

Analog Dimming을 이용한 Single-stage LED 구동 회로

김인범, 박규민, 한상규, 홍성수, 김현정*, 이상훈*, 이효범*, 이광일**, 노정욱
 국민대학교 전력전자연구소, 삼성전기(주) P&M 사업부*, 페어차일드 코리아 반도체(주)**

A single-stage LED driver circuit using Analog Dimming

In-Bum Kim, Kyu-Min Park, Sang-Kyoo Han, Sung-Soo Hong,
 Hyun-Jung Kim*, Sang-Hoon Lee*, Hyo-Bum Lee*, Kwang-Il Lee**, Chung-Wook Roh
 Kookmin University Power Electronics Center,
 Samsung Electro-Mechanics Co., LTD*, Fairchild Korea Semiconductor Co., LTD**

ABSTRACT

현재 폭넓은 시장을 형성하고 있는 LED는 전 세계적으로 이슈화 되고 있는 친환경 조명기기로서 각광받고 있으며, 향후 조명 산업의 50% 이상 시장 점유율을 차지할 것으로 예상된다. 본 논문에서는 Analog Dimming을 이용하여 Single-stage LED 구동 회로를 제안한다. 제안된 회로는 기존 방식과 달리 DC/DC단이 없으므로 가격 경쟁력 및 높은 전력 변환 효율을 확보할 수 있고, 고조파 규제 만족을 위한 역률 보정 기능이 있으며 휘도를 선형적으로 제어할 수 있는 Analog Dimming 기능을 가지고 있다. 최종적으로 제안된 Single-stage LED 구동 회로의 동작 및 Analog Dimming 제어 기법을 소개하고, 시뮬레이션 및 40W급 시작품을 제작, 동작 실험을 통하여 그 타당성을 검증한다.

1. 서 론

지금까지의 LED(Light Emitting Diode)는 신호 전달용으로 주로 사용되었으나, 최근 백색 LED가 개발되고 조명 효율이 개선됨에 따라 조명용 LED에 대한 연구 개발이 활발히 진행 중에 있다.^[1]

그림 1은 기존 Two-stage LED 구동 회로를 나타낸다. 고조파 규제 및 전력 손실을 줄이기 위한 역률 보정 회로와 LED 전류를 일정하게 제어하는 DC/DC 컨버터로 구성되어 있다. PWM(Pulse Width Modulation) Dimming 동작을 통하여 휘도 조절이 가능하며, 안전 규격 만족을 위하여 전기적 절연이 이루어져 있다. 하지만 LED 구동을 위한 DC/DC 컨버터의 삽입으로 가격 상승이 불가피하며, 낮은 전력 변환 효율과 회로의 크기가 커지는 단점을 가지고 있다.

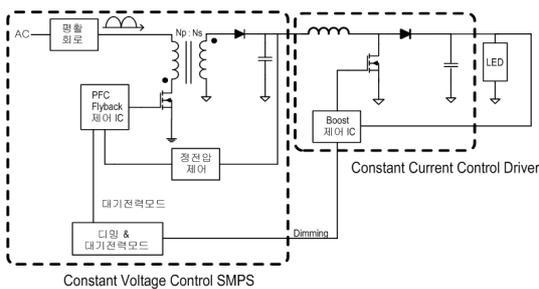


그림 1. 기존 Two-stage LED 구동 회로

따라서 이와 같은 문제점을 보완하기 위해 본 논문에서는 Analog Dimming을 이용한 Single-stage LED 구동 회로를 제안한다. 제안된 회로를 설계하고 시뮬레이션과 40W급 시작품 제작, 동작 실험을 통하여 타당성을 검증하고자 한다.

