

교류 구동 LED 드라이버 IC에 관한 연구

전의석*, 안호명**, 김병철***

A study on AC-powered LED driver IC

Eui-Seok Jeon*, Ho-Myoung An** and Byungcheul Kim***

요약 본 연구에서는 저내압 반도체 공정으로 제작 가능한 교류 구동 LED 드라이버 IC를 설계하여, 그 성능들에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 교류 220V에서 직접 구동하기 위한 드라이버 IC를 제작하기 위하여 500V 이상의 항복전압을 만족하는 반도체 제조공정이 필요하다. 고내압 반도체 제조공정은 일반적인 저내압 반도체 공정보다 매우 높은 제조비용을 요구한다. 따라서 낮은 내압의 소자를 구현하는 반도체 공정기술로도 제작할 수 있도록 LED 드라이버 IC를 직렬로 설계하였다. 이는 입력전압이 고전압이라도 각 LED 블록마다 전압이 나누어 인가되는 것을 가능하게 한다. LED 조명회로는 220V에서 96%의 역률을 나타내고 있다. pnp 트랜지스터를 이용한 역률 개선 회로에서는 99.7%의 아주 높은 역률을 얻을 수 있으며, 입력전압의 변동과 관계없이 매우 안정된 동작을 보여주었다.

Abstract In this study, a driver IC for an AC-powered LED that can be manufactured with a low voltage semiconductor process is designed and the performances of the driver IC were simulated. In order to manufacture a driver IC that operates directly at AC 220V, a semiconductor manufacturing process that satisfies a breakdown voltage of 500V or higher is required. A semiconductor manufacturing process for a high-voltage device requires a much higher manufacturing cost than a general semiconductor process for a low-voltage device. Therefore, the LED driver IC is designed in series so that it can be manufactured with semiconductor process technology that implements a low-voltage device. This makes it possible to divide and apply the voltage to each LED block even if the input voltage is high. The LED lighting circuit shows a power factor of 96% at 220V. In the pnp transistor circuit, a very high power factor of 99.7% can be obtained, and it shows a very stable operation regardless of the fluctuation of the input voltage.

Key Words : AC(alternating current)-LED, Driver IC, Series circuit, Power factor, pnp transistor

1. 서론

LED 조명은 전원공급장치인 SMPS[1-4]의 문제점을 해결하기 위해 교류 입력을 LED에 직접 공급하는 방식을 사용하고 있다[5-11]. 교류 직접 구동 LED 조명은 SMPS를 요구하지 않기 때문에 회로가 간단하여 신뢰성 및 높은 가격 경쟁력을 갖출 수 있다. 하지만 교류 220V에서 직접 구동하기 위한 드라이버 IC를 제작

하기 위하여 500V 이상의 항복전압(내압)을 만족하는 반도체 제조공정이 필요하다[12]. 고내압 반도체 제조공정은 일반적인 저내압 반도체 공정보다 매우 높은 제조비용이 요구되므로 가격 경쟁력을 확보하기 위해 반도체 칩의 크기를 감소할 필요가 있다. 반도체 칩의 크기가 축소되면 많은 전류가 흐르는 것이 어려우므로 높은 전압과 큰 전류를 요구하는 고효율의 LED 조명에는

This work was supported by the research invigoration program of 2020 Gyeongsang National University.

*SEMIGEN CO., LTD

**Department of Electronics, Osan University

***Corresponding Author : Department of Convergence Electronic Engineering, Gyeongsang National University (philip-b.kim@gnu.ac.kr)

Received July 13, 2021

Revised July 13, 2021

Accepted August 08, 2021

적합하지 않게 된다. 따라서 본 연구에서는 저내압 반도체 공정으로도 제작 가능한 교류 직접 구동 LED의 드라이버 IC를 설계하고자 한다. 높은 전압과 큰 전류로 구동되는 드라이버 IC보다 낮은 전압에서도 큰 전류를 만족하기 때문에 상대적으로 낮은 발열과 약 2~16W의 LED 조명에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

