

GaN HEMT를 적용한 300W급 무선전력전송 시스템 구현

안철용, 김현빈, 김종수[†]
대진대학교

Implementation of 300W-class Wireless Power Transmission System Using GaN HEMT

Chul Yong Ahn, Hyun Bin Kim, Jong Soo Kim[†]
Daejin University

ABSTRACT

본 논문에서는 GaN(Gallium Nitride) HEMT를 적용한 300W급 자기유도 방식 무선전력전송 시스템을 설계 및 구현한다. GaN HEMT의 물성적 특성을 고려하여 무선전력전송 시스템을 설계하며 이를 검증하기 위해 300W급 Prototype 무선전력전송 시스템을 구현하고 Simulation과 실험을 통해 논문에서 제시한 설계과정의 타당성을 검증한다.

1. 서론

전기자동차와 같은 동체 무선전력전송 시스템의 송신 및 수신 코일은 변위가 일정치 않고 변화하게 되므로 송신 및 수신 코일간 결합계수의 변화가 지속적으로 발생되며 이는 공진주파수의 변화를 일으킨다. 대부분의 무선전력전송 시스템에 사용되는 MOSFET은 출력커패시터의 방전 전류 및 상보적으로 동작하는 반대편 스위치의 역병렬 다이오드의 역회복 전류가 공진전류에 순간적으로 흐르기 때문에 영전류 스위칭(Zero Current Switching, ZCS) 모드로 동작하게 되면 스위치 턴 온 시점에 높은 전류스트레스를 받게 된다.^[1]

따라서 본 논문에서는 기존의 무선전력전송 시스템에서 사용하던 Si기반의 MOSFET 대신 역회복 특성이 좋은 GaN HEMT를 사용하여 ZVS에서 ZCS로 바뀌어도 동작이 가능한 300W급 무선전력전송 시스템을 구현하고 Prototype 무선전력전송 시스템을 제작하여 이에 대한 Simulation 및 실험을 통해 구현의 타당성을 제시한다.

2. 무선전력 전송 시스템

2.1 GaN HEMT vs MOSFET

GaN HEMT의 우수성을 확인하기 위하여 MOSFET과의 소자 특성을 비교하여 표 1에 나타내었으며 각각 동일전압, 전류내량을 지닌 GaN Systems(社)의 GaN HEMT소자와 Infineon(社)의 MOSFET소자의 데이터 시트를 참조하여 작성하였다.

비교 결과 스위치 파라미터 중에서 무선전력전송 시스템에 GaN HEMT를 적용하였을 때 주목해야 할 항목은 ZCS동작시 스위치의 소손에 영향을 미치는 역회복 시간(T_{rr})과 역회복 전하(Q_{rr})이며 GaN HEMT소자는 역회복 전류 및 시간이 없는 장점을 가지고 있다.^[3]

표 1 GaN HEMT 와 MOSFET 비교

Table 1 Comparison between GaN HEMT and MOSFET

Parameter	GaN HEMT (GS66506T)	MOSFET (IPW65R045C7FKSA1)
V_{DS}	650V	650V
I_D	22A	46A
R_{DS}	67m Ω	40m Ω
T_{rr}	0ns	725ns
Q_{rr}	0nC	13uC

이러한 특성으로 인해 GaN HEMT를 무선전력전송 시스템에 적용하였을 경우 짧은 역회복 시간으로 ZCS영역에서도 동작을 가능하게 하고, 스위칭 손실 또한 줄일 수 있다.

2.2 시스템 설계

본 논문에서는 GaN HEMT를 적용한 무선전력전송 시스템의 성능을 평가하기 위해 그림 1과 같은 시스템을 설계 하였다.

송신측 풀브리지 인버터측에 MOSFET 대신 GaN HEMT를 적용하고, 수신측 회로는 다이오드 정류회로를 적용하였다.

또한, 무선전력전송 시스템에서 코일의 전력전달 용량을 증가시키기 위해 커패시터로 보상을 하게 된다. 우선 수신측의 보상커패시터 C_S 는 L_S 의 공진 각주파수 ω 가 송신 코일 전류의 각주파수 ω 와 일치하도록 C_S 를 설계한다. 즉, 수식 (1)을 통해 C_S 가 선정 된다.

$$C_S = \frac{1}{\omega^2 L_s} = \frac{1}{\omega_o^2 L_s} \quad (1)$$

송신측 보상 커패시터 C_P 는 기존 송·수신측 인덕턴스와 커패시턴스를 통하여 도출하게 되는데, 수식(2)와 같은 방법으로 C_P 가 구해진다.

$$C_P = \frac{L_s^2 C_s}{L_p L_s - M^2} \quad (2)$$

코일과 보상회로의 공진 네트워크 값은 참고문헌^[1]의 설계 절차에 따라 선정된 값이고 표 2과 같다.

