

# 무선충전 인프라 시스템을 위한 50kW DC/DC 전력 모듈 최적 설계 방법

윤광식<sup>1)</sup>, 정승민<sup>1)</sup>, 염정원<sup>1)</sup>, 정한빛<sup>1)</sup>, 임창민<sup>1)</sup>, 이일운<sup>1\*</sup>  
명지대학교<sup>1)</sup>

## Optimal Design Method of 50kW DC/DC Unit Power Module for Wireless Infrastructure System

Gwang-Sik Yun, Seung-Min Chung, Jeong-Won Yeom, Han-Bit Jeong, Chang-Min Lim  
and Il-Oun Lee  
Myongji University

### ABSTRACT

본 논문은 무선충전 인프라 시스템을 위한 50kW급 DC/DC 전력 모듈 최적 설계 방법을 발표한다. 해당 토폴로지는 600V 출력 사양을 갖는 LLC 공진형 컨버터, 직·병렬 전환 스위치를 통해 150~1000V의 넓은 출력 사양을 갖는 Buck 컨버터로 구성되었다. 또한, 양방향 동작을 위하여 LLC 공진형 컨버터 2차 측 정류 다이오드를 SiC MOSFET으로 변경하였다. 높은 전력 밀도 달성을 위해 ansys 소프트웨어를 활용하여 크기와 손실을 고려한 여러 사양의 자성체들을 분석하였고, 최적의 자성체를 선정하였다.

가지게 한다. Buck 컨버터 출력단은 배터리 전압에 맞추어 직렬 또는 병렬로 연결되도록 구성하여 넓은 전압 범위에서 Buck 컨버터가 동작 되도록 한다.

방전모드시 Buck 컨버터가 Boost 컨버터로 동작하여 넓은 입력 전압범위를 가지게 한다.

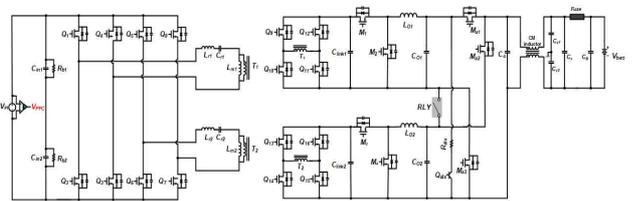


그림 1. 25kW급 DC/DC 토폴로지

### 1. 서 론

화석연료 사용을 통한 지구온난화 문제가 대두됨에 따라 화석연료 이용을 감축하기 위해 전기자동차 시장이 빠르게 성장하고 있다. 전기자동차 시장의 빠른 성장에 맞추어 전기차 배터리의 평균용량도 증가하고 있다. 이러한 전기차 배터리를 에너지저장장치(ESS)로 활용할 경우 도시의 전력망을 효율적으로 관리가 가능하다. 현재, 2025년부터 전기차 및 완속 충전시설에 양방향 충전기술 탑재를 의무화하는 법안이 발의된 만큼 양방향 충전이 가능한 전기자동차 충전기술 개발이 시급하다.

양방향 충전기의 경우 차량마다 요구되는 배터리 전압범위가 다양하기에 넓은 전압 범위에서 동작해야 하며 사용자의 편의를 위해 충전 및 방전시간 단축도 필요하다. 본 논문은 150~1000V의 넓은 출력전압 범위를 가지며 충·방전 모두 50kW 출력이 가능한 DC/DC 전력 모듈을 발표한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 50kW DC/DC 전력 모듈 구성

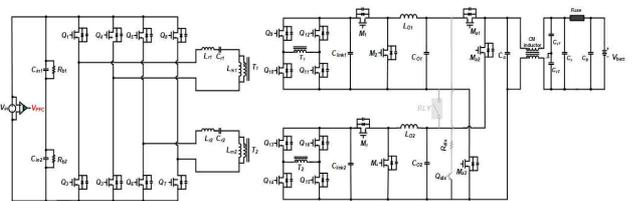
그림 1은 본 논문에서 발표하는 양방향 동작이 가능한 50kW급 DC/DC 전력 모듈이다. 50kW 단일 전력 모듈을 구현하기엔 자성체 선정 및 스위치 선정이 어렵기에 25kW DC/DC 전력 모듈을 2병렬하여 50kW DC/DC 전력 모듈을 구현하였다. 고효율, 고전력 밀도를 달성을 위하여 LLC 공진형 컨버터를 채택하였으며 고효율 달성을 위하여 공진 주파수에서 고정 주파수로 동작한다. 고정 주파수 동작의 단점인 좁은 가변 범위의 출력전압은 Buck 컨버터를 사용하여 넓은 출력전압 범위를

