

# 고전력밀도를 위한 GaN FET 기반의 벅 컨버터 구현

김학준<sup>1</sup>, 조현창<sup>1</sup>, 이계성<sup>1</sup>, 김래영<sup>2</sup>  
 한국전자기술연구원<sup>1</sup>, 한양대학교<sup>2</sup>

## GaN FET-Based Buck Converter Implementation for High Power Density Applications

Hak-Jun Kim<sup>1</sup>, Hyun-Chang Cho<sup>1</sup>, Gye Seong Lee<sup>1</sup>, Rae-Young Kim<sup>2</sup>  
 Korea Electronics Technology Institute<sup>1</sup>, Hanyang University<sup>2</sup>

### ABSTRACT

본 논문에서는 높은 전력 밀도를 위해 GaN FET를 적용한 최대 전력 밀도[700W/in<sup>3</sup>]를 가진 300W급 48V-12V 벅 컨버터를 구현한다. 높은 출력 밀도를 위해서는 매우 우수한 Hard-switching과 작은 풋 프린트가 필요하다. 이를 위해 해당 벅 컨버터는 칩 스케일 패키지의 GaN FET와 2-Phase Synchronous buck topology를 사용하여 설계했다.

### 1. 서론

CO<sub>2</sub> 배출 규제정책으로 인해 차량의 전동화가 급속히 진행되는 상황이다. 전동화를 위해 차량에 내연기관이 배터리와 모터로 변경되면서 차량의 중량이 대략 300kg 정도 증가하는 문제가 발생한다. 따라서 더 작고 가벼운 파워솔루션이 필요하며, 이를 위해서는 공간과 용적 제약을 만족하면서, 높은 포화 전류 정격을 가진 자기 부품이 필요하다.

### 2. GaN FET 벅 컨버터 설계

#### 2.1 GaN FET 벅 컨버터 파라미터

본 논문에 GaN FET 벅 컨버터의 설계 파라미터값은 표1과 같다. 컨버터의 전력밀도를 700W/in<sup>3</sup>로 설계하기 위해서 출력전류는 300A로 설정하고, 부피는 0.4905in<sup>3</sup>를 만족하도록 파라미터를 설정하였다.

표 1 GaN FET Buck 컨버터의 설계 파라미터  
 Table 1 Design parameters of synchronous buck converter

Parameter	Value	Unit
Input voltage, V <sub>in</sub>	48	V
Output voltage, V <sub>out</sub>	12	V
Rated output power, P <sub>o</sub>	300	W
Switching frequency, f <sub>sw</sub>	500	KHz
Volume	0.4905	in <sup>3</sup>

### 2.2 GaN FET 벅 컨버터 시스템 및 Topology

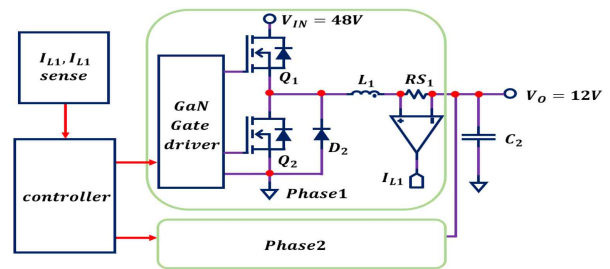


그림 1 GaN FET 벅 컨버터의 간소화된 회로도  
 Fig. 1 Simplified schematic diagram of GaN FET Buck Converter

그림1과 같이 Synchronous Buck converter Topology를 사용하여 벅 컨버터를 설계하였다. Synchronous와 Asynchronous는 Q2에 사용한 소자에 의해서 결정되며, 본 논문에서는 다이오드 대신 GaN FET를 사용하였고, Q1과 Q2는 PWM 신호를 통해서 서로 상보적으로 동작하도록 설계하였다.

설계한 벅 컨버터 시스템은 Sense resistors에서 측정된 출력전류 값을 받아서 출력전압을 폐루프 제어하도록 설계하였으며, Multi loop controller를 사용하여 2-Phase로 구성하였다. GaN FET Driver는 짧은 dead time을 만족해야 하기 때문에 15ns의 데드타임을 지원하는 Gate driver를 적용하였다.

### 3. 인덕터의 소형화

#### 3.1 공간과 용적 제약을 만족하는 인덕터 설계

공간과 용적 제약을 만족하는 인덕터를 설계하기 위해서는 인덕턴스의 값을 최소화하여 설계해야 한다. 벅 컨버터 설계 시 인덕턴스값의 계산을 위한 파형과 수식은 아래와 같다.

$$V_L = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad (1)$$

$$di_L(t) = \frac{V_L^* dt}{L} \quad (2)$$

(1)은 인덕터의 전압을 구하는 수식이다. 이를 이용하면 인덕터 전류의 변화량에 대한 수식을 (2)로 정리할 수 있다.

