

140W 급-저면적 LED 전원 제어 회로 설계

안호명*, 이주성**, 김병철***

Design of the 140W level-small sized LED Power Control Circuit

Ho-Myoung An*, Juseong Lee**, Byungcheul Kim***

요약 본 논문은 140W 급 저면적 LED 전원 제어 회로 설계를 위해 다양한 기능이 집적된 HIC를 제안한다. 제안된 HIC는 정전압/정전류 구동회로, 단락 보호회로, 내부 정전압회로, dimmer 회로를 하나로 집적해, 제작 시 기존 시스템 대비 PCB 가로 길이를 16% 절감하는 효과를 보였다. 다양한 실험을 통해 HIC 내부에 설계된 각 블록의 성능을 검증했고, (정전압 구동회로 변동률 2.9%, dimmer 회로 오차 5%이내, 720 mA에서 안정적인 short protection) 제안된 HIC를 적용해 시스템에서 필요로 하는 전력 대비 PCB 면적을 상당히 줄일 수 있기 때문에, 제작 시간의 대부분을 차지하는 PCB 제조시간을 단축할 수 있는 효과와 전원 제어 회로에서 발생하는 불량에 대해 기존과 같이 PCB 전체를 교체하지 않고 HIC만 교체할 수 있도록 하여 유지/보수를 쉽게 할 수 있는 효과를 기대한다.

Abstract In this paper, HIC with various functions is proposed for the design 140W LED power control circuit. The proposed HIC integrates constant voltage/constant current circuit, short circuit protection circuit, internal constant voltage circuit, and dimmer circuit, thereby reducing the horizontal length of the PCB by 16% comparing with the conventional system. Through various experiments, we verified the performance of each block implemented inside of HIC with numerical results. (Constant voltage variation ratio: 2.9%, dimmer circuit duty variation within 5%, stable short protection at 720 mA) Since the PCB area can be significantly reduced by applying the proposed HIC. It is possible to reduce the PCB manufacturing time which takes up most of the manufacturing time, however, It is expected that the faulted power module can be replaced without replacing the whole PCB, so that maintenance / repair can be made easier.

Key Words : LED driver, SMPS, constant voltage and current, dimmer function, lighting system.

1. 서론

Light emitting diode(LED) 기반 조명장치는 광원과 전원장치 특성에 의해 결정된다[1-2]. 전원의 특성변화에 따라 출력특성이 변화되므로, 조명과 같은 일정한 출력이 요구되는 응용분야에서는 전원을 안정적으로 공급할 수 있는 전원회로가 필수적이다. 기존 연구에서, LED 휘도 특성 때문에 LED 구동 switched

mode power supply (SMPS)는 정전류제어 방식의 연구를 수행 해 왔다[3-6].

그림 1은 기존 SMPS 기반 LED 전원회로를 나타낸다. 기본적으로 LED 광원은 직류전원으로 구동되기 때문에 alternating current(AC) 전원 기반으로 구동되는 조명들과 다르게 AC 전원을 direct current(DC) 전원으로 변경 해 주는 AC/DC 컨버터가 요구된다[5].

This work was supported by Gyeongnam National University of Science and Technology Grant 2017.

*Department of Electronics, Osan University, Gyeonggi-do, Korea

**Center of Human-centered Interaction for Coexistence, Seoul, Korea

***Corresponding Author :Department of Electronic Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology(GnTECH)(bckim@gntech.ac.kr)

