

고휘도 LED 전류 제어용 벡 MOSFET 구동기에 관한 연구

김만고, 정영석, 안영주
부경대학교

A Study on Buck MOSFET Driver for High-Brightness LED Strings

Marn-Go Kim, Young-Seok Jung, and Young-Joo An
Pukyong National University

ABSTRACT

This paper describes buck converter's MOSFET driver for high-brightness LED strings. The power driving high-side MOSFET is supplied from the power source of control circuit part. The practical considerations and future work are also described.

1. 서론

LED(Light Emitting Diode)는 다이오드에 흐르는 전류를 빛으로 방출하는 소자이다. 최근에 고휘도 LED 기술의 발전으로 LED의 출력 광효율이 100 lumens/W 이상에 이르고 있다^[1]. 일반적인 광응용 분야에서 고휘도 LED는 반도체 광원으로 이용될 수 있다. LED는 수은 성분이 없고 고효율이며 긴 수명을 가진 장점이 있다. 그리하여 멀지 않은 장래에 고휘도 LED는 기존의 가정용 형광등을 대체할 것으로 전망된다.

일반적인 고전력 광응용 분야에서 고효율 구동회로를 필요로 한다. 형광등 구동회로의 경우 역률 개선회로를 사용하여 고조파 제한 규정을 만족시키고 있다. 두 단계의 전력컨버터(Two-stage power converter)를 사용하여 역률 개선을 구현하는 방법은 컨버터 가격을 상승시킨다. 단일 전력단 컨버터(Single-stage converter)를 사용하여 역률 개선을 얻는 정류기는 입력과 출력 전력을 균형잡기가 어렵고^[2], 고전력 LED를 구동하기 위해서는 정확한 부하 전류를 제어하기 위한 전류제어형 컨버터가 요구된다.

고효율 LED의 동작 수명은 약 100,000 시간에 이르고 있다. 즉, LED는 하루 24시간 가동하더라도 약 10년의 동작 수명에 해당하는 긴 수명의 특징을 갖고 있는 광원이다. 동작 온도 범위는 $-20^{\circ}\text{C} - 120^{\circ}\text{C}$ 에 걸쳐 있어 특히 야외에서 우수한 동작 특성을 보인다^[3].

2. 기존의 LED 구동회로

과거에는 LED가 주로 시스템의 상태를 표시하는 표시기(Indicator)로 주로 사용되어 왔다. 이러한 용도의 LED는 1.5 V/ 10 mA 정도의 상대적으로 낮은 전압과 저전류로 동작되기 때문에 그림 1.과 같이 직렬저항을 통해 DC 전압으로부터 전력을 공급 받았다.

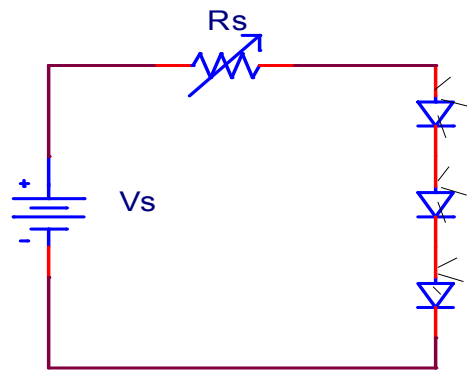


그림 1 직렬 저항에 의한 LED 전류 제어 회로

그러나 고휘도 LED는 350 mA 이상의 전류를 공급해야 하고 순방향 전압 강하는 3 V 이상에 이른다. 새로운 광 응용 분야에 사용되는 많은 전력용 LED가 직렬로 연결되어 사용되기 때문에 그림 1과 같은 직렬 저항을 사용하는 경우 전력 손실이 상당히 커진다. 따라서, 새로운 광응용 분야에서 활용되는 고휘도 LED는 전력 손실을 줄이고 LED 전류를 제어하기 위한 전력전자기술이 요구된다.

