

LLC 공진형 컨버터를 이용한 고효율 조명용 LED 구동회로

申大成*, 丁永振**, 洪成洙***, 韓翔圭****, 張炳埈\$, 金鍾海\$\$, 李日雲\$\$, 盧政煜†

A High Efficiency LED Driver Circuit using LLC Resonant Converter

Dae-Seong Shin, Young-Jin Jung, Sung-Soo Hong, Sang-Kyu Han, Byung-Jun Jang,
Jong-Hae Kim, Il-Oun Lee, and Chung-Wook Roh

요 약

본 논문은 고효율의 조명용 LED 구동회로를 위해 LLC 공진형 컨버터를 이용한 2단 구성의 LED 구동회로를 제안한다. 기존의 3단 구성의 LED 구동회로는 LED의 휘도 및 제어를 위해 별도의 비절연형 DC/DC 컨버터를 사용하여 낮은 효율의 문제점을 지니고 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 제안된 회로는 비절연형 DC/DC 컨버터 단 없이 PFC단과 LLC단으로 총 2개의 단으로 구성하였다. LLC단에서 절연과 LED의 제어 및 휘도 조절 기능이 가능하여 90% 이상의 고효율 동작을 보장한다. 본 논문에서는 제안회로의 동작원리를 설명하고, 모의실험 및 45W 급 LED 구동회로를 제작하여 하드웨어실험을 통해 제안회로의 유용성을 검증하였다.

ABSTRACT

This paper presents the Two-stage LED Driving system using LLC resonant converter for LED lighting application. Due to the existence of the nonisolation DC/DC converter to control the LED current and the light intensity, the conventional three-stage LED Driving system has the problem of low power conversion efficiency. To solve this problem, a novel scheme without any nonisolation DC/DC converter is proposed, in which, the isolated DC/DC converter, e.g., LLC resonant converter in the paper, can perform the LED current control and stage, e.g., PFC stage and LLC stage, the efficiency can be significantly improved. Moreover, the cost and the volume of the whole LED driving system can be reduced compared to those of the conventional ones. The operational principle and the characteristics of the proposed scheme are presented. The proposed scheme is verified experimentally with a 45W output prototype LED driver.

Key Words : LED Driver, High efficiency, LLC converter, PWM Dimming

1. 서 론

최근의 조명업체들은 친환경적이고 장수명, 높은 전력변환효율을 지닌 차세대 광원인 LED를 위한 Driver

(LED 구동회로)의 조건으로 90% 이상의 고효율을 요구하고 있다. 하지만 기존회로는 역률만족을 위한 PFC 단, 안전을 위한 절연형 DC/DC 단, LED의 제어와 휘도 조절을 위한 Buck, Boost 타입의 비절연형 DC/DC 단으로 크게 3개의 단으로 구성되어 90% 이상의 고효율을 달성할 수 없었다. 또한 기존의 3단구성 회로는 비절연형 DC/DC 컨버터단의 하드 스위칭문제로 인한 전력소비와, 직렬로 연결된 LED 부하개수의 증가시 높은 내압의 Bulky한 소자를 사용해야 하는 단점이 있다.^{[1][2]}

이에 본 논문에서는 90% 이상의 고효율을 달성하기 위해 비절연형 DC/DC 컨버터단이 필요 없는 2단 구성의 LED 구동회로를 제안한다. 제안된 회로는 PFC단과

†교신저자 : 정회원, 국민대 전자정보통신공학부 부교수
E-mail : drno@kookmin.ac.kr

*학생회원, 국민대 전자공학과 석사과정

**학생회원, 국민대 전자공학과 박사과정

***정회원, 국민대 전자정보통신공학부 부교수

****정회원, 국민대 전자정보통신공학부 조교수

\$정회원, 국민대 전자공학과 부교수

\$\$정회원, 삼성전기(주) P&M 사업부 책임연구원

접수일자 : 2009. 11. 10 1차 심사 : 2009. 12. 2

심사완료 : 2009. 12. 9

LLC 컨버터단으로 구성되어 있다. PFC단은 25W이상 조명기기의 고조파규제 만족을 위한 역률보정(IEC 61000-3-2 Class C)을 담당하며, LLC 컨버터단은 1, 2 차 측의 절연과 2차측 LED에 정전류를 공급 하고 LED의 휘도조절 기능을 제공한다.