2. Single-stage LED 구동 회로

2.1 제안된 Single-stage LED 구동 회로

기존 Two-stage 방식은 정전류 DC/DC 컨버터의 출력을 통하여 LED 구동 전압을 제공하였지만, 제안된 Single-stage 방식은 전력 손실을 줄이기 위하여 역률 보정 회로와 정전류 DC/DC 컨버터가 합쳐진 형태로 컨버터의 출력에서 LED 구동 전압이 바로 공급되므로 기존 방식의 정전류 DC/DC 컨버터가 불필요하게 된다.^[2]

그림 2는 제안된 Single-stage LED 구동 회로를 나타낸다. 제안된 회로는 역률 보정 및 절연형의 Flyback 컨버터로 구성되어 있다. 일반적으로 25W급 이상 조명용 LED 구동 회로에서는 IEC-61000-3-2 Class C 고조파 규제 만족과 안전 규격 만족 여부가 중요시되는데, 본 논문에서 제안한 방식은 역률 보정 기능과 절연형 컨버터를 포함하고 있어 고조파 규제와 안전 규격을 모두 만족할 수 있다. 또한 기존 방식에 비해 정전류 DC/DC 컨버터가 생략되므로 전체 효율이 상승하게 되며, 사용 소자의 감소로 가격 저감 효과를 얻을 수 있으며, 회로 사이즈의 소형화가 가능하다.

한편, 외부에서 입력받는 Dimming 신호와 LED에 흐르는 전류 신호가 Flyback 컨버터의 제어기에 연결되어 있으며, Flyback 컨버터의 출력으로부터 직접 LED 구동 전압을 제공받으므로 선형적으로 휘도를 제어할 수 있는 Analog Dimming 구현이 가능하다.

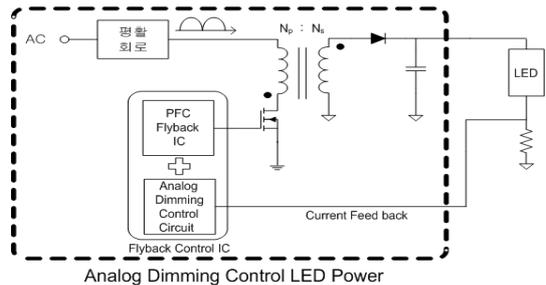


그림 2. 제안 Single-stage LED 구동 회로

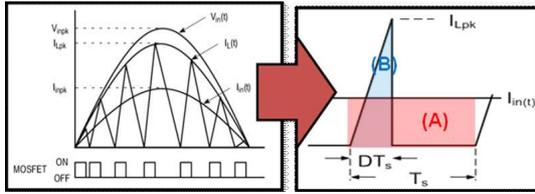


그림 3. Flyback 컨버터의 입력 전압 및 전류 파형

2.2 PFC Flyback 컨버터의 설계

제한된 역률 보정 및 절연형 DC/DC 컨버터의 설계를 위하여 Flyback 컨버터의 Power stage를 먼저 고려해야 한다. 설계 사양을 바탕으로 입력 전류의 첨두치와 턴 비, 시비율을 구하고, 그림 3에서 나타난 바와 같이 한주기 동안 입력 평균 전류의 면적(A)은 입력 전류의 삼각형 면적(B)과 같다는 전압-시간 평형 법칙을 이용하여 최소 스위칭 주파수에서 동작하는 트랜스포머의 자화 인덕턴스 L_m (식1)과 1차측 턴 수 N_p (식2)를 계산한다. 스위치와 다이오드 등 소자를 선정할 때에는 최대 허용 범위를 넘지 않도록 전압 및 전류 스트레스를 고려해야 한다.^{[3],[4]}

$$L_m = \frac{1}{2} \frac{V_{inpk}}{I_{inpk}} D^2 T_s \quad (1), \quad N_p = \frac{L_m I_{Lpk}}{B_{max} A_c} 10^4 \quad (2)$$

설계한 회로가 정상적으로 동작하기 위해서는 제어 신호의 범위가 선형성을 보장하는 범위 내에서 제어신호가 출력되어야 한다. Power stage 설계 후 제어 신호의 선형성을 보장하기 위해 L6561 IC(PFC 제어용 IC)를 이용하여 바이어스 회로를 설계한다.