미래의 광원인 고휘도 LED를 구동하기 위하여 요구되는 컨버터의 특징은 다음과 같다^[4] :

- LED 구동회로는 저가로 구현되어야 하며, 따라서 구동회로의 부품 수는 적어야 한다.
- LED는 전류에 반응하는 속도가 매우 빠르다. 그래서, 고주파 전류에 의한 색이동이 무시할 수 있을때, 전류 펄스에 의해 LED가 구동될 수 있다.
- LED의 중요한 특성이 장수명이므로 LED 구동회로는 장기간 동작할 수 있어야 한다. 특히, 컨버터의 입출력에 사용되는 전해콘덴서는 고온에서 동작할 경우 수명이 짧아지므로 구동회로의 수명을 단축시킬 수 있다.

3. 제안된 LED 구동회로

LED 전류 제어용 컨버터는 벡 컨버터, 부스트 컨버터, 벡/부스트 컨버터, 플라이백 컨버터, 공진형 컨버터 등이 사용될 수 있다. 파형의 고조파 분석에 따르면, LED에 흐르는 전류는 Step으로 변하지 않는 전류 펄스의 고조파 성분은 고조파 주파수의 제곱에 비례하여 감소한다 [4]. 따라서 LED에 이상적인

전류 파형은 벡 컨버터의 출력 파형이나 공진형 컨버터의 출력 파형과 같이 스텝 변화가 없는 파형이 좋다.

그림 2는 제안된 LED 전류제어용 High-side Buck MOSFET 구동회로를 나타낸다. 기존의 벡 컨버터에 접지되지 않은 MOSFET을 구동하는 회로가 본 논문의 제안 내용이다. 특히, High-side MOSFET을 구동하는 4개의 병렬 인버터의 공급 전원인 C_L 양단 전압은 비교기와 R-S 래치, Mdrv로 구성되는 제어부의 전원으로부터 충전 받는다.

그림 3은 주 스위치 Msw가 ON 상태인 Mode 1 등가 회로를 나타낸다. Ic 신호가 Isense 신호보다 크면 비교기의 출력이 Low 상태가 되고, Mdrv의 게이트 전압이 High 상태가 되어 Mdrv는 ON 된다. D11이 도통 되어 4개의 병렬 인버터의 입력 Din은 Low 상태가 되고 인버터의 출력은 High 상태가 되어 Msw는 ON 상태를 유지한다. Mode 1에서 L1 전류는 상승하고 Isense 신호도 커진다. Isense 신호가 Ic 신호보다 커지면 비교기가 동작하여 Mode 2로 모드 변화가 일어난다.

그림 4에서 볼 수 있듯이, 모드 2에서 비교기의 출력은 High 상태가 되고 Mdrv의 게이트 신호는 Low가 되어 Mdrv는 턴-오프 된다. Mdrv가 OFF 되면 D11도 턴-오프 되어 병렬 인버터의 입력 Din은 High가 되고 Msw의 게이트 신호는 Low가 되어 Msw가 턴-오프 된다. Msw가 OFF되면 환류 다이오드 D1이 도통되고 인버터의 공급전원인 C_L 은 D8을 통해 충전된다. Mode 2에서 C_L 은 제어 전압으로 충전되어 High-side MOSFET를 구동하는 병렬 인버터의 전원을 공급할 수 있다. 이 모드에서 L1 전류는 상승한다.

그림 5는 Pspice 시뮬레이션된 부하 인덕터 전류 파형출력을 나타내고, 그림 6은 Pspice 시뮬레이션된 입력 전압과 입력 전류 파형을 나타내었다.

그림 7은 비교기 출력, Mdrv 게이트 신호, Din 신호, Msw의 게이트-소스 신호의 타이밍 다이어그램을 나타낸다. 여기에서 Mdrv 턴오프 시간과 Msw 턴-오프 시간 사이에 시간 지연이 1 us 정도 발생한다. 이 시간 지연은 교류 입력 전압이 고압일때 LED 전류의 피크 값을 적절하게 제어하지 못하게 되는 요인이 될 수 있다.