2. LED 특성과 기존회로의 문제점

그림 1은 각 제조사에서 동일한 공정으로 생산되는 임의의 LED에 대한 전압, 전류 특성을 나타내고 있다. 다른 제조사에서 생산된 LED 뿐만 아니라 동일한 공정에서 생산된 LED의 경우에도 각각의 LED는 전압, 전류 특성이 다르다. 따라서 LED 모듈의 병렬연결 구동 뿐만 아니라 직렬연결 구동 시에도 동일한 인가 시 각각의 제품마다 LED의 특성 편차로 인해 동일한 휘도를 얻기 힘들다. 또한 LED는 열폭주 현상을 지닌 소자이기 때문에 정전압 제어를 할 경우 LED에 흐르는 전류는 시간이 지날수록 증가하게 된다. 따라서 LED에 흐르는 전류가 일정하게 흐르도록 제어하는 전류제어 구동회로(driver)가 필요하다.^{[1][2]}

그림 2(a)는 기존의 LED 램프 구동을 위한 전원회로 구성도를 나타내었다. 기존의 LED 구동회로는 3단 구성으로 이루어져 있다. 50Hz~60Hz의 AC 상용전원의 고조파 규제를 만족하기 위해서 역률 개선회로(Power Factor Correction: PFC)를 사용하고, 안전규격을 만족하기 위해 절연형 DC-DC컨버터(Isolation DC-DC Converter)를 사용하며 최종 출력단은 LED 부하의 구동을 위한 전류제어의 강압 초퍼 회로(Buck Converter), 승압 초퍼 회로(Boost Converter) 승·강압 초퍼 회로(Buck-Boost Converter)를 사용하였다. 또한 휘도조절 기능을 위하여 기존회로는 그림2(b)와 같이

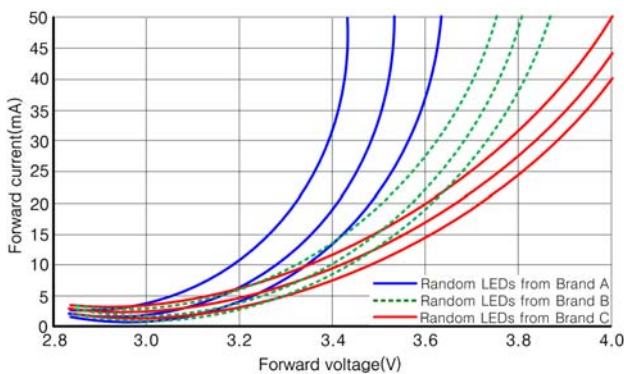


그림 1 임의의 LED에 대한 전류, 전압 특성
Fig. 1 Characteristics of the Random LED voltage & current

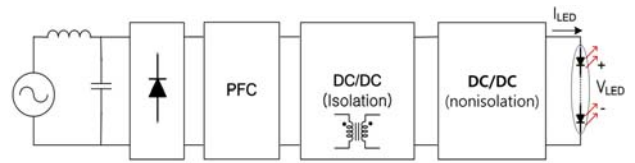


그림 2(a) 기존회로의 개념도
Fig. 2(a) The block diagram of the circuit

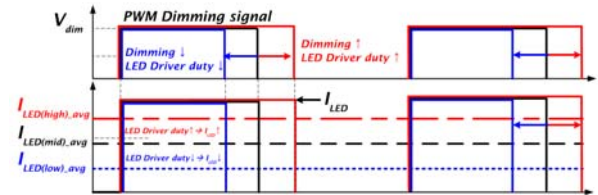


그림 2(b) 기존회로의 PWM Dimming 원리
Fig. 2(b) PWM dimming principles of the conventional circuit

PWM Dimming을 이용하여 휘도조절을 수행한다. PWM Dimming 신호의 시비율이 증가 또는 감소할 때 승압 및 강압 회로의 활성시간을 조절하여 LED에 흐르는 평균 전류를 조절함으로써 휘도 조절을 할 수 있다. 하지만, 기존 LED 구동회로는 다단으로 구성되어 각 단의 효율을 최대 95%라고 가정을 하여도 전체 시스템은 90%이상의 고효율 동작을 할 수 없다는 단점이 있다.

이에 본 논문에서는 비절연형 DC/DC 컨버터단이 없는 새로운 LED 구동회로 구조를 제안한다.

3. 제안된 2단 LLC 공진형 LED 구동회로

그림 3(a)는 제안회로의 개념도를 나타낸 그림이다. 제안회로는 조명에서 필요한 기본 사양인 AC 상용 전원을 사용하고, 고조파 규제 만족을 위한 역률 보정 기능이 있고, 안전 규격을 만족하기 위해서 전기적 절연이 가능하며, 휘도 조절을 할 수 있는 PWM Dimming이 가능하다.

제안회로는 절연형 DC/DC 컨버터(Isolation DC-DC Converter)와 LED 램프에 정전류 공급 및 휘도 조절을 위한 구동회로(Nonisolation DC-DC Converter)를 하나의 단으로 구성하며, 역률 개선을 위한 회로(Power Factor Correction: PFC)를 사용하는 2단 PWM Dimming LED 구동회로이다. 비절연형 DC/DC 단 없이 절연형 DC/DC 단에서 LED 램프에 안정적으로 정전류를 공급하며, PWM Dimming을 이용하여

