

GaN HEMT를 적용한 고전력밀도의 부스트 컨버터 개발

정회정, 김예린
울산과학기술원 (UNIST)

GaN Boost Converter Development for High Power Density

Hoejeong Jeong, Katherine A. Kim
Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)

ABSTRACT

본 논문에서는 WBG소자인 GaN HEMT를 적용한 고전력밀도의 부스트 컨버터개발을 제안하였다. GaN HEMT는 문턱전압이 낮아 인덕턴스에 민감하므로 인덕턴스를 최소화시키는 PCB 레이아웃을 설계하였다. 입력단에 60V의 직류전원을 연결한 후, 출력 전압을 120V, 출력 전력을 100W와 200W로 고정하여 주파수에 따른 소자의 온도와 효율을 측정하였다. 주파수를 100kHz에서 1MHz까지 100kHz간격으로 변화시켜 실험하였고, 부하전력과 주파수가 커질수록 GaN HEMT의 온도가 상승하였다. 컨버터 효율은 부하전력이 100W이고, 주파수가 100kHz일 때 91.7%로 가장 낮은 효율이 나타났고, 부하전력이 200W, 주파수가 600kHz일 때 97.4%로 가장 높은 효율이 나타났다.

1. 서론

오늘날 전력변환 회로에 사용되는 스위치로는 실리콘을 기반으로 하는 전력반도체 소자가 널리 쓰이고 있다. 하지만, 실리콘 기반의 트랜지스터들은 성능 향상 한계점에 도달했기 때문에, SiC, GaN 등의 새로운 물성을 기반으로 하는 WBG(Wide Band Gap) 반도체의 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 GaN HEMT(High Electron Mobility Transistor) 소자는 WBG 특성 때문에 적은 손실로 고속 스위칭이 가능하다. 이러한 고속 스위칭은 컨버터에서 인덕터의 크기를 줄일 수 있어, 같은 성능의 실리콘 소자를 적용한 전력변환 회로보다 높은 전력밀도를 가지는 전력변환 회로를 설계할 수 있다. 하지만 GaN HEMT 소자는 MOSFET 소자에 비해 낮은 문턱전압을 가지고 있어 게이트에 전압을 인가할 때 발생하는 링잉에 의해 false 턴 온이 나타나 성능을 저하시킬 수 있다.^[1]

본 논문에서는 GaN HEMT 소자를 적용한 고전력밀도의 부스트 컨버터 회로를 설계하고, PCB 레이아웃 설계 시 고려사항을 제시한다. 또한 GaN의 고속스위칭에 따른 부스트 컨버터의 동작을 실험하였다.

2. 시스템 및 PCB 레이아웃 설계

2.1 부스트 컨버터 시스템 회로

그림 1은 GaN 부스트 컨버터의 시스템 블록 구성도이다. 아이솔레이터는 드라이버의 입력과 출력단의 전기적인 절연

(galvanic isolation)을 하여 입력받은 펄스와 시그널과 전력단을 분리한다. 아이솔레이터와 게이트 드라이버에 일정한 정격 전원을 주기 위해 LDO를 사용했다. 인가된 게이트 전압은 게이트 드라이버를 통해 부스트 컨버터의 스위치를 동작시킨다.

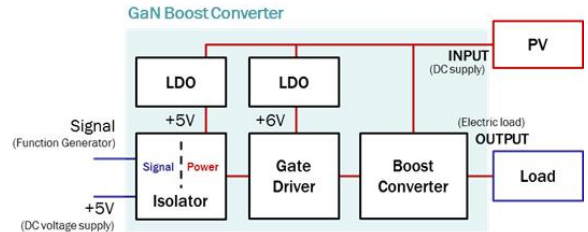


그림 1 GaN 부스트 컨버터 시스템 구성도
Fig. 1 GaN Boost Converter System diagram

2.2 PCB 레이아웃 고려사항

WBG 소자는 주로 낮은 문턱전압을 가지고 있어 PCB 설계에서 발생할 수 있는 인덕턴스에 민감하다. 인덕턴스는 게이트 전압에 링잉을 발생시키고 게이트의 false 턴 온을 일으켜 효율을 저하시킨다. 이러한 문제점은 시스템의 효율을 저해할 수 있으므로, 그림 2에 표현된 파워 루프와 게이트 드라이버 루프를 최소화시켜 불필요한 인덕턴스를 줄이는 것이 중요하다.^[2] PCB 레이아웃 설계 시 인덕터의 패드를 불필요하게 크게 할 경우 오실레이션이 증가하고, 인덕터 소자 아래로 그라운드 배선이 지나갈 경우 손실이 늘어나므로 인덕터 배치 또한 중요하다. 또한, 고주파에서 상단 레이어에 전력 라인을 배선하고 같은 위치의 하단 레이어에 그라운드를 배선할 경우, 레이어 사이에 캐패시턴스가 생길 수 있어 피해야 한다.

