LED 구동을 위한 승강압 DC/DC 컨버터에 관한 연구

조위근*, 김 용*, 이동현*, 조규만**, 이은영***
동국대학교*, 한국폴리텍대학**, 대림대학교***

Analysis of Buck-Boost Converter for LED Drive

Wi-Keun Joe*, Yong Kim*, Dong-Hyun Lee*, Kyu-Man Cho**, Eun-Young Lee***
Dongguk University*, Korea Poly-technic Colleges**, Dealim University Colleges***

Abstract - For lighting application, high-power LED nowadays is driven at 350mA and a sensing resistor is used to provide feedback for LED-current regulation. This method adds an IR drop at the output branch, and limits power efficiency as LED current is large and keeps increasing. In this paper, a power efficient LED-current sensing circuit is proposed. The circuit does not use any sensing resistor but extracts LED-current information from the output capacitor of the driver. Controlling the brightness of LEDs requires a driver that provides a constant, regulated current. In one case, the converter may need to step down the input voltage, and, in another, it may need to boost up the output voltage. These situations often arise in applications with wide-ranging “”dirty”” input power sources, such as automotive systems. And, the driver topology must be able to generate a large enough output voltage to forward bias the LEDs. So, to provide this requirements, 13W prototype Buck-Boost Converter is used.

1. 서 론

오늘날 고전력 LED는 카메라 폰의 플래쉬나 자동차의 라이트 등에 많이 사용되고 있으며, LED 제조사들은 폭넓은 조명 응용에 사용될 수 있도록 높은 출력 전류에서 LED가 구동되게끔 계속적으로 노력하고 있다. 따라서 고전력 LED 구동회로는 충분한 LED 전류를 제공하고 조절할 수 있어야 한다. Switch Mode Power Converter(SMPC)는 전력변환 효율이 높으며 높은 출력 전류를 제공할 수 있기 때문에 고전력 LED의 구동에 일반적으로 사용되고 있다. 일반적으로 SMPC는 전류를 감지하고, 시스템 컨트롤을 위한 feed-back 전압으로 바꾸기 위해 LED와 직렬로 sensing 저항을 배치한다. 이는 전력변환 효율을 떨어뜨리고, 제품의 배터리 수명을 단축시키는 요인이 된다[1]-[8].

LED 구동회로의 입력전압은 입력 전원의 형태에 따라 여러 가지로 나타나며, 안정적인 LED 구동을 위해 경우에 따라 승·강압할 필요가 있다. 일정하지 못한 넓은 범위의 입력전원을 가지는 경우, 예를 들면 자동차 조명 시스템에서 위와 같은 상황이 자주 발생한다. 일반적으로 승·강압을 잘 수행할 수 있는 SEPIC(single-ended primary-inductor converter)나 four-switch buck-boost 컨버터 등의 토폴로지가 위와 같은 상황에서 사용되고 있다. 그러나 이러한 토폴로지는 많은 수의 소자를 요구한다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 전류의 sensing 방법을 개선하여 효율을 높이면서 소자의 수를 줄이는 방법에 대해 연구하였으며 시작품을 제작 그 특성에 대해 논하였다.

2. 본 론

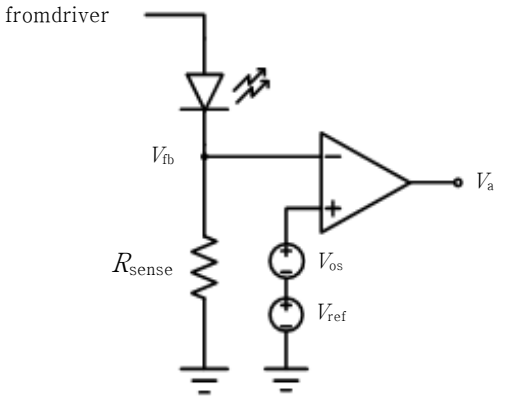
2.1 기존의 LED 전류 sensing 회로

기존에는 LED 전류를 센싱 하기 위하여 LED string에 직렬로 전류 센싱 저항을 배치시키고 이 저항의 값과 기준 전압을 이용한 식을 통하여 전류의 정보를 얻어 내었다. LED 전류는 다음의 식과 같이 정의 된다.

$$I_{LED} = \frac{V_{ref}}{R_{sense}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

현재의 시장 제품들은 기준 전압을 110[mV]부터 1.23[V] 사이의 범위를 사용하고 있다. 이 때 필요한 LED 전류의 크기가 커질수록 센싱 저항에서 소모되는 전력의 크기도 커지게 되고 전력 소모를 줄이기 위해 보다 작은 저항 값을 가지는 센싱 저항을 사용할 경우 센싱 정확도가 떨어지게 된다는 단점을 가지게 된다. 센싱 저항에서 소모되는 전력은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다[1]-[8].

