

# GaN-FET을 적용한 마일드 하이브리드 전기차용 양방향 컨버터 개발

이승준, 이상혁  
주식회사 경신

## Development of GaN-FET based Bidirectional Converter for Mild Hybrid Vehicle

Seung Jun Lee, Sang Hyeok Lee  
Kyungshin Corp.

### ABSTRACT

본 논문에서는 GaN FET을 적용한 12V 48V 컨버터를 제안하고 차량용 컨버터로서의 장점을 확인한다. GaN FET의 주요 특징은 고속 스위칭이 가능하다는 것이고 이를 차량용 컨버터에 적용 시 다음의 장점을 지닌다. 첫째, 컨버터의 소형화 및 경량화이다. 고속 스위칭에 의한 리플전류 감소로 인덕터의 크기를 감소시킨다. 둘째, 출력 커패시터 선택의 폭이 넓어진다. 리플전류의 감소로 인해 비교적 작은 용량의 출력 커패시터와 큰 ESR의 선정이 가능하다. 마지막으로, 소형, 경량화된 전력 소자에 의해 진동 내구성 관련 기구설계의 단가를 줄일 수 있다. 위의 내용은 고속 스위칭에 따른 이점으로 축약 설명할 수 있고 이에 컴퓨터 시뮬레이션 및 실험을 통해 고속 스위칭의 가능성을 증명한다.

### 1. 서론

이산화탄소 배출의 규제 및 차량의 전장화로 인해 12V 시스템은 한계에 다다랐다. 그의 대안으로 48V 시스템이 등장하였으나 기존 전장 제품들이 12V 시스템으로 이루어져 있어 모든 차량 전장 제품을 48V로 다시 개발해야 하는 어려움이 있었다. 하여 현재, 12V/48V 시스템이 공존하는 마일드 하이브리드 시스템이 많은 관심을 받고 있다. 마일드 하이브리드 시스템은 그림 1과 같이 발전기, 배터리, 컨버터, 로드로 구성되어 있고 두 시스템 사이에 위치한 컨버터는 본 시스템의 핵심부품으로서 양방향으로 에너지 전달이 가능하다. 그리고 발전기가 48V 시스템에 위치하여 있기 때문에 주로 48V 시스템에서 12V 시스템으로 에너지를 전달하는 벡 컨버터 모드로 동작한다.

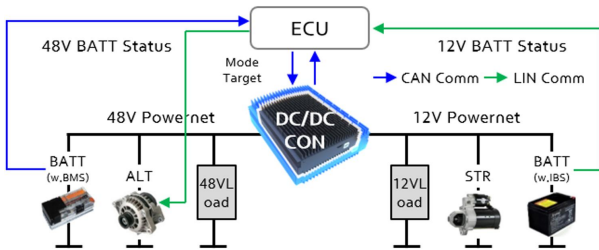


그림 1 마일드 하이브리드 시스템  
Fig. 1 Mild Hybrid System

### 2. 본론

#### 2.1 GaN-FET의 장점

GaN(Gallium Nitride) FET은 전력변환기인 인버터와 컨버터의 대대적인 효율 향상과 소형화를 기대할 수 있는 차세대 전력 반도체 소자로 각광받고 있다. GaN FET의 주요 특징으로는 컨버터 내부에서 스위칭 손실과 도통 손실을 저감시키고<sup>[1]</sup>, 특히 역회복 손실이 거의 없다는 점을 들 수 있다. 따라서 컨버터의 고효율화 및 고속 스위칭이 가능하여 수동소자(커패시터, 인덕터)의 소형화 및 경량화를 이룰 수 있다. 표 1은 MOSFET 대비 GaN FET의 우수성을 확인하는 자료로 비슷한 용량의 소자를 선정 및 비교하였다.

