

온도 보상 및 듀얼 루프를 이용한 부스트 컨버터 LED 드라이버 IC

(A dual-loop boost-converter LED driver IC with
temperature compensation)

박지훈¹⁾, 윤성진²⁾, 황인철^{3)*}

(Ji-Hoon Park, Seong-Jin Yoon, and In-Chul Hwang)

요약 본 논문에서는 3개의 선형 전류 레귤레이터 그리고 자동 기준 전압 조절과 출력 전압 조절 루프를 포함하는 LED 배면광 드라이버 IC를 제안한다. 제안한 LED 드라이버에서 출력전압은 이중 피드백 루프를 통해 제어된다. 첫 번째 루프는 출력전압을 감지하고 조절하며, 두 번째 루프는 선형 전류 레귤레이터의 전압 강하를 감지하고 기준전압을 조정한다. 이러한 피드백 루프와, 선형 전류 레귤레이터의 전압강하는 드라이버 효율이 최대가 될 수 있는 최소값으로 유지된다. 드라이버의 출력은 각 채널당 4개의 LED를 가지는 3개의 채널 LED 구조이다. 휘도는 펄스 폭 변조(PWM) dimming 신호에 의해 조절된다. 제안한 드라이버는 0.35 μ m의 60-V 고전압 공정에서 설계되었고, 측정 결과 최대 85% 정도의 효율을 가진다.

핵심주제어 : 이중 루프 부스트 컨버터, 자동 조절 기준 전압, LED 드라이버, 최하위 헤드룸 선택기, 오프 타임 전압 홀더

Abstract This paper presents an LED backlight driver IC consisting of three linear current regulators and an output-voltage regulation loop with a self-adjustable reference voltage. In the proposed LED driver, the output voltage is controlled by dual feedback loops. The first loop senses and controls the output voltage, and the second loop senses the voltage drop of the linear current regulator and adjusts the reference voltage. With these feedback loops, the voltage drop of the linear current regulator is maintained at a minimum value, at which the driver efficiency is maximized. The output of the driver is a three-channel LED setup with four LEDs in each channel. The luminance is adjusted by the PWM dimming signal. The proposed driver is designed by a 0.35- μ m 60-V high-voltage process, resulting in an experimental maximum efficiency of approximately 85%.

Key Words : Double-loop boost converter, self-adjustable reference voltage, LED driver, lowest-headroom selector, off-time voltage holder

* Corresponding Author : ihwang@kangwon.ac.kr

† 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT 연구센터육성 지원사업 (IITP-2015-H8501-15-1010)과, 2013년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구하였음(C1010251-01-01) Manuscript received October 23, 2015 / revised November 30, 2015 / accepted December 16, 2015

1) 강원대학교 BIT의료융합학과, 제1저자

2) 고려대학교 전기전자공학과, 제2저자

3) 강원대학교 전기전자공학과, 교신저자

도가 변하는 동안 전력 효율을 보상한다.

2. 회로 구현

2.1 개요

‘Fig. 1’은 각각 4개가 직렬로 연결된 LED를 가지는 3개의 채널을 위한 LED 배면광 드라이버와 dimming 제어 전류 레귤레이터의 펄스 폭 변조(PWM)를 구현한 블록도를 보여준다[8]. 이 부스트 컨버터는 최하위 헤드룸 선택기(LHS), 오차 증폭기(error amplifiers), 비교기(comparators), 파워 트랜지스터(power transistor), 게이트-구동 버퍼(gate-drive buffers)와 외부 L1, D1, C1으로 구성된다.

이 드라이버는 이중 루프 부스트 컨버터로 설계되었다. 여기서 첫 번째 루프는 V_{fbk} 핀을 통해 V_{OUT} 이 $V_{AR}(1 + R_a/R_b)$ 이 되도록 조절한다. 두 번째 루프는 선형 레귤레이터(V_{min})를 거쳐 가장 낮은 헤드룸(headroom)이 V_R 이 되도록 하기 위해 적절한 기준 전압(V_{AR})을 조절한다. 기존의 다이오드 기반의 피크 검출기 대신에, 스위치드 캐패시터 샘플러를 기반으로 한 제안된 LHS는 채널사이의 가장 낮은 헤드룸(headroom) 전압을 검출하고 온도에 따라 전압 변화를 추적할 수 있다.