2.3 제안된 Analog Dimming 제어

기존 Two-stage 방식은 PWM Dimming을 이용하여 휘도를 조절하였지만, 제안된 Single-stage 방식은 Analog Dimming을 이용하여 외부에서 인가하는 DC 전압 V_{dim} 에 의해 LED에 흐르는 전류의 양이 제어된다.^[5]

그림 4는 제안된 Analog Dimming 회로를 나타낸다. 외부에서 인가하는 V_{dim} 이 최대일 때는 $V_{inv} = V_{ref}$ 조건을 만족하기 위하여 LED에 흐르는 전류의 양이 최소가 되도록 출력 전압을 낮추게 되고, 반대로 V_{dim} 이 최소일 때는 LED에 흐르는 전류의 양이 최대가 되도록 출력 전압을 높인다. 식 3에서 R_3 를 임의로 선정하고 V_{ref} 는 2.5V, 디밍 전압 V_{dim} 의 범위는 0~10V, LED에 흐르는 전류의 최대값은 0.7V로 정하면 R_1 , R_2 , R_3 의 소자값을 계산할 수 있다.

$$V_{inv} = V_{ref} = \frac{R_1 R_3 R_s}{R_1 R_3 + (R_1 + R_3)(R_2 + R_s)} I_{LED} + \frac{R_3 (R_2 + R_s)}{R_1 (R_2 + R_3 + R_s) + R_3 (R_2 + R_s)} V_{dim} \quad (3)$$

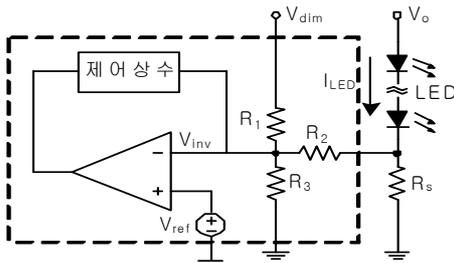


그림 4. 제안 Analog Dimming 회로

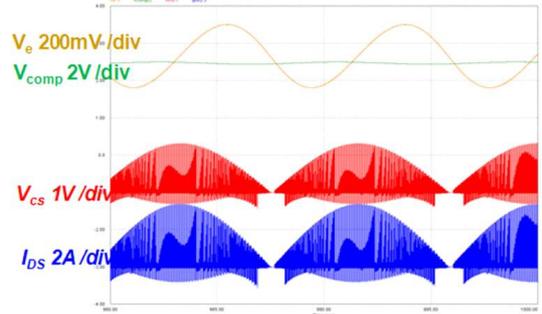


그림 5. 40W급 PFC Flyback 컨버터의 시뮬레이션

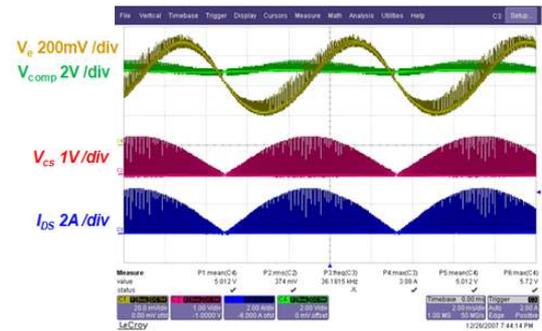


그림 6. 40W급 PFC Flyback 컨버터의 동작 실험

표 1. 설계값, 시뮬레이션, 동작 실험 결과 비교

구분	설계값	시뮬레이션	동작 실험
V_e [mV]	500	515	451
V_{comp} [V]	5.00	4.94	5.00
V_{cspk} [V]	1.40	1.30	1.31
I_{DSpk} [A]	3.65	3.34	3.32
f_{smin} [kHz]	25.0	27.9	27.7

