GaN HEMT를 적용한 동기 정류 위상천이 dc-dc Converter 구현

유재곤[1], 김현빈[1], 주동명[2], 이병국[2], 김종수[1†]
[1]대진대학교, [2]성균관대학교

Implementation of Phase-Shifted Full-Bridge dc-dc Converter Applying a Synchronous Rectification by using GaN HEMT.

Jae Gon Yoo[1], Hyun Bin Kim[1], Dong Myoung Joo[2], Byung kuk Lee[2] and Jong Soo Kim[1†]
[1]Daejin university, [2]Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문에서는 2차 측 정류 회로에 GaN HEMT 소자를 이용하는 동기정류기법을 적용한 위상천이 dc dc 컨버터를 구현한다. 기존 다이오드를 통한 정류회로와의 효율 비교를 통하여 GaN HEMT 동기정류 기반 위상천이 dc dc 컨버터가 최고효율 15%, 평균 효율 0.85%, 전부하 효율 1.99%의 향상효과를 확인한다.

1. 서 론

전력변환장치의 고효율화를 위한 하나의 방법으로 dc dc 컨버터에 동기정류기법을 적용한 연구가 활발히 수행중이다. 기존의 연구들은 대부분 Si MOSFET (Silicon Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor)을 이용한 동기정류기법을 적용하여 왔는데 Si MOSFET이 물성적인 한계에 도달하면서 차세대 전력 반도체인 SiC (Silicon Carbide)나 GaN HEMT (Gallium Nitride High Electron Mobility Transister)를 동기정류에 적용시키는 연구가 시도되고 있으며, 하나의 예로 GaN HEMT를 무선전력 전송용 전력변환장치 내 동기정류 스위치로 적용한 연구가 수행되었다.[1] 동기정류기법은 그 특성 상 대전류가 흐르는 응용분야에 적용할 경우 효과가 극대화 된다. 따라서 저전압 대전류 출력 특성을 가지는 전기자동차 등의 친환경 차량 내 LDC (Low voltage DC DC Converter)의 2차측 다이오드 대신 동기정류기법을 적용하면 큰 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

따라서 본 논문에서는 환경차량용 LDC를 위한 위상천이 dc dc 컨버터를 구현하고, 2차측 정류회로에 기존 다이오드 또는 Si MOSFET 대신 GaN HEMT 소자를 동기정류스위치로 적용한 설계 및 제어를 수행하였다. 500W 용량의 프로토타입 LDC를 대상으로 위상천이 dc dc 컨버터의 2차측에 기존 다이오드가 적용되었을 경우와 GaN HEMT가 적용된 경우의 효율 향상효과를 실험을 통해 제시하였다.

2.위상천이 dc-dc Converter

2.1 시스템 사양

GaN HEMT를 적용한 동기정류 위상천이 dc dc 컨버터를 그림 1과 같이 구현하였고 그 시스템 사양은 표 1과 같다. 또한 2차측에는 변압기 턴 비를 고려하여 60V급의 다이오드와 GaN HEMT를 사용 하였고 사용한 소자의 사양은 표 2와 같다.

표 1 시스템 사양
Table 1 System parameters

Parameter	Value	Parameter	Value
V_{in}	500 W	V_O	35.7 A
P_O	500 W	I_O	35.7 A
F_{SW}	100kHz	Transformer	PQ3220S 26 : 2 : 2
L_R	30 uH		

표 2 2차측 스위치 사양
Table 2 Switch parameters of secondary switch

Parameter	STPS61L60C	Parameter	EPC2020
Type	Diode	Type	Switch
V_{RRM}	60V	Rating	60V,90A
I_F	60A	$R_{ds,on}$	1.5 mΩ
V_F	0.56V	V_{th}	1.4V