서론에서 언급한 바와 같이, 위상-이동 펄스

폭 변조(PWM) dimming 기술은 모든 전류 레귤레이터 각각의 펄스 듀티비가 33% 이하이면 꺼지게 한다. 대부분의 경우 제로 전류에서 V_{min} 은 각각의 LED의 순방향 전압이 1V 이상 떨어지기 때문에 오프 기간 동안에는 상승한다. 그러므로 V_{OUT} 은 V_{min} 의 심각한 전압 변동에 의해 반응한다. 따라서 이 효과를 방지하기 위해 새로운 방식의 최하위 헤드룸 선택기(LHS)와 오프 타임 전압 홀더를 제안한다.

2.2 루프 해석

‘Fig. 2’ (a)는 이중 루프 컨버터의 s-domain 모델을 보여준다. $G_{BC}(s)$, $G_{comp}(s)$, $G_{AR}(s)$ 는 각각 부스트 컨버터, 비교기(comparator), 자동 조정 기준 전압 발생기의 전달함수를 나타낸다. LED string을 통한 전압강하는 V_{min} 의 고정된 값으로 표시된다.

전체 오픈 루프 전달함수 ($H_{ol}(s)$)는 Eq. (1)과 같이 계산된다. 분모 항은 저항 피드백을 통한 추가적인 루프에 의해 만들어진다. ($\alpha = R_b/(R_a + R_b)$).

$$H_{ol}(s) = \frac{G_{BC}(s)G_{AR}(s)G_{comp}(s)}{1 + \alpha G_{BC}(s)G_{comp}(s)} \quad \text{Eq. (1)}$$

여기에서 각 항들은 Eq. (2), Eq. (3), Eq. (4),

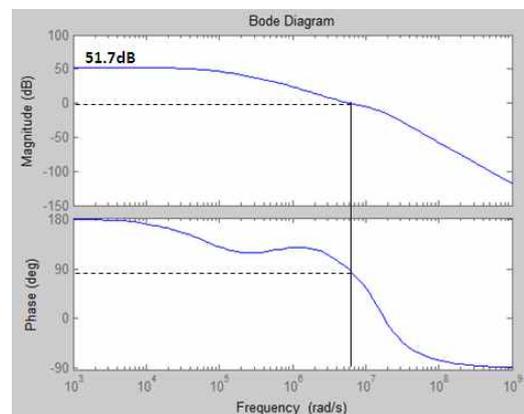
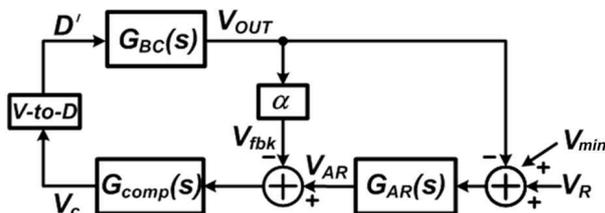


Fig. 2 Loop dynamics : (a) s-domain equivalent model (b) Bode plot

Eq. (5) 와 같다.

$$G_{BC}(s) = G_{d0} \frac{(1 - \frac{s}{\omega_z})}{(1 + \frac{s}{Q\omega_0} + (\frac{s}{\omega_0})^2)} \quad \text{Eq. (2)}$$

$$G_{comp}(s) = -\frac{1}{R_1(C_1 + C_2)} \frac{(1 + sR_2C_1)[1 + s(R_1 + R_3)C_3]}{s(1 + sR_3C_3)[1 + sR_2\frac{C_1C_2}{C_1 + C_2}]} \quad \text{Eq. (3)}$$

$$G_{AR}(s) = -\frac{g_m r_o}{1 + sC_{r_o}} \quad \text{Eq. (4)}$$

$$G_{d0} = \frac{V_o}{D'}, \omega_0 = \frac{D'}{\sqrt{LC}}, \omega_z = \frac{D'^2 R}{L}, Q = D'R\sqrt{\frac{C}{L}} \quad \text{Eq. (5)}$$

‘Fig. 2’ (b) 는 모든 소자 값이 실제 회로 값으로 대체 되었을 때의 $H_{ol}(s)$ 보드선도를 보여준다. 단위 이득 주파수(UGF)는 0.93MHz이며 단위 이득 주파수(UGF)에서 위상 마진은 88°이다.

2.3 LHS & 오프 시간 전압 홀더

LED의 순방향 전압은 각각의 LED가 전류, 온도, 제조사에 따라 서로 다른 특성을 가지고 있기 때문에 각 채널에 따라 다르다 [9-11]. 따라서 컨버터의 출력전압은 모든 LED가 정상 동작 영역에 있는 것을 보장하도록 가장 높은 LED 순방향 전압을 가지는 채널로 결정해야한다[12]. 그 채널은 가장 높은 LED 순방향 전압 강하를 가지기 때문에 LHS는 가장 낮은 전압 강하를 가지는 채널을 선택한다.

