

Si MOSFET vs. GaN FET Power System의 손실 분석

안정훈¹, 이병국¹, 김남준², 김종수^{2*}

¹성균관대학교 정보통신대학, ²대진대학교 전기공학과

Comparative Loss Analysis of Si MOSFET and GaN FET Power System

Jung Hoon Ahn¹, Byoung Kuk Lee¹, Nam Jun Kim², and Jong Soo Kim^{2*}

¹College of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

²Department of Electrical Engineering, Daejin University

ABSTRACT

본 논문에서는 기존의 Si MOSFET을 사용한 전력시스템과 비교하여 WBG(Wide Band Gap)특성을 갖는 GaN(Gallium Nitride) FET을 사용한 전력시스템을 비교 분석한다. 대표성을 갖는 평가가 가능하도록 가장 일반적인 FB 구조를 대상으로 Si MOSFET과 GaN FET을 각각 적용하고, 다양한 기준 조건에서 효율과 전력 밀도 등 성능을 비교한다. 전체 과정은 수학적 계산 및 시뮬레이션으로 검증한다.

1. 서론

더 높은 효율과 더 높은 전력 밀도를 갖는 Power System의 구현은 전력전자분야의 영원한 숙제이다. 이러한 요구는 다양한 토폴로지의 탐구와 새로운 제어방법의 개발을 통하여 개선되기도 하지만, 대부분의 경우 사용하는 전력반도체 소자의 진보에 종속되어 왔다. 기존의 Si 소자는 거대한 시장과 축적된 제조기술에 힘입어 가장 낮은 가격에 신뢰성과 활용도가 높은 장치로서 각광 받아왔다. 그러나 Si 소자는 고유의 물성적 한계가 존재하며, 더 좋은 성능의 전력반도체에 대한 요구는 SiC 등 WBG 특성을 갖는 반도체 소자의 개발로 이어졌다.

최근 선진국을 대상으로 차세대 에너지 절감 반도체로 각광 받고 있는 GaN 소자는 WBG특성을 가지며, 낮은 온저항과 고주파수 운전에 강점이 있다^[1,2]. 그러나 국내에는 그에 대한 연구가 매우 미비한 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 GaN FET으로 구성된 Power System의 분석 및 평가를 통하여 GaN FET Power System의 가능성 연구를 수행하였다.

2. GaN FET Power System

2.1 대조군 시료 설계 및 시뮬레이션 플랫폼 구성

GaN FET Power System의 대표성을 갖는 성능평가를 위하여 일반적인 사양의 컨버터를 설계한다. 출력전압은 다양한 디지털 부하 구동에 적합한 14V로 정하고 각각의 스위치는 위상천이 방식으로 영전압 스위칭 하도록 하면 전체 회로는 그림 1과 같이 구성할 수 있다. 현재 상용화 되어 있는 GaN FET의 종류와 정격은 매우 한정적인 것을 감안하여 입력전압은 일반적인 사양보다 다소 낮은 50V로, 출력전력은 200W급으로 낮추어 모의 평가하도록 한다. GaN MOSFET과 Si MOSFET을

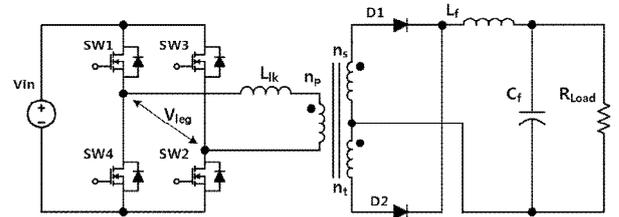


그림 1. 위상천이 풀-브릿지 컨버터 회로도.

