

저 전압스트레스 및 다채널 전류평형을 위한 Floating 전압 스택형 단일스위치 LED 구동회로

황원선, 류동균*, 최흥균*, 김희욱*, 한상규†
 국민대학교 POESLA, 삼성전기*

Floating Voltage Stacked LED Driver for Low Voltage Stress and Multi-channel Current Balancing

Won sun Hwang, Dong kyun Ryu, Heung kyun Choi*, Hugh Kim*, Sang kyo Han†
 Power Electronics System Laboratory, Kookmin University, Samsung Eletronmechnics*

ABSTRACT

본 논문에서는 저 전압 스트레스 및 다채널 전류평형을 위한 Floating 전압 스택형 단일스위치 LED(Light Emitting Diode) 구동 회로를 제안한다. 기존의 다채널 LED 구동회로는 LED 채널 수 만큼 boost converter가 필요하지만, 제안된 LED 구동회로는 단 하나의 buck converter와 n개의 balancing capacitor만을 필요로 한다. 기존 boost converter의 경우 모든 구성 요소는 LED 전압만큼의 높은 전압 스트레스를 갖지만 제안 회로의 경우 모든 구성 요소들은 기존 대비 절반 정도의 전압 스트레스를 갖는다. 또한 제안 LED 구동회로는 다채널의 LED 전류의 평형을 위하여 balancing capacitor만을 사용하기 때문에 높은 신뢰성과 비용의 효율성을 제공한다. 최종적으로 제안된 구동회로의 우수성과 이론적 분석의 타당성 검증에 위하여 46" 2채널 LED 구동회로를 위한 시제품을 제작하여 고찰된 실험결과를 제시한다.

1. 서 론

최근 대형 디스플레이 시장의 경우 낮은 소모 전력 및 슬림화 그리고 우수한 명암비 등의 다양한 장점으로 인해 LCD TV가 확고한 시장을 확보하고 있다.^{[1][2]} LCD는 비자발광 소자로서 LCD 전 영역에 걸쳐 균일한 밝기의 빛을 공급하는 BLU(Back Light Unit)의 사용이 필수적이다. 그러나 BLU는 패널의 가격에 있어서 가장 큰 부분을 차지함과 동시에 패널에서 사용되는 소비전력의 약 90%를 소모한다. 이에 따라서 LCD TV의 고화질화 및 BLU의 효율 향상, 저가격화를 위해서 BLU의 연구 개발이 매우 활발하게 연구되고 있다. 따라서 본 논문에서는 BLU의 높은 신뢰성과 저가격화를 이룰 수 있는 저 전압 스트레스 및 다채널 전류 평형을 위한 Floating 전압 스택형 단일스위치 LED 구동회로를 제안한다.

2. 제안 LED Driver

그림 1은 제안된 n채널 LED Driver를 보여준다. 화면 전체에 걸쳐 균일한 휘도를 보장하기 위해 모든 채널의 LED 전류는 정밀하게 제어 되고, 평형을 이루어야한다. 따라서 기존의 LED Driver는 LED 채널당 하나의 boost converter를 사용하여 정전류 제어와 전류 평형을 달성할 수 있었다. 그러나 컨버터의 제어와 LED의 휘도를 조절하기 위한 스위치가 각각 필요하기 때문에 채널 수 대비 2배의 스위치가 필요하여 생산 원가가 높아지고 전력밀도가 우수하지 못하였다. 반면에 제안 LED Driver는 buck converter를 사용함으로써 converter의 제어와 LED의 휘도 조절을 위한 스위치를 단 하나의 스위치만을 이용하여 만족시킬 수 있다. 또한 제안 LED Driver는 voltage stress를 획기적으로 저감시킬 수 있는 회로인 Floating Voltage Source(FVS)를 사용하여 Low voltage stress를 실현하였다. 나아가 제안 LED Driver는 Current Equalizer(CE) 회로를 도입하여 n채널의 LED를 단 하나의 buck converter와 몇 개의 passive 소자만을 이용하여 모든 채널의 전류 평형을 이룰 수 있으므로 회로의 신뢰성과 전력 밀도를 더욱 더 높일 수 있다. 제안 LED

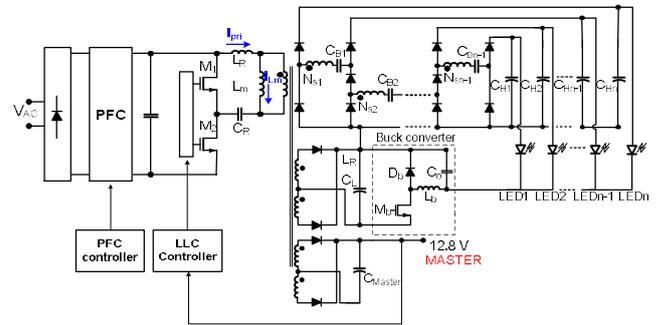


그림 1 제안 LED Driver의 회로 구성도
 Fig. 1 Schematic of the proposed LED Driver

Driver의 구현을 위해서 FVS와 CE를 사용하였고 원리는 다음과 같다.