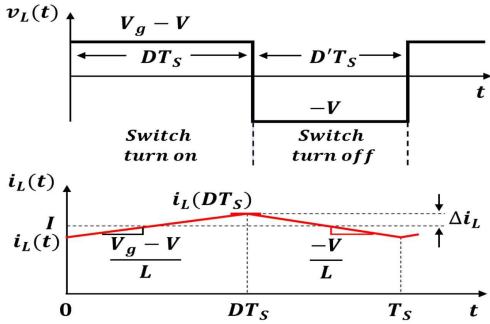


그림. 2 벡 컨버터 정상상태 전압, 전류 파형 [1]  
Fig. 2 Steady-state inductor current and voltage waveform, buck converter [1]

$$2\Delta i_L = \frac{V_L * DT_s}{L} = \frac{V_L * D}{L * f_s} \quad (3)$$

$$(\because T_s = \frac{1}{f_s}, dt = DT_s, di_L(t) = 2\Delta i_L)$$

$$L = \frac{V_L * D}{2\Delta i_L * f_s} \quad (4)$$

그림2에서  $0 \leq t \leq DT_s$  구간에서 전류 리플에 대한 수식은 (3)으로 정리할 수 있다. (3)을 인덕턴스값에 대한 식으로 정리하면 (4)를 구할 수 있다. (4)에서 인덕턴스값은 전류 리플과 컨버터의 스위칭 주파수와 반비례하고 인덕터 전압과 Duty ratio와 비례한다. 즉, 스위칭 주파수를 높이면 인덕턴스값이 줄어들고 그로 인해서 인덕터를 소형화할 수 있다.

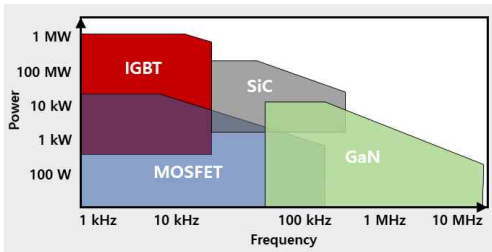


그림. 3 고전압 전력 스위칭 소자의 관계도 [2]  
Fig. 3 High-voltage power device mapping [2]

그림3을 보면 GaN 기반의 전력 스위칭 소자는 10kW보다 작은 출력 구간에서 높은 스위칭 주파수를 사용할 수 있다. 본 논문에서 설계한 벡 컨버터는 높은 스위칭 주파수를 사용하기 위해서 GaN FET를 사용하였다. 이를 통해 소형의 인덕터를 사용하여 높은 전력 밀도를 가진 벡 컨버터를 설계하였다.

### 3.2 높은 출력전류 조건을 위한 설계

높은 출력전류를 만족하기 위해서는 포화 전류 정격이 25A를 가진 인덕터를 사용하여 설계해야 한다. 하지만 통상 포화 전류 정격이 높으면 인덕터의 부피가 커진다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 2-Phase Synchronous Topology를 사용하여, 25A의 출력전류가 1상당 12.5A씩 인덕터에 흐를 수 있도록 설계하였다. 이를 통해서 인덕터의 포화 전류 정격 요구사항을 12.5A로 낮추었으며, 이에 따라 소형의 인덕터를 사용하여 출력전류 요구사항을 만족하도록 설계하였다.

## 4. GaN FET Buck converter 실험 결과

그림 3은 제작된 GaN FET 벡 컨버터 보드 크기를 측정된 사진이다. 그림 5는 입력 전압(48V)과 출력전압(12V) 및 출력전류(25A)와 출력전력(300W)을 측정된 실험 결과 파형이다. 파형을 통해서 입출력 전압과 출력전력 설계 목적을 충족한 것을 확인할 수 있다.

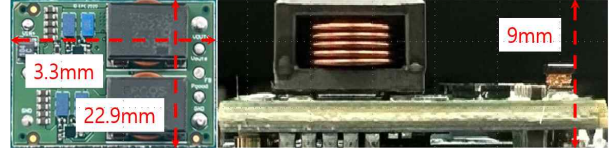


그림. 4 GaN FET 벡 컨버터 보드 크기  
Fig. 4 Board size of Buck converter using GaN FET

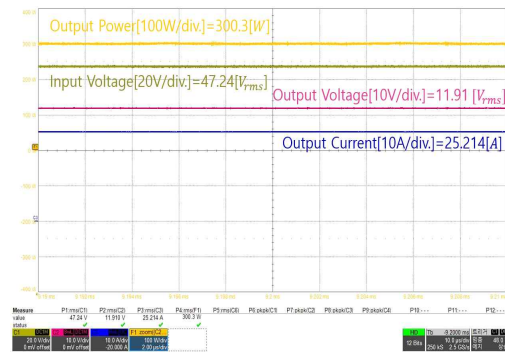


그림 5 벡 컨버터 실험 결과 파형  
Fig. 5 Buck converter experimental results waveform

## 5. 결론

본 논문에서는 높은 전력 밀도를 가진 GaN FET 벡 컨버터를 구현하였다. GaN FET 소자를 사용하여 높은 스위칭 주파수를 선정할 수 있었다. 높은 스위칭 주파수를 사용하여 인덕턴스값과 인덕터의 부피를 줄일 수 있었다. 이를 통해서 0.4905[in<sup>3</sup>]의 부피로 보드를 설계할 수 있었다. 실험 결과를 통해서 입출력 전압 및 출력전력이 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다. 이를 통해 보드의 높은 전력 밀도(700W/in<sup>3</sup>)를 확인할 수 있었다.

이 논문은 2024년 중소벤처기업부의 재원으로 중소기업 기술정보진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (S3364955)

## 참고 문헌

[1] Robert W Erickson, & Dragan Maksimovic, Fundamentals of Power Electronics: Third Edition, Springer Publishing Company, Inc. pp.18-24., 2020.  
[2] M. Beheshti, "Wide-bandgap semiconductors: Performance and benefits of GaN versus SiC," Analog Des. J., vol. 4, pp. 1 - 6, Jan. 2020. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/an/slyt801/slyt801.pdf>