Fig. 1. ZVS PSFB Converter Schematic.

$$L_f = \frac{(1-2D) \times R_{f\text{ullLoad}}}{4 \times f_s \times \text{LoadRatio}} \quad (1)$$

$$C_f = \frac{(1-2D)}{32 \times L_f \times f_s^2 \times \text{RippleRatio}} \quad (2)$$

$$I_{lkg} = \left(\frac{8}{3} \times \text{Coss} + C_{TR} \right) \times V_i^2 \div I_{pk}^2 \quad (3)$$

대표하게 될 각각의 소자는 PC2001(100V, 25A), IPA180N10N3 G(100V, 28A)로 정하고 주요 특징은 표 1로 요약된다. 대상 컨버터는 최대부하의 10%까지 CCM 동작하고, 25%부하까지 ZVS하도록 식(1) (3)을 이용하여 전기적 파라미터 및 상세 사양을 표 2로 정하였다. 두 Power System의 비교를 위하여 반도체 소자를 제외한 모든 사양은 동일하게 통제 하며, 각 부의 손실(스위치, 정류기, 인덕터, 변압기 등)과 전체 컨버터의 효율을 예측 할 수 있는 시뮬레이션 플랫폼을 P sim9.0의 Thermal Module과 연산 블록을 사용하여 그림 2와 같이 구축하였다.

표 1 GaN FET과 Si MOSFET의 주요 파라미터

Table 1 Major parameter of GaN FET and Si MOSFET

Parameter	GaN FET	Si MOSFET
Product	EPC2001	IPA180N10N3 G
$R_{DS(ON)}$	0.008 Ω	0.029 Ω
Tr [ns]	1.509	3.388
Tf [ns]	1.702	6.958
Q_{RR} [nC]	0	94

표 2 200W급 위상천이 풀-브릿지 컨버터 설계 사양

Table 2 Design Specification of 200W ZVS PSFB Converter

Parameter	Electrical Value	Specification
Vin / Vo	50Vdc / 14Vdc	fs=100kHz
Lf	11[uH]	CH270060
Cf	120[uF]	BXA 220uF 35V
Transformer	44:18:18(Center tap)	EE2525
Rectifier		DSEI 2x 61

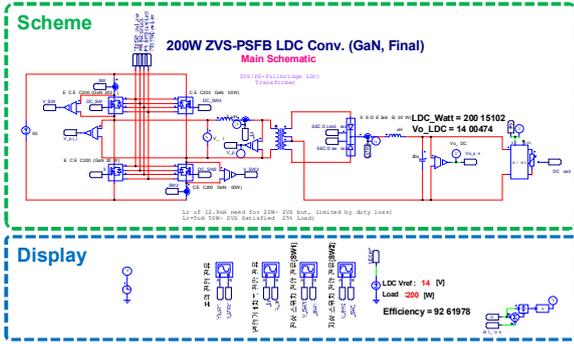
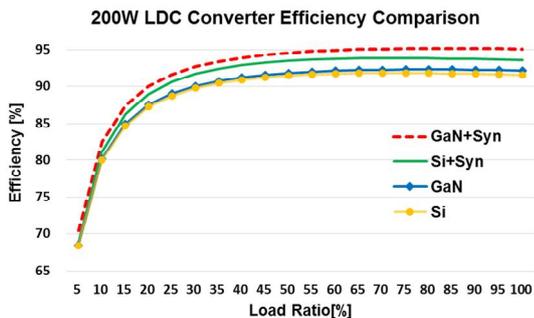


그림 2. 200W GaN Power System 시뮬레이션 플랫폼.
Fig. 2. Simulation platform of 200W GaN Power System.

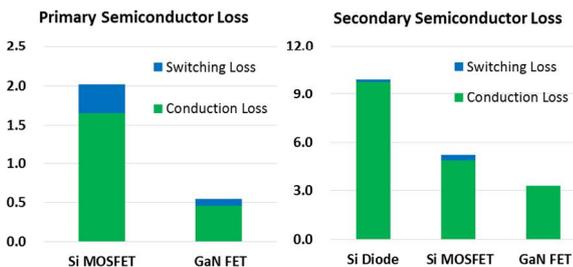
2.1 Si MOSFET vs. GaN FET Power System

그림 3(a)는 반도체 구성에 따른 Power System의 효율곡선을 나타낸다. Si MOSFET을 사용한 경우와 비교하여, GaN FET을 사용한 경우 최대 부하에서 0.5% 가량의 효율향상을 보였다. 이때, 2차측 정류부를 각각의 반도체 소자를 사용하여 동기정류 할 경우에는 GaN FET Power System의 최대효율은 95.18%으로 Si MOSFET Power System과 비교하여 2% 가량의 두드러진 효율 향상을 보였다. 그림 3(b)의 분석결과는 GaN FET의 경우 도통손실과 더불어 스위칭 손실이 기존 대비 큰 비율로 감소하며, 고주파수 운전에 용이함을 알 수 있다.