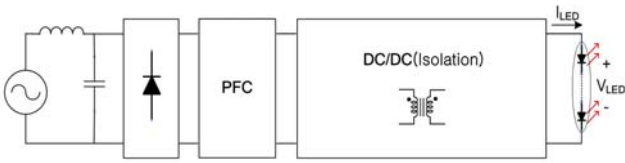


그림 3(a) 제안 회로의 개념도
Fig. 3(a) The block diagram of the proposed circuit

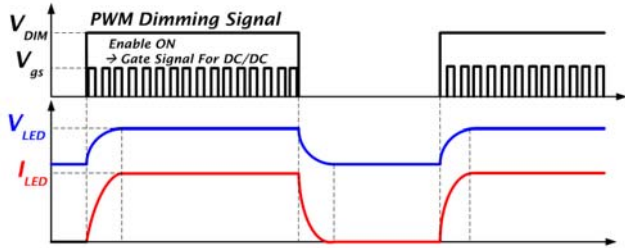


그림 3(b) 제안회로의 PWM Dimming 원리
Fig. 3(b) PWM dimming principles of the proposed circuit

LED 램프의 원하는 휘도를 조절한다.

그림3(b)에 제안회로의 PWM Dimming 원리를 나타내었다. 외부 Dimming 을 절연형 DC-DC 컨버터의 제어IC의 Enable신호로 받아 DC/DC 컨버터를 활성화시킨다. DC/DC 컨버터의 활성화 시 시비를 변조제어(PWM)나 주파수 변조제어(PFM)를 채용함으로써 LED 전류 제어가 가능하다.

제안회로는 비절연형 DC/DC 컨버터단 없이 때문에 고효율 동작에 매우 유리하다. 기존회로의 경우 각 단의 효율을 95%라고 가정하여도 90% 이상의 고효율을 얻을 수 없었다. 하지만, 제안회로는 2개의 단으로만 구성되어 있기 때문에 90%이상의 고효율 동작에 매우 유리한 구조이다.

3.1 제안 회로의 구성

제안 2단 LLC 공진형 LED 구동회로는 그림 4와 같다. 제안된 회로는 크게 2개의 컨버터로 이루어져 있다. PFC는 50Hz~60Hz의 AC 상용전원의 고조파 규제를 만족하기 위한 역률개선회로(PFC)중 대표적인 Boost 컨버터를 사용한다. 90%이상의 고효율 동작을 위해 DC/DC 단은 구조가 간단하며, 넓은 부하 영역에 대해 1차측 스위치의 영전압 스위칭(ZVS, Zero Voltage Switching)과 2차 측 다이오드의 영 전류 스위칭(ZCS, Zero Current Switching)을 보장하는 LLC 공진형 컨버터를 채용한다.^{[3][5]} 제안 방식은 LLC 공진형 컨버터 단에서 LED의 정전류 제어를 수행하고 PWM Dimming

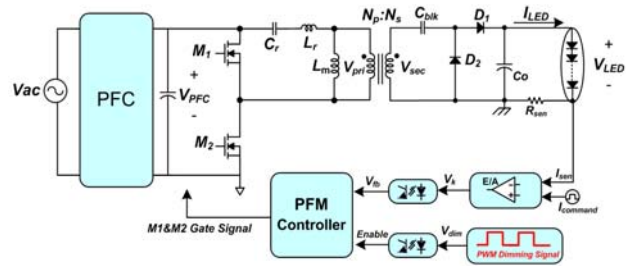


그림 4 제안 2단 LLC 공진형 LED driver 구성도
Fig. 4 Proposed Two-stage LLC resonant LED driver

을 이용한 LED 휘도 조절을 동시에 수행한다.

회도제어를 위해서 LED 램프의 인가 이 문턱 전압 이상이면 전류가 흐르기 시작하여 빛이 발생하고 문턱 전압 이하이면 빛이 발생하지 않는 원리를 이용하였다. PWM Dimming ON 명령시 PFM controller의 Enable 신호가 인가되어 LLC 컨버터는 정전류 제어를 수행한다. PWM Dimming OFF 명령시 Enable신호는 차단되어 LLC 컨버터의 게이트 신호(Gate Signal)는 발생하지 않게 된다. 이에 따라 출력측으로 전력을 전달하지 않게 되고 출력(V_{LED})은 감소하며, LED 램프의 문턱 이하가 되면 LED는 OFF가 되어 전류는 흐르지 않게 된다. 따라서 본 논문에서 제안하는 2단 구성의 LED 구동회로는 별도의 비절연 DC/DC 단 없이 정전류 제어 및 휘도 제어가 동시에 가능한 구조이다.

3.2 제안 회로의 모드해석

정상상태 동작원리를 분석하기 위해 다음과 같은 가정을 하며, 동작파형을 그림 5에 나타내었다.

- i. 모든소자는 이상적이다. (단, 변압기는 자화 인덕턴스(L_m)과 누설 인덕턴스(L_r)을 가지고 있다.)
- ii. 모든 동작은 정상상태(steady-state)에서 해석한다.
- iii. Duty ON 시간은 PWM Dimming 신호의 High구간의 시간이다.
- iv. PFM Controller는 Enable High일때 스위치 게이트 신호는 차단된다.

제안된 회로는 PWM의 ON/OFF 신호에 따라 총 4개의 동작모드를 갖는다.

