

트랜스포머를 공유하는 다입력 LLC 공진형 컨버터설계

김민중, 유승희, 김동희, 이병국*
성균관대학교 정보통신대학

Design of Multi Input LLC Resonant Converters with Shared Transformer

Min Jung Kim, Seung Hee Ryu, Dong