그림 4의 분석결과는 고주파 운전이 용이한 GaN FET Power System의 동작 주파수가 기존 주파수 100kHz에서부터 증가할 때 효율과 부피관계를 보여준다. 동작 주파수가 증가하면 주요 파워소자의 부피는 이산적으로 감소하고, 손실(코어, 스위치)은 굴곡이 있는 증가함수로 나타난다. 그림 4(c)는 기존 Si MOSFET Power System의 부피와 손실로 정규화 된 GaN FET Power System의 특징을 요약한다. GaN FET의 350kHz로 동작시킬 경우 주요소자의 손실을 25%저감하면서도, 주요소자의 부피를 기존대비 80%가량 줄일 수 있다.



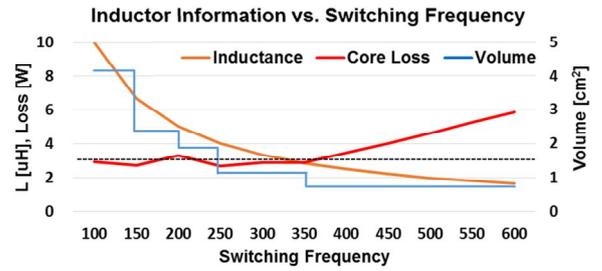
(a) 반도체 구성에 따른 Power System 효율 곡선.



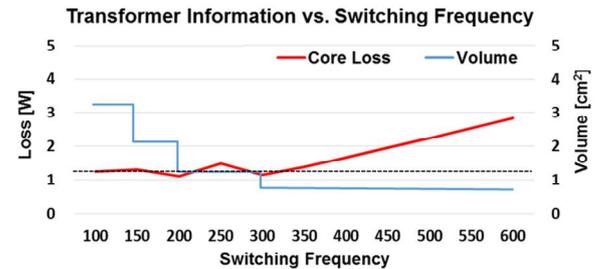
(b) 반도체 소자 손실 비교 (200W, PSFB 컨버터)

그림 3. 200W LDC Power System의 효율 및 손실 비교.

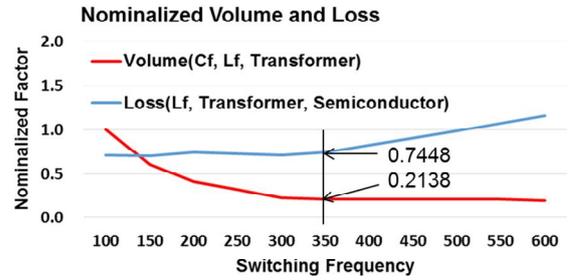
Fig. 3. Efficiency comparison of 200W LDC Power System.



(a) 스위칭 주파수에 따른 인덕턴스, 부피 그리고 손실 관계.



(b) 스위칭 주파수에 따른 변압기 부피 및 손실 관계.



(c) GaN Power System의 스위칭 주파수 별 부피 손실 관계.

그림 4. GaN Power System의 최적 설계점.

Fig. 4. Optimal design point of GaN power system.

3 결론

본 논문에서는 미래형 반도체로 평가 받는 와이드 밴드 갭 소자 GaN FET을 이용하여 Power System을 설계하고, 성능을 선행적으로 모의 평가하였다. GaN FET Power System은 낮은 도통손실과 더불어 고주파 운전에 용이하며, 본 논문의 분석 결과를 바탕으로 타겟 시스템의 동작 주파수를 결정할 경우 25%가량 주요 소자의 손실을 줄이면서도 80%가량의 부피 저감이라는 고효율 고전력 밀도 시스템의 구현이 가능하다. 본 논문은 GaN 소자를 사용한 Power System의 가능성에 대한 선행적 연구로서 가치와 이후의 연구에 대한 기여를 기대한다.

Acknowledgment

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.NRF 2013R1A1A1A1060620)

참고 문헌

- [1] S. J. Pearton et al. "GaN Electronics for High Power, High Temperature Applications," *Electrochem. Soc. Interface*, vol. 9, no. 2, 2000, pp.34-39.
- [2] Strategy Analytics, "GaN Power Market to Rise to \$10 Million in 2012, Says Yole," Mar. 7th, 2012.