Mode1(T_0 - T_1) : T_0 이전 시점에서는 PWM Dimming Low구간으로 M_1 과 M_2 스위치는 턴-오프 되어 있으며, 출력측으로 전력 전달이 없어 V_{LED} 는 직렬 연결된 N개의 LED램프의 문턱 전압 이하를 출력하고, I_{LED} 는 0이다. T_0 인 시점에서 V_{dim} 신호가 High가 되면 PFM Controller의 Enable 신호가 Low가 되어 Gate Signal이 발생한다. N개의 직렬로 연결된 LED에 흐르는 전류 명

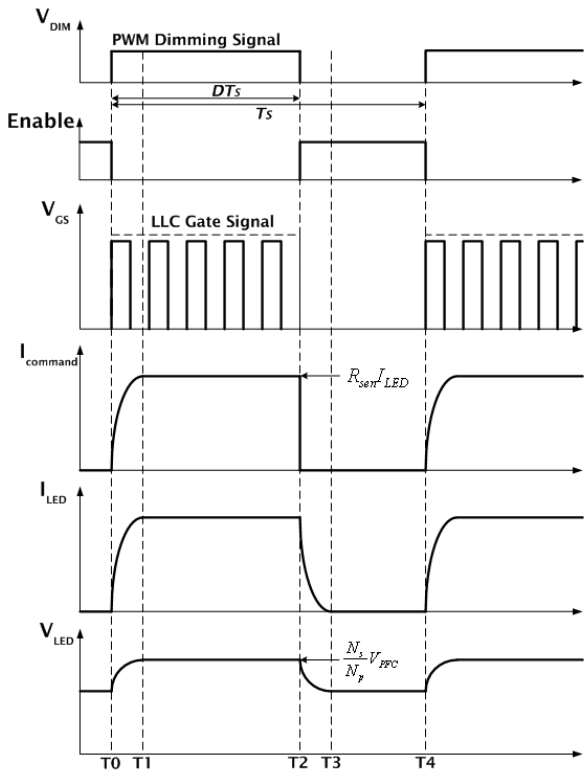


그림 5 제안 회로의 동작파형
Fig. 5 Waveforms of the proposed circuit

령($I_{command}$)이 그림 5의 파형과 같이 천천히 상승하게 되며, LLC 컨버터의 동작주파수는 PFM Controller가 생성하는 최대 주파수부터 정상상태의 주파수까지 감소하게 된다. 이상의 동작은 소프트 스위칭 (Soft-switching) 동작과 같이 V_{LED} 와 I_{LED} 가 과전압 및 과전류 발생 없이 원하는 level에 도달하게 된다. 그리고, LED에 흐르는 전류 I_{LED} 는 T_1 시점에서 정상상태의 LED전류에 이르게 된다.

Mode2 (T_1 - T_2) : PWM Dimming 신호는 High인 상태이며 M_1 과 M_2 스위치는 50% 시비율로 도통과 차단을 반복하게 되며 공진 캐패시터(C_r) 과 누설 인덕턴스(L_r)에 의해 공진이 발생하여 턴비에 의해 2차측 턴-온된 다이오드의 경로로 전류가 흐르게 된다. 이때, LLC 컨버터는 2차측 LED에 흐르는 전류를 검출(I_{sen})하여 전류 명령($I_{command}$)을 추종하도록 주파수 제어를 행하여 LED에 정전류 공급을 수행한다.

Mode3 (T_2 - T_3) : T_2 시점에서는 PWM Dimming 신호가 Off 되며 Enable은 High가 된다. 이때, PFM Controller의 Gate signal이 발생하지 않고, LLC 컨버터는 에너지의 전달이 없게 되어 출력커패시터(C_o)는

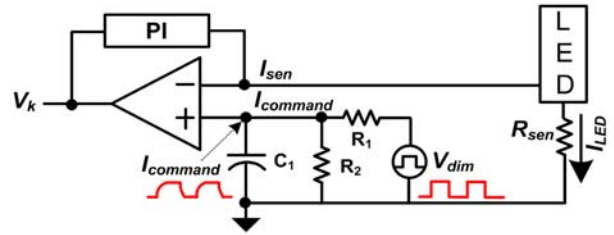


그림 6 제안회로의 E/A Block
Fig. 6 E/A Block of proposed circuit

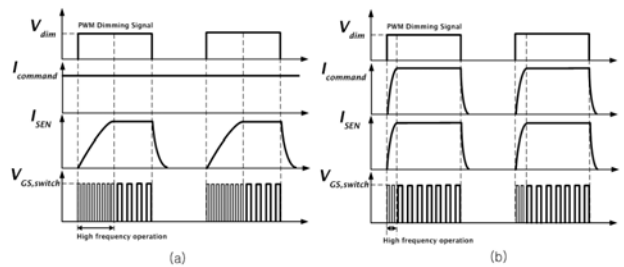


그림 7(a) 기존의 소프트 스타트 명령 제어방식
(b) 제안된 전류명령 가변 방식
Fig. 7(a) Soft-start control of conventional circuit
(b) The current variation control of proposed circuit

방전하며, LED 램프 양단에 걸린 V_{LED} 는 문턱 전압까지 떨어지게 된다.