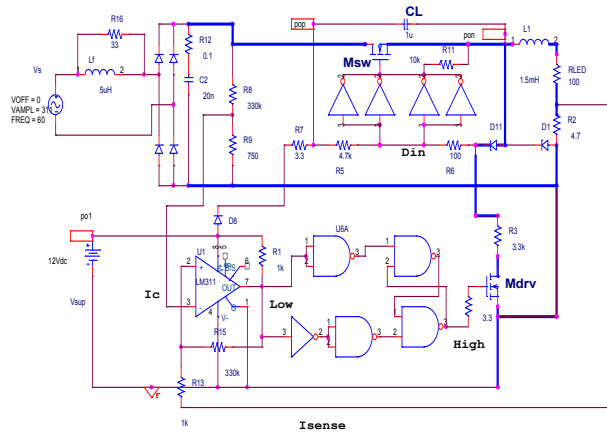


그림 3 Mode 1 동작에서의 등가회로

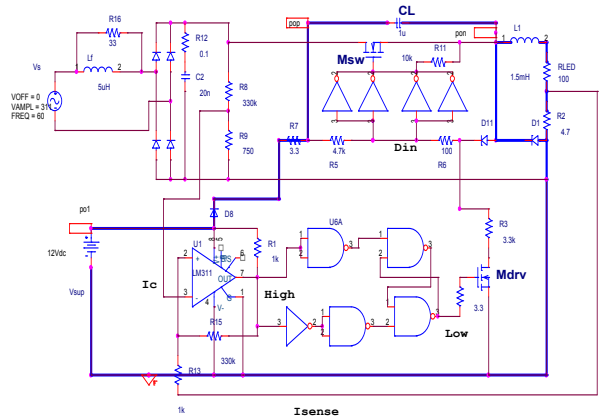


그림 4 Mode 2 동작에서의 등가회로 (C_L 이 충전됨)

