 된다. 이 각각의 전압은 다이오드로 구성된 최소 전압 검출 회로에서 전체 채널의 최소전압을 검출한다. 검출된 최소 전압과 기준전압(VCTL)의 차이는 이득 조정 후 gm amp 버퍼단에 인가된다. 버퍼단은 궤환 노드(VFB) 전류를 제어 하여 DC-DC 변환기의 출력을 승압 또는 강압시키게 된다. 만일, DC-DC 변환기의 출력 전압이

낮아질 경우, 전 채널에 연결된 LED 스트링 정전류 구동부의 headroom 전압이 낮아지고, 가장 낮은 채널의 headroom 전압이 최소 전압 검출 블록에서 검출되어 기준 전압과의 차이만큼 전류가 sinking 되어 궤환 노드(VFB)의 전압이 낮아지게 되어 DC-DC 변환기의 출력 전압이 상승하게 된다. 이와 반대로 DC-DC 변환기의 출력 전압이 높아질 경우, 전류가 sourcing되어 궤환 노드(VFB)의 전압이 높아지게 되어 DC-DC 변환기의 출력 전압이 감소된다. 이와 같이 본 논문에서 제안된 방식은 채널간 특성 차이로 발생할 수 있는 전력소모를 정전류 구동부의 headroom 전압 최적화를 통해 시스템의 전력 최적화를 이룰 수 있도록 하였다. 또한 각채널에 연결된 다이오드에 의해서, 가장 낮은 채널전압의 headroom 전압을 모니터링 하여 반영하므로, 기존 방법에서 필요한 비교기 증가나 DC-DC변환기 출력값을 조절하기 위한 제어회로 없이 전 채널의 정상 동작을 보장하기 위한 최적의 전압을 제어 할 수 있다. Fig. 4는 본 논문에서 제안하는 피드백 제어 방법을 적용한 전력 제어 기능을 가진 DC-DC 내장형 LED 드라이버 IC의 전체 블록도를 보이고 있다. 설계 된 회로는 LED BLU 시스템의 구동 전압을 생성하기 위한 DC-DC 컨버터 블록과 LED를 구동하기 위한 LED 드라이버 블록 및 최적 전력 제어를 위한 피드백 제어 블록으로 구성되어 있다.

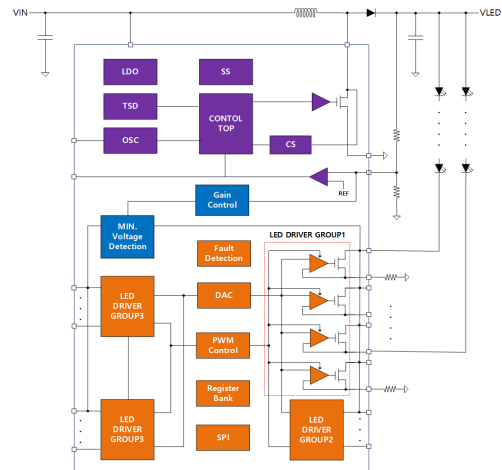


Fig. 4. Block diagram of proposed DC-DC integrated LED driver

설계된 부스트 변환기는 내부 회로의 동작 전압을공급하기 위한 바이어스 및 레귤레이터, 동작 주파수를 생성하기 위한 오실레이터, 제어블록 및 파워 스위치를 구동하기 위한 드라이버와 보호 회로로 구성된다. 바이어스