2. 교류 구동 LED 드라이버 IC 설계

그림 1에 교류 직접 구동 LED 드라이버 IC를 나타내었다. 그림 1에서 드라이버 IC는 LED의 Vf에 따라 전류를 흘려준다. 입력전압이 65V 이상이 되면 드라이버 IC의 LED 1이 구동되어 첫 번째 LED 블록에 전류가 흐르게 된다. 130V 이상의 입력전압에서는 드라이버 IC의 LED 2가 구동되어 첫 번째 LED 블록과 두 번째 LED 블록에 전류가 흐르게 된다. 입력전압이 195V 이상이 되면 드라이버 IC의 LED 3가 구동되어 첫 번째 LED 블록, 두 번째 LED 블록 그리고 세 번째 LED 블록에 전류가 흐르게 되고, 입력전압이 260V 이상이 되면 드라이버 IC의 LED 4가 구동되어 첫 번째 LED 블록에서 네 번째 LED 블록까지 모든 LED 블록에 전류가 흐르게 된다.

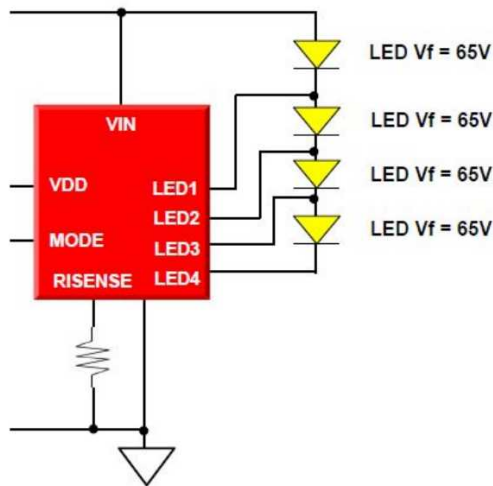


그림 1. 교류 구동 LED 드라이버 IC
Fig. 1. AC-powered LED driver IC

LED를 몇 개의 블록으로 나누어 직렬로 연결하고 LED에 인가된 전압이 LED의 Vf 이상이 되는 블록의 LED를 점등시키는 방식이다. 드라이버 IC에서 스위치로 사용되는 소자의 내압이 입력전압보다 높아야 하므로 스위치의 최소내압은 360V 이상이 되어야 한다. 또한, IC 내부의 정전압이나 정전류 회로도 입력전압 이상의 내압을 만족해야 하므로 허용 값을 고려하여 500V 정도의 소자 내압을 만족하는 반도체 공정기술이 필요하게 된다.

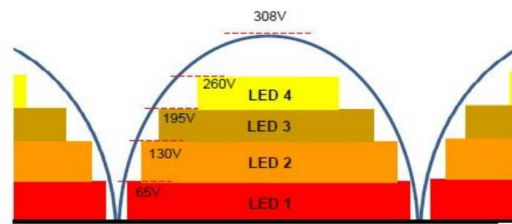


그림 2. 입력전압의 크기에 따른 LED 점등 순서
Fig. 2. LED lighting sequence according to input voltage

교류 직접 구동 LED에서는 그림 2와 같이 LED를 몇 개의 블록으로 나누어 입력전압의 크기에 따라 LED를 나누어 점등시키고 있다. 이것은 낮은 입력전압에서도 LED가 점등되므로 LED 조명의 효율을 높이고 역할을 개선할 수 있다.

기존의 교류 구동 LED 드라이버 IC는 그림 3과 같이 구성되어 있다.

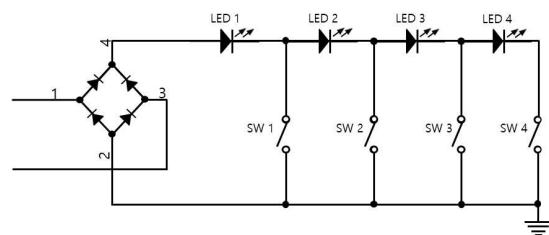


그림 3. 기존의 교류 구동 LED 드라이버 IC
Fig. 3. Conventional AC-powered LED driver IC

내부에 스위치가 각각 병렬구조로 설계되어 있다. 입력전압을 검출하는 부분과 입력전압의 크기에 따라

LED 블록을 각각 점등하는 스위치로 구성되어 있다.