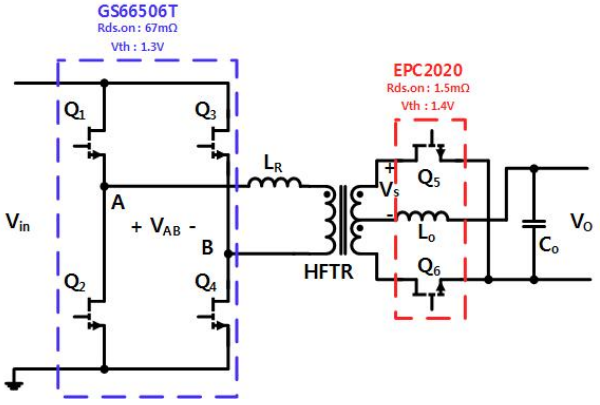

그림 1 동기 정류 위상천이 dc-dc Converter
Fig. 1 Synchronous Rectification FSFB Converter

2.2 GaN HEMT 역방향 도통 특성[2]

GaN HEMT의 경우 물성적인 구조상 Si MOSFET과는 다르게 기생 다이오드가 존재하지 않는다. 기생 다이오드가 존재하지 않는다는 것은 Q_{RR}에 의한 손실이 존재하지 않는다는 특징과 또한 높은 dv/dt에 대해서도 견고함을 가지는 장점이 있다. 또한 GaN HEMT는 외부에 별도의 다이오드를 추가하지 않아도 순방향 도통과 마찬가지로 2DEG 채널을 통해서 역방향 도통이 자연스럽게 이루어진다.

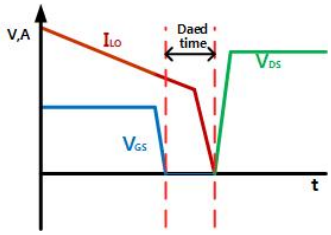

그림 2 2차측 동작 파형
Fig. 2 Secondary wave

2.3 동기정류 스위치제어

2차측 스위치의 스위칭을 할 때에는 $T_{d(on)}$와 $T_{d(off)}$에 의하여 한 Leg에서 스위치가 동시에 켜져서 발생하는 Arm Short 현상을 방지하기 위하여 그림 2와 같은 dead time이 필수적이다. Dead time 구간에 GaN HEMT에 물성적인 특성에 따라서 식 (1)과 같은 손실이 발생한다.[2] Dead time이 증가할수록 손실이 증가하고 발열이 생기기 때문에 본 실험에서는 모든 부하영역에서 50~70ns의 일정한 Dead time을 갖도록 제어하여 실험하였다.

$$P_{Deadtime} = t_{Deadtime} \cdot F_{SW} \cdot V_{SD} \cdot I_{OUT} \quad (1)$$

3. 실험결과

2장에서 언급한 사양을 바탕으로 500W급 위상천이 dc dc 컨버터를 그림 3와 같이 구현하였고, 500W 정격출력 조건에서 1차측, 2차측 주요파형을 그림 4와 5에 나타내었다. 게이트 전압의 경우 1차측과 2차측 모두 부하전류에 비례하는 게이트노이즈가 발생되는 양상이 나타났고 특히 1차측의 경우에는 각 Leg에서 반대편 스위치의 턴 오프 시 게이트 노이즈가 가중크게 발생되었다. 이러한 노이즈가 실제 GaN HEMT의 안정적 구동에 영향을 미치는 정도는 아니었으나, 파형의 개선을 위해 게이트 노이즈 저감을 위한 하드웨어 설계가 요구된다는 것을 확인하였다.

