

LED Driver를 위한 승강압용 DC-DC 컨버터의 특성 비교

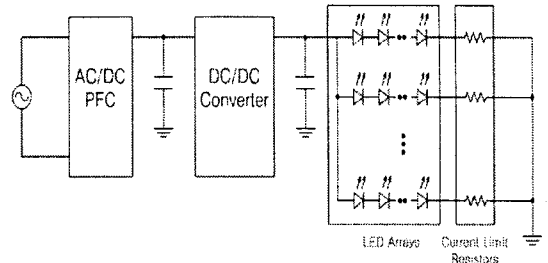
김태식, 광상신*, 조내수, 김우현**, 권우현
경북대학교, *대구대학교, **영남이공대학

Performance Investigation of Buck-Boost Type DC-DC Converters for LED Drive Application

Tae-Sik Kim, Sang-Shin Kwak*, Nae-Soo Cho, Woo-Hyun Kim**, Woo-Hyen Kwon
Kyungpook National University, *Daegu University, **Yeungnam College of Science & Technology

Abstract - 최근 LED 기술의 발달로 LED의 이용범위가 점차 넓어지고 있다. 이러한 LED를 구동하기 위한 시스템의 저비용 고효율을 위해서는 입력전압에 대한 출력전압의 승강압이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 승강압이 가능한 DC-DC 컨버터인 Buck-Boost, ZETA, SEPIC 토폴로지를 적용하여 LED Lamp 구동 시스템을 구성해 본다. 위 세 가지의 컨버터는 입력전압에 대하여 출력전압의 승강압이 가능하고 입출력 전압특성이 동일하다. 그러므로 각각의 컨버터를 이용하여 LED driving 회로를 구성하고, Pspice 시뮬레이션을 통해 나타나는 입출력 효율을 측정하여 승강압용 DC-DC 컨버터의 특성을 비교한다.

된 일반적인 LED driving system을 나타낸다.



<그림 1> 일반적인 LED driving system

1. 서 론

LED(Light Emitting Diode)는 다이오드에 흐르는 전류를 빛으로 방출하는 소자이다. 과거에는 LED의 사용 용도로써 알람시계의 시간이나 스위치의 온/오프를 표시하는 등의 단순한 기능들이 전부였다. 그러나 청색 LED의 생산을 시작으로 다양한 색상을 표현할 수 있게 되었고, 근래에 백색 LED가 개발됨에 따라 그 활용범위가 점차 넓어지고 있는 추세이다.

LED는 여러 가지 장점을 가진다. 우선 크기가 작아서 소형, 경량화가 용이하고, 동작 수명이 길어 안정적인 동작을 하였을 시, 약 100,000시간 동안 사용 가능하다. 그리고 열적, 방전적 발광원이 아니므로 예열시간이 필요 없고, 점등회로 및 구동장치의 구조가 간단하여 부품수를 줄일 수 있다. 아울러 환경문제가 중요시되고 있는 이 때에 유해물질을 사용하는 형광등을 대체하여 LED를 조명기구로 사용한다면 친 환경적이고 안전한 광원으로써의 역할을 기대할 수 있을 것이다.

LED의 원활한 동작을 위해서는 LED driver가 필수적이다. 이 LED driver가 영향을 미치는 요소로는 LED의 효율 개선, LED의 안정된 동작, 시스템 구성비용 등이 있다. 특히, LED의 효율개선을 고려한 driver 설계는 LED 구동 시스템에서 낭비되는 에너지를 최소화 할 수 있고, LED의 안정된 동작은 LED의 긴 수명에 직결되는 요소이므로 이를 충분히 고려해야 한다.

본 논문에서는 LED 구동을 위한 driver로써 승강압용 DC-DC 컨버터인 Buck-Boost, ZETA, SEPIC 토폴로지를 적용하였다. 위의 3가지 종류의 컨버터를 이용한 LED 구동시스템을 각각 Pspice를 이용하여 시뮬레이션 해 보았고, 그 결과로 나타나는 입출력 효율을 비교하여 승강압용 DC-DC 컨버터의 특성을 비교한다.