Mode4 (T_3 - T_4) : T_3 시점에서 문턱 전압 이하로 떨어지게 되고 I_{LED} 는 0이 된다. 이 구간에서 출력전압은 더 이상 감소하지 않고 LED의 문턱 전압 이하로 유지하게 된다.

3.3 소프트 스위칭 효과를 갖는 E/A Block

PWM Dimming High 신호시 LLC컨버터는 소프트 스타트(Soft-Start)를 위해 강제로 제어기의 출력(V_k)을 선형적으로 증가시킴으로써 그림 7(a)와 같이 고주파에서부터 스위칭을 한다. 램프 구동시 과전압(Over Voltage) 및 과전류(Over Current)의 문제는 제거되지만 1차측 스위치는 하드 스위칭을 하게 됨으로써 EMI 및 소자스트레스가 증가하는 문제점이 있다. 이에 본 논문에서는 LED 램프의 휘도 조절을 위해 PWM Dimming 신호 ON시 기존 소프트 스타트 명령 제어를 사용하지 않고 제어기의 빠른 응답특성을 이용한 전류 명령 제어를 채용하여 과전압·과전류가 없으며 소프트 스위칭이 가능하도록 하였다. PWM Dimming 신호시 그림 7(b)와 같이 전류명령을 인가함으로써 LED 전류는 소프트 스타트 명령을 이용하는 경우에 비해 보다

더 빠르게 정상 상태주파수에 도달 할 수 있다. 이에 따라, 기존의 소프트 스타트 명령 제어를 사용하였을 때 생겼던 1차측 스위치의 하드 스위칭 문제를 개선 할 수 있다.

3.4 설계 절차

제안된 회로의 공진탱크의 조건은 다음과 같다.

I. 최대부하에서 LLC 공진형 컨버터의 동작주파수는 공진주파수와 같도록 식(1)과 같이 1, 2차측 권선비를 선정한다.^[6]

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{N_{max} V_{F(max)}}{V_{PFC}} \quad (1)$$

식(1)에서 N_p 와 N_s 는 1,2차측 권선의 수 그리고 N_{max} 는 직렬연결 LED의 최대개수이며 $V_{F(max)}$ 는 그림 1의 Forward current에서 1개의 LED가 가진 Forward voltage 최대값을 나타낸다.

II. 최대주파수에서 M_1, M_2 스위치의 ZVS를 만족하도록 식 (2)와 같이 L_m 값을 설정한다.^[5]

표 1 모의실험 조건
Table 1 Simulation conditions

COMPONENTS	PARAMETERS
V_{in}	400 [V]
V_{LED}	128 [V]
I_{LED}	350 [mA]
P_o	45 [W]
D_{dim}	80%
f_{sw}	60 [kHz]
f_{dim}	150 [Hz]

표 2 제안회로의 실험 파라미터
Table 2 Experimental parameters of the proposed circuit

COMPONENTS	PARAMETERS
L_m	700 [μ H]
L_r	700 [μ H]
C_r	10 [nF]
f_{min}	60 [kHz]
f_{max}	150[kHz]
C_{blk}	1 μ F/100[V]
C_o	2.2 μ F/250[V]
switch	20N60C3
diode	MBRF20200CT
Core	EER3335S
PFM controller	NCP1396A
E/A	TSM101
turn ratio	98 : 21

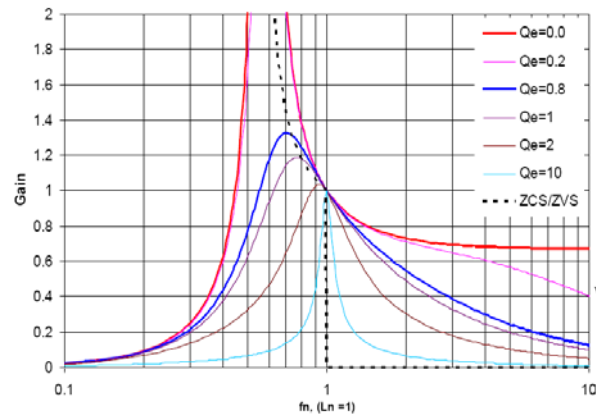


그림 8 주파수에 따른 LLC 컨버터의 전압 이득곡선
Fig. 8 Voltage Gain curve of LLC resonant converter



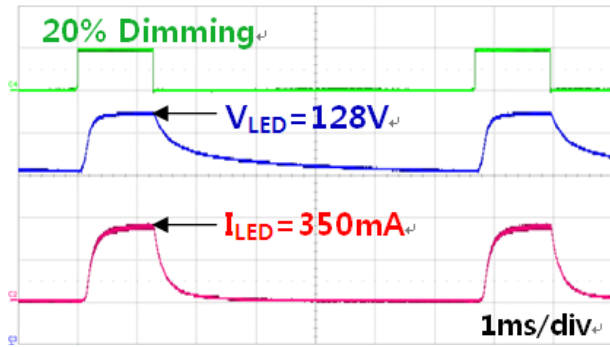
그림 9 제안회로의 모의실험 주요 파형
Fig. 9 Simulation waveform of proposed circuit