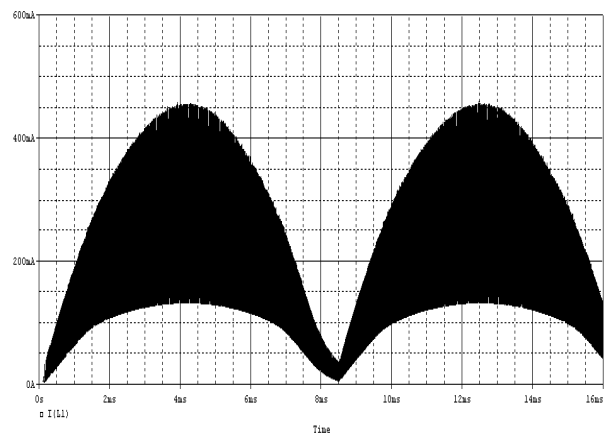


그림 5 Pspice 시뮬레이션된 부하 인덕터 전류 파형

그림 2 제안된 LED 전류제어용 High-side Buck MOSFET 구동회로

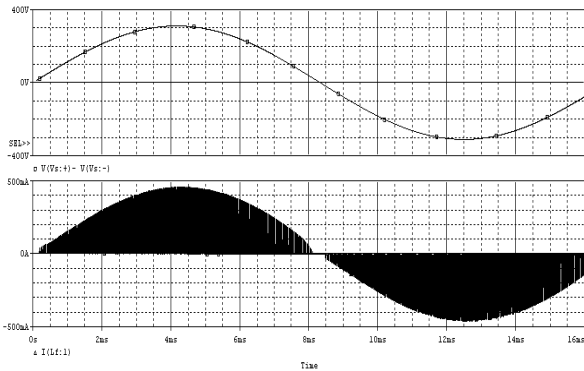


그림 6 Pspice 시뮬레이션된 입력 전압(위)과 입력 전류(아래) 파형

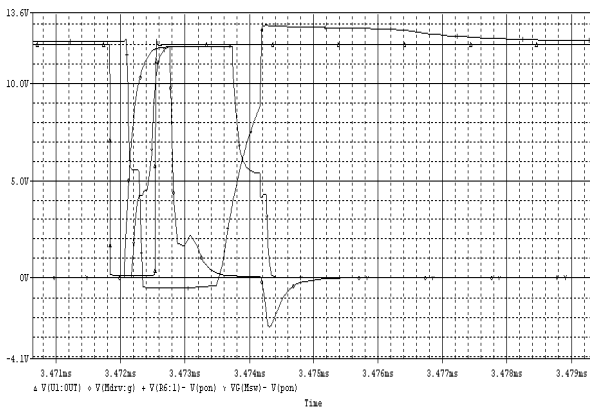


그림 7 비교기 출력, Mdrv 게이트 신호, Din 신호, Msw의 게이트-소스 신호의 타이밍 다이어그램 (0.2 us/div)
- $V_s = 300\text{ V}$ 일때

4. Practical Considerations and Future Work

- V_{sup} 구현: 정류기 출력 DC 전압으로부터 저항을 통해 적은 에너지를 공급 받아 Start-Up 후 L1에 Bootstrap winding을 감아 Bootstrap winding을 통해 에너지를 공급받는 방법과 LED 부하에 병렬로 출력 커패시터를 부가하여 출력 전압으로부터 공급받는 방법을 고려할 수 있다.

- C_L 전압의 초기 충전문제: 정류기 출력 전압의 +측과 C_L 의 +측 사이에 초기 충전 저항을 삽입하여 사용하고 이후는 Mode 2 동작 구간에 V_{sup} 를 통해 공급 받는다.

- 전해 커패시터 없이 LED 구동용 컨버터를 구현하는 문제: LED 조명의 수명이 10년이상 유지하려면 전해커패시터의 사용을 피하여 컨버터를 구현하는 것이 요구된다.

- Ddrv 턴-오프 시간과 Msw의 턴-오프 시간 사이에 시간 지연 문제: Mdrv OFF 후 V_s -Msw-D11-R3-Mdrv loop를 통해 Mdrv의 Cds를 충전하고 D11이 완전히 턴-오프하여 Msw 구동용 병렬 인버터의 입력 Din 이 High 상태가 되어 Msw의 V_{gs} 전압을 Low로 천이시켜 Msw가 턴-오프 된다. 따라서,

Mdrv 턴-오프 시간과 Msw 턴-오프 시간 사이에 시간 지연이 발생하는데 이를 줄이기 위한 연구가 요구된다.

- Mdrv 턴-온시 Msw 구동용 인버터 입력 전압 $D_{in} = V_{CL} \times \frac{R_3}{R_5 + R_3}$ 가 되는데, 입력 전압을 Low 상태가 되도록 하기 위하여 R_3 이 R_5 보다 적은 값이 되도록 설계가 요구된다. 요구되는 출력 LED 양단 전압이 크고 R_3 값이 너무 적으면 R_3 에 의한 손실이 증가될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] K.Zhou, J. G. Zhang, S. Yuvarajan, and D. F. Weng, " Quasi-active power factor correction circuit for HB LED driver ", IEEE Trans. on Power Electronics , vol. 23, no. 3, May 2008.
- [2] R. Redl, L. Balogh, and N.O.Sokal, " A new family of single-stage isolated power-factor-correctors with fast regulation of the output voltage ", IEEE PESC'94, pp. 1137-1144.
- [3] M. Rico-Secades, A.J. Calleja, J.Ribas, E.L. Corominas, J.M. Alonso, J. Cardesin, and G. Garcia, " Evaluation of a low-cost permanent emergency lighting system based on high-efficiency LEDs ", IEEE Trans. on Ind. Applications, vol. 41, no. 5, Sept./Oct. 2005.
- [4] H. van der Broek, G. Sauerlander, and M. Wendt, " Power driver topologies and control schemes for LEDs ", IEEE APEC'2007, pp. 1319-1325.