그림 3에서 SW4가 on이면 LED 1, LED 2, LED 3, LED 4가 모두 점등되지만, SW1, SW2, SW3는 off 상태로 유지되어야 한다. 이때 각 LED 블록의 전압강하가 65V이므로, 입력전압의 크기는 최소 360V 이상이 인가되며, 각 스위치 소자의 내압은 허용값을 고려해 500V 이상이 되어야 한다.

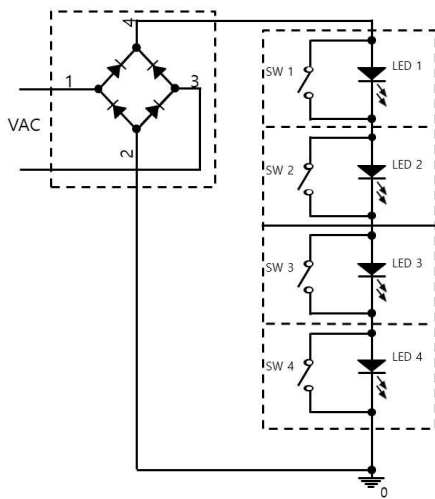
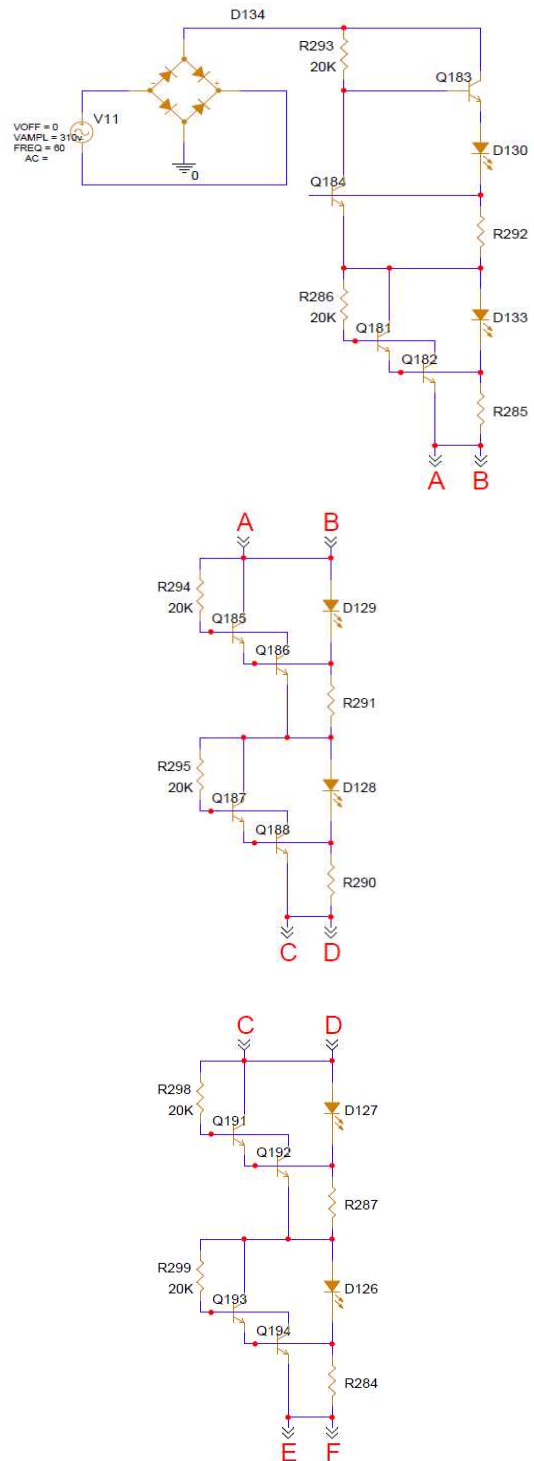


그림 4. 제안한 교류 구동 LED 드라이버 IC
Fig. 4. Proposed AC-powered LED driver IC

본 연구에서 제안한 교류 구동 LED 드라이버 IC의 내부 구성은 그림 4와 같다. 직렬구조이기 때문에 360V의 입력전압이 인가되면 각 LED 블록에서는 $360/4=90[V]$ 의 전압강하가 나타난다. 입력전압이 고전압이라도 각 LED 블록마다 나누어 전압이 인가되므로 낮은 내압의 소자를 구현하는 반도체 공정기술로도 제작할 수 있다.