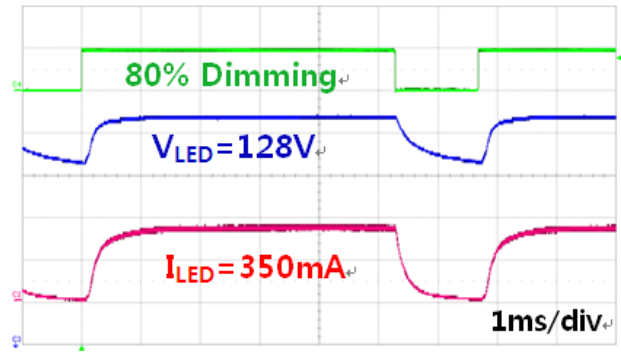
그림 10 구현된 45W LED 구동회로
Fig. 10 Implemented 45W LED Driver Circuit

$$L_m < \frac{t_{dead}}{16 C_j \times f_{sw(max)}} \quad (2)$$

식 (2)에서 L_m 은 트랜스포머가 가진 자화인덕턴스 그리고 C_j 는 1차측 스위치의 드레인-소스 사이의 기생 캐패시턴스이며 t_{dead} 는 M_1 과 M_2 스위치 모두 턴-오프 일



(a) 20% PWM Dimming



(b) 80% PWM Dimming

그림 11 PWM Dimming 명령에 따른 LED전류, 전압 실험결과
 Fig. 11 Experimental LED current and voltage results in case of PWM Dimming

때의 시간이다. $f_{sw(max)}$ 는 최대 동작주파수를 나타낸다.

III. 최대주파수에서 공진탱크의 이득이 식 (3), (4)를 고려하여 최소부하에 필요한 이득보다 작게 되도록 L_m 과 L_r 의 비율($L_n=L_m/L_r$)을 선정한다.^{[5][6]} 또한 식(5)를 바탕으로 공진캐패시터(C_r)을 선정한다. LLC 공진형 컨버터의 주파수에 따른 이득곡선은 그림 8에 나타내었다.

$$Gain(f_{sw(max)}) < \frac{N_{min} V_{F(min)}}{N_{max} V_{F(max)}} \quad (3)$$

식(3)에서 $N_{min}V_{F(min)}$ 는 직렬로 연결하는 LED의 개수가 가장 적을 때 LED 양단에 걸리는 전압을 나타내며, $N_{max}V_{F(max)}$ 는 반대의 경우이다.

$$Q_c = \frac{\pi^2 \sqrt{\frac{L_r}{C_r}}}{8 \left(\frac{N_p}{N_s} \right)^2 R_L} \quad (4)$$

$$f_{sw(min)} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_r C_r}} \quad (5)$$

식 (4)에서 L_r 은 1차측 트랜스포머의 기생 인덕턴스값이며 C_r 은 1차측 공진 캐패시터를 의미한다. 한편 R_L 은 2차측 부하 저항값으로 직렬로 연결된 LED 양단 전압과 전류의 비율이다.

위의 설계 절차를 토대로 하드웨어 실험시 1, 2차측 턴비는 $N_p:98turns$ $N_s:21turns$ 를 사용하였으며 $f_{sw}=60kHz$, $L_m=700\mu H$, $L_r=700\mu H$, $C_r=10nF$ 를 사용하였다.

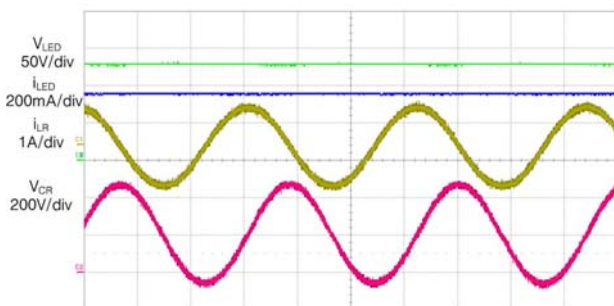


그림 12(a) 36EA LED 직렬연결 시 실험결과 (45W Output power)

Fig. 12(a) Experimental results in case of Series of 36EA LED Connection (45W Output power)

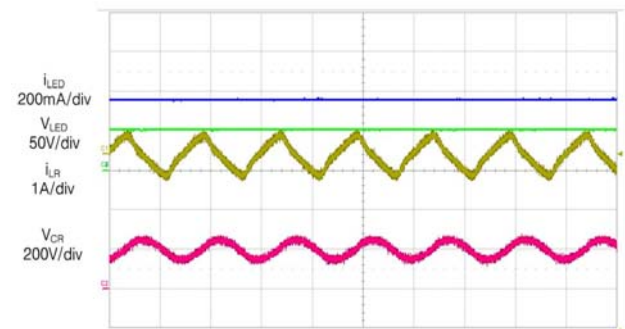


그림 12(b) 14EA LED 직렬연결 시 실험결과(17W Output power)

