

논문 2013-50-8-16

고속 디밍제어를 위한 고휘력-LED 드라이버 설계

(Design of the Power-LED Driver for High Speed Dimming Control)

이 건*, 강 우 성*, 정 태 진*, 윤 광 섭**

(Keon Lee[Ⓞ], Woo-Seong Kang, Tae-Jin Jung, and Kwang-Sub Yoon)

요 약

본 논문에서는 고전압 공정기술을 이용하여 고속 디밍제어가 가능한 고휘력-LED 드라이버를 설계하였다. 제안하는 고휘력-LED 드라이버는 디밍신호를 통해서 LED에 필요한 전류량을 예측하고, 예측된 전류의 일부분을 인덕터 전류로 피드백시키는 방법을 사용하여서, LED 전류 상승시간이 최소화되도록 설계하였다. 기존 고휘력-LED 드라이버의 최소 LED 전류 상승시간은 3 μ s로 제한된 반면 제안하는 고휘력-LED 드라이버의 최소 LED전류 상승시간은 1/10 정도로 감소되었다. 설계된 LED 드라이버는 0.35 μ m 60V BCDMOS 2-poly 4-metal 공정으로 제작되었으며 측정 결과 입력전압 12V, 9개의 백색 LED, 353mA LED전류, 1KHz 디밍주파수에서 LED전류 상승시간과 전력전달효율은 각각 240ns, 93.7%로 측정되었다.

Abstract

This paper presents a high dimming ratio Power-LED driver IC with high power which is capable of controlling LEDs. In order to accomplish a high dimming ratio LED driver, the preloading inductor current methodology is proposed for the power stage of the proposed method to achieve the fast transient response time during the Power-LED load switching. The information containing the current flowing on the LEDs can be utilized to predict the amount of the current on the inductor. The minimum LED current rising time of existing high dimming ratio Power-LED driver is limited by 3 μ s, however that of the proposed high dimming ratio Power-LED driver is reduced about 1/10. The LED driver is implemented with 0.35 μ m 60V BCDMOS 2-poly 4-metal process. The measurement results show that the proposed LED driver system features the minimum rising time as small as 240ns at the dimming frequency of 1KHz with a 12V of input voltage, nine white LEDs and 353mA of LED current. The LED rising time and power conversion efficiency of the chip are measured to be 240ns and 93.72%, respectively.

Keywords: LED driver, Power-LED, high dimming ratio, high speed dimming, SMPS

I. 서 론

최근 LED 소자와 패키징 기술의 향상에 따라 1W

이상의 고휘력 LED가 등장하였으며, 기존 조명광원 보다 높은 150lm/W가 개발되고 100lm/W 고효율 LED가 상용화 단계에 이르고 있다. 이러한 LED의 고효율화와 고휘력화에 따라 경관조명, 가로등, 실내조명 등에 생활 조명산업에 급속히 침투하고 있으며 또한, 초박형 소형 • 경량화, 장수명, 수십 나노 초 단위의 고속응답 속도, 광색의 시인성 및 색재현성 등은 IT, BT, NT 기술과 융합되어 의료, 농업, 환경, 디스플레이, 정보가전 등의 넓은 응용 분야로 확대되고 있어 차세대 광원으로 각광을 받고 있다. 그러나 LED는 반도체소자로서 동작전압 및 전류를 정확히 제어하지 않으면 그 수명과 광 출력

* 학생회원, ** 평생회원, 인하대학교 전자공학과
(Dept. of Electronic Engineering, Inha University)

Ⓞ Corresponding Author(E-mail: tnkrn87@gmail.com)

※ “이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2012R1A1A2006812)”

※ “본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음” (NIPA-2013-(H0301-13-1013))

접수일자: 2013년3월29일, 수정완료일: 2013년7월24일

을 보장할 수 없다. 그러므로 이러한 LED를 적절히 구동하기 위한 드라이버의 기술개발은 매우 중요하다^[1].