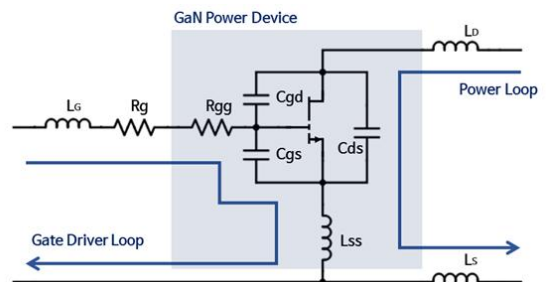


그림 2 GaN HEMT의 부분 등가회로와 루프
Fig. 2 Equivalent partial circuit and loops

3. 실험 결과

3.1 주파수 변화에 따른 온도와 효율

그림 3은 고전력밀도의 부스트 컨버터를 위해 GaN HEMT 스위치가 적용된 PCB 회로이다. 그림 5는 입력전압이 60V이고, 출력전압이 120V일 때, GaN HEMT 스위치의 주파수와 컨버터의 부하전력에 따른 효율과 회로소자의 온도를 측정하였다. 온도가 가장 높은 소자를 측정했을 때, 100W일 때는 200kHz까지, 200W일 때는 400kHz까지 인덕터의 온도가 더 높다. 낮은 주파수에서 온도가 가장 높은 소자는 인덕터지만, 주파수가 높아질수록 인덕터 온도는 줄어들고 스위치의 온도가 점점 높아짐을 확인할 수 있다. 이는 낮은 주파수에서는 인덕터의 손실이 크지만, 주파수가 높아짐에 따라 인덕터의 손실 작아지고, 높은 주파수로 인한 GaN의 스위칭 전력손실이 더 커지게 되기 때문이다. 또한, 부하전력이 100W일 때 보다 200W일 때 소자의 온도가 높은 것을 확인할 수 있다. 컨버터 효율은 스위칭 주파수가 100kHz일 때 91.7%로 가장 낮은 효율을 가진다. 또한, 부하전력이 200W이고 스위칭 주파수가 600kHz일 때 97.4%로 가장 높은 효율이 나타났다. 그림 4는 부하전력이 200W, 스위칭 주파수가 1MHz일 때의 동작 특성 파형을 나타낸다.



그림 3 제작된 GaN 부스트 컨버터 (5.9cm x 6.1cm)
Fig. 3 GaN boost converter PCB circuit (5.9cm x 6.1cm)

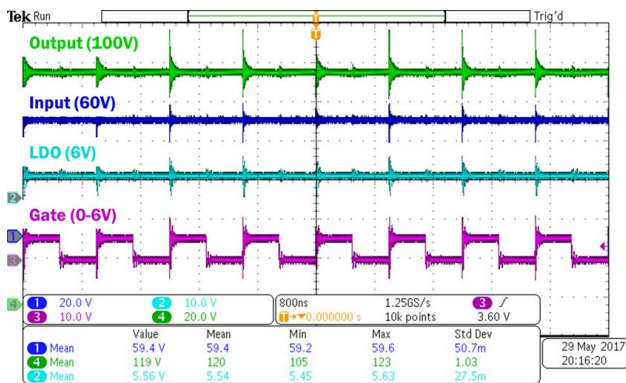


그림 4 출력전력 200W, 스위칭 주파수 1MHz에서의 동작 특성 파형
Fig. 4 Experimental waveform at load power as 200W and switching frequency as 1MHz

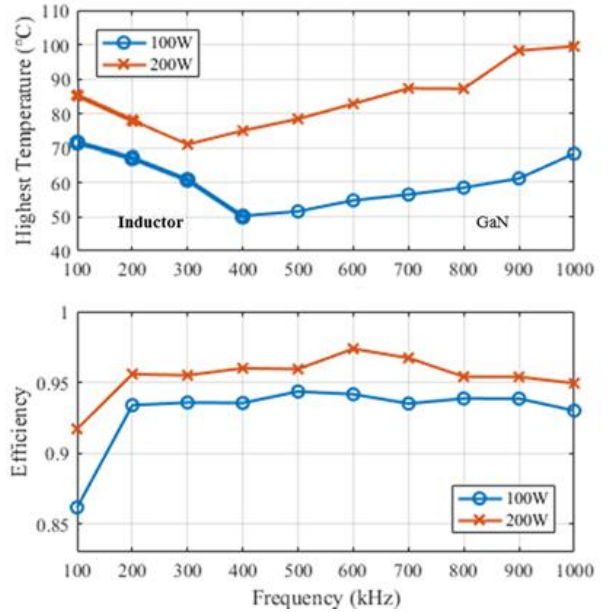


그림 5 주파수에 따른 최대온도와 효율
Fig. 5 Highest temperature and efficiency depend on the frequency

3. 결론

본 논문에서는 WBG 반도체인 GaN HEMT를 적용한 고전력밀도의 전력변환 회로를 설계하였다. 설계된 회로는 PCB 레이아웃 설계 시 발생하는 인덕턴스를 최소화하여 제작되었고 GaN HEMT 레이아웃 설계 시 고려해야 할 사항에 대해 제안했다. 또한, 스위치에 가해지는 주파수와 부하전력에 따른 소자의 온도와 효율을 측정하기 위해 1MHz까지 스위칭 주파수를 높여 실험했다. 저주파에서는 인덕터가, 고주파에서는 GaN의 온도가 더 높음을 확인했고, 높은 온도는 해당 소자의 손실을 나타낸다. 고속스위칭이 가능한 GaN HEMT 스위치를 사용하면 고주파에서의 효율을 높일 수 있을 뿐만 아니라 인덕터의 크기를 줄일 수 있어 컨버터 시스템의 크기 또한 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2016R1D1A1B03931573).

참고 문헌

- [1] R. Xie, H. Wang, G. Tang, X. Yang and K. J. Chen, "An Analytical Model for False Turn On Evaluation of High Voltage Enhancement Mode GaN Transistor in Bridge Leg Configuration," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 32, no. 8, pp. 6416-6433, Aug. 2017.
- [2] GaN Systems Inc., How to drive GaN Enhancement mode HEMT, GN001, 2016.