Received February 13, 2018

Revised February 14, 2018

Accepted September 06, 2018

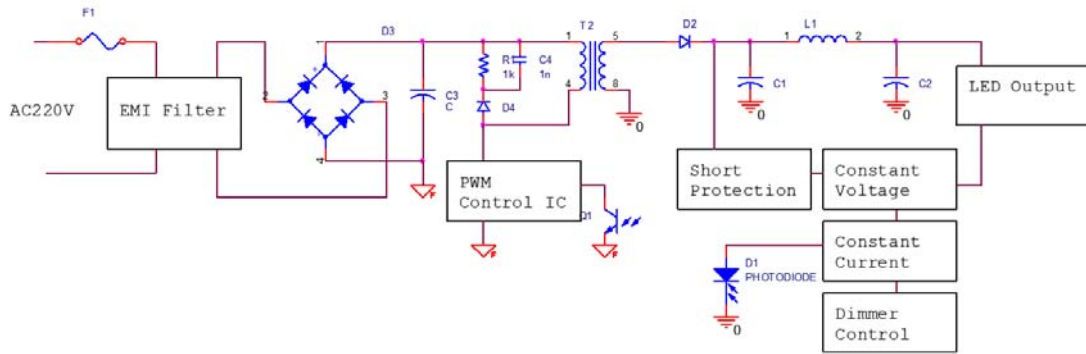


그림 1. 기존 SMPS LED 전원회로.
Fig. 1. Conventional SMPS LED power source circuit.

컨버터는 AC를 DC로 변환하기 위한 정류기, DC로 변환된 전원의 전압 레벨을 조정하기 위한 pulse width modulation(PWM) 기반 DC/DC 컨버터[8, 9]로 구성된다. 기본적으로 EMI filter, 입력평활회로, 트랜스/스위치구동 integrated circuit(IC), 출력 평활회로, 정전류 구동회로, 전압 구동회로, short circuit protection 회로, 내부 정전압 회로, dimmer 회로 등 다양한 기능의 회로를 필요로 한다. 때문에 우수한 전기적 특성을 구현하기 어렵고, 보드의 공간 활용이 어려운 단점이 있다.

본 논문에서는, 보드에 실장된 부품의 개수를 최소화하고, 전원회로에서 부품 간 절연거리를 확보하기 위해, 140[W]급 LED 전원 제어 회로에서 필수적인 정전류 구동회로, 정전압 구동회로, short circuit protection 회로, 내부 정전압 회로, dimmer 회로를 하나의 부품으로 적한 hybrid integrated circuit(HIC) 형태로 제작될 수 있는 구조를 제안한다. 또한, 제안된 HIC 기반 LED 전원회로를 실제 LED 전원에 적용해 그 효과를 보인다.

2. 회로 설계

본 section에선 그림 1에 보인 기존 회로의 일부를 HIC로 계하기 위해 필요한 constant voltage/current, dimmer 회로용 OSC, 전압 level shift 회로의 설계 최적화를 보인다. 각 회로의 검증은 cadence pspice를 이용해 각각의 기능을 검증했다.

2.1 Constant Voltage 회로

Constant voltage 생성 회로는 제너다이오드 기반 구조 등 다양한 구조가 있으나, 온도변화나 입력전압 변화에 강건하도록 431 IC를 기반으로 하는 정전압 회로를 설계했다. 그림 2는 constant voltage 회로를 나타낸다. 그림 2(a)는 입력전압이 비교적 고압인 35[V] 이상인 환경에서, (b)는 입력전압이 35[V] 이하인 환경에서 사용할 수 있는 회로다. 출력되는 전류 소스를 위해 NPN 트랜지스터를 사용하였으며, 최대 구동 전류 능력은 NPN 트랜지스터의 최대 구동 전류와 일치한다. 사용된 TR은 2N2222을 사용하여 500[mA]까지 동작이 가능하다.

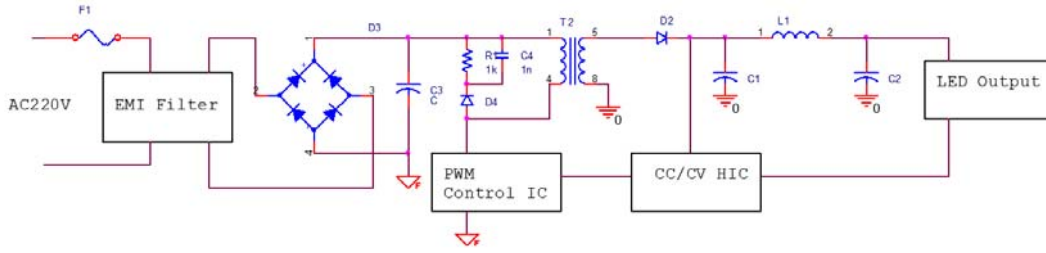


그림 5. 제안된 HIC 기반 SMPS LED 전원회로.
Fig. 5. Proposed HIC based SMPS LED power source circuit.