LED의 광량을 제어하는 방식에는 두가지로, PWM 디밍과 아날로그 디밍 방식이다. 두 방식 모두 LED에 흐르는 평균 전류를 제어하지만, 아날로그 디밍의 경우 LED에 흐르는 전류 변동에 따라 심한 색 온도 변화를 보일 수 있어 디스플레이 장치에 응용하기에 적절하지 않다. PWM 디밍제어는 짧은 시간동안 LED 전류를 켜고 끄는 수많은 동작을 반복하는 것이다. 이는 LED에 흐르는 전류를 일정하게 유지하면서도 시비율에 의해 LED에 흐르는 평균전류량을 조절 할 수 있어 아날로그 디밍제어의 단점이었던 색온도 변화문제를 피할 수 있다. 오늘날 많은 LED 드라이버들은 PWM 디밍주파수 및 진폭을 사용하기 위해 특화된 PWM_DIM 핀을 가지고 있다. 이는 내부 회로의 작동 상태를 유지하고 출력 드라이브만 차단하여 LED드라이버의 PWM 디밍기능을 수행한다. 그러나 스트링 당 높은 전류량이 흐르는 고휘력 LED를 채용한 조명장치들은 컨버터 출력의 시작 및 차단 지연으로 인해 PWM 디밍주파수와 시비율 범위에 제한이 생긴다. 이는 컨버터가 구동하는 전류가 증가할수록 인덕터 전류의 초기 충전시간이 길어져 LED부하의 과도응답속도가 제한되기 때문이다^[2].

본 논문에서는 고휘력 LED 드라이버의 한계점인 고속디밍제어를 구현하기 위해 인덕터 전류 선구동방식의 PWM디밍제어 알고리즘을 제안하고 디밍신호 지연회로를 사용하여 구현하였다.

II장에서는 제안하는 LED드라이버의 구조와 디밍신호 지연회로에 대해 설명하였다. III장은 제안한 LED 드라이버의 측정 결과를 기술하였고. IV장에서는 결론을 맺었다.

II. 고휘력-LED 드라이버 설계

1. 제안한 고휘력-LED 드라이버의 구조

본 논문에서 제안한 고휘력-LED드라이버는 외란에 대해 내성이 좋고 빠른응답속도를 지닌 전류모드제어 DC-DC 부스트변환기 방식을 기반으로 하였다. 6V에서 12V까지의 전압을 입력받아 LED개수에 따라 최대 40V까지 전압을 출력가능하며 최대 400mA의 전류 부하를 구동할 수 있도록 설계하였다. 10uF 필터 커패시터와 10uH 필터 인덕터를 통해 10mV 이하의 전압리플

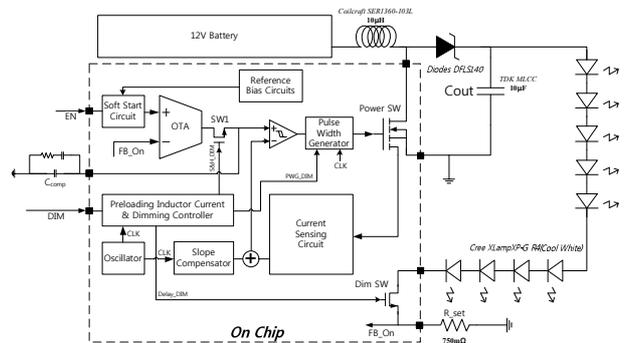


그림 1. 제안하는 고휘력-LED 드라이버의 블록도
Fig. 1. Block diagram of the proposed Power-LED driver.

을 갖도록 설계 하였다. LED 구동회로의 기준전압은 300mV와같이 낮은 수준으로 설계하여 전력전달 효율을 극대화하였다.

그림 1에 나타낸 고휘력-LED드라이버는 외부요인과 관계없이 일정한 전류와 전압을 공급해 주는 기준 바이어스 회로, 초기 구동시 외부소자에 급격한 전류가 흐르는 것을 막아 소자를 보호해주는 기능을 갖는 소프트시동회로, 기준전압과 피드백된 전압신호의 오차를 증폭시켜 컨트롤신호를 발생시키는 오차증폭기, LED가 꺼져있는 구간에서 오차증폭기의 컨트롤 신호를 유지시켜줄 스위치(SW1), 인덕터 전류를 감지하기위한 전류 감지회로, 인덕터 전류의 부고조파 발진을 막기 위한 전류 기울기 보상회로, 입력된 디밍신호를 클럭신호에 맞추어 지연된 디밍신호를 발생시키는 디밍신호조절기, 스위칭주파수 발진기, 오차증폭기 출력 신호를 기준으로 인덕터 전류신호와 비교하여 파워스위치를 제어하는 전압비교기, 전압비교기 출력을 입력받아 파워스위치를 구동시킬 펄스를 만들어주는 펄스폭발생기로 구성되어 있다.

2. 제안하는 인덕터 전류 선구동방식

고출력-LED 드라이버에 적용 가능한 선구동 인덕터 전류방식은 LED부하를 PWM 디밍제어 방식으로 구동시에 출력전류량을 예측할 수 있다는 점을 이용하여 고안되었다^[3].