‘Fig. 3’은 제안된 최하위 헤드룸 선택기(LHS)

와 오프 타임 전압 홀더를 기존의 방식과 비교한다[6]. 기존의 최하위 헤드룸 선택기(LHS)는 레벨 시프터(level shifter), 비교기(comparator), 포락선 검파기(envelope detector)로 구성된다. 세부 동작원리는 $V_{ch1}, V_{ch2}, V_{ch3}$ 중에 가장 낮은 전압이 선택되고 V_R 과 비교된다. 선택된 채널전압은 V_R 을 기준으로 진폭이 반전되고, 그때 피크 값이 샘플링 된다. 그리고 D_{EV} 와 C_{EV} 로 구성된 포락선 검파기(envelope detector)를 통하여 캐패시터 C_{EV} 에 그 값이 유지된다. 이 포락선 검파기(envelope detector)는 V_{AR} 이 한번 고정되면 하향 전압 변동에 더 이상 반응하지 않는다. 이를 통해 펄스의 듀티비가 33% 이하일 때 만들어지는 모든 레귤레이터 오프 주기 동안 전압 변동을 방지한다.

펄스 사이의 시간 차이 동안 어떤 LED 채널에도 전류는 흐르지 않는다. 그래서 채널전압은 1V 이상 증가될 수 있다. 포락선 검파기(envelope detector)의 사용은 일시적인 전압 변동에 따른 V_{AR} 변동을 막는다. 그러나 이러한 설계는 LED의 순방향 전압이 높은 온도에서 감소될 때 온도에 의한 전압 변동 또한 검출하지 못하는 문제를 갖는다.

이러한 문제를 해결하기 위해, ‘Fig. 2’ (b)에 나와 있듯이 새로운 구조의 최하위 헤드룸 선택기(LHS)를 제안한다. 3개의 채널 전압은 두개의 캐스캐이드(cascade) 연결된 전압 비교기(comparator)를 사용하여 서로 비교된다. 그때 가장 낮은 전압이 V_{min} 으로 전달된다.

이 설계에서 모든 레귤레이터 오프 시간은 단순히 펄스 폭 변조(PWM)펄스의 OR 논리 연산

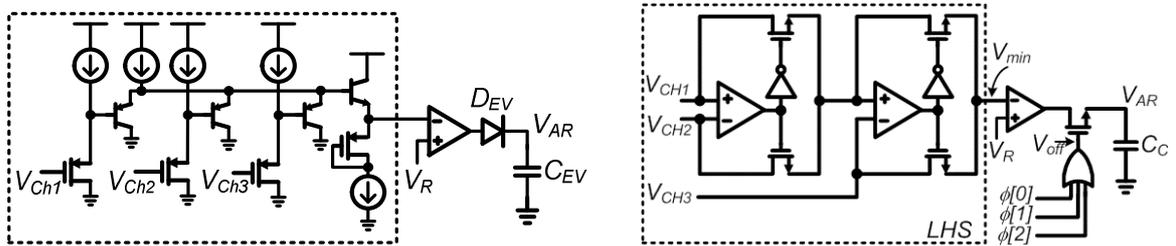


Fig. 3 Lowest voltage selector : (a) Conventional circuit based on a diode envelope detector [6] (b) The proposed circuit

에 의해 검출된다. 오프 시간이 검출되는 동안 MOS 스위치는 끊어지고, V_{AR} 은 C_c 캐패시터에 유지된다. 이 구조 때문에 V_{AR} 은 모든 레귤레이터 오프 시간 동안 채널 전압의 일시적인 변화를 방지하면서 동시에 온도에 의한 변화를 보상하기 위해 사용될 수 있다. 또한 오프 시간 동안 일어나는 무 부하 상태는 전압모드 부스트 컨버터에서 전압 변동을 일으킬 수 있다. 따라서 무 부하 상태 동안 V_{OUT} 을 고정시키는 동시에 스위치 변화를 멈출 필요가 있다. 이러한 목적을 위해 검출된 신호 V_{off} 는 'Fig. 1'에 표시된 바와 같이 전원 스위치 모듈레이터와 공유된다.