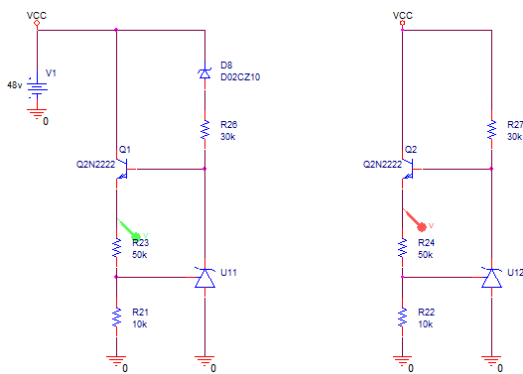


그림 2. Constant voltage 회로. (a) 입력 전압이 35[V] 이상인 경우. (b) 입력 전압이 35[V] 이하인 경우.
Fig. 2. Constant voltage circuit diagram. (a) Higher input voltage than 35[V]. (b) Lower voltage than 35[V].

2.2 Constant Current 회로

정전류 회로를 설계는 크게 리니어 방식과 스위칭 방식으로 나뉜다. 리니어 방식은 회로가 간단한 반면 소자 저항으로 인해 10 W이하 조명기구에 적용할 수 있다. 스위칭 방식은 회로 구현이 복잡하지만 용량의 제한 없이 다양하게 활용 가능한 장점이 있다. 따라서 본 논문에서는 다양한 조명기구에 적용 가능한 회로를 구현하기 위해 DC/DC Converter 기반 정전류 제어 회로를 설계했다. 그림 3은 설계된 constant current 회로다. 회로는 다음과 같이 동작한다. 오동작을 방지하기 위해 내부 타이머에 의해 파워 metal oxide semiconductor field effect transistor (MOSFET)는 약 50[μsec]의 latency를 갖는다. C8과 C9는 입력되는 전원의 노이즈를 제거하기 위해 적용됐다.

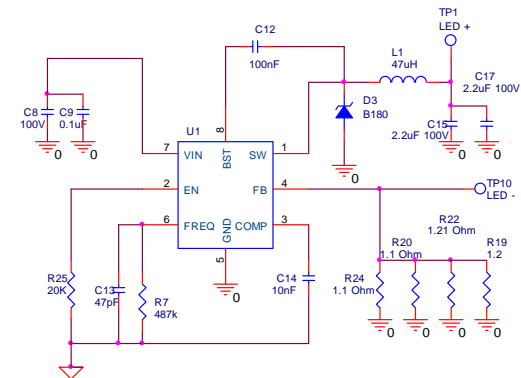


그림 3. Constant current 회로.
Fig. 3. Constant current circuit diagram.

동작주파수는 외부저항에 의해 결정된다. 주파수 결정 저항은 스위칭을 약 200[KHz]에서 동작시키기 위하여 495[KΩ]이하로 계산되나, 실제로는 487[KΩ]로 설정하였다. 구동 전류 값은 R19와 R20의 저항 값으로 결정되며, 720[mA]를 설정하기 위해 1.1[Ω] 두 개와 1.2[Ω] 두 개를 각각 병렬로 사용했다. 인덕터는 일정한 전류를 공급하기 위해 적용되었다. 크기와 직렬저항을 최소화 하고 포화전류를 향상시키기 위해 LED 전류의 30~40%가 인덕터의 피크 리플 전류가 되도록 결정했다. 최적화에 적용된 인덕터 값은 다음 수식에 의해 44[μH]로 최적화됐다.

$$L = V_{OUT} / (f_s \times \Delta I_L) \times (1 - V_{OUT} / V_E). \quad (1)$$

수식 (1)에서 f_s 는 동작주파수, ΔI_L 인덕터의 피

크 리플 전류, VOUT는 LED의 출력전압, VIN은 입력 전압을 의미한다.

2.3 Dimmer 회로

Dimmer 회로는 LED 조명이 서서히 켜지거나 꺼지는 동작을 할 수 있도록 돕는 회로다. 일반적으로 120 ~ 240[Hz] 정도의 주파수로 충/방전 되는 원리를 이용해 구현된다.