제안하는 PWM 디밍제어 방식의 동작진행도를 그림 2에 나타내었다. 우선, LED구동 제어장치가 초기구동 상태에서는 LED로드에 얼마의 공칭전류가 필요할지 모르기 때문에 이 정보를 수집/저장할 필요가 있다. 초

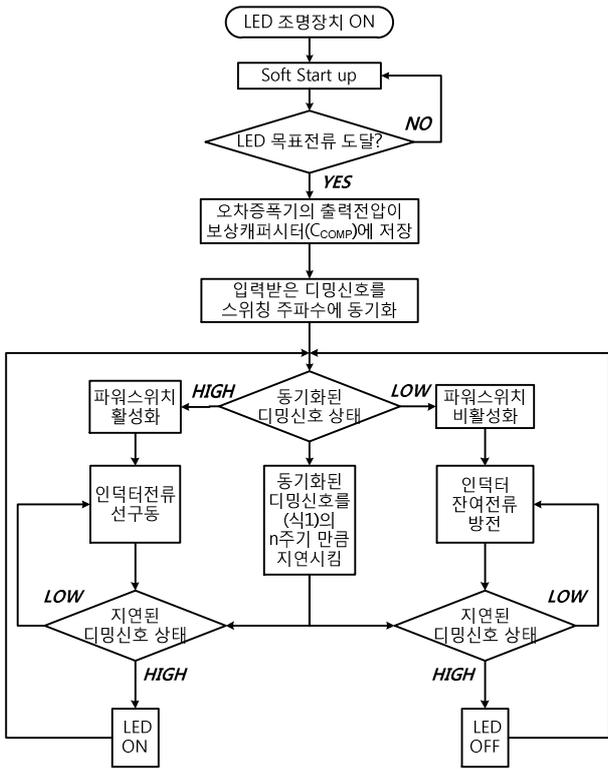


그림 2. 선구동 인덕터 전류제어방식의 동작진행도
Fig. 2. Flowchart of Preloading inductor current method.

기의 소프트 시동상태에서 LED구동 제어장치는 외부 디밍신호와 관계없이 LED를 켜서 설계자가 설정한 목표전류에 도달할 때 까지 부스트 변환기를 구동한다. 목표전류에 도달하면 외부의 디밍신호를 입력받는다. 입력받은 디밍신호는 디밍신호 조절회로에 의해 내부 스위칭 클럭 신호와 동기화된다. 그리고 동기화된 디밍신호는 스위칭 클럭을 기준으로 식 (1)에 의해 결정된 정수만큼 지연된 디밍신호를 발생시킨다.

$$(N_{min}) \geq \frac{V_{out} \times I_{\leq D} \times L}{\eta T_{SW} V_{Batt} \times (V_{Batt} D_{max} - V_{out}(1 - D_{max}))} \quad (1)$$

동기화된 디밍신호가 'HIGH'가 되면 파워스위치가 활성화되어 지연된 시간동안 인덕터전류를 구동시켜 LED구동에 필요한 정상상태 전류수준까지 도달하도록 한다. 지연된 시간 이후에 LED하부의 스위치를 ON시켜서 LED에 전류를 공급하여 준다. 이렇게 하면 LED의 전류가 인덕터에 의한 지연없이 빠르게 목표전류에 도달할 수 있다. 동기화된 디밍신호가 'LOW'가 되면 파워스위치가 먼저 꺼지면서 LED는 인덕터의 잔여전류로 구동되다가 지연시간 후에 꺼지게 된다.

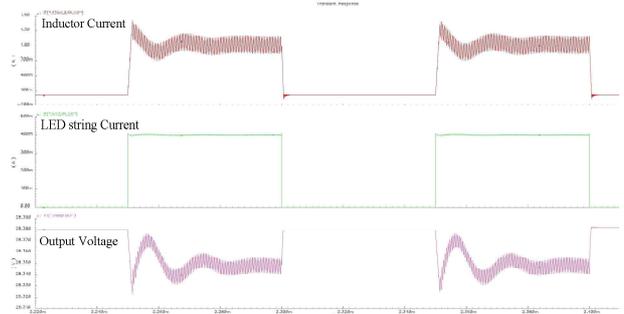


그림 3. 기존의 PWM디밍방식으로 동작할 경우
Fig. 3. PWM dimming operation on the conventional method.