그림 5에 LED 조명회로를 나타내었다.



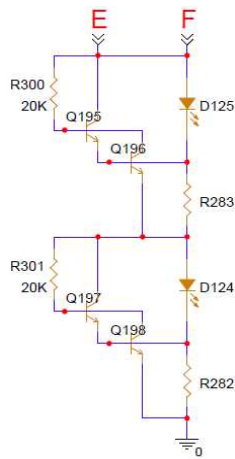


그림 5. LED 조명회로
Fig. 5. LED lighting circuit

전체 회로는 스위치를 구성하는 회로와 전류를 제한하는 회로로 구성되어 있다. 첫 번째 LED 블록(D124)부터 일곱 번째 LED 블록(D133)까지 스위치 회로이고 여덟 번째 LED 블록(D130)은 전류 제한 회로이다.

2.1 스위치 회로

스위치 역할을 하는 회로는 연산증폭기를 이용하면 쉽게 구현할 수 있지만, 5V 이상의 전원에서 소비되는 전류로 인한 발열에 대한 방열 대책이 필요하다. 그러나 *npn* 트랜지스터는 스위칭할 때 포화 전압이 0.2V이기 때문에 상대적으로 전력 소모가 작다.

그림 6에서 그림 12에 첫 번째 LED 블록(D124)부터 일곱 번째 LED 블록(D133)에서 동작하는 스위치 전압과 LED 구동 전류를 각각 나타내었다. 첫 번째 LED 블록(D124)에서 일곱 번째 LED 블록(D133)의 on/off 시간이 다른 이유는 그림 2에서 이미 설명한 것처럼 입력전압의 크기에 따라 직렬연결된 특정 LED가 on 되고 다른 LED는 off 된다. 따라서 첫 번째 LED 블록(D124)의 전압과 전류는 1개의 LED 블록이 동작할 수 있는 전압에서 동작하므로 폭이 넓다.

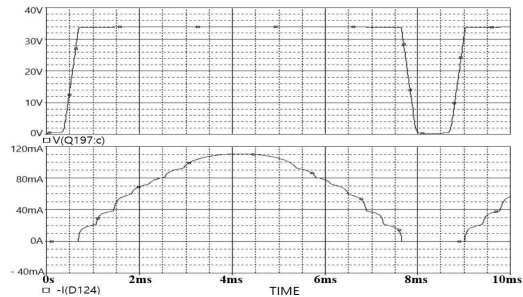


그림 6. D124 LED 블록의 전압(위) 및 전류(아래)
Fig. 6. Voltage(top) and current(bottom) of the D124 LED block

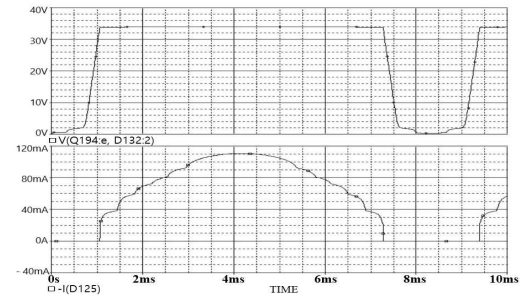


그림 7. D125 LED 블록의 전압(위) 및 전류(아래)
Fig. 7. Voltage(top) and current(bottom) of the D125 LED block

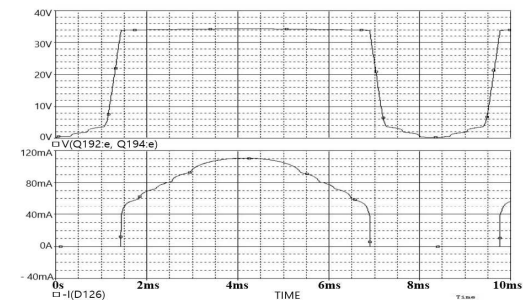


그림 8. D126 LED 블록의 전압(위) 및 전류(아래)
Fig. 8. Voltage(top) and current(bottom) of the D126 LED block