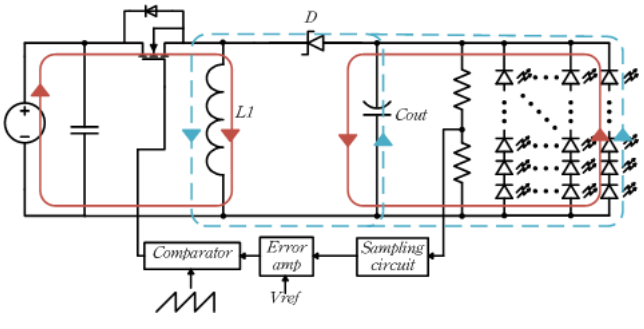
$$P_{sense} = I_{LED}^2 R_{sense} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2)$$



<그림 1> 센싱 저항을 이용한 기존의 LED 전류 센싱 방법

2.2 제안된 LED 전류 센싱 회로

일반적으로 LED에 흐르는 전류에 대한 정보는 Buck-boost 컨버터 자체에서 얻어 낼 수 있다. 제안된 그림 1의 Buck-Boost 컨버터에서 ‘set’ 기간[$0 < t \le (1-D)T$] 동안에 인덕터에 저장된 에너지가 ‘Reset’ 기간[$(1-D)T < t \le T$]동안 LED와 출력 커패시터에 공급 된다.



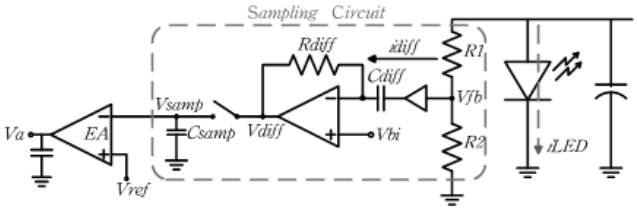
<그림 2> LED 구동을 위한 Buck-Boost 컨버터

'set'기간 동안 커패시터 C_{out}과 LED에 흐르는 전류는 식 (3)으로 표현된다.

$$i_{Cout} = i_{LED} = C_O \frac{dV_O}{dt} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3)$$

제안된 LED 전류 센싱 회로는 저항 회로와 미분기, 샘플-홀드 회로로 구성되어 있으며 이를 이용하여 전류의 정보를 샘플/보존한다. 그림 3은 제안된 LED 전류 샘플링 회로이다. Feedback 전압은 전압분배 저항에 의해 만들어지며, 에러 앰프와 미분저항 R_{diff} 그리고 커패시터 C_{diff}는 feedback 전압 교차 시간 동안에 전압 V_{diff}를 얻기 위한 미분기를 구성한다. 버퍼는 전압 분할기에서 전류가 없는 경우, 요구되는 전류를 공급하기 위해 사용되었다. 샘플링 스위치와 샘플링 커패시터 C_{samp}는 'reset'기간 동안에 미분기의 출력을 샘플하고 남은 기간 동안 이 전압을 유지하기 위한 샘플과 홀드 회로를 구성한다. 식 (4)는 미분기 출력 node 전압 V_{diff}와 feedback 전압 V_{fb}의 관계를 보여주고 있다.

$$V_{diff}(t) = V_{bi} - R_{diff} C_{diff} \frac{d}{dt} V_{fb}(t) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4)$$



<그림 3> 제안된 LED 전류 센싱 회로

식 (4)에서 보는 바와 같이 V_{diff}가 항상 0 보다 크도록 V_{bi}는 충분히 높은 값으로 설정되어야 한다. 샘플-홀드 회로는 V_{diff}전압을 샘플링 하고 유지하는데 필요하다. 샘플링 스위치가 턴 온 되었을 때 전압 V_{diff}는 커패시터 C_{samp}에 의해서 전압 V_{samp}로 샘플링 되고 스위치 턴 오프시 이 전압을 유지한다. 다시 전압 V_{samp}는 에러 앰프에 의해서 V_{ref}와 비교되고 출력은 PWM(pulse width modulation) 컨트롤을 위하여 공급된다. LED 전류는 앞서 설명한 관계에 의해서 식 (5)와 같이 표현된다.

$$I_{LED} = \frac{V_{ref} - V_{bi}}{R_{diff}} \frac{C_O}{C_{diff}} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5)$$

제안된 구동 회로의 스위칭 주파수는 100[kHz]이고, 특정 기간 동안의 신호 V_O는 삼각파형이다. 따라서 LED 전류 센싱 회로는 센싱의 정확도 향상을 위하여 두 고조파를 포함하도록 설계된다. LED에 흐르는 전류 I_{LED}로부터 V_{diff}로의 LED 전류 센싱 회로 전달함수는 식 (6)으로 표현된다.