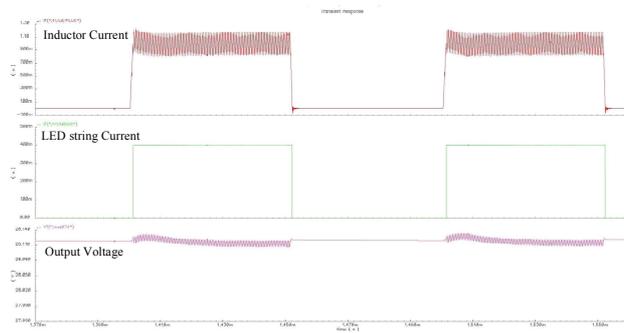


그림 4. 제안하는 PWM디밍방식으로 동작할 경우
Fig. 4. PWM dimming operation on the proposed method.

그림 3의 기존의 디밍방식으로 동작할 경우와 그림 4의 제안하는 디밍방식으로 동작할 경우 개선된 점을 알 수 있도록 모의실험 결과파형을 첨부하였다.

그림 4에 나타나 있듯이 제안하는 디밍방식을 이용할 경우 기존의 디밍방식보다 인덕터전류와 출력전압의 링잉을 효과적으로 억제하고 매우 빠른 디밍신호에도 LED에 안정적인 전류를 공급할 수 있다. 이는 고풍력 LED드라이버의 응답속도를 개선하여 정밀한 조광제어를 가능하게 해준다.

3. 디밍신호 제어기 설계

기존의 LED드라이버에 인덕터 전류 선구동방식을 적용시키기 위해서는 지연된 디밍신호들을 발생시켜줄 디밍신호 제어기가 필요하다. 디밍신호 제어기는 그림 5와 같이 라이징 엣지 트리거 D-플립플롭과 논리 게이트를 조합하여 구성하였다.

플립플롭에 사용되는 클록은 LED구동회로의 내부 클럭을 사용하였다. 디밍신호제어기는 내부 클럭에 동기화된 디밍신호(Sync_DIM), 한 주기 지연된 디밍신호

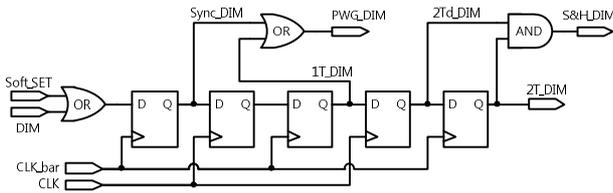


그림 5. 디밍신호 제어기 회로도
Fig. 5. Schematic of a proposed dimming signal controller.

(1T_DIM), 두 주기 지연된 디밍신호(2T_DIM), 샘플&홀드 디밍신호(S&H_DIM) 그리고 PWG활성화 디밍신호(PWG_DIM)를 발생시켜 제안하는 선구동 인덕터 전류방식을 제어한다.

LED구동회로가 초기 동작상태에서는 소프트 시동구간이기 때문에 Soft_SET신호가 'HIGH'인 상태이므로, 외부에서 입력된 DIM신호와 관계없이 OR게이트를 통과한 내부 디밍신호는 모두 'HIGH'가 된다. 소프트 시동구간이 끝나고 LED출력전류가 목표전류량에 도달하게 되면 Soft_SET신호는 'LOW'로 변하고 LED구동회로는 비로소 외부 DIM신호에 따라 디밍동작을 하게 된다. 그림 6에는 제안하는 디밍신호 제어기의 동작 파형들을 나타내었다. OR게이트를 통과한 외부 DIM신호는 첫 번째 플립플롭에 의해 반전된 클럭신호(CLK_bar)의 라이징 엣지에 동기화된다. 이렇게 생성된 신호가 'Sync_DIM'으로 출력된다. Sync_DIM은 다시 클럭신호

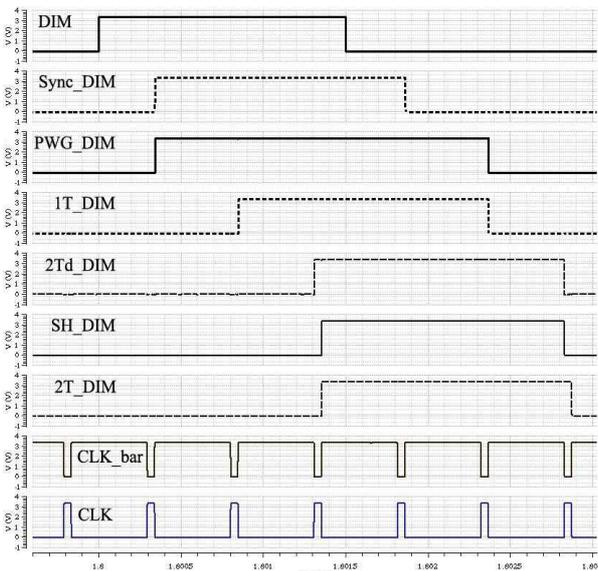


그림 6. 디밍신호 제어기의 동작 파형들
Fig. 6. Process waveforms of the dimming signal controller.