'Fig. 4'는 듀티비 (D)에서 펄스 폭 변조 (PWM) 펄스의 두 가지 경우의 동작 파형을 보

여준다. 'Fig. 4' (a)와 (b)는 각각 $D > 33\%$ 와 $D < 33\%$ 동안의 파형을 보여준다. 'Fig. 4'에 나와 있는 것처럼 $D > 33\%$ 에서 펄스 폭 변조 (PWM) dimming 펄스는 모든 레귤레이터가 오프 시간 없이 LED 채널 하나 하나를 켜다. 같은 조건에서, 제안한 최하위 헤드룸 선택기(LHS)는 전압 변동의 영향 없이 가장 낮은 채널 전압을 감지한다. 'Fig. 4' (b)는 $D < 33\%$ 동안의 파형을 보여준다. 여기에서 V_{min} 은 오프 타임 시간 동안 전압 변동(파란색 점선)에 의하여 1V 이상 영향을 받을 수 있다.

그러나, 오프 타임 전압 홀더는 오프 타임 시간 동안 V_{min} 이 올라가는 것을 방지한다. 동시에 파워스위치는 무 부하 상태에서 이탈되지 않도록

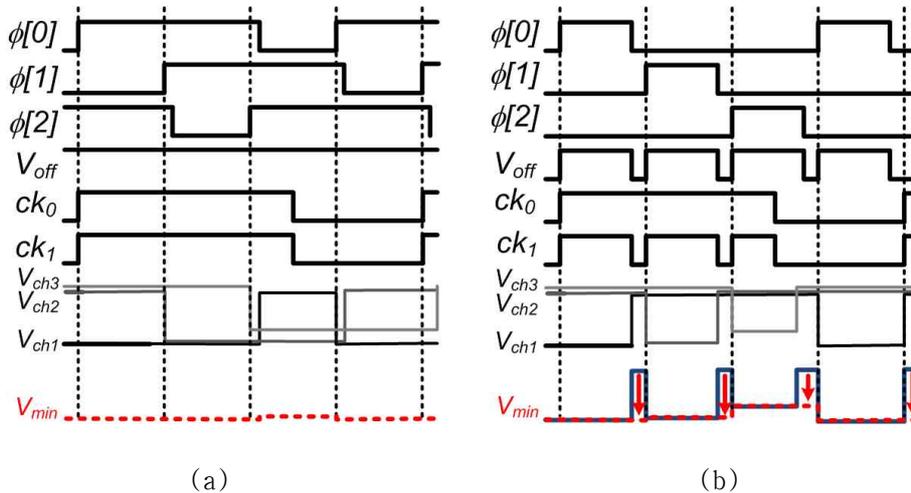


Fig. 4 Operational waveforms : (a) PWM dimming duty $> 33\%$, (b) PWM dimming duty $< 33\%$

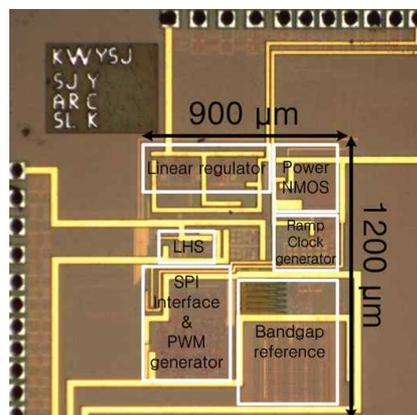


Fig. 5 Die photograph

A dual-loop boost-converter LED driver IC with temperature compensation

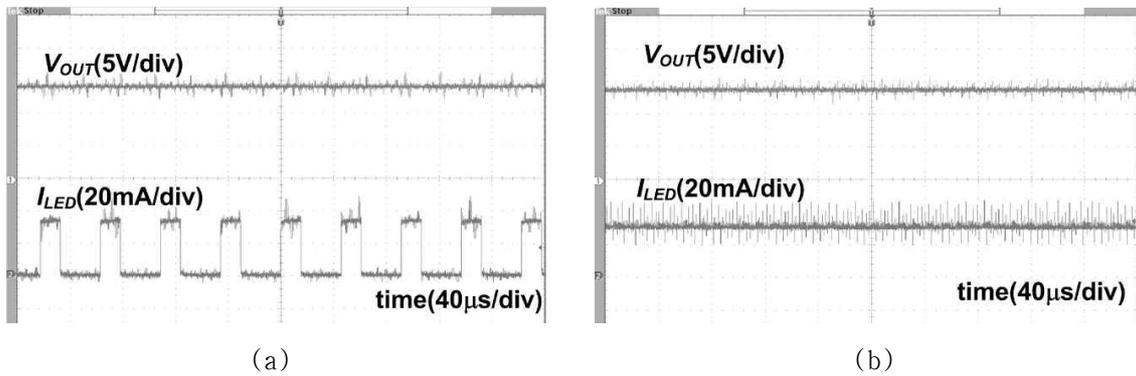


Fig. 6 Measured waveforms on V_{out} and I_{LED} : (a) PWM dimming duty = 30%, (b) PWM dimming duty = 100%

