

차량용 LED 백라이트 구동을 위한 GaN HEMT 기반의 동기 정류 부스트 컨버터 설계 및 구현

김성재*, 김현빈*, 윤재중**, 김종수*†,
대진대학교*, 대구대학교**

Design and Implementation of Synchronous Rectified Boost Converter Based on GaN HEMT for LED Backlight in Vehicle

Sung Jae Kim*, Hyun Bin Kim*, Jae Joong Yun**, Jong Soo Kim*†
Daejin University*, Daegu University**

ABSTRACT

차량용 LED 백라이트 구동회로는 시스템의 성능 향상을 위해 고밀도/고효율의 DC DC컨버터가 요구되며 이를 위해 WBG(Wide Band Gap) 소자인 GaN HEMT가 기반의 동기 정류 부스트 컨버터의 설계 가이드를 제시하고 500kHz 스위칭 주파수의 30W급 동기 정류 부스트 컨버터를 구현한다.

1. 서론

차량내의 배터리 전압을 이용해 다수의 직렬 LED를 동작시키기 위해 LED 구동회로에는 입력전압 대비 높은 출력전압을 얻기 위해 부스트 컨버터가 사용되며, 시스템의 성능을 높이기 위해 전력변환회로의 고효율, 고밀도화가 요구되고 있다. 이를 위해 컨버터의 고속 스위칭을 통해 전력밀도를 향상시킬 수 있으나, 스위칭 주파수가 높아짐에 따라 스위칭 손실이 급격하게 증가하는 문제가 있다.

기존 Si 기반의 컨버터는 85% 정도의 효율과 빠른 스위칭 주파수를 갖는데 한계가 있으며 스위칭 손실의 증가로 인한 고효율 달성이 어려움이 있다.^{[1][2]} 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 Wide band Gap 소자인 GaN HEMT(Gallium nitride High Electron Mobility Transistor)가 적용된 차량용 LED 백라이트 구동회로를 위한 500kHz 스위칭 주파수를 갖는 부스트 컨버터의 설계가 이루어진다. 또한, 효율 향상을 위해 전류가 다이오드를 통하는 구간을 GaN HEMT로 대체하여 Turn on을 시켜주는 동기정류 제어기법을 적용한다. 결과 검증 위해 30W급 Prototype 모델을 제작하여 구현하였으며, 최대 효율 90.24%를 달성하였다.

2. 동기 정류 부스트 컨버터

2.1 GaN HEMT 특성

WBG 소자인 GaN HEMT는 AlGaN(Aluminum Gallium Nitride)/GaN의 이종접합 구조(Heterostructure)로 기존의 Si 소자에 비해 3.4eV의 높은 에너지 준위와 임계 항복 전압, 드리프트 속도 특성 때문에 동일한 임계 항복 전압 조건에서 기존의 Si 소자에 비해 낮은 온저항 $R_{ds(on)}$ 을 갖는다. 또한, 2층 구조의 전자가스(2DEG, two dimensional electron gas)를 포함 전압과 온저항 $R_{ds(on)}$ 을 가지는 조건에서 기존의 Si소자에 비

표 1 설계 파라미터

Table 1 Design parameters

Parameter	Value
V_{in}	12V(8 16V)
V_o	24V
I_o	1.25A
P_o	30W
F_{sw}	500kHz

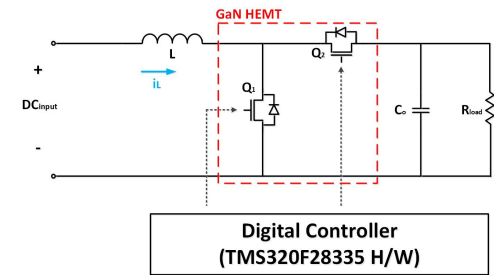


그림 1 동기 정류 부스트 컨버터 구성

Fig. 1 Configuration of Synchronous Rectified Boost Converter

해 매우 작은 부피의 소자 구현이 가능하다.^[3]

이러한 GaN HEMT의 구조로 인해 스위치의 기생커패시턴스 성분과 역회복 전하(Reverse Recovery Charge)에 의한 역회복 손실이 매우 작아 고주파 스위칭에 용이하며 이때 발생하는 스위칭 손실을 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러므로 이를 이용하여 컨버터의 수동소자의 사이즈를 효과적으로 감소시킬 수 있다.

2.2 하드웨어 설계

GaN HEMT를 적용한 동기정류 부스트 컨버터는 그림1과 같이 구성하였고, 컨버터 사양은 표 1과같은 Spec으로 구현하였다. 컨버터에 사용되는 인덕터 및 커패시터는 시스템의 무게 및 부피뿐 아니라 전체 손실을 결정하는 중요한 요소이다. 먼저 시스템의 특성에 맞게 선정된 출력 전류의 리플과 출력 전압의 리플을 통해 인덕턴스 및 커패시턴스를 유추할 수 있으며 이는 식 (1) 과 (2)을 통해 도출이 가능하다. 여기서 ΔI_L 은 인덕터의 전류 리플이고 Δv 는 커패시터 전압리플이며, 설계자가 결정하는 요소가 된다.