(CLK)를 입력받는 두 번째 플립플롭과 반전된 클럭신호(CLK_bar)를 입력받는 세 번째 플립플롭을 통해 한 주기 지연된 디밍신호(1T_DIM)로 출력된다. 두 주기 지연된 디밍신호(2T_DIM) 또한 네 번째와 다섯 번째 플립플롭을 통해 생성된다. 이 때 네 번째 플립플롭에서 출력된 신호(2Td_DIM)신호 또한 필요한데, 이는 SW1을 구동해 줄 SH_DIM을 발생시키는 사용된다. 오차증폭기의 출력전압을 샘플링하고 홀드시키는 역할을 하는 SW1의 제어신호에 LED를 구동하는 디밍신호(2T_DIM)를 넣어주게 되면 전파지연(Propagation delay)으로 인해 LED가 OFF된 이후의 부정확한 오차신호까지 샘플링 할 수 있기 때문에 2T_DIM신호보다 100ns 덜 지연된 2Td_DIM신호와 AND게이트를 사용하여 SH_DIM신호를 발생시켰다. 이 신호를 이용하여 SW1을 제어하면 LED가 ON되었을 때 샘플링을 시작하고 LED가 OFF되기 100ns 전에 오차증폭기의 출력전압을 보상 커패시터에 홀드시켜 안정적으로 신호를 보존할 수 있다.

파워스위치를 제어하는 PWG활성화 디밍신호(PWG_DIM)는 OR게이트에 Sync_DIM과 1T_DIM을 입력시켜 발생 시킨다. 3.3절에서 언급했듯이, 목표하는 LED구동회로를 설계하기위해 파워스위치는 LED가 ON되기 두 주기 전에 구동되어야 하기 때문에, Sync_DIM신호에 맞추어 파워스위치가 활성화된다. 그러나 Sync_DIM신호에 맞추어 LED가 OFF되기 두 주기 전에 파워스위치가 비활성화되어 버린다면, 이 구간 동안에는 인덕터의 방전전류와 커패시터만으로 LED에 전류를 공급해줘야 함으로 출력전압의 드롭이 일어난다. 그래서 LED가 OFF되기 한 주기 전에 파워스위치를 비활성화 시키기 위해 Sync_DIM과 1T_DIM 그리고 OR게이트를 이용하여 PWG_DIM신호를 생성시킨 것이다.

III. 실험 및 고찰

본 논문에서는 인덕터 전류 선구동 방식을 이용하여 고속디밍제어가 가능한 고휘력 LED드라이버를 설계 및 구현하고 성능을 파악 및 분석하였다.

그림 7은 0.35 μ m 60V BCDMOS 2-Poly 4-Metal 공정을 사용하여 설계 및 제작된 칩 사진을 나타낸다. 제작된 칩의 코어사이즈는 1.45 \times 1.35mm²이고 파워스위치와

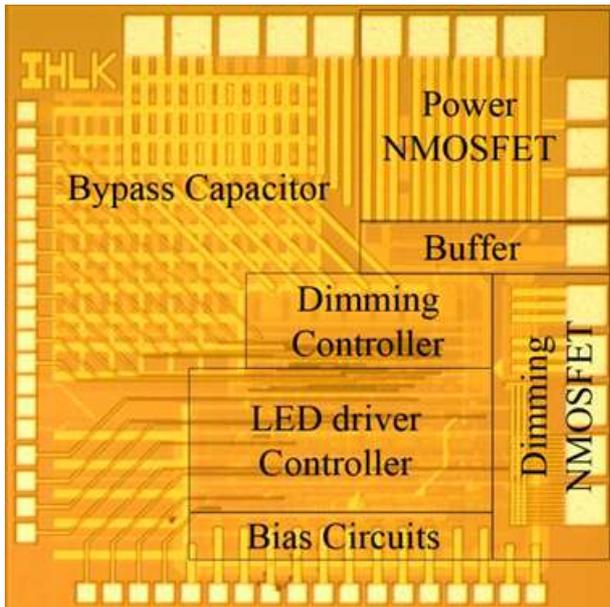


그림 7. 제작된 고출력-LED 구동회로의 칩 사진
Fig. 7. Photograph of the fabricated Power-LED driver chip.