Fig. 12(b) Experimental results in case of Series of 14EA LED Connection (17W Output power)

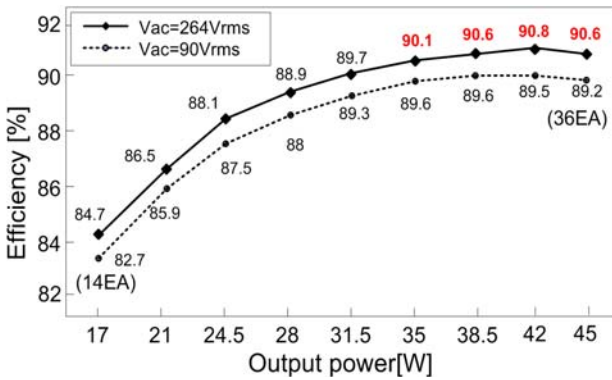


그림 13 출력파워에 따른 제안회로의 효율
Fig. 13 Efficiency of proposed circuit for output power

4. 제안회로의 실험결과

4.1 모의 실험 결과

앞서 설명한 LLC 공진형 조명용 LED 구동회로의 동작원리의 타당성을 검증하기 위해 표1의 조건하에서 모의실험을 수행하였다.

그림 9는 표1과 같은 조건하에서 수행된 제안회로의 모의실험 주요파형을 보여준다. PWM Dimming 신호가 ON이 되면 LLC 컨버터단의 스위칭 동작이 이루어지게 되며 LED 램프의 전류가 전류 명령치(V_{ref})를 추종하게 되는 결과를 검증하였다.

4.2 PWM Dimming 시 실험결과

그림 10은 구현된 45W급 LED 구동회로를 나타낸 그림이다. 왼쪽은 고조파규제 만족을 위한 PFC단이며 오른쪽은 절연 그리고 LED의 정전류 공급 및 휘도조절을 위한 LLC단으로 구성되어 있다.

하드웨어 실험시 LED 램프는 36개를 직렬로 연결한 구성으로 128V의 양단 전압을 가지고 있으며, 이때의 전류는 350mA를 공급하도록 하였다. 표 2는 구현된 LED 구동회로의 소자 선정 및 파라미터이며, 그림 11은 PWM Dimming 동작시 제안된 회로의 LED 출력과 전류를 나타내는 실험 결과파형이다. 제안회로는 앞서 설명한 동작모드 해석과 같이 하드웨어 실험시 동일한 출력 전류, 전압 파형을 얻었다. PWM Dimming의 스위칭 주파수는 150Hz이며, 20% Dimming과 80% Dimming 시의 동작파형이 그림 11 (a), (b)에 각각 나타나있다. PWM Dimming ON/OFF 동작시 LED의 전류와 전압이 오버슈트(Overshoot)없는 우수한 제어특성을 보였다.

본 논문에서 제안된 회로는 LED의 Tolerance를 고려한 14~36개의 LED 직렬연결 시 원활한 동작을 보장한다. 그림 12는 최대 Dimming(100% Dimming) 조건하에서 LED 램프의 개수가 최대와 최소인 경우에 제안회로의 동작파형을 나타낸 그림이다. 그림 12(a)는 36개의 LED(45W기준)를 직렬로 연결했을 때 1, 2차측 전류, 파형이며, 그림 12(b)는 14개의 LED(17W기준)를 직렬연결 시의 1, 2차측 전류와 전압의 파형이다.

LLC 컨버터의 주파수에 따른 공진탱크의 이득을 이용하여 36개의 LED 직렬연결 시 1차측 스위치의 스위칭주파수는 약 60kHz이고 14개의 LED 직렬연결 시에는 약 130kHz로 동작한다. 그림 12(a), (b)의 LED에 흐르는 전류 파형을 통해 알 수 있듯이 LED의 직렬연결 개수가 14~36개로 광범위하게 변화하여도 LED에 흐르는 전류를 350mA로 전류 제어가 가능함을 알 수 있다.

제안 회로의 효율을 측정된 데이터는 그림 13과 같다. 264 [V_{rms}]의 입력조건에서 36개의 LED 직렬연결 시 출력파워(Output Power)는 45W로 90.6%의 효율을 보였고, 14개의 LED 직렬연결 시 출력파워는 17W로 84.7%의 효율을 보였다. 기존의 3단 구성에서는 90% 이상의 고효율을 확보하기 매우 어려웠지만 제안회로에서는 45W 기준 약 90.6%로 90% 이상의 고효율이 가능함을 증명 하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 고효율 LED 구동회로를 위해 2단 구성의 LLC 공진형 LED 구동회로를 제안하였다. 기존의 LED 구동회로는 휘도조절과 정전류 제어를 위한 비절연형 DC/DC 컨버터의 사용으로 90% 이상의 고효율 동작을 보장할 수 없었다. 이에 제안회로는 별도의 비절연형 DC/DC 컨버터 없이 LLC 컨버터에서 절연과 LED의 정전류 공급 및 휘도조절을 모두 수행할 수 있도록 하였다. 모의실험을 통해 본 논문에서 제안한 회로의 동작을 검증 하였으며 45W급 시제품을 제작하여 하드웨어 실험을 수행하였으며 45W 기준 90.6%의 고효율 동작을 입증하였다. 그리고 LED의 직렬연결 개수가 광범위하게 변하는 경우에도 고효율 동작을 보장하면서 LED의 정전류 제어가 가능함을 보였다. 제안회로는 비절연형 DC/DC 컨버터단이 필요가 없기 때문에 기존회로에 비해 원가 저감이 가능하며, 90% 이상의 고효율 동작을 요구하는 LED 구동회로에 적합할 것으로 생각 된다.