2. 본 론

2.1 일반적인 LED driving system

<그림 1>은 교류 입력단, AC-DC 정류회로, DC-DC 컨버터, 그리고 LED열과 전류제한 저항 부분으로 구성

우선 교류 입력전압을 AC-DC 정류단으로 통과시킨 후 직류전압으로 바꾼다. 이렇게 변화된 직류전압은 DC-DC 컨버터를 통과시켜 LED 열에 필요한 크기의 전압으로 변화시킨다. 그리고 전류제한 저항을 LED 열에 추가하여 LED가 허용할 수 있는 양 만큼의 전류가 흐르도록 한다. 각 부분 중, DC-DC 컨버터의 성능이 LED driving 시스템의 성능을 좌우한다. 따라서 본 논문에서는 DC-DC 컨버터단으로 승강압이 가능하고 입력 전압과 출력 전압의 특성이 동일한 Buck-Boost, ZETA, SEPIC 토폴로지를 이용한다. 그리고 각각에 대한 LED driving system의 효율과 특성을 비교해 본다.

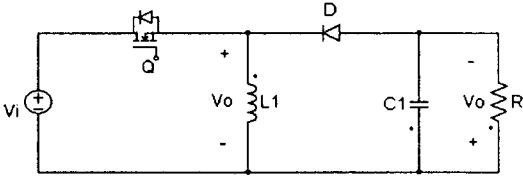
2.2 승강압용 DC-DC 컨버터

과거에는 소수의 LED만을 사용하였고 시스템의 보조적인 요소로 이용하였다. LED를 정해진 입력전압에 따라 단순히 Buck 컨버터를 이용하여 강압 동작 만을 하거나 Boost 컨버터로 승압 동작 만을 했을 경우에는 사용상의 큰 문제점이 발생하지 않았다. 그러나 최근 들어 효율 LED가 개발되고 있고, 현재 LED 기술의 발달로 인해 LED의 정격 전압이 점점 낮아지고 있는 추세이다, 그리고 필요에 따라서 출력 측 LED개수를 가변시킬 필요성이 있으므로 사용자가 원하는 환경에 맞게 승압 및 강압을 동시에 수행할 수 있는 DC-DC 컨버터가 LED driving system에 더 적합하다. 여러 가지의 승강압용 컨버터를 가운데, LED driver로써 뛰어난 성능을 보이는 것을 알아보기 위한 것이 본 실험의 목적이다. 아래에서 실험에 사용된 세 가지의 승강압용 DC-DC 컨버터에 대해 설명한다.

2.2.1 Buck-Boost 컨버터

Buck-Boost 컨버터는 입력전압에 대한 출력전압의 승압 및 강압이 모두 가능한 구조이다. 출력단 전압의 기준방향이 다른 것을 제외하면 Boost 컨버터와 동작이 유사하다. 스위치의 온/오프에 따라 두 가지의 모드로 나누어 볼 수 있으며, 정상상태에서 출력전압을 리플을 무시하고, 직류성분만을 고려하여 V_o 로 표시하여 수식으로

정리한다.



<그림 2> Buck-Boost 컨버터의 회로도

스위치 도통시간($0 < t < DT_s$) 동안 L의 양단전압 v_L 은 다음과 같다.

$$v_L = V_i \quad (1)$$

스위치 차단시간($DT_s < t < T_s$) 동안 v_L 은 아래와 같다

$$v_L = -V_o \quad (2)$$

여기서, 식(1)과 (2)에 인덕터 Volt-sec balance condition을 적용하면

$$V_i \cdot DT_s = V_o \cdot (1-D)T_s \quad (3)$$

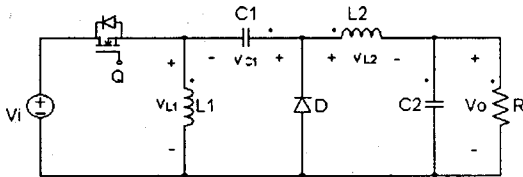
이다. 따라서 입출력 전압 특성은

$$V_o = \frac{D}{(1-D)} V_i \quad (4)$$

가 된다. Buck-Boost 컨버터는 시비율을 조절하여 출력 전압의 승압 및 강압이 가능하나, 입력전압에 대하여 반대의 극성을 갖는다.