블록은 입력 전압으로부터 밴드갭 레퍼런스를 형성하여 온도에 관계없이 일정한 전압 및 전류를 각 블록에 제공한다. 오실레이터 블록은 스위칭 주파수와 소프트 스타트 기능에 필요한 클럭을 제공한다. 레귤레이터 블록은 내부 회로에 필요한 전압을 생성하게 되며, 생성된 레귤레이터 전압을 이용하여 필요한 각종 내부 기준 전압을 생성하게 된다. 부스트 변환기의 파워 스위치는 40V 0.4Ω CMOS소자를 사용 하였다. leading edge current spike를 줄이기 위해서 턴 온시에는 소프트 스위칭을 하고 턴 오프 시에는 하드 스위칭을 하도록 하였다. 전류 센싱 블록은 전류모드 제어 방식에서 매우 중요한 블록이다. 전류 센싱 회로의 가장 중요한 역할은 파워 스위치가 온 상태일 때 인덕터의 전류를 정확하게 센싱하는 것이다. 인덕터의 전류를 정확히 센싱 해야지만 전류 제어를 통해서 원하는 출력을 얻을 수 있다. 인덕터의 전류를 직접 센싱 하기 위해선 회로가 복잡해지므로 파워 스위치를 이용하여 전류 센싱을 하였다. 전류 센싱 블록은 파워 스위치와 동일한 40V CMOS를 사용하여 인덕터의 전류를 센싱 하였으며 전류 대 전압 비율은 1:1로 설계하였다. 즉, 인덕터의 전류가 1A가 흐르면 sensing된 전압의 크기는 1V가 된다. 파워 스위치를 센싱 함으로써 발생하는 문제는 스위치가 켜지는 순간 발생하는 leading edge 최대 전류이다. Leading edge 최대 전류는 잘못된 정보를 전달하여 제어 루프의 안정도를 방해한다. 설계한 IC는 이러한 leading edge 최대 전류에 의한 오동작을 방지하기 위해 회로를 추가하여 제어 루프의 안정도를 높이도록 하였다. Fig. 5는 설계된 전류 센싱 회로를 보이고 있다. 설계된 회로는 크게 전류 센싱 회로의 기준 전류를 생성시키기 위한 블록과 파워 스위치의 전류를 센싱하여 전압으로 변환하기 위한 부분으로 구성된다.

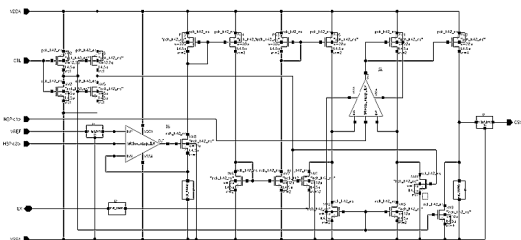


Fig. 5. Circuit of output current sensing

Fig. 6은 설계된 전류 센싱 회로의 동작 특성을 보이고 있다. 시뮬레이션 결과에서 보이는 것과 같이 설계된 회로는 파워 스위치 온 구간에서 인덕터 전류와 센싱 전압 비율이 1:1로 동작함을 확인 할 수 있다.

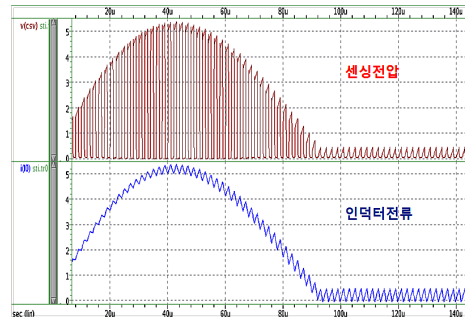


Fig. 6. Simulation result of current sensing circuit

과열 보호회로(Thermal shutdown)는 칩의 온도가 145℃ 이상이 되면 회로의 보호 및 오동작을 방지하기 위해 사용된다. 온도를 센싱 하는 방법은 Fig. 7에서 도시한 것처럼, BJT의 온도가 1℃ 증가함에 따라 V_{BE} 는 약 1.67mV씩 감소하는 특성을 이용하여 온도에 따라 V_{BE} 이 변화하는 바이폴라 트랜지스터의 온도 특성을 이용하여 칩 내부 온도를 감지할 수 있도록 설계하였다. 또한 설계된 회로의 안정적인 동작 특성을 얻기 위해 약 20℃의 히스테리시를 갖도록 하였다[5].

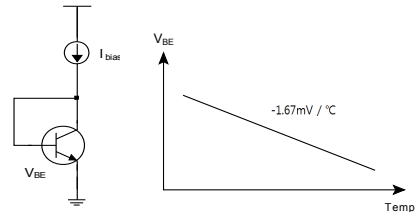


Fig. 7. Temperature characteristics of BJT

Fig. 8는 설계된 thermal shutdown 회로를 보이고 있다. BJT의 온도특성을 이용하여 온도를 센싱하는 부분과 출력 신호를 이용하여 히스테리시스를 만들어내는 부분으로 구성된다. 센싱 온도는 저항값을 바꾸어 센싱 온도를 변경할 수 있으며 히스테리시스값도 저항값을 변경함으로써 설정할 수 있도록 하였다.