2.1 Floating Voltage Source for Low voltage stress

그림 2는 LED Driver로 사용된 buck converter와 저 전압 스트레스를 실현하기 위한 FVS 구조를 나타낸다. LED는 그림과 같이 간단하게 모델링 될 수 있다. 따라서 LED에 인가되는 전압 V_{LED} 는 순방향 전압 강하인 V_f 이상이 되어야 LED에 전류가 흐르기 시작한다. 이를 이용한 FVS의 원리와 각 부 전압 레벨은 그림 3에 나타낸 파형과 같다. 즉, Floating voltage인 V_H 의 전압을 LED의 V_f 보다 낮게 설정하여 buck converter의 출력인

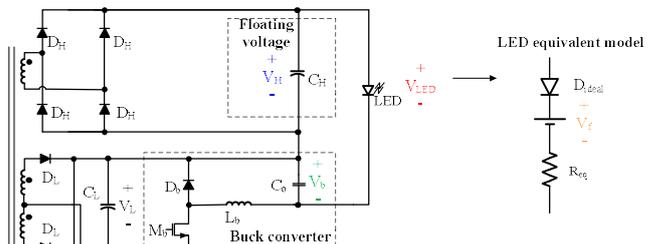


그림 2 전압 스트레스 감소를 위한 2차 측 구성 회로
 Fig. 2 Secondary side configuration for voltage stress reduction

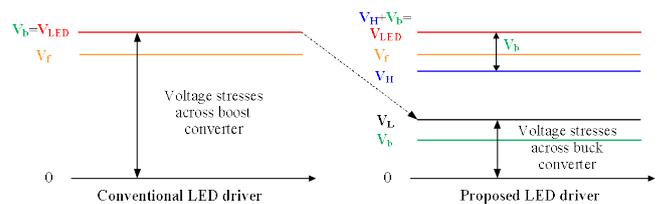


그림 3 기존 LED Driver와 제안 LED Driver의 전압 스트레스 비교
 Fig. 3 Voltage stress comparisons between conventional and proposed LED Driver

V_b 가 0일 때에는 전류가 흐르지 않게 하고 V_b 가 V_{LED} V_H 이상의 전압을 가질 때는 LED에 전류가 흐르게 할 수 있다. 따라서 buck converter는 LED 전압을 전부 regulation 하지 않고 V_{LED} V_H 전압만 regulation 해도 LED 전류 제어가 가능하다. buck converter의 최대 소자 스트레스는 입력전압인 V_L 에 의해 결정되므로 기존의 buck converter에 비해 Floating Voltage Source를 스택한 제안 LED Driver는 스위치 및 다이오드의 전압 스트레스를 획기적으로 감소시킬 수 있다.

2.2 Current Equalizer

Current Equalizer는 별도의 post regulator 없이 capacitor의 성질인 Charge balance law를 이용하여 LED의 채널 수와 관계없이 항상 전류 평형이 가능한 회로이다. 그림 4는 Current Equalizer를 적용한 2채널 LED 전원회로와 동작 원리를 나타낸 것으로 트랜스포머 1차 측 스위치의 도통에 따라서 전류 경로가 형성되며 아래의 식 (1)이 성립된다.

$$\langle I_{sec P} \rangle < I_{LED1} \rangle, \langle I_{sec N} \rangle < I_{LED2} \rangle \quad (1)$$

$$\langle I_{sec P} \rangle < I_{sec N} \rangle \quad (2)$$

$$\langle I_{LED1} \rangle < I_{LED2} \rangle \quad (3)$$

그리고 2차 측에 삽입된 capacitor의 Charge balance law에 의해 식 (2)가 성립이 되고, 두식을 연결하면 식 (3)을 얻을 수 있다. 따라서 두 LED 채널의 전류평형이 항상 보장된다.

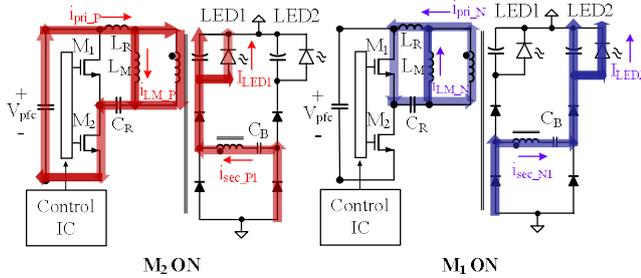


그림 4 Current Equalizer 동작 원리
Fig. 4 Current Equalizer and its operation principles

3. 실험 결과

본 논문에서는 제안한 LED 전원회로의 우수성과 이론적 분석의 타당성 검증을 위해 46" 2채널 LED TV용 전원회로를 위한 시작품을 제작하여 고찰된 실험결과를 제시한다.