Symbol	GaN-FET (GS61008T)	MOSFET (SUM90N10)
$V_{DS}$	100V	100V
$I_D$	90A	90A
$R_{DS(on)}$	7mohm	8.2mohm
$C_{ISS}$	585pF	6290pF
$C_{OSS}$	254pF	535pC
$Q_{RR}$	0nC	130uC

표 1 GaN-FET, MOSFET 비교(100V / 90A)  
Table 1 Comparison between GaN-FET and MOSFET(100V/90A)

GaN FET의 장점을 최대한 활용하기 위해서는 고속 스위칭이 이루어져야 한다. 하지만 컨버터가 벡 모드로 정격(2.5kW) 전력변환 동작을 수행할 경우 12V 시스템으로 약 210A의 출력전류가 흐르게 된다. 이 큰 출력전류는 PCB 기생인덕턴스에 의해 PWM 동작 시 게이트 루프에 노이즈 성분으로 나타날 수 있다. 또한 GaN FET 게이트의 Off / On 구동전압은 일반 MOSFET과 달리 0~3V / 5~6.5V로 기존 MOSFET 대비 낮은 전압이 인가된다. 이러한 이유로 GaN FET 적용 48V 컨버터는 노이즈를 고려한 설계가 필요하다<sup>[2]</sup>. 기생 인덕턴스를 최소화하는 PCB 제작, 입력 커패시터의 위치 및 크기, Gate On/Off 저항의 최적화 설계가 요구된다.

## 2.2 GaN-FET 적용 12V-48V 컨버터

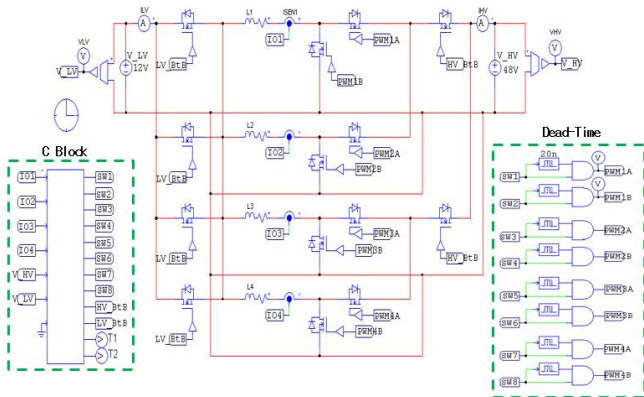
(주) 경신에서 개발한 12V/48V 컨버터는 그림 1과 같이 ECU와 CAN 통신을 통해 실시간 정보를 주고받는다. 컨버터는 구동상태 정보(전압, 전류, 온도)를 ECU로 전달하고, ECU는 컨버터에서 수신된 정보 및 12V/48V 시스템의 현재 상태 정보를 토대로 컨버터의 동작 상태를 판단하여 구동명령 신호를 컨버터로 전달한다. 컨버터는 Buck, Boost, Passive, Fail-Safety 모드로 동작하며 필요에 따라 정전류, 정전압, 정전력 전력변환 기능을 수행한다. Buck 모드는 48V에서 12V 시스템으로 에너지를 전달하는 역할을 하고, Boost 모드에서는 12V에서 48V로 에너지를 전달한다. Passive 모드는 전력변환이 이루어지지 않는 모드 이고 Fail-Safety 모드는 컨버터 및 시스템에 문제가 발생 시 보호기능을 수행한다. 표 2는 경신에서 자체 개발한 GaN-FET기반 컨버터의 사양을 나타낸다.

무게	1.85kg
부피	185x120x90mm <sup>3</sup>
Phase	4-Phase
정격파워	2.5kW
동작전압 범위	LV : 6[V] ~ 16.5[V] HV : 34[V] ~ 54[V]
스위칭 주파수	300kHz
Cooling	Active Air Cooling
전력변환 방향	Bidirectional Transmission
Interface with ECU	CAN Communication
전력변환 Controller	MCU 32 bit

표 2 Specification of the 12V-48V Converter based on GaN-FET  
Table 2 GaN-FET 적용 12V-48V 컨버터 사양