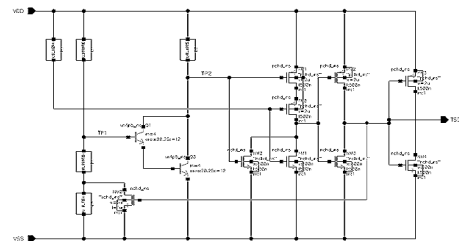


Fig. 8. Thermal shutdown circuit

Fig. 9의 시뮬레이션 결과에서 보이는 것처럼, 설계한 회로는 온도가 145°C가 넘을 경우 회로를 shutdown시키며 123°C에서 thermal shutdown이 오프되는 특성을 보이고 있으며 이를 통해 22°C의 히스테리시스를 갖는 것을 확인 할 수 있다.

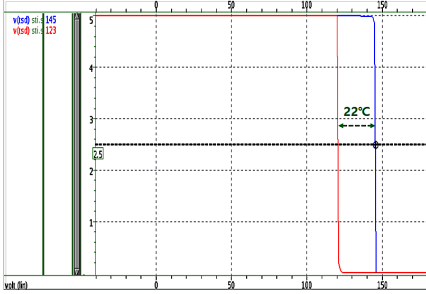


Fig. 9. Simulation result of thermal shutdown

3. 측정 결과 및 검토

Fig. 10는 설계된 IC의 레이아웃과 평가 보드의 동작 모습을 보이고 있다. 설계된 칩의 전체 크기는 2,700 μ m x 2680 μ m이다. 제작된 DC-DC가 내장된 BLU용 LED driver IC는 48 TQFP 패키지를 사용하였다. 검증용 실장 보드는 LED string과 driver IC 및 인터페이스를 위한 MCU 블록으로 구성 하였다.

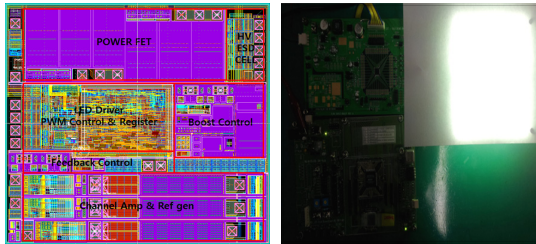
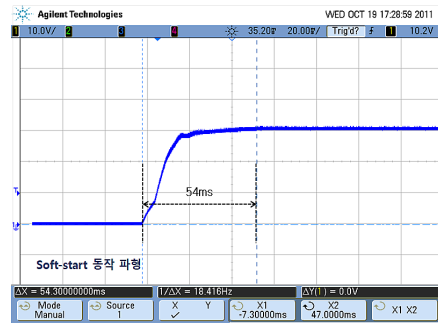
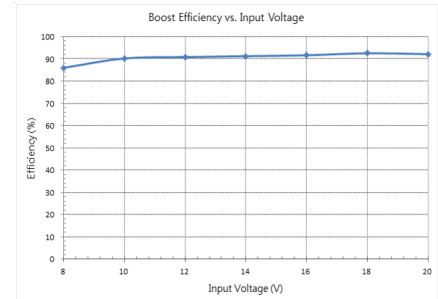


Fig. 10. Layout of designed IC and evaluation board

Fig. 11은 설계된 부스트 컨버터의 초기 출력 전압 파형과 효율을 측정한 그래프를 보이고 있다. 첫번째 측정 파형에서 보인 것과 같이 설정된 목표 전압인 30V까지 50ms 동안 돌입전류 방지를 위한 soft-start 블록이 정상 동작함을 확인 할 수 있다. 설계된 부스트 컨버터의 효율은 그래프에서 보이는 것처럼 최대 92%의 효율을 확인 할 수 있다.



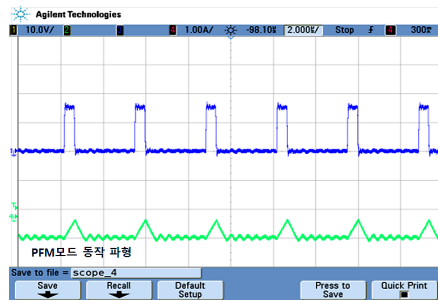
(a) Soft-start measurement waveform



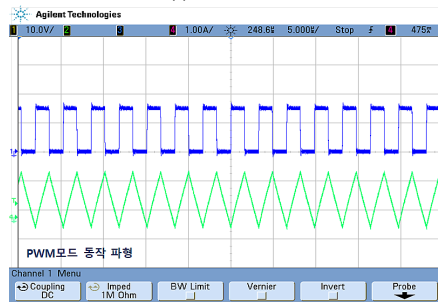
(b) Soft-start measurement efficiency

Fig. 11. Soft-start measurement waveform and efficiency

Fig. 12는 설계된 부스트 컨버터의 동작 모드를 측정 한 파형을 보이고 있다. 저부하시 PFM 모드에서 고부하시 PWM모드로 정상적으로 동작함을 확인 할 수 있다.