표 1 실험 조건

Items	Values
Input voltage, V_{IN}	390V
Master output voltage, V_o	12.8V
Rated voltage and current of LED	192V/155mA
Magnetizing inductor of transformer	370uH
Leakage inductor of transformer, L_R	50uH
Resonant capacitor, C_R	33nF
Switching frequency, f_{sw}	91kHz~111kHz
DC blocking capacitor, C_B	470nF
Buck output, C_b	220nF

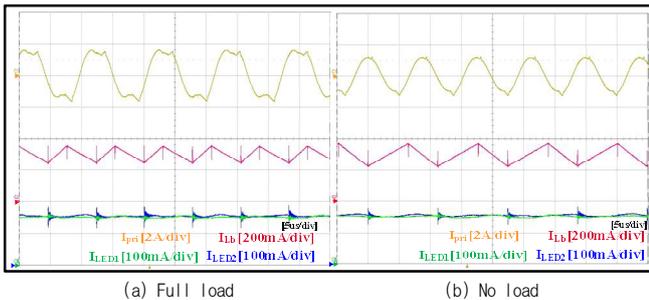


그림 5 부하 상황에 따른 주요 파형
Fig. 5 Key waveforms according to master load conditions

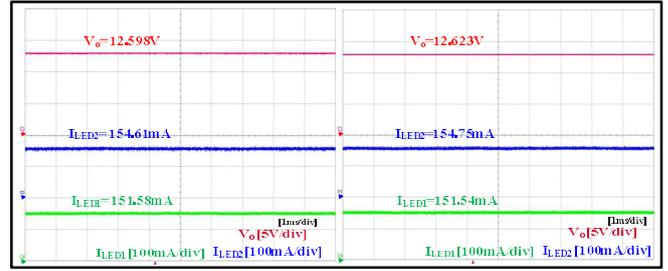


그림 6 부하 상황에 따른 2채널 LED 전류 및 master 전압 파형
Fig. 6 2ch-LED currents and master voltage according to master load conditions

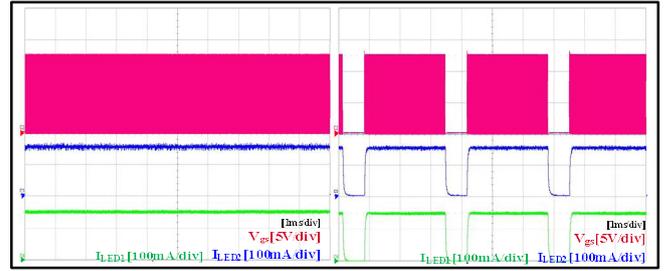


그림 7 Dimming 상태에 따른 gate 전압 및 2채널 LED 전류 파형
Fig. 7 2-ch LED currents and M_b gate signal according to dimming conditions

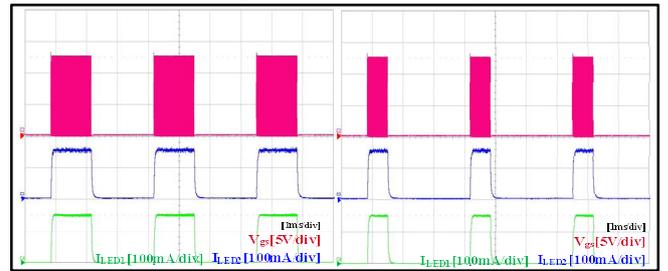


그림 5는 부하 상태에 따른 key waveforms를 보이고 있다. LLC converter는 full load와 no load 상황에서 각각 91kHz와 111kHz로 제어를 한다. 그림 6은 2채널 LED 전류 및 master 전압의 regulation을 부하의 상태에 따라 각각 나타내고 있다. 그림 7의 (a), (b), (c), (d)는 LED 휘도를 조절하기 위하여 dimming을 주었을 때, dimming 구간에서만 정전류 제어가 되는 것을 확인 하는 파형이다. 따라서 제안 LED Driver의 실험적 검증을 통해 별도의 스위치 없이 단 하나의 스위치를 통하여 모든 LED 채널의 정전류 제어와 전류 평형 및 dimming 동작까지 문제없이 동작하는 것을 확인 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 저 전압 스트레스 및 다채널 전류 평형을 위한 Floating 전압 스택형 단일 스위치 LED 구동회로를 제안하였다. 제안 회로는 정전류 제어 및 전류 평형을 위해 Floating Voltage Source(FVS)와 Current Equalizer(CE)를 사용함으로써 부피 및 비용 절감효과 뿐만 아니라 신뢰성을 더욱 높일 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 LED Driver는 Display, Lighting 같은 다양한 LED 응용분야에 적합할 것이라 예상되며 우수한 성능을 기대할 수 있다.

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학ICT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2014-H0301-14-1005)

참고 문헌

[1] L. Y. Pan, S. C. Chang, M. Y. Liao, and Y. T. Lin, "The future development of global LCD TV industry," in *Proceeding of PICMET*, pp. 1818~1821, Aug. 2007.
[2] F. Xiaoyun, L. Xiaojian, and W. Yan, "Research and analysis of the design development and perspective technology for LED lighting products," in *Proceeding of CAID&CD*, pp. 1330-1334, Nov. 2009.