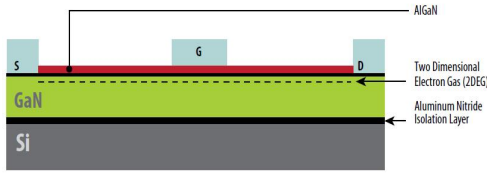


그림 2 GaN HEMT의 구조
Fig. 2 Structure of GaN HEMT

$$L = \frac{V_{in} \times (V_{out} - V_{in})}{\Delta i_L \times f_{sw} \times V_{out}} \quad (1)$$

$$C = \frac{I_o \times (V_{out} - V_{in})}{\Delta v \times f_{sw} \times V_{out}} \quad (2)$$

인덕터의 전류 리플을 작게하면 인덕터의 부피가 크게 되지만 출력성능이 좋아지게 된다. 반대로 인덕터의 전류리플을 크게 하면 인덕터의 부피를 줄일 수 있지만 이에 따라 RMS 전류가 증가하게 되고 DCR(직류전류저항)의 손실 증가로 인해 출력 성능이 떨어지게 되는 단점이 있어 전류 리플의 선정에 있어 trade off 지점이 필요하게 된다. 실제 커패시터 리플 전압은 ESR(직렬등가저항)에 의해 더 크게 나타나며 컨버터의 Regulation 성능 저하시킨다. 또한, ESR에 의한 손실은 열로 발생하며 커패시터의 수명을 단축시키는 원인이 된다. 그러므로 ESR을 줄이는 노력이 요구되며, 이를 고려하여 커패시터 리플 전압을 선정하게 된다.

2.3 효율 향상을 위한 동기전류 제어 기법

기존의 부스트 컨버터는 위의 스위치 대신 다이오드를 사용하는 방식으로 다이오드는 턴 온이 될 때 전압원으로 동작시킬 수 있고 이는 $V_F \times I_D$ 만큼 도통손실을 지니게 된다. 하지만 GaN HEMT의 경우 Turn on이 될 때 저항으로 동작화 되어 $I_{D,rms}^2 \times R_{ds(on)}$ 도통 손실이 지니게 된다. 다이오드의 Forward Voltage는 0.5-0.9V 정도이며 GaN HEMT의 온 저항 $R_{ds(on)}$ 수 mΩ 정도의 수준으로 도통손실을 줄여 효율 향상을 기대 할 수 있다. 표 1은 GaN HEMT와 동일한 스펙의 Schottky Diode의 도통 손실을 비교한 것으로 정량적인 결과로 확연한 차이를 알 수 있다.

표 2 GaN HEMT와 다이오드의 도통손실
Table 2 Conduction loss of GaN HEMT and Diode

Switch	Formula	$R_{ds(on)}$ & V_F	Conduction loss
GaN HEMT	$I_{D,rms}^2 \times R_{ds(on)}$	15mΩ	94mW
Diode	$V_F \times I_D$	0.6V	1.5W

3. 실험결과

설계 사양은 2장에 언급된 내용을 바탕으로 30W급 동기 전류 부스트 컨버터를 그림 3의 Revision 보드를 통해 구현하였다. 그림 4은 최대 부하 조건에서의 주요파형을 그림 5는 전 부하 효율을 나타내었다. 최대 효율 25W에서 90.24%로 측정되었으며 그림 4의 알 수 있듯이 스위칭 주기에 맞추어 스위치 Turn on/off 구간에 인덕터 전류와 출력전압의 Ringing이 발생하

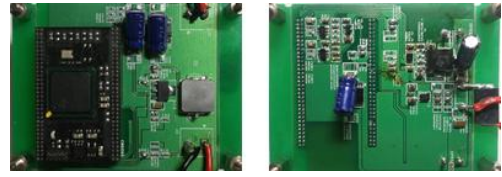


그림 3 제작된 컨버터 하드웨어(58mm×55mm)
Fig. 3 Manufactured Converter Hardware (58mm×55mm)

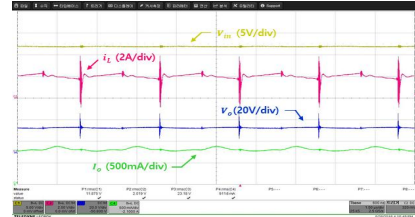


그림 4 25W 출력에서의 주요파형
Fig. 4 Main Waveform at 25W Output

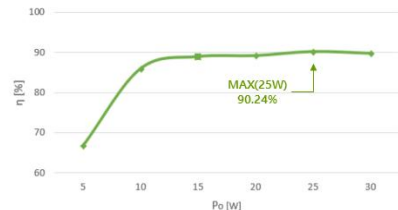


그림 5 전부하 효율 곡선
Fig. 5 Efficiency Curve by Load

는 것을 확인하였으며, 고주파 스위칭 시 노이즈 저감을 위한 하드웨어 설계가 요구되는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 WBG소자인 GaN HEMT를 이용하여 차량용 LED 백라이트 구동을 위한 고전력 밀도의 동기 전류 부스트 컨버터의 설계 가이드를 제시하였다. 또한, 결과 검증을 위하여 500kHz 스위칭 주파수의 30W급 Prototype 모델을 제작하고 구현하였으며 최대효율 90.24%를 달성하였다. 추후 GaN HEMT를 적용 하여 Mhz 단위로 스위칭 주파수를 높일 예정이며, 효율과 전력밀도 향상을 기대할 수 있을 것이다.

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업임(NONPF 2017R1D1A1B03033140)

참고 문헌

[1] E Faraci, M Seeman, B Gu, "High efficiency and power density GaN based LED driver", Applied Power Electronics Conference and Exposition(APEC), IEEE, pp.838-84, 2016
[2] Y Lu, D Czarkowski, WE Bury, "High efficiency adaptive boost converter for LED drivers", Compatibility and Power Electronics (CPE), IEEE, pp.315-318, 2011
[3] A. Lidow, J. Strydom, "Gallium Nitride (GaN)Technology Overview," white paper of EPC(WP001), Dec. 27th, 2012.