표 2 무선전력전송회로 시스템 사양

Table 2 System specification for the IPT circuit

Parameter	Value	Parameter	Value
입력전압	130V	L_P	280 μ H
출력전압	100V	L_S	20 μ H
용량	300W	C_P	26.2nF
동작주파수	60~65kHz	C_S	352nF
결합계수	0.198	M	14.8 μ H



그림 4 무선전력전송 시스템 Hardware
Fig. 4 Wireless power transmission system Hardware

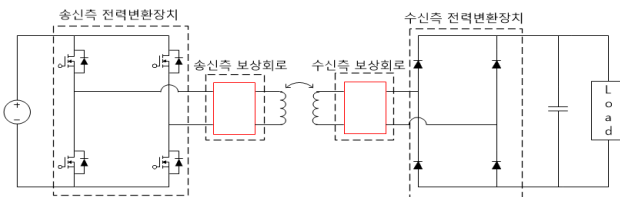


그림 1 무선전력전송 시스템 회로도
Fig. 1 Wireless power transmission system Circuit

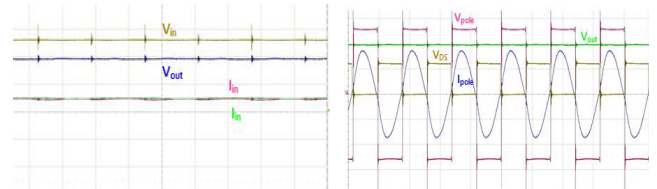


그림 5 무선전력전송 시스템의 주요파형
Fig. 5 Wireless power transmission system important wave

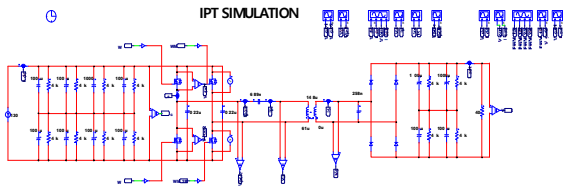


그림 2 무선전력전송 시스템 시뮬레이션
Fig. 2 Wireless power transmission Simulation

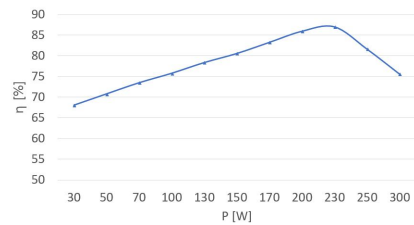


그림 6 무선전력전송 시스템 효율곡선
Fig. 6 Wireless power transmission efficiency curve

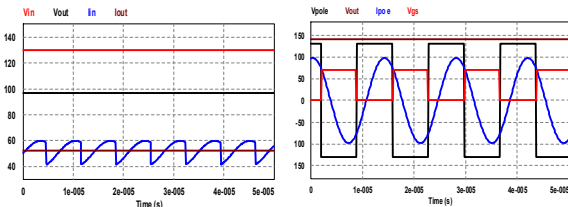


그림 3 무선전력전송 시스템의 시뮬레이션 권선 전압
Fig. 3 Wireless power transmission system important wave

2.3 Simulation 및 실험 결과

그림2과 같이 무선전력전송 시스템을 Simulation으로 구현하였고 시스템의 주요 파형을 그림 3와 같이 확인하였다.

2.2장에서 나타낸 사양을 바탕으로 300W급 무선전력전송 시스템을 그림 4와 같이 구현하였으며, 300W 부하 조건에서 입력 전압 및 전류와 출력 전압 및 전류의 파형을 그림 5에 나타내었다. 또한 송신측 전력변환장치인 풀브리지 인버터의 출력 전압 및 전류의 파형의 위상을 통하여 300W 부하조건에서 ZVS로 동작하던 시스템이 ZCS로 동작하는 것을 확인하였으며, 기존 MOSFET을 사용하였을 때 동작이 불가능 한 ZCS 범위에서도 GaN HEMT를 적용하여 무리 없이 동작하는 것을 실험을 통해 검증하였다.

그림 6은 GaN HEMT를 적용한 무선전력전송 시스템의 효율 곡선을 나타낸다. 효율은 230W 지점에서 최고 효율 87%가 측정되었다.

3. 결론

본 논문에서는 Si기반의 MOSFET 대신 GaN HEMT를 사

용하여 초기 단계의 300W Prototype의 자기유도방식의 무선전력전송 시스템을 설계 및 Simulation과 실험 결과를 제시하여 타당성을 검증하였다. 제작된 무선전력전송 시스템에 대한 실험 결과 스위칭 주파수 60~65kHz로 지정한 범위에서 동작하는 것을 확인하고 MOSFET에서는 동작이 불가능한 ZCS 범위에서도 GaN HEMT를 적용하여 무리 없이 동작하는 것을 확인 하고 효율을 측정 하였다.

추후 입력전압과 출력용량 및 동작주파수 범위를 실제 상용화 되고 있는 범위 내에서 동작하는 것을 확인할 예정이다.

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구 사업임. (NO.NRF 2017R1D1A1B03033140)

참 고 문 헌

- [1] 우동균, “전기자동차용 무선충전 시스템 최적 설계 및 통합 제어 기법”, 박사 학위논문, 2015
- [2] Ming Tsung Tsai, “Switching strategy comparison of SP compensated inductive power transfer system”, International Conference On Applied Electronics(AE), 2017
- [3] 장바울, “GaN FET을 이용한 토렘폴 구조의 브리지리스 부스트 PFC 컨버터”, 전력전자학회 논문지 제 20권 제3호, 2015.6