#### 2.2 50kW DC/DC 전력 모듈 동작 구조

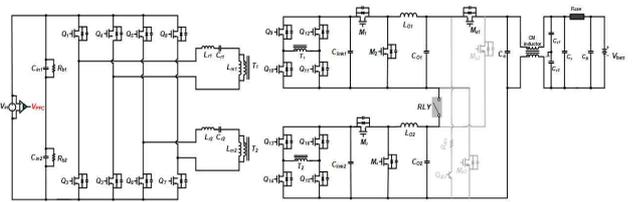
고정 주파수로 동작하는 LLC 컨버터의 경우 고정 입력전압 800V, 고정 출력전압 600V로 동작한다. 넓은 출력전압 범위에서 Buck 컨버터가 동작하도록 550V를 기준으로 Buck 컨버터 출력단을 직·병렬 결선한다.

저전압(150~550V)조건 시 그림 2(a)와 같이 릴레이가 차단되고 직·병렬 전환스위치  $M_{a1}$ ,  $M_{a2}$ ,  $M_{a3}$ 이 동작하여 벡 컨버터가 병렬 결선된다.

고전압(550~1000V)조건 시 그림 2(b)와 같이 릴레이가 도통되고 직·병렬 전환스위치  $M_{a1}$ 이 동작하여 벡 컨버터가 직렬 결선된다.



(a) 저전압(150~550V) 조건에서의 회로구성



(b) 고전압(550~1000V) 조건에서의 회로구성

그림 2. 출력전압에 따른 회로구성

## 2.3 토폴로지 설계

### 2.3.1 공진 파라미터 설계

높은 스위칭 주파수 사용 시 자성체의 크기를 줄일 수 있지만 스위치의 턴오프 손실이 높아져 히트싱크의 크기가 커진다. 반대로 낮은 스위칭 주파수 사용 시 스위치의 턴오프 손실이 낮아져 히트싱크의 크기는 작아지지만 자성체의 크기가 커져야 한다. 자성체의 크기와 히트싱크의 크기를 고려하여 공진 주파수를 120kHz로 선정하였다.

그림 3은 120kHz의 공진 주파수를 가지게 하는 공진 파라미터들을 정리한 그림이다. 공진 인덕터 코어의 크기, 공진 캐패시터의 내압을 고려하여 선정된 공진 인덕턴스는 21.5μH, 공진 캐패시터는 82.5nF이다.

고정 입력전압 800V, 고정 출력전압 600V를 가지기 때문에 변압기의 권선비는 식(1)과 같이 변압기 권선비가 선정되었다.

$$n = \frac{N_s}{N_p} = \frac{V_{in}}{V_{out}} = \frac{800}{600} = 1.333 \quad (1)$$

변압기의 자화 인덕턴스는 영전압 스위칭이 가능하도록 식(2)를 고려하여 140μH로 설계하였다.

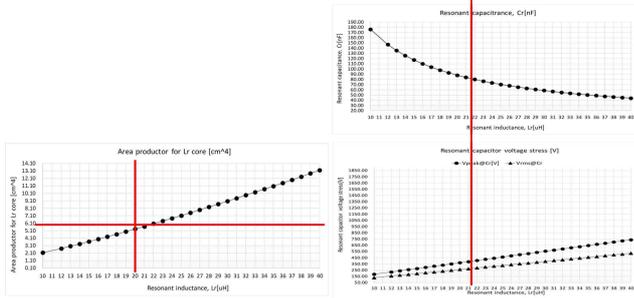


그림 3. 공진 파라미터별 인덕터 크기 및 캐패시터 내전압

$$I_{LM(ZVS)} = 2C_{DS} \frac{V_{S(max)}}{T_{dead}}, L_{m(max)} = \frac{0.25n V_{O(nor)}}{I_{LM(ZVS)} f_o} \quad (2)$$

### 2.3.2 변압기 설계

고전력 밀도 달성을 위해 식(3)을 통해 제작 가능한 변압기 코어를 선정 후 PCB 차지 면적 및 ansys 소프트웨어를 이용한 열해석 결과를 토대로 EE6565S 높이 60mm가공으로 선정하였다. 고효율 달성을 위해 샌드위치 권선법을 사용하여 누설 인덕턴스를 최소화하였다.