2.4 제안된 회로의 시뮬레이션 및 동작 실험

2.4.1 PFC Flyback 컨버터의 시뮬레이션 및 동작 실험

제안된 Single-stage LED 구동 회로의 타당성을 검증하기 위해 40W급 Anthony를 기준으로 시뮬레이션 및 동작 실험을 수행한다. 설계 사양으로는 108~305V_{AC}의 입력 전압을 가지며 출력 전압은 24V, 출력 전류는 1.9A, 최소 스위칭 주파수는 25kHz이며, 시뮬레이션과 동작 실험 모두 동일한 설계값을 이용한다.

그림 5와 그림 6은 40W급 PFC Flyback 컨버터의 시뮬레이션 및 동작 실험 파형이다. 바이어스 회로의 에미터 전압 V_e , 에러 검출기의 출력 전압 V_{comp} , L6561의 출력 전압 V_{cs} , 스위치의 드레인-소스 전류 I_{DS} 를 나타낸다. 시뮬레이션 파형과 동작 실험 파형 모두 유사함을 볼 수 있으며, PFC 동작 확보를 확인할 수 있다. 표 1은 설계값과 시뮬레이션 그리고 동작 실험 결과 비교를 나타낸다. 표에서 알 수 있듯이 실험을 통하여 앞 절에서 제안한 설계 방법의 유용성을 검증하였다.

2.4.2 Analog Dimming 제어 시뮬레이션 및 동작 실험

그림 7과 그림 8은 Analog Dimming 제어 시뮬레이션 및 동작 실험 파형이다. 설계 사양으로는 108~305V_{AC}의 입력 전압을 가지며 최대 출력 전압은 63V이고, 부하 조건은 0~0.7A, 외부 디밍 전압은 0~10V이다.

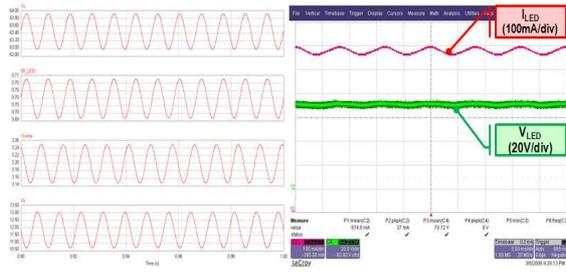


그림 7. $V_{dim} = 0V$ 일 때 시뮬레이션 및 동작 실험

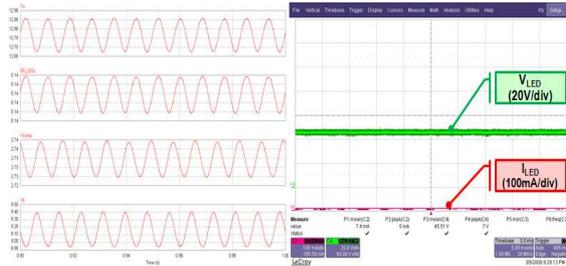


그림 8. $V_{dim} = 10V$ 일 때 시뮬레이션 및 동작 실험

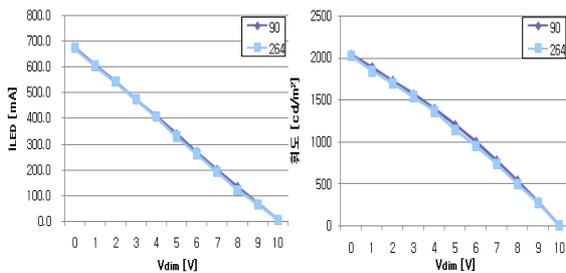


그림 9. Analog Dimming 제어 범위 결과

그림 9는 Analog Dimming 제어 범위를 나타내는 그래프이다. 같은 입력 전압 조건을 가질 때, LED 구동 전류는 외부 디밍 전압이 0V일 때 694mA로 측정되었으며, 디밍 전압이 증가하여 10V일 때 7.4mA로 변동하였다. 또한 휘도는 외부 디밍 전압이 0V일 때 2040cd/m², 디밍 전압이 증가하여 10V일 때 13cd/m²로 선형적으로 휘도 조절이 가능한 Analog Dimming 동작을 확인하였다. 따라서 앞 절에서 제안한 Analog Dimming 제어 기법의 유용성을 검증하였다.