2.2.2 ZETA 컨버터

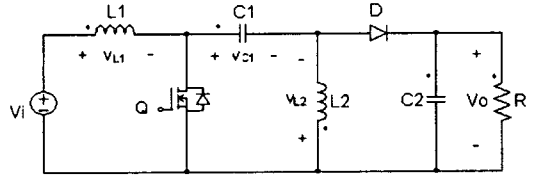
ZETA 컨버터의 동작은 스위치 Q의 상태에 따라 2가지로 나누어 볼 수 있다. 우선 스위치 Q가 ON되면 입력 전원 V_i 로부터 공급되는 에너지가 인덕터 L_1 에 저장되고 커패시터 C_1 에 있던 에너지가 인덕터 L_2 와 부하로 전달된다. 그리고 스위치가 OFF 상태일 때 L_1 에 저장된 에너지가 C_1 으로 전달되고, L_2 는 스위치가 ON상태일 때 C_1 으로부터 공급받은 에너지를 부하로 방출한다. ZETA 컨버터의 입출력 전압특성은 식 (4)와 같다. 이는 Buck-Boost와 동일한 결과를 나타낸다.



<그림 3> ZETA 컨버터의 회로도

2.2.3 SEPIC 컨버터

SEPIC 컨버터는 인덕터와 스위치, 다이오드의 위치가 바뀐 것을 제외하면 ZETA 컨버터와 유사하다. 스위치 Q가 ON되면 인덕터 L_1 이 에너지를 저장하고 C_1 의 에너지는 L_2 로 전달된다. 그리고 스위치 Q가 OFF 상태로 바뀌면 인덕터 L_1 에 저장된 에너지가 C_1 으로 전달 됨과 동시에 다이오드 D를 통해 부하측으로 이동하며, L_2 에 저장된 에너지는 부하로 전달된다. 에너지 전달이 끝나면 다음 단계로 L_1 에 흐르던 전류는 계속해서 C_1 으로 흐른다. SEPIC 컨버터의 입출력 전압 특성과 Buck-Boost 컨버터, ZETA 컨버터의 입출력 전압 특성은 모두 동일하다. 따라서 스위칭 펄스의 시비율 D에 의해 입력전압에 대한 출력전압의 승강압이 가능하다.



<그림 4> SEPIC 컨버터의 회로도

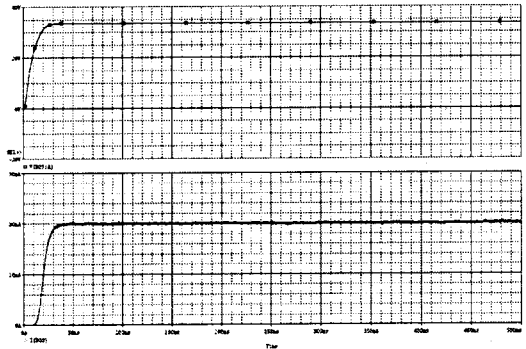
2.3 모의실험

LED Lamp의 구동을 위한 승강압용 DC-DC 컨버터의 특성을 Pspice 시뮬레이션을 이용하여 비교해 보았다. <표 1>은 시뮬레이션을 위한 파라미터 값을 나타낸다.

컨버터 종류	파라미터	공통 파라미터
Buck-Boost	L1: 4mH, C1: 20μF	입력전압: 34V, 60Hz C3: 1mF
ZETA	L1: 10mH, L2: 10mH C1: 2.2nF, C2: 20μF	
SEPIC	L1: 10mH, L2: 10mH C1: 2.2nF, C2: 20μF	

<표 1> 시뮬레이션 파라미터

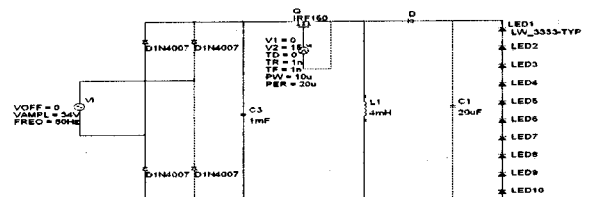
출력부하로 사용된 LED는 OSRAM사의 LW 3333모델이며, LW 3333은 직경이 3mm이고 백색인 고휘도 LED이다. 이것은 순방향 전압강하가 3.5V 일 때 도통전류가 약 20mA정도 흐르게 된다.