## 2.3 시뮬레이션 및 제작

그림 2는 300kHz 스위칭하는 컨버터의 정전류 구동 시뮬레이션을 나타낸다. 전류의 분배를 위해 4-Phase 구조를 취하고 있고 양방향 전력변환 기능 구현을 위해 Synchronous Buck 컨버터 토폴로지를 선택 하였다. 제어 보상 및 알고리즘의 시뮬레이션 구현은 PSIM의 C-Block을 이용하였다. 그림 2(b)에서는 컨버터가 구동 중에 Buck / Passive / Boost 모드로 변경 되는 것을 인덕터 전류의 크기 및 방향으로 알 수 있다. 이는 컨버터가 양방향으로 전력 변환 구동되고 있고 전력변환 방향이 변경될 때의 알고리즘의 타당성을 증명한다.



(a) 시뮬레이션 회로도  
(a) Simulation Circuit

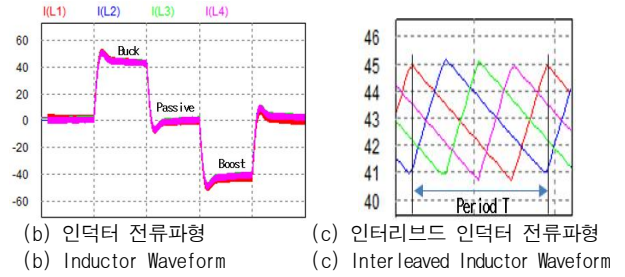


그림 2 정 전류모드 전력변환 시뮬레이션  
Fig. 2 Simulation of the Constant Current Mode Power Conversion

그림 2 (c) 에서는 인덕터 전류의 인터리브드 구동 및 약 4A 크기의 리플전류를 확인할 수 있다. 이는 컨버터의 스위칭 주파수가 100kHz일 경우와 비교 시 리플전류 크기가 1/3로 감소한 것이고 이로 인해 비교적 저사양의 커패시터 선정이 가능하다. 리플전류가 작아짐에 따라 커패시터에서 손실되는 에너지의 양이 줄어들기 때문에 비교적 큰 ESR 및 작은 용량의 커패시터 선정이 가능하다. 또한 차량용 전장품의 진동특성을 고려하여 출력 커패시터를 오직 MLCC 만으로 구성할 수 있다.

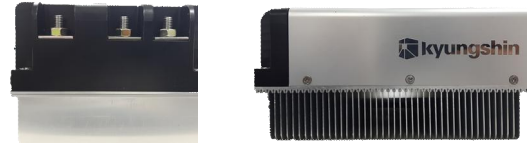


그림 3 GaN-FET 기반 양방향 12V/48V 컨버터  
Fig 3 Bidirectional 12V/48V Converter based on GaN-FET

## 3. 결론

본 논문에서는 주식회사 경신에서 개발한 차세대 전력변환 소자인 GaN-FET을 적용한 12V-48V 양방향 컨버터에 대해 소개하였다. 시뮬레이션을 통해 스위칭 주파수가 300kHz인 컨버터의 전력변환 구동, 제어 보상, 양방향 에너지 전달 알고리즘 구동을 확인하였다. 또한 실제 2.5[kW]급 시작품을 제작하여 컨버터의 소형화를 증명 하였다. 무게 및 부피의 감소로 차량 연비 및 공간 활용에 장점이 있고, 차량 진동을 고려한 컨버터 설계 시 고정 기구에 추가되는 비용을 줄일 수 있다. 그리고 아날로그 컨트롤러 IC를 대신해 MCU(DSP)가 컨버터의 보상제어, 알고리즘 구현 역할을 수행하기에 컨버터 구동의 응용 및 타 전장 제품과 통합형 제작에 용이하다.

## 참고 문헌

- [1] Ahn Jung Hoon, Lee Byung Kuk, Kim Jong Soo, "Comparative Performance Evaluation of Si MOSFET and GaNFET Power System", KIPE Trans. June. 2014
- [2] "A design guideline of parasitic inductance for preventing oscillatory false triggering of fast switching GaN FET," IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering, Dec. 2016.