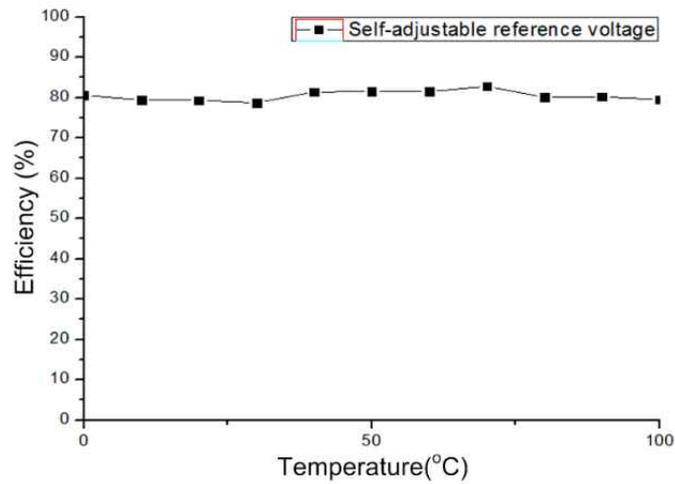


Fig. 7 Power efficiency measured over temperature from 0°C to 100°C.

Table 1 PERFORMANCE SUMMARY AND KEY COMPONENTS

Fabrication Process	0.35- μm BCD MOSFET 60V 1P4M
Chip Area	1mm ²
Supply Voltage	4-6 V
Output Voltage	13-15 V
Maximum Load Current	90mA
Switching Frequency	300-700 kHz
PWM Frequency	8.3 kHz
Capacitor(Off-chip)	22 μF
Inductor(Off-chip)	47 μH
Maximum Efficiency	85%

Table 2 PERFORMANCE COMPARISON WITH PRIOR STUDIES

Parameter	Units	[6]	[13]	This work
Supply Voltage	V	6-27	20-30	4-6
Output Voltage	V	60	3.5-80	13-15
Maximum Load Current	mA	30	1400	90
Rising Time of Load Current Pulse	ns	86	>1000	70
Maximum Efficiency	%	90	88	85

변조된 ck_1 신호를 이용하여 꺼지게 된다.

제안한 새로운 구조를 사용하는 방식은 op-amp를 사용하기 때문에 안정도의 고려가 필요하고, 트랜지스터를 더 많이 사용하기 때문에, 전류나 사이즈 면에서는 단점을 가진다.

3. 측 정

제안한 LED 드라이버 IC는 $0.35\mu\text{m}$ 60-V BCD MOSFET 공정으로 제작하였다. 'Fig. 5'는 제작된 칩 사진을 보여준다. 'Fig. 6'(a)와 (b)는 부스트 컨버터의 출력전압(V_{OUT})과 펄스 폭 변조(PWM) dimming 신호가 각각 30% 100% 듀티비 동안에 단일 LED 채널의 전류(I_{LED})로부터 측정된 파형을 보여준다. 이 그래프는 제안한 오프 타임 전압 홀더 때문에 30% 듀티비에서도 낮은 레벨의 전압 리플이 유지됨을 보여준다.

V_{OUT} 은 일정한 온도 챔버 안에서 온도를 0°C 부터 100°C 까지 올리면 14.6V에서 13.2V까지 떨어진다. 따라서 제안한 설계는 최대 9.58% 전력손실에 해당하는 126mW의 전력손실을 막는다. 이에 따라 'Fig. 7'과 같이 측정된 전력 효율은 100°C 범위동안 거의 일정하게 유지된다.

'Table 1'은 제안한 LED 드라이버 IC의 성능을 정리한 것이고, 'Table 2'는 다른 연구들과 주요 파라미터를 비교한 것이다.