그림 4는 설계된 Dimmer 회로의 OSC 및 level shifter 회로를 보인다. (a)의 OSC회로는 정전압회로에서 발생된 15[V]를 이용해 R14와 C4에서 결정된 시정수로 5~10[V] 충/방전을 140[Hz]로 반복하게 된다. (b)의 level shifter는 실제 입력 전압에 맞춰 동작할 수 있도록 입력 전압 (0~10[V])을 OSC 회로에 적합한 5~10[V]로 level shifting 하는 역할을 수행한다.

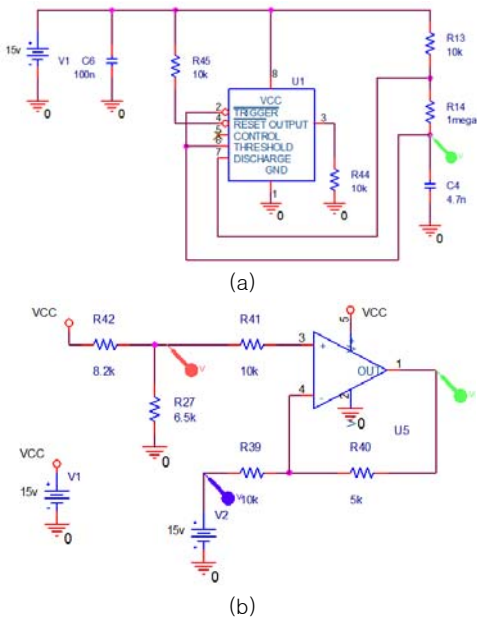
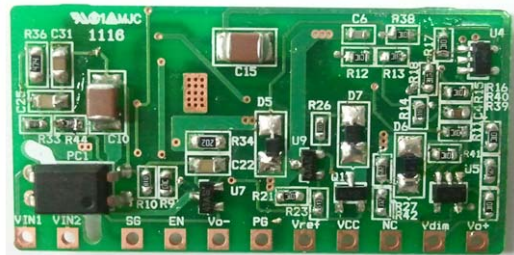


그림 4. Dimmer 회로. (a) OSC 회로. (b) Level shifter 회로.
Fig. 4. Dimmer circuit diagram. (a) OSC circuit. (b) Level shifter circuit.

3. 실험 결과

그림 5는 sub-section에 보인 블록들을 이용해 설계된 HIC를 기반으로 하는 SMPS LED 전원회로를 보인다. 그림 5의 전원회로는 그림 1의 전원회로와 다르게 constant voltage/current, dimmer 회로용 OSC, 전압 level shift 회로의 최적화를 통해 간략화 된 것을 확인할 수 있다. 제안된 HIC는 그림 6와 같이 1[T] 두께, 양면 FR4 PCB로 제작되었다.



(a)



(b)

그림 6. 제작된 HIC PCB. (a) 상판. (b) 하판.
Fig. 6. Fabricated PCB of proposed HIC. (a) Top of PCB. (b) Bottom of PCB.

3.1 정전압 및 소비전류 실험

표 1은 입력전원 변화에 따른 내부 정전압 및 소비 전류 측정결과를 보인다. 직류 전원 공급기를 이용하여 입력전압을 인가했고, 가변된 전압에 따라 출력되는 정전압 및 소비전류를 측정했다. 측정 결과, 정전압은 25[V]에서 14.65[V]를 출력했고, 30[V]에서 안정되어 48[V]까지 15.09[V]를 유지했다. 다양한 조명기기에 적용할 수 있는 가능성을 확인하기 위해 48[V] 까지 동작 특성을 확인 한 결과, 정전압은 15.09[V], 소비전류는 6.53[mA]로 매우 우수한 결과

를 얻었다. LED 전원회로 동작 전원 범위 내에서 정전압 변동률은 (15.09 - 14.65) / 15.09 로, 2.9%의 매우 안정적인 성능을 보이는 것을 확인하였다.

표 1. 입력전원에 따른 내부 정전압 및 소비전류 측정.
Table 1. Constant voltage and current consumption measurements.