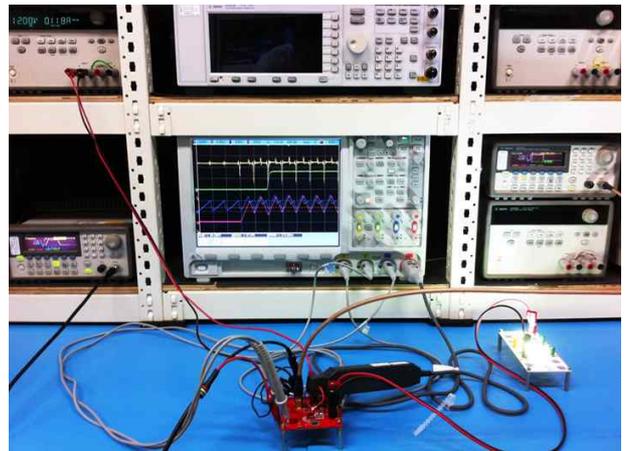


그림 9. 테스트 보드 측정환경
Fig. 9. Test Board measurement environment.

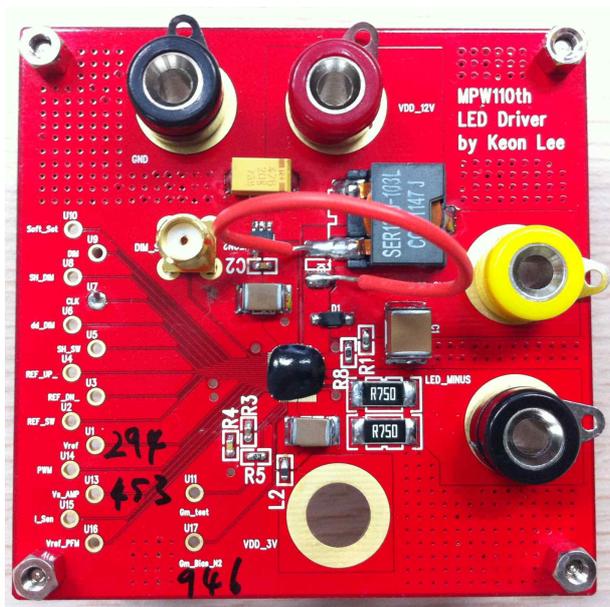


그림 8. 제작된 고출력-LED 드라이버의 테스트 보드
Fig. 8. Test board for Power-LED driver.

디밍스위치의 사이즈는 각각 $26,000\mu\text{m}$ (0.42Ω), $11,000\mu\text{m}$ (1.2Ω)이다. 제작된 칩의 성능을 측정하기위해 PCB아트웍을 수행하여 측정용 기관을 설계하였고 칩과 외부 컨포넌트들을 연결해주기 위하여 COB(Chip on Board)를 수행하였다. 그림 8에는 측정을 위해 단품으로 제작한 평가용 기관을 나타내었다. 왼쪽에는 LED구동회로의 동작상태를 모니터링 하기위해 설치한 테스트포인트들이 위치한다. LED구동회로의 전력전달효율을 최대화하

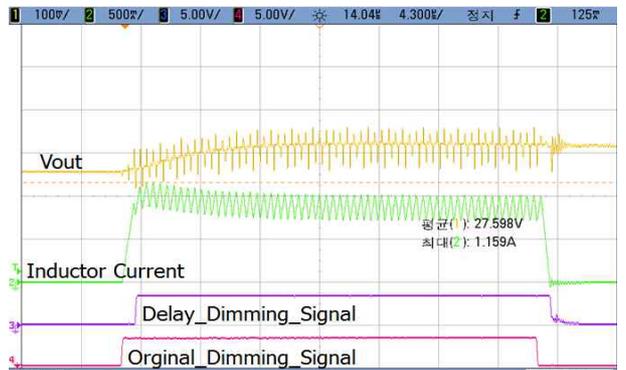


그림 10. 제안하는 LED구동회로의 디밍동작 파형
Fig. 10. Dimming operation waveforms on the proposed LED Driver.

기위해 DCR이 작은 파워인덕터와 포워드전압이 0.2V인 쇼트키다이오드를 사용하였고 파워단의 라우팅을 구리면으로 설계하였다. 인덕터 전류파형을 측정하기위하여 루프와이어를 설치하였다. 출력전압의 리플을 최소화하기위해 ESR이 작은 MLCC 파워커패시터를 사용하였다. 그림 9에는 측정환경을 나타낸 것이다.