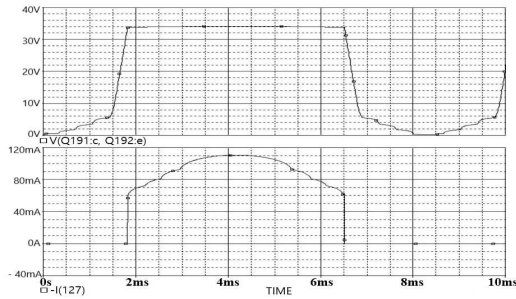


그림 9. D127 LED 블록의 전압(위) 및 전류(아래)
Fig. 9. Voltage(top) and current(bottom) of the D127 LED block

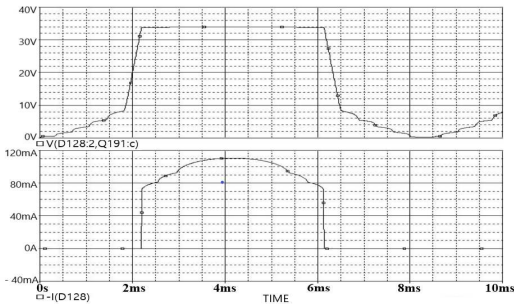


그림 10. D128 LED 블록의 전압(위) 및 전류(아래)
Fig. 10. Voltage(top) and current(bottom) of the D128 LED block

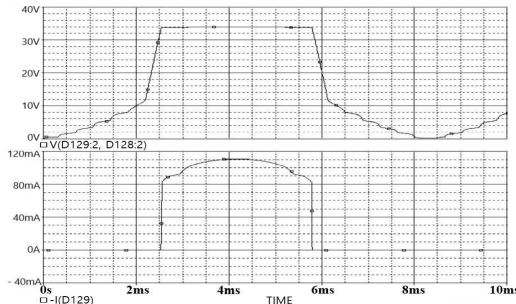


그림 11. D129 LED 블록의 전압(위) 및 전류(아래)
Fig. 11. Voltage(top) and current(bottom) of the D129 LED block

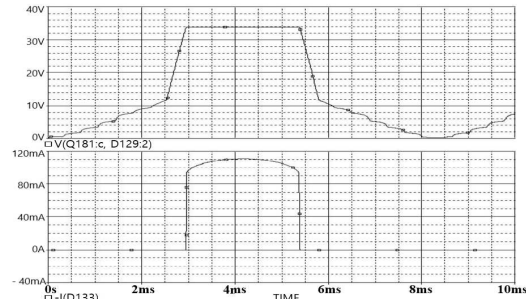


그림 12. D133 LED 블록의 전압(위) 및 전류(아래)
Fig. 12. Voltage(top) and current(bottom) of the D133 LED block

두 번째 LED 블록(D125)의 전압과 전류는 2개 이상의 LED 블록에서 동작하므로 더 높은 전압이 필요하고 동작 가능 전압 폭이 감소한다. 따라서 일곱 번째 LED 블록(D133)은 LED 블록이 모두 동작할 수 있는 전압이 인가되어야 하므로 입력전압에 대한 동작 전압 폭이 감소한다.

2.2 전류 제한 회로

그림 13에 D130 LED 블록에서 동작하는 스위치 전압과 LED 구동 전류를 나타내었다.

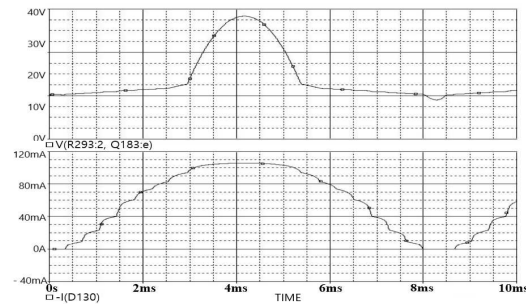


그림 13. D130 LED 블록의 전압(위) 및 전류(아래)
Fig. 13. Voltage(top) and current(bottom) of the D130 LED block

그림 5의 LED 조명회로에서 Q183에 걸리는 전압을 그림 13의 위에 나타내었으며, 아래는 Q183의 이미터에 연결된 LED 구동 전류를 나타내고 있다. LED 구동 전류는 Q184의 이미터와 베이스 전압(V_{BE})인 약 0.7V