입력전원 (Vdc)	내부 정전압 (Vref)	소비전류 (mA)
25 V	14.65 V	4.8 mA
30 V	15.07 V	5.26 mA
35 V	15.09 V	5.45 mA
40 V	15.09 V	5.73 mA
45 V	15.09 V	6.54 mA

3.2 Dimmer 회로의 성능평가

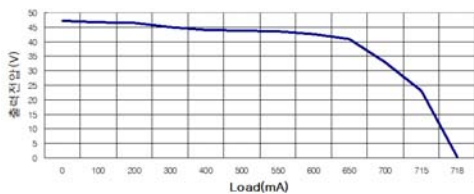


그림 7. Short protection 검출 전압 측정결과.
Fig. 7. Measurements of short protection voltage.

Dimmer 회로의 성능 평가를 위해 입력전압에 따른 duty 및 frequency 변화를 측정했다. 표 2는 dimmer 입력 전압에 따른 duty 비 측정 결과를 보인 것이다. Dimmer 입력전압이 0[V]일 경우에는 LED조명이 off 되는 경우이고 10[V]일 경우에는 LED조명의 조도가 최대가 되는 경우이다. 0[V]에서 1[V]씩 증가할 때마다 약 10%씩 Duty가 증가함을 알 수 있으며, 10[V]가 입력되면 Duty가 100%가 되어 출력 LED에는 전류가 최대 출력으로 흐른다. 표 2의 결과에서, 입력전압에 따른 Duty비의 오차율은 Max 1.6%로서 잘 제어되고 있음을 알 수 있다. Dimmer의 frequency 변화는 입력 전압을 25 ~ 48[V]로 가변하면서 측정했다. 그 결과, 140 ± 5[Hz]로 오차범위 약 5% 이내로 정교하게 동작하는 것을 확인했다.

표 2. Dimmer 입력 전압에 따른 duty 비 측정.
Table 2. Duty ratio measurements with various dimmer voltages.

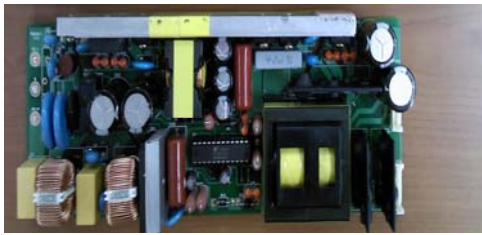
Dimmer Voltage (V)	Pulse width (msec)	Duty ratio
0 V	0.172	2.4 %
1 V	0.725	10.0 %
2 V	1.4	19.5 %
3 V	2.1	29.3 %
4 V	2.88	40.2 %
5 V	3.67	51.2 %
6 V	4.44	62.0 %
7 V	5.13	71.6 %
8 V	5.8	81.0 %
9 V	6.5	90.7 %
10 V	High	100 %

3.3 Short Protection 검출 전압 실험

Short protection 검출 전압을 측정하기 위해 출력에 부하기를 연결하여 출력전압을 측정했다. 그림 7의 결과와 같이, Load 전류가 늘어날수록 출력전압이 낮아지는 것을 확인했고, 이는 Short 시 과전류에 의한 LED 파괴를 막을 수 있다. 출력 LED는 720[mA]로 설계 되었으나, 그래프에서 약 600[mA] 부터 전압이 서서히 떨어지는 것을 확인했다. 이는 LED에 전류가 흐를 때, 스위칭에 의해 Peak-to-Peak 전류로 동작해 RMS 환산 시 720[mA]가 되는 것이므로 부하기로 전류를 구동할 때와 LED를 구동할 때와는 차이가 있기 때문에 나타나는 현상이다. 전체 시스템과 함께 동작 시킬 때, LED 출력과 같은 720[mA]로 동작함을 확인하였다. 결과에서, 최종 출력전류가 718[mA] 이상이 되었을 경우 출력전압은 0.418[V]로 Short시 Protection 검출 전압을 나타내고 있다. 그림 8은 기존 시스템 (a)과 HIC가 적용된 시스템 (b)의 140[W] 급 LED 전원 제어 시스템의 사진을 보인다.



(a)



(b)

그림 8. 140W 급 LED 전원 제어 시스템. (a) 기존 시스템. (b) HIC가 적용된 시스템.