그림 10은 제안하는 LED드라이버가 1KHz디밍주파수의 3%시비율(30us)을 갖는 디밍신호를 받아 353mA가 흐르는 9개의 백색LED를 구동하는 파형을 나타낸 것이다. 그림 10에 나타나 있는 것처럼 동기화된 디밍신호에 맞추어 인덕터 전류가 증가하고 그다음 지연된 디밍신호가 발생하여 LED를 구동시켜주고 있다. LED 드라이버의 출력전압과 인덕터 전류는 오버슈트나 링잉 없이 안정적인 파형을 보여주고 있다. 그림 11은 제안하는 LED구동회로가 10KHz디밍주파수에서 1.5%시비율(1.5us)을 갖는 디밍신호를 받아 350mA가 흐르는 9

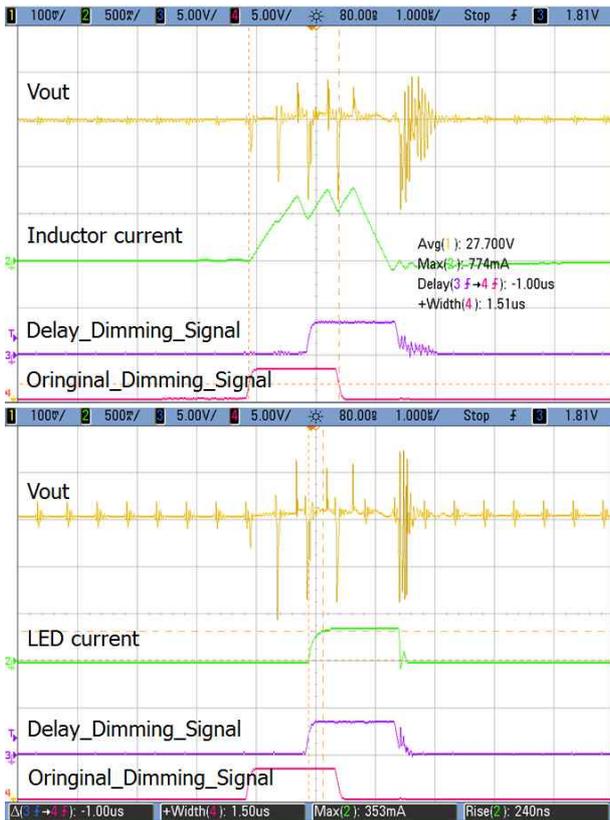


그림 11. LED전류의 상승시간 측정결과
Fig. 11. Measurement result of the rising time of LED current.

개의 백색LED를 구동하는 파형을 나타낸 것이다. 짧은 시간동안 많은 전류를 구동하여도 출력전압의 변동은 거의 없었다. LED에 구동되는 전류의 상승시간은 240ns이고 하강시간은 37ns로 측정되어 고속디밍제어를 수행하기에 적합한 성능을 달성하였다.

제안한 LED 구동회로와 국제 학술논문에 발표된 LED 구동회로의 성능을 비교하였다. 고해상도 조광제어 LED 구동회로의 주요 성능 변수는 구동 가능한 LED의 전류와 전류의 상승시간이다. 기존 논문들의 주요 연구목표는 평판디스플레이의 백라이트유닛을 고해상도 조광제어 하는 것이므로, LED구동전류가 30mA로 낮은 수준이었다. 본 논문에서 제안한 LED 구동회로는 고출력-LED 구동을 목표로 설계되었기 때문에 낮은 전류를 구동하는 회로들과 비교평가하기가 어려웠다. 그래서 LED단위전류 1mA가 상승하는 시간을 계산하여 표 3에 비교평가 하였다. 평가표를 살펴보면 낮은 전류를 구동하는 회로^[4~5]의 전류 상승시간이 확연히 짧은 것을 알 수 있다. 그러나 이러한 회로들이 높은 전

표 3. 제안한 LED구동회로의 비교평가
Table 3. Comparison of performance between the proposed LED driver and prior paper.

Specifications	[4]	[5]	Proposed work
VIN	Min. (V)	6	4.5
	Max. (V)	27	48
Max. VOUT (V)	60	60	40
I _{LED} (mA)	30	25	350
t _{RISE} of I _{LED} (ns)	86	23	240
Output Capacitance	-	-	10uF
Inductance	-	-	10uH
Power Efficiency	90%	89.3%	93.72%
Max. Dimming Ratio @1KHz	10,000:1	25,000:1	1000:1
t _{RISE} /I _{LED} (ns/mA)	2.86	0.92	0.68

류구동에 적용된다면 제안된 회로보다 훨씬 긴 전류 상승시간이 요구된다.