를 형성하는 전류($0.7[V]/R292$)이다. 전류 제한을 위해 LED와 직렬저항이 사용된다면 전압이 상승함에 따라 LED 전류가 증가하여 온도가 증가한다. 그러나 전류 제한 회로를 사용하면 R292에 전압이 0.7V가 넘는 순간 Q184가 도통하여 Q183의 베이스 전류가 감소하고 Q183의 컬렉터 전류가 줄어든다. 따라서 LED에 공급되는 전류는 감소하고 발열이 계속 증가하는 것을 방지하여 LED 수명을 증가시키는 역할을 한다. LED 조명 회로의 전압과 전류를 그림 14에 나타내었다.

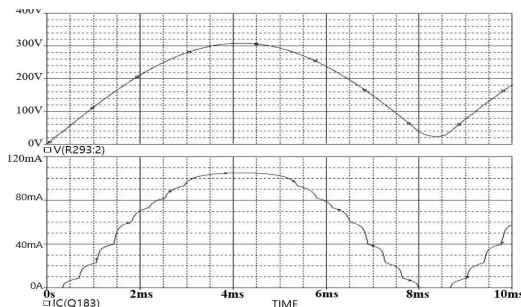


그림 14. LED 전압(위) 및 전류(아래)

Fig. 14. LED voltage(top) and current(bottom)

그림 14에서 전압과 전류가 거의 일치하여 역률이 상당히 높게 나타남을 확인할 수 있다.

2.3 역률 개선 회로

그림 15에 *pnp* 트랜지스터를 사용하여 역률을 개선한 LED 조명회로를 나타내었다.

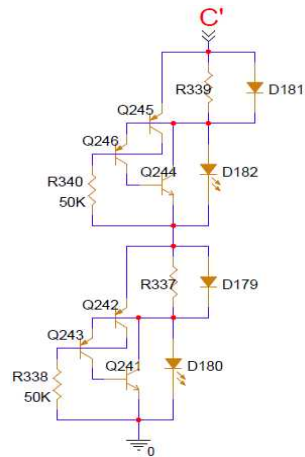
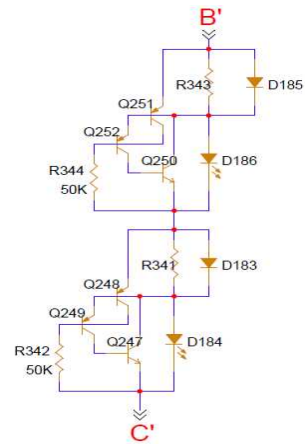
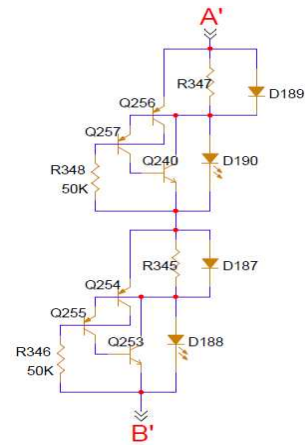
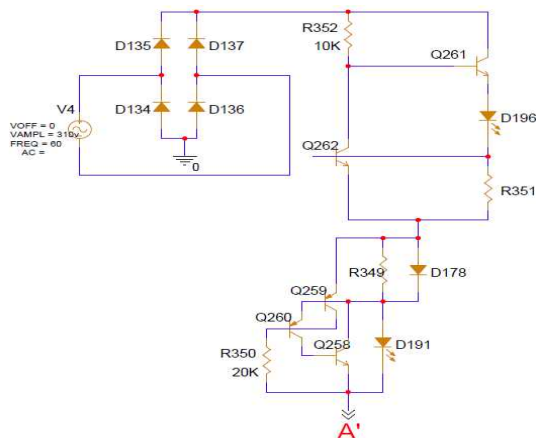


그림 15. *pnp* 트랜지스터를 사용한 역률 개선 회로
Fig. 15. Power factor correction circuit using *pnp* transistor