Fig. 8. 140W LED power control system. (a) Conventional system. (b) Proposed HIC based system.

HIC가 적용된 140[W] 급 전원 제어 시스템이 기존 시스템 대비 PCB 가로 면적을 24.7[cm]에서 20.8[cm]로 비율감소 약 16% 절감 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 정전압 구동회로, 정전류 구동회로, 단락보호회로, 내부 정전압회로, dimmer 회로를 하나로 집적시킨 HIC를 제안하였다. 제안된 HIC 기반 시스템은 기존 시스템과 동일한 성능을 내면서 dimmer 기능을 내장했다. 또한, 제안된 HIC 시스템은 기존 시스템 대비 PCB 가로 면적을 16% 절감 (24.7[cm] → 20.8[cm]) 할 수 있었다. 그리고 제안된 HIC를 이용해 제품을 표준화 하여 사용 개수에 따라 용량을 조절할 수 있다 (i. e. 30[W]: 1개 사용, 280[W]: 3개 사용). 본 논문에서 제안한 표준화 된 HIC를 시스템에 적용하면, 시스템에서 필요로 하는 전력 대비 PCB 면적을 상당히 줄일 수 있기 때문에, 제작 시간의 대부분을 차지하는 PCB 제조시간을 단축할 수 있는 효과를 기대할 수 있고, 전원 제어 회로에서 발생하는 불량에

대해 기존과 같이 PCB 전체를 교체하지 않고 HIC만 교체할 수 있도록 하여 유지/보수를 쉽게 할 수 있는 효과를 기대한다.

REFERENCES

- [1] D.-Y. Lee, "Development of 80W LED Lighting Equipment for Broadcasting System," JKIECT, vol. 10, no. 6, pp. 506-510. Nov. 2017.
- [2] J.-H. Kwon, J.-M. Lee, H.-J. Kim, E.-Y. Kang, and K.-J. Park, "Thermal Characteristics of the design on Residential 13.5W COB LED Down Light Heat Sink," JKIECT, vol. 7, no. 1, p. 20-25. Mar. 2014.
- [3] Chiu H-J, Lo Y-K, Chen J-T, Cheng S-J, Lin C-Y, Mou S-C. IEEE Transaction on Industrial Electronics, 57, 735 (2010).
- [4] Chiu H-J, Cheng S-J. Int. J. Circ. Theor. Appl. 37, 928 (2009).
- [5] Qu X, Wong S-C, Tse CK, IEEE Transaction on Power Electronics 25, 331 (2010).
- [6] Chiu H-J, Huang H-M, Yang H-T, Cheng S-J, International Int. J. Circ. Theor. Appl. 36, 205 (2008).
- [7] Byungcheul Kim, Eui-Seok Jeon, Chan Kim, Engineering and Technology (S-CET), Spring Congress on, 2012, p. 1.
- [8] W. Aloisi and G. Palumbo, Int. J. Circ. Theor. Appl. 33, 419 (2005).
- [9] Y-H Chang, Y-C Chen, Int. J. Circ. Theor. Appl. 40, 835 (2012).

저자약력

안 호 명(Ho-Myoung An)

[중심회원]



- 2001년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 2013년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학과 연구교수
- 2013년 3월 ~ 현재 : 오산대학교 전자과 조교수

<관심분야>

반도체소자, 비휘발성메모리, 광소자, 산화물반도체, 반도체설계

이 주 성(Juseong Lee)

[정회원]



<관심분야>

- 2013년 2월 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 (공학사)
- 2015년 8월 : 고려대학교 전기전자공학과 (공학석사)
- 2015년 10월 ~ 현재 : (재)실감교류인체감응술루션연구원 연구원

반도체 설계, 저전력 영상처리, 오류 정정 부호

김 병 철(Byungcheul Kim)

[중신회원]



<관심분야>

- 1988년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 (공학박사)
- 2001년 3월 ~ 2001년 8월 : 고려대학교 전기공학과 Post-Doc.
- 2007년 1월 ~ 2008년 1월 : Dept. of Electrical Engineering, Arizona State Univ. 방문교수
- 2001년 9월 ~ 현재 : 경남과학기술대학교 전자공학과 교수

반도체 메모리, LED 전원회로