그림 6은 1차 측에 동일한 GaN HEMT소자를 사용하고 2차측 정류회로를 기존 다이오드 적용시와 GaN HEMT 동기정류 기법을 적용하였을 경우의 시스템 효율 곡선을 나타낸다. 효율은 YOKOGAWA사의 WT3000을 이용하여 측정하였으며, 동기정류 시 320W에서 최고효율 96.136%, 평균효율 94.72%로 측정되었다. 측정결과에서 보듯이, 기존 다이오드 대비 GaN HEMT 동기정류 적용 시 약 1.5%의 최고효율 향상을 보이며 특히 중부하 조건에서 더 우수한 성능을 나타낸다. 하지만 경부하 조건에서는 다이오드 대비 낮은 효율을 보였는데, 그 이유는 스위치 구동 에너지와 Q_{OSS}에 의한 손실에 의한 것으로 추정되며, 향후 이에 대한 개선 연구를 수행할 예정이다.[3]

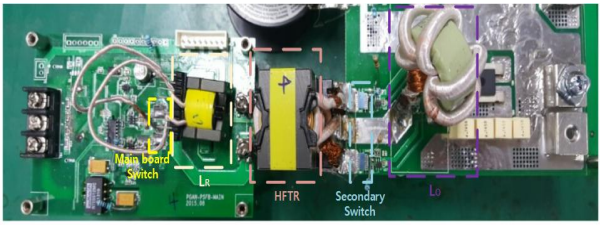

그림 3 동기 정류 위상천이 dc-dc Converter Hardware
Fig. 3 PSFB Converter Hardware

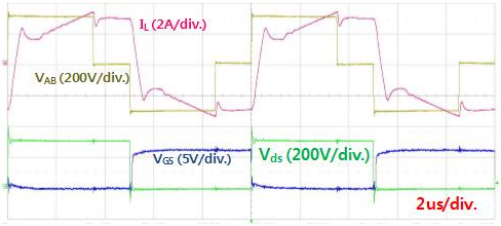

그림 4 동기 정류 위상천이 dc-dc Converter 1차측 주요파형
Fig. 4 Main board's important wave

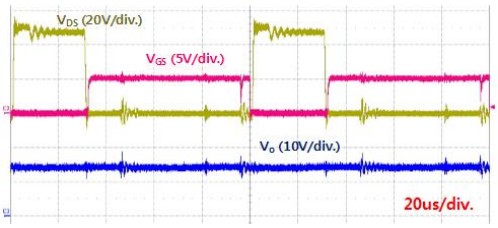

그림 5 동기 정류 위상천이 dc-dc Converter 2차측 주요파형
Fig. 5 Secondary board's important wave

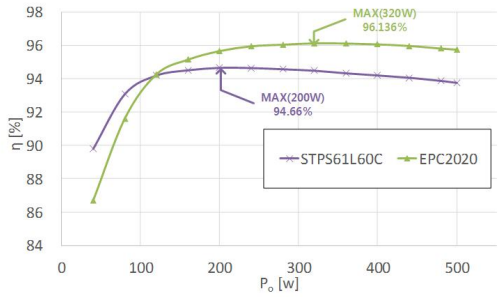

그림 6 다이오드 vs GaN HEMT 동기정류
Fig. 6 Diode vs GaN HEMT Synchronous Rectification

4.결 론

본 논문에서는 GaN HEMT를 적용한 500W급 동기 정류 위상천이 dc dc 컨버터를 구현하였다. 2차측 정류회로에 GaN HEMT를 이용한 동기 정류 기법을 적용 하여 효율을 측정하였고 다이오드를 사용한 경우와 효율 비교를 통해 평균 효율 0.85%, 전부하 효율 1.99%의 성능 개선을 확인함으로써 GaN HEMT 소자를 이용한 동기 정류의 필요성을 검증하였다.

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No.NRF 2013R1A1A1076109)

참 고 문 헌

[1] Sadegh Abbasian, Thomas Johnson, “High efficiency GaN HEMT synchronous rectifier with an octave bandwidth for wireless power applications,” in IEEE MTT s INT. Symp., August. 2016, pp. 1 4

[2] "GN001 Application Brief(How to drive GaN Enhancement mode HEMT,", GaN Systems, April. 2016

[3] Young gil Kim, "차세대 파워디바이스 GaN E HEMT 스위치의 특성, 전기의 세계," in The Proceedings of KIEE, February. 2016 pp. 27 33