(a) PFM mode



(b) PWM mode

Fig. 12. Operation waveform of PFM and PWM mode

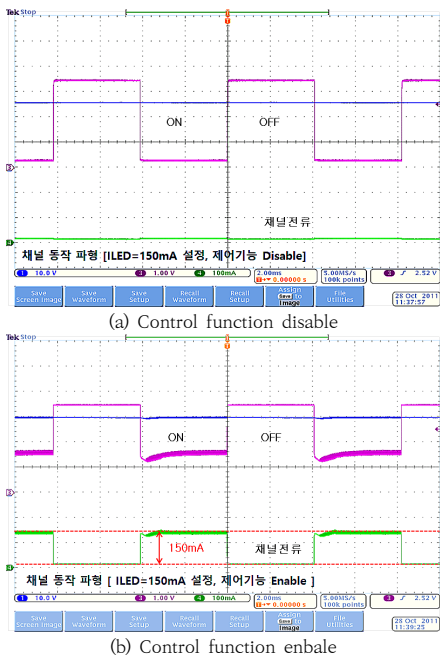


Fig. 13. Operation waveform of proposed power control function

Fig. 13는 본 논문에서 제안한 전력제어 기능의 동작을 측정할 파형을 보이고 있다. 첫번째 파형은 피드백 제어를 disable시킨 동작 파형을 보이고 있다. 파형에서 나타난 것처럼, 피드백 제어를 하지 않을 경우, 정전류원이 정상 동작하기 위한 headroom 전압이 부족하여 정상적인 전류를 출력하지 못하는 것을 볼 수 있다. 동일 조건에서 전력 제어 기능을 enable시킨 두번째 파형에서 볼 수 있는 것처럼, 정전류원이 정상적으로 동작하여 설정된 150mA의 채널 전류를 출력함을 확인 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 BLU 시스템의 최적 전력 제어를 구현하기 위해서, 정전류 동작이 가능한 최소 headroom 전압으로 DC-DC 컨버터 출력을 제어할 수 있는 방법을 제안하고 이를 검증하기 위해 전력제어 기능을 가진 DC-DC 내장형 LED driver IC를 설계, 제작 및 특성 검증을 진행 하였다. 제안된 최적 전력 제어 방법은 BLU 채널별 비교기와 비교 전압 생성 회로가 필요하지 않아서 집적 회로 구현시 칩사이즈 감소에 큰 장점을 갖는다. 또한 LED 순방향 전압차이 및 온도 변화로 발생하는 정전류 구동부의 headroom 전압 차이를 이용 DC-DC 컨

버터의 출력을 선형적으로 제어하도록 하여, 전력 손실의 최소화 및 안정화 측면에서 큰 장점을 갖는다. 설계된 회로는 Magnachip 0.35um CMOS 공정을 사용하여 제작 하였으며, Cadence 및 Synopsys사의 Design Tool을 사용하여 시뮬레이션 및 검증을 수행 하였다. 제작된 IC의 동작 평가결과 제안된 최적 전력 제어 방법이 BLU 시스템의 최소 필요 전압을 정상적으로 제어함을 확인 하였다. 제안한 최적 전력 제어 방법은 출력 전압을 제어하기 위한 피드백 단자를 갖는 전원 회로에 효율적으로 적용하여 고 신뢰성의 LED 백라이트 장치를 구현할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] J. Y. Tsao, "Solid-state lighting: Lamps, chips, and materials for tomorrow," IEEE Circuits Devices Mag., vol. 20, no. 3, pp. 28- 37, May/June. 2004. DOI:<http://dx.doi.org/10.1109/CLEO.2005.201704>
- [2] 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>
- [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] S. Y. Tseng, S. C. Lin, and H. C. Lin, "LED backlight power system with auto-tuning regulation voltage for LCD panels," in Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf. (APEC), pp. 551- 557, Feb. 2008. DOI:<http://dx.doi.org/10.1109/APEC.2008.4522775>
- [5] Behzad Razavi, "Design of Analog CMOS Integrated Circuits", McGraw-Hill, 2001.

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)엘디터 수석연구원

- 2020년 4월 ~ 현재 : (주)피엔엘세미 개발이사

<관심분야>

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

김 선 엽(Sun-Yeob Kim)

[종신회원]



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

<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