본 논문에서 Power Efficiency가 93.72%를 보이는데, 이 효율은 전압 변환비를 구하는 식(2)를 이용해서 효율을 계산하였다. 여기서 듀티 비율D가 52.6 % 이며, 출력 전압의 평균치는 93.7 %로 계산되었다.

$$M(D) = \frac{V}{V_g} = \frac{1}{D'} = \frac{1}{1-D} \quad (2)$$

본 논문에서 제안한 회로는 기존 논문의 회로와 비교해서 출력 전압의 하강률이 낮아서 EMI 방사가 적기 때문에, 잡음 억제력이 효율적인 LED 구동회로라고 할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 전류량이 높은 고출력-LED를 고속디밍제어를 하기위해 인덕터 전류 선구동 방식을 제안하고 제작된 LED 구동회로를 통하여 개선된 성능을 확인하였다. 기존의 방식과 다르게 동기화된 디밍신호로 파워스위치를 활성화시켜 인덕터 전류를 선구동시키고 LED구동에 필요한 충분한 인덕터 전류가 준비되면 지연된 디밍신호로 디밍스위치를 활성화시켜 LED에 전류를 흘려주는 방식을 이용하면 PWM디밍 시에 링잉

이 적은 안정적인 인덕터 전류와 출력 전압파형을 얻을 수 있으며 빠른 LED전류 상승시간을 구현할 수 있다.

설계된 회로는 0.35 μ m 60V BCDMOS 공정으로 제작되었으며 최소디밍 구간과 LED전류상승시간은 각각 1.5 μ s, 240ns로 측정되어 최대 1000:1의 고속디밍제어를 구현하였다. 아직까지 고출력-LED를 응용하는 분야에서 고속디밍제어가 크게 요구되고 있지 않지만 앞으로 LED의 활용이 더욱 증대된다면 제안하는 고출력-LED 드라이버는 높은 광량이 필요하면서 정밀한 조광제어가 필요한 제품에 응용될 수 있다.

감사의 글

반도체설계교육센터(IDECE)의 CAD Tool 지원에 감사드립니다.

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.
- [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.
- [3] K. Lee, D.-H. Lee, S.-H. Yang, J.-H. Park, K.-S. Yoon, "Design of High Dimming Ratio Power-LED Driver with Preloading inductor current methodology," SoC Design Conference(ISOCC), 2012 International, pp.432-435, 5-6 Nov. 2012.
- [4] S.-I. Hong, J.-W. Han, D.-H. Kim and O.-K. Kwon, "A double-loop control LED backlight driver IC for medium-sized LCDs," ISSCC Dig. Tech. Papers, 2010, pp. 116-117.
- [5] Y.-T. Hsieh, B.-D. Liu, J.-F. Wu, C.-L. Fang, H.-H. Tsai, Y.-Z. Juang, "A High-Dimming-Ratio LED Driver for LCD Backlights," Power Electronics, IEEE Transactions on , vol.27, no.11, pp.4562-4570, Nov. 2012.
- [6] Luchen Yu iconManInfo, Yuan Zhu, Minjie Chen, T.Yoshihara "High efficiency multi-channel LED

driver based on SIMO switch-mode converter" 대한전자공학회 ISOCC pp. 661~664, Nov, 2012.

- [7] 이동건(Dong-Keon Lee) iconManInfo, 이성철(Sung-Chul Lee) iconManInfo, 정항근(Hang-Geun Jeong) iconManInfo "Design of Switch for Improved Efficiency of LED Driver" 대한전자공학회 SoC 학술대회 pp73-75 April. 2011.

— 저 자 소 개 —



이 건(학생회원)
2011년 인하대학교 전자공학과
학사 졸업
2013년 인하대학교 전자공학과
석사 졸업
2013년~현재 LG CTO

<주관심분야 : 아날로그 VLSI 설계, DC-DC converter 설계>



강 우 성(학생회원)
2013년 인하대학교 전자공학과
학사 졸업
2013년~인하대학교 전자공학과
석사과정
<주관심분야 : 아날로그 VLSI
설계, DC-DC converter 설계>



정 태 진(학생회원)
2013년 인하대학교 전자공학과
학사 졸업
2013년~인하대학교 전자공학과
석사과정
<주관심분야 : 아날로그 VLSI
설계, DC-DC converter 설계>



윤 광 섭(평생회원)
1982년 인하대학교 전자공학과
학사 졸업
1983년 Georgia Institute Inc,
Technology 전자공학과
석사 졸업
1989년 Georgia Institute Inc,
Technology 전자공학과
박사 졸업

1984년 3월~1989년 2월 Georgia Institute of
Technology Research Assistant
1989년 3월~1992년 2월 Silicon Systems Inc,
Tustin Calif. U.S.A Senior Design Engineer
1992년 3월~현재 인하대학교 전자공학과 교수
<주관심분야> : 아날로그 VLSI 설계, DC-DC
converter 설계>