표 2는 상용 입력 변화에 따른 제안된 회로의 전체 효율을 나타낸다. 상용 입력 전원에서 정전류가 잘 제어됨을 알 수 있으며, 30분 정도 제안된 회로를 에이징 시킨 후 효율을 측정하였을 때, 기존에 비해 효율이 상승함을 알 수 있다. 이 측정되어 제안한 회로의 타당성을 검증하였다.

표 2. 제안된 회로의 전체 효율 (LED 12EA 구동 시)

$V_{in}[V]$	$P_{in}[W]$	$V_o[V]$	$I_o[mA]$	$P_o[W]$	Eff. [%]
108	34.13	42.3	694	29.36	86.02
120	33.64	42.3	695	29.4	87.39
180	33.47	42.3	695	29.4	87.83
220	33.72	42.3	695	29.4	87.18
305	34.62	42.3	696	29.44	85.03

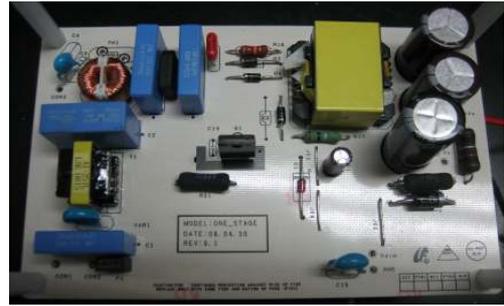


그림 10. 제안된 Single-stage LED 구동 회로

3. 결론

본 논문에서는 Analog Dimming을 이용한 Single-stage LED 구동 회로를 제안하였다. 제안된 회로는 DC/DC단이 없는 Single-stage 구성으로 가격 경쟁력에서 우위를 확보할 수 있으며, 기존 방식에 비해 보다 높은 전력 변환 효율을 확인하였다. 또한 IEC-61000-3-2 Class C 고조파 규제와 절연형 컨버터를 사용하여 안전 규격 문제도 만족하였으며, Analog Dimming 제어 기법을 이용하여 휘도를 선형적으로 제어함도 확인하였다. 이론적 해석을 바탕으로 시뮬레이션 및 시작품 제작, 동작 실험을 통하여 제안된 Analog Dimming을 이용한 Single-stage LED 구동 회로의 타당성을 검증하였다.

이 논문은 삼성전기(주)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] S.B. Han, H.K. Jung, B.M. Jung, S.I. Park, S.W. You, "A Status of Power Supply Technology for High Intensity LED", 2004 Power Electronics Annual Conference, pp. 906-909
- [2] T.F. Pan, H.J. Chiu, S.J. Cheng, S.Y. Chyng, "An Improved Single-Stage Flyback PFC Converter for High-Luminance Lighting LED Lamps", The Eighth International Conference on Electronic Measurement and Instruments, pp. 212-215, 2007.
- [3] K.M. Yoo, S.K. Lim, J.Y. Lee, "A High Efficiency Single-Stage PFC Flyback Converter for PDP Sustaining Power Module", 2006 Power Electronics Annual Conference, pp. 34-38
- [4] A.K. Jha, B.G. Fernandes, A. Kishore, "A Single Phase Single Stage AC/DC Converter with High Input Power Factor and Tight Output Voltage Regulation", Processing In Electromagnetics Research Symposium 2006, Cambridge, USA, March 26-29
- [5] Thomas J. Ribarich and Cecilia Contenti, "Analog and Digital Fluorescent Lighting Dimming Systems", International Rectifier, Oct. 2002.