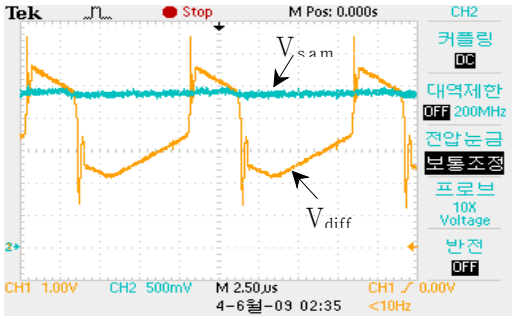
$$\frac{\Delta V_{sample}}{\Delta I_{LED}} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)\left(\frac{G_{ma} R_{oa}}{1 + G_{ma} R_{oa}}\right) \frac{R_O}{(1 + sC_O R_O)} \frac{sC_{diff} R_{diff}}{\left(1 + s\frac{C_{diff} R_{diff}}{1 + G_{ma} R_{oa}}\right)(1 + sR_{oa} C_{oa})} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (6)$$

위 식에서 R_1과 R_2는 feedback 저항이고 G_{ma}는 변환 컨덕턴스이다. R_{oa}는 미분기 에러 앰프의 출력 저항이며 C_{oa}는 기생 출력 커패시턴스이다. R_O는 부하를 나타내며 LED string의 저항이다.

2.3 측정 결과

제안된 방식의 타당성을 입증하기 위해 시작품을 제작 스위칭 주파수 100[kHz]에서 실험 하였다.

인덕터 L_1은 10[uH], 출력 커패시터 C_{out}은 47[uF], n-channel MOSFET는 IRF540, 다이오드 D는 1N4933을 사용하였다. 그림 4는 공급전압이 6[V]이고 출력 전류가 52.8[mA]일 때 미분기의 출력 V_{diff}와 샘플 전압 V_{samp}를 보여준다. 드라이버의 스위칭 노드로 부터의 스위칭 노이즈 간섭으로 미분기의 출력 전압 V_{diff}의 파형이 영향을 받고 있다. 그러나 드라이버가 스위칭 하지 않는 잠깐 동안 미분기의 출력전압 V_{diff}가 샘플링 되기 때문에 그 값은 일정하게 보존이 되고 그림 4에서 보는 바와 같이 미분기의 출력 전압 V_{diff}에서 나타나는 스위칭 노이즈에 의한 왜곡은 샘플링 된 전압 V_{samp}에는 나타나지 않았다.



<그림 4> 미분기의 출력 V_{diff}와 샘플된 전압 V_{samp}

3. 결 론

입력 전원의 불안정한 조건, 예를 들면 차량 전원을 입력으로 하는 응용분야에서 LED는 일정한 전류를 필요로 하는 정전류 부하이다. 따라서 입력 전원의 상태와 관계없이 일정한 전류를 공급해 줄 수 있는 고효율 구동회로가 필요하다. 제안된 LED 전류 센싱 회로를 이용한 Buck-Boost SMPC는 이러한 조건을 만족시키며 실험결과 기존의 센싱 회로를 사용한 Buck-Boost SMPC에 비해 공급전압 6[V]에서 약 2%의 효율 향상을 이루어 냈다.

[참 고 문 헌]

[1] Wing Yan Leung, Tsz Yin Man, Mansun Chan, "A High-Power LED Driver with Power-Efficient LED Current Sensing Circuit", Solid-State Circuits Conference, 2008.

[2] "Philips Lumileds LED technology breakthrough fundamen -tally solves efficiency losses at high drive currents", Press Information, Philips Lumileds Lighting Company, 13 February 2007.

[3] "1A Synchronous Buck-boost High Current LED Driver", datasheet LTC3454, Linear Technology Corporation, December 2005.

[3] "Offline and DC-DC PWM controllers for High Brightness LED Drivers", datasheet MAX 16802, Maxim Integrated Products, January 2006.

[4] "NCP5030: Buckboost Converter to Drive a Single LED from 1 Li-ion or 3 Alkaline Batteries", datasheet NCP 5030, Rev. 0, Semiconductor Components Industries, LLC, December 2006.

[5] "1.5MHz, 30A, High-Efficiency LED-Driver with Rapid Current Pulsing", datasheet MAX 16818, Maxim Integrated Products, October 2006.

[6] "Synchronous Boost Converter with Down Mode High Power White LED Driver", datasheet tps61058/tps61059, Texas Instrument Incorporated, December 2005.

[7] "1.2A High Power White LED Driver, 2MHz Synchronous Boost Conveter with I2C compatible interface", datasheet tps61050, Texas Instrument Incorporated, March 2007.

[8]"LM3402/LM3402HV Constant Current Buck Regulator for Driving High power LEDs", datasheet LM 3402, National Semiconductor, October 2006.

[9] John Betten, Texas Instruments, "Inverting buck-boost converter regulates LED current", EDN, April 9, 2009