그림 15에서 첫 번째 LED 블록(D180)부터 일곱 번째 LED 블록(D191)까지 스위치 회로이고 여덟 번째 LED 블록(D196)은 전류 제한 회로이다. 전류 제한 회로는 R351로 결정되고, LED 전류는 $V_{BE_Q262}/R351 = 0.7[V]/6.5[k\Omega] = 107[mA]$ 로 결정된다. 첫 번째 LED 블록(D180)의 전류 스위치는 Q241, Q242, Q243으로 구성되며, R337에 의해 스위치 전류는 $V_{BE_Q242}/R337$ 로 결정된다. D179는 저항 R337에 흐르는 전류값이 작아지면 전체 전류는 Q242로 나누어 흘러가며, 너무 많은 전류에 의해 V_{BE} 값이 상승하는 것을 막아주는 전류 보호 역할을 한다. 그림 15와 같은 LED 조명회로의 전압과 전류를 그림 16에 나타내었다.

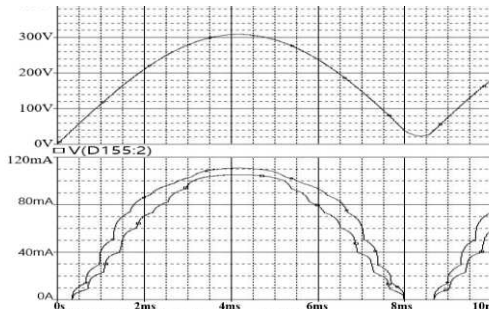


그림 16. LED 전압(위) 및 전류(아래)
Fig. 16. LED voltage(top) and current(bottom)

그림 16의 아래에 있는 LED 전류에서 바깥 부분의 파형이 *pnp* 트랜지스터를 활용한 회로에서 나타나는 전류이고 안쪽 부분의 파형이 *nnp* 트랜지스터를 이용한 전류이다. 그림 16에서 LED 전류 파형으로부터 *pnp* 트랜지스터를 활용한 회로의 역률이 더 우수하다는 것을 확인할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.2V, 100mA의 LED와 드라이버 IC로 구성된 LED 조명회로의 역률을 측정하였다. 그림 17에 입력전압에 따른 역률을 나타내었다. 그림 17에서 역률 1은 본 연구에서 제안한 LED 조명회로의 역률이고, 역률 2는 역률 개선 회로에 의한 역률을 나타낸다.

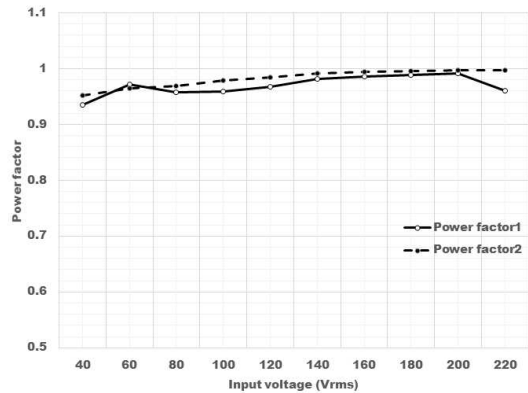


그림 17. 입력전압에 따른 역률
Fig. 17 Power factor according to input voltage

본 연구에서 제안한 LED 조명회로는 220V에서 96%의 역률을 나타내고 있다. 또한, 역률 개선 회로에서는 99.7%의 아주 높은 역률을 얻을 수 있었으며, 입력전압의 변동과 관계없이 매우 안정된 동작을 보여주었다.

4. 결론

본 연구에서 제안한 교류 구동 LED 드라이버 IC를 제작하기 위하여 500V 이상의 소자 항복전압을 만족하는 고내압 반도체 제조공정이 필요하다. 그러나 높은 입력전압이 각 LED 블록마다 나누어 인가되도록 LED 드라이버 IC를 직렬구조로 설계함으로써 낮은 내압의 소자를 구현하는 반도체 공정기술로도 제작할 수 있다. LED 조명회로는 220V에서 96%의 역률을 나타내고 있다. *pnp* 트랜지스터를 이용한 역률 개선 회로에서는 99.7%의 아주 높은 역률을 얻을 수 있었으며, 입력전압의 변동과 관계없이 매우 안정된 동작을 보여주었다.