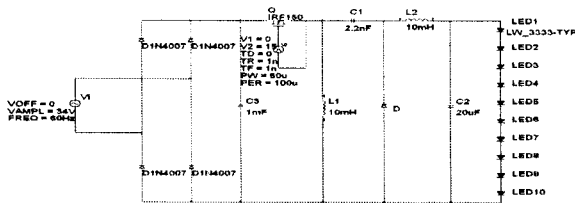
<그림 5> LED 모델 동작 시의 전압 전류 파형

<그림 5>는 Pspice의 LED 모델인 LW 3333을 10개로 직렬 연결하여 동작시켜 본 결과이다. 입력 전압으로 34V를 인가하였고, 그 결과로써 출력 부하인 LED열에 약 20mA의 순방향 전류가 흐르는 것을 확인할 수 있다.

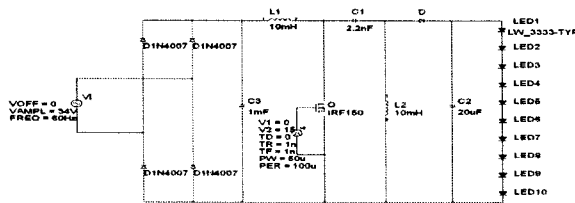
LED driving 회로의 동작을 위해, 먼저 입력 측에 교류전압을 인가하고 정류용 다이오드 소자인 D1N4007을 이용하여 정류한다. 그 뒤에 연결되는 DC-DC 컨버터 부는 앞서 소개한 Buck-Boost, ZETA, SEPIC 토폴로지를 이용해 각각 구성한다. 마지막으로 출력 부하로써 LED 소자인 LW 3333 10개를 직렬로 연결하여 Pspice 시뮬레이션을 수행하였다.



<그림 6> Buck-Boost 컨버터를 이용한 LED driving 회로

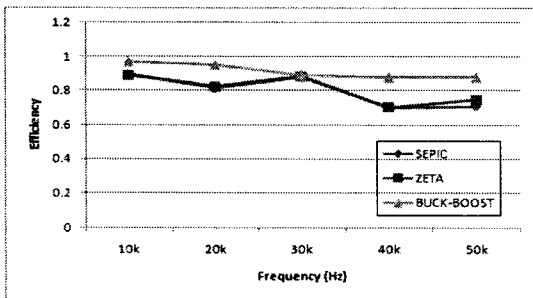


<그림 7> ZETA 컨버터를 이용한 LED driving 회로



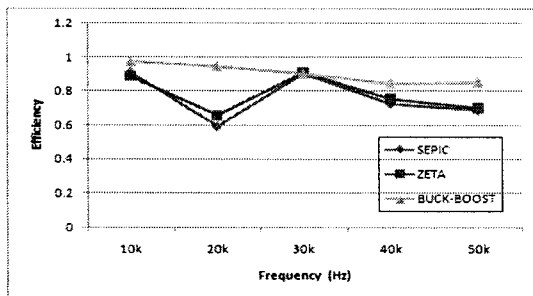
<그림 8> SEPIC 컨버터를 이용한 LED driving 회로

Buck-Boost 컨버터는 ZETA, SEPIC 컨버터와는 달리 입력전압과 반대가 되는 출력 극성을 가지기 때문에 출력 부분인 LED 열을 반대방향으로 연결하였다. 출력부하로 LED를 연결함에 앞서, 컨버터들의 일반적인 부하 특성을 비교하기 위해 1k의 저항을 연결하여 DC-DC 컨버터의 스위칭 주파수 변화에 의한 특성을 확인해 본다.



<그림 9> 저항 부하 연결시의 효율 비교

<그림 9>에서 스위칭 주파수가 커짐에 따라 LED driving 회로의 효율이 조금씩 떨어짐을 알 수 있다. 그리고 Buck-Boost, SEPIC, ZETA 컨버터 가운데, Buck-Boost 컨버터를 사용하였을 때가 가장 효율이 좋은 것으로 확인 되었다.