4. 결 론

LED 배면광 드라이버 IC는 제안된 것처럼 스

스로 기준전압이 조절 가능한 이중 루프 부스트 컨버터를 기본으로 한다. $0.35\mu\text{m}$ BCD 60-V 공정기술에서 구현했을 때 이 드라이버는 기존 구조에 비하여 100°C 온도변화 동안 약 9.58%의 전력을 감소시킨다. 또한 부스트컨버터의 출력 전압 변동은 제안한 오프 타임 전압 홀더를 통해 방지한다. 따라서 이 드라이버는 펄스 폭 변조(PWM) dimming 용 전류 제어의 높은 해상도를 가진다.

References

- [1] C. O. Yun, Y. S. Choi and Tae Soo Yun, "Development of Smart Contents Platform for providing Digital Sinage Environment", Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, Vol. 20, No. 2, pp. 25-37, 2015.
- [2] S. H. Lee and S. Y. Kim, "Design and Implementation of an Intelligent System for Personalized Contents Recommendation on Smart TVs", Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, Vol. 18, No. 4, pp. 73-79, 2013.
- [3] K. H. Yi and D. S. Lee, "Cost Effective Plasma Display Panel TV Driving system with an address misfiring compensation circuit", Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, Vol. 18, No. 3, pp. 1-8, 2013.
- [4] H. J. Chiu, Y. K. Lo, J. T. Chen, S. J. Cheng, C. Y. Lin and S. C. Mou, "A

High-Efficiency Dimmable LED Driver for Low-Power Lighting Applications”, IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 57, Issue 2, pp. 735-743, Feb. 2010.

[5] K.H. Kowloon Loo, Wai-Keung Lun, Siew-Chong Tan, Y.M. Lai, and C.K. Tse, “On Driving Techniques for LEDs: Toward a Generalized Methodology”, IEEE Trans. Power Electronics Vol. 24, Issue 12, pp. 2967-2976, 2009.

[6] S. I. Hong, J. W. Han, D. H. Kim, O. K. Kwon, “A Double-Loop Control LED Backlight Driver IC for Medium-Sized LCDs”, ISSCC, pp. 116-117, 2010.

[7] Texas Instruments Inc.:TLC 5960 datasheet (2010)
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlc5960.pdf>

[8] H. P. Kim and I. C. Hwang, “A Low-power, Low-noise DLL-based Frequency Multiplier for Reference Clock Generator”, Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, Vol. 18, No. 5, pp. 9-14, 2013.

[9] M. Doshi and R. Zane, “Digital architecture for driving large LED arrays with dynamic bus voltage regulation and phase shifted PWM,” in Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf.(APEC), pp.287-293, Mar. 2007.

[10] Heinz Van der Broect, Georg Sauerlander, and Matthias Went, “Power driver topologies and control schemes for LEDs, in Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf.(APEC), pp.1319-1325, Mar. 2007

[11] Baddela, S. M. and Zinger, D. S, “Parallel connected LEDs operated at high to improve current sharing,” in Proc. IAS, Vol. 3, pp.1677- 1681, Oct. 2004.

[12] E. C. Kang, D. K. Kwon, J. E. Yeon, D. S. Kim, W. H. Oh, “A new low voltage detecting method for multi-string LED BLU circuit,” in Proc. EPE, pp.1-6, Sept. 2009.

[13] Y. Hu and M. M. Jovanovic, “LED driver with self-adaptive drive voltage” IEEE Trans. Power Electron., Vol. 23, No. 6, pp. 3116-3125, Nov. 2008.



박 지 훈 (Ji-Hoon Park)

- 학생회원
- 2015년 강원대학교 전기전자 공학과 공학사
- 2015년~현재 강원대학교 BIT 의료융합학과 석사과정
- 관심분야 : 전자시스템, Power Management IC



윤 성 진 (Seong-Jin Yoon)

- 2010년 강원대학교 전기전자 공학과 공학사
- 2012년 강원대학교 전기전자 공학과 공학석사
- 2011년~2013년 동부하이텍 디스플레이 사업부 연구원
- 2013년 크루셜텍 IC 전임연구원
- 2014년 강원대학교 정보통신연구소 연구원
- 2014년~현재 고려대학교 전기전자공학과 박사 과정
- 관심분야 : 전자시스템, Power Management IC



황 인 철 (In-Chul Hwang)

- 1993년 고려대학교 전자공학 학사 졸업
- 1995년 고려대학교 공학석사 졸업
- 2000년 고려대학교 공학박사 졸업
- 2000년~2001년 Univ. of Illinois at Urbana-Champaign에서 박사 후 연구원
- 2001년~2007년 삼성 Sys. LSI 책임연구원.
- 2007년~현재 강원대학교 전기전자공학전공 부교수
- 관심분야 : 반도체, RF IC 설계, Power Management IC