REFERENCES

[1] H-Y. Shin, "Development of constant current SMPS for LED lighting," *The journal of the korea institute of electronic communication sciences*, vol. 10(1), pp. 111-116, Jan. 2015.

[2] B. Kim, E-S. Jeon, and C. Kim, "LED lighting system switched-mode power supply," *Spring congress on engineering and technology*, May 2012.

[3] Y-S. Jeon, D-L. Jin, J-D. La, and Y-S. Kim, "Study of the elimination of the electrolytic capacitors and reduction of the ripple current on the output node in the one-stage PFC flyback converter for the LED lighting," *The transactions of the korean institute of electrical engineers*, vol. 61(11), pp. 1625-1633, Nov. 2012.

[4] Linlin Gu, Xinbo Ruan, Ming Xu, and Kai Yao, "Means of eliminating electrolytic capacitor in AC/DC power supplies for LED lightings," *IEEE transactions on power electronics*, vol. 24, issue 5, pp. 1399-1408, 2009.

[5] Y. Okuno, "Light-emitting diode display," *U.S. Patent*, 4 298 869, Nov. 3, 1981.

[6] J. Cho, J. Jung, J. H. Chae, H. Kim, H. Kim, J. W. Lee, S. Yoon, C. Sone, T. Jang, Y. Park, and E. Yoon, "Alternating-current light emitting diodes with a diode bridge circuitry," *Jap. J. Appl. Phys.*, vol. 46, no. 12L, pp. L1194- L1196, Dec. 2007.

[7] G. A. Onushkin, Y. J. Lee, J. J. Yang, H. K. Kim, J. K. Son, G. H. Park, and Y. J. Park, "Efficient alternating current operated white light-emitting diode chip," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 21, no. 1, pp. 33-35, Jan. 2009.

[8] H-J. Chiu, S-J. Cheng, "Design considerations of an SEPIC PFC converter for driving multiple lighting LED lamps," *International Journal of Circuit Theory and Applications*, vol. 37, issue 8, pp. 928-940, Oct. 2009.

[9] R. Dayal, K. Modepalli, and L. Parsa, "A direct AC LED driver with high power factor without the use of passive components," *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, Sept. 2012.

[10] R. K. Pandey and S. P. Tondare, "An AC LED driver with improved total harmonic distortion and power factor," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 7, issue 5, pp. 1532-1538, May 2016.

[11] Peng Fang, Bo Sheng, Samuel Webb, Yan Zhang, and Yan-Fei Liu, "LED driver achieves electrolytic capacitor-less and flicker-free operation with an energy buffer unit," *IEEE transactions on power electronics*, vol. 34, issue 7, pp. 6777-6793, 2018.

[12] Yuan Gao, Lisong Li, and Philip K. T. Mok, "An AC input switching-converter-free LED driver with low-frequency-flicker reduction," *IEEE Journal of Solid-State Circuit*, vol. 52, issue 5, pp. 1424-1434, 2017.

Author Biography

전 의 석(Eui-Seok Jeon)

[정회원]



- 1992년 2월 : 영남대학교 전자공학(공학사)
- 1994년 2월 : 영남대학교 전자공학(공학석사)
- 1994년 3월 ~ 2000년 3월 : 한국전자(KEC) 선임연구원
- 2000년 4월 ~ 2008년 3월 : (주)모빌렉트론 수석연구원
- 2008년 4월 ~ 2012년 3월 : 파워젠(주) 연구소장
- 2012년 4월 ~ 현재 : (주)세미젠 대표이사

〈Research Interests〉 LED 회로 설계, 반도체 IC 설계

안 호 명(Ho-Myoung An)

[중신회원]



- 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

〈Research Interests〉 반도체 소자, 비휘발성메모리, 광소자

김 병 철(Byungcheul Kim)

[중신회원]



- 1988년 2월 : 광운대학교 전자재료 공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 광운대학교 전자재료 공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 광운대학교 전자재료 공학과 (공학박사)
- 2001년 9월 ~ 현재 : 경상국립대학교 융합전자공학부 교수

〈Research Interests〉

메모리 반도체, LED 전원회로