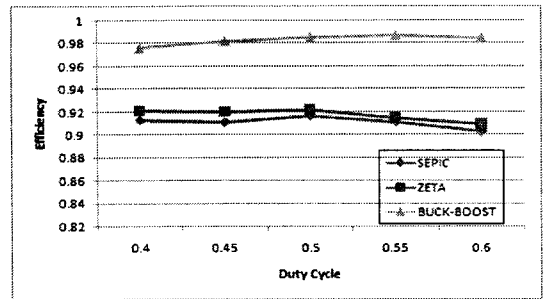


<그림 10> 스위칭 주파수 변화에 의한 효율 비교

<그림 10>은 출력에 LED 부하를 연결하였을 때의 결과이다. 각 DC-DC 컨버터들의 듀티비율 0.5로 고정하여 입력전압의 크기와 출력전압의 크기를 동일하게 설정한 후, MOSFET 스위치의 주파수 가변에 의한 효율의 변

화를 비교한 그림이다.

<그림 10>에서 볼 수 있듯이 DC-DC 컨버터의 스위칭 주파수가 커짐에 따라 LED driving system의 효율은 점차 떨어진다. 이것은 스위칭 주파수가 클수록 열 손실이 늘어나는 현상으로써 파악할 수 있다.



<그림 11> 시비율 변화에 의한 효율 비교

<그림 11>은 DC-DC 컨버터의 스위칭 주파수를 10kHz로 고정하고 시비율을 0.4-0.6로 가변 하였을 때의 효율을 비교한 것이다. 일반적으로 컨버터의 시비율이 증가할 수록 효율도 증가한다. 그러나 ZETA, SEPIC 토폴로지 경우는 시비율의 변화에 의한 효율 변화는 크지 않았고 Buck-Boost 컨버터를 사용했을 때는 시비율이 증가할수록 효율이 조금씩 높아지는 결과를 보인다.

3. 결론

본 논문에서는 LED Lamp 구동을 위해 승강압용 DC-DC 컨버터인 Buck-Boost, ZETA, SEPIC 컨버터를 사용하였다. Pspice 시뮬레이션을 통해 각각에 대한 효율을 비교하였으며, 세 가지의 컨버터 모두 동일한 시비율(D=0.5)에서 스위칭 주파수를 가변시키면, 주파수가 높아질수록 효율이 떨어지는 것을 확인하였다. 그리고 스위칭 주파수를 10kHz로 동일하게 하고 시비율의 변화에 따른 효율을 비교하였으며, 시비율이 0.4-0.6인 구간에서는 90% 이상의 효율을 나타내었고, 시비율의 변화에 따른 효율의 변화가 거의 없었으나 Buck-Boost 컨버터의 경우 효율이 조금씩 높아지는 특징을 보였다. 승강압용 DC-DC 컨버터들을 비교해 본 결과, 효율 면에서는 Buck-Boost 컨버터가 가장 뛰어난 성능을 보였다. 따라서 LED driving system의 효율적인 동작을 위해서는 실험에 이용된 세 가지의 승강압용 컨버터 중, Buck-Boost 컨버터를 이용하는 것이 더 효과적임을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 임남혁, 김영태, 오원석, 박효식, 전력전자, 제림출판사 pp.129-132, pp.159-169, 2008.
- [2] 김만고, 정영석, 안영주, "고휘도 LED 전류 제어용 벡 MOSFET 구동기에 관한 연구", 전력전자학회 추계학술대회 논문집, pp.218-220, 2008.
- [3] 주홍중, 장도현, 권명일, "SEPIC 컨버터를 이용한 무전극형 광램프용 고역률 전자식 안정기", 전력전자학회 논문지, 제9권 제3호, pp.285-293, 2004.
- [4] Huang-Jen Chiu, and Shih-Jen Cheng, "LED Backlight Driving System for Large-Scale LCD Panels", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol.54, no.5, pp.2751-2760, 2007.
- [5] Zhongming Ye, Fred Greenfield, and Zhixiang Liang, "Design Considerations of a High Power Factor SEPIC Converter for High Brightness White LED Lighting Applications", IEEE PESC 2008, pp.2657-2663, 2008.