그림 4는 변압기 열해석 결과로 FAN을 강제 공랭 조건에서 변압기의 온도가 90°C미만이 되도록 설계하였다.

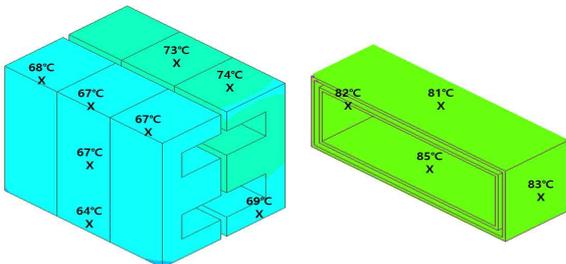


그림 4. 변압기 열해석 결과

$$A_p \geq \left[ \frac{11.1 \times P_{in} \times 10^4}{k_f \times \Delta B \times f} \right] [cm^4] \quad (3)$$

### 2.3.3 공진 인덕터 설계

변압기의 누설 인덕턴스를 고려하여 공진 인덕터의 인덕턴스는 16μH로 설계하였다. 식 (4)에서 공극의 길이와 철손을 고려하여  $B_{max}$ 를 0.15T로 설정하였으며 공극의 길이 및 고전력 밀도 달성을 고려하여 높은  $A_e$ 를 가지는 PQ5050S 코어를 선정하였다. 공극의 길이는 식 (5)를 통해 계산된다.

$$A_p \geq \left[ \frac{L_r \times I_{peak}^2 \times 10^4}{k_f \times B_{max} \times J} \right] [cm^4], N \geq \left[ \frac{L_r \times I_{peak} \times 10^4}{B_{max} \times A_e} \right] \quad (4)$$

$$l_g = \left[ \frac{\mu_0 \times N_p^2 \times A_e}{L} \times 0.1 \right] [mm] \quad (5)$$

### 2.3.4 벽 인덕터 설계

식 (6)을 통하여 벽 인덕터의 인덕턴스를 설계할 수 있다. 설계한 인덕턴스와 전류 실효치의 제곱을 곱하면 인덕터의 코어를 결정할 수 있다. 낮은 전류밀도, 고전력 밀도 달성 DC bias를 고려하여 E-type Megaflex 60μ 6533A 코어, 24turns를 선정하였다.

$$L = \frac{(V_{IN} - V_O)}{\Delta I \times f_s} \times \frac{V_O}{V_{IN}} \quad (6)$$

### 2.3.5 스위치 설계

최대 전압의 90%, RMS 전류의 50%, Peak 전류의 70% 마진을 가지도록 스위치를 설계하였다.

전기적 마진 및 소자 수급을 고려하여 LLC 컨버터는 G3R20MT12K SiC-MOSFET을 선정하였으며 Buck 컨버터는 G3R12MT12K SiC-MOSFET을 선정하였다.

## 3. 결론

본 논문에서는 무선충전 인프라 시스템 구축을 위한 50kW급 양방향 DC/DC 전력 모듈을 최적 설계하는 방법을 논하였으며 완성된 설계를 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

추가 연구계획으로 실제 50kW급 양방향 DC/DC 전력 모듈 하드웨어를 구축하여 효율 및 제한하는 전력 모듈의 타당성을 검증할 계획이다.

본 논문은 산업통상자원부와 한국산업기술평가원의 “자동차산업기술개발(그린카)(No. 20019073, 차량용 모듈러형 고집도 전력모듈 및 고전력밀도 전력변환 적용기술 개발)”의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

## 참고 문헌

- [1] Taeyong Lee, Il-Oun Lee, Younghoon Cho, Hangoo Kim, Junseok Cho, & Gyu-Ha Choe (2016-11-25). LLC Resonant and Synchronous Buck Converter Based High Efficiency Battery Charger for Energy Storage Systems. Power Electronics Conference, 경기.
- [2] Se-Young Bae, Dal-Hyeon Cho, Min-Gi Choi, Joo-Eun Kim, & Il-Oun Lee (2023). A 40kW, 100-1000V Output DC/DC Unit Power Module for EV Fast Chargers. THE TRANSACTIONS OF KOREAN INSTITUTE OF POWER ELECTRONICS, 28(6), 470-483, 10.6113/TKPE.2023.28.6.470