본 연구는 지식경제부 및 정보통신 연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업(IITA-2009-C1090-0904-0002)과 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2009-0074143)

참 고 문 헌

- [1] 박규민, 이광일 외, “전압 스트레스 저감을 위한 새로운 조명용 LED 조명 회로”, *전력전자학회 논문지*, 제14권 제3호, pp. 243-250, 2009. 6.
- [2] 이상훈, “LED 조명 시스템을 위한 LED 및 직류전원 기술”, *전력전자학회지*, 제14권 제3호, 2009. 6.
- [3] 조상호, 윤종규 외, “단일 변압기를 이용한 고효율·저가격형 다중출력 LLC공진형 컨버터”, *전력전자학회 논문지*, 제13권 제6호, pp. 439-446, 2008. 12.
- [4] JACOBS, Ronny "Flyback converter as LED Driver", International patent application, WO 01/05193 A1
- [5] B. Yang, F.C. Lee, A.J. Zhang, G. Huang, "LLC resonant converter for front end DC/DC conversion", in *IEEE-APEC 2002*, pp. 1108-1112, 2002.
- [6] Bing Lu, Wenduo Liu, Yan Liang, Fred C. Lee, Jacobus D. van Wyk, "Optimal Design Methodology for LLC Resonant Converter", in *IEEE-APEC 2006*, pp. 533-538, 2006.

저 자 소 개



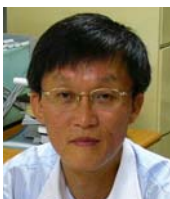
신대성(申大成)

1982년 4월 19일생. 2008년 국민대 공과대학 전자정보통신공학부 졸업. 2008년~현재 동 대학원 전자공학과 석사과정.



정영진(丁永振)

1978년 9월 2일생. 2004년 3월 수원대 전기 및 전자공학부 졸업. 2008년 2월 국민대 전자공학과 졸업(석사). 2008년~현재 동 대학원 전자공학과 박사과정.



홍성수(洪成洙)

1961년 1월 25일생. 1984년 서울대 전기공학과 졸업. 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박). 1984년~1999년 현대전자(주) 정보통신연구소 책임연구원. 1999년~현재 국민대 전자정보통신공학부 부교수.



한상규(韓翔圭)

1973년 12월 13일생. 1999년 2월 부산대 전기공학과 졸업. 2001년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 졸업(석사). 2005년 2월 동 대학원 전자전산학과 졸업(공학박). 2005년 3월~2005년 8월 한국과학기술원 정보전자연구소 박사후연구원. 2005년 9월~현재 국민대 전자정보통신공학부 조교수.



장병준(張炳竣)

1968년 3월 15일생. 1990년 2월 연세대 전자공학과 졸업. 1992년 2월 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1997년 2월 동 대학원 전자공학과 졸업(공학박). 1995년~1999년 LG전자(주) 책임연구원. 1999년~2003년 한국전자통신연구원 무선방송연구소. 2003년~2005년 정보통신연구진흥원. 2005년~현재 국민대 전자공학과 부교수.



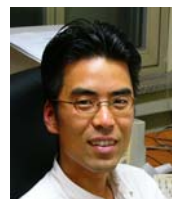
김중해(金鍾海)

1968년 3월 11일생. 1999년 영남대 전기공학과 졸업(공학박). 2005년 일본 나고야대학 전기공학과 졸업(공학박). 1996년~2000년 영남대 공업기술연구소 연구원. 2002년~2003년 호리정보과학진흥재단 연구원. 2003년~2005년 일본 나고야대학 COE 연구원. 2005년~현재 삼성전기 Power 사업팀 책임연구원.



이일운(李日雲)

1976년 9월 10일생. 2000년 2월 경북대 전자 전기공학부 졸업. 2003년 서울대 전기공학부 졸업(석사). 2003년~2008년 삼성SDI(주) PDP사업부. 2008년~현재 삼성전기Power 사업팀 책임연구원. 2009년~현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정.



노정욱(盧政煜)

1971년 9월 10일생. 1993년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기 및 전자 공학과 졸업(공학박). 2000년~2004년 삼성전자(주) 영상 디스플레이 사업부 책임연구원. 2004년~현재 국민대 전자정보통신공학부 부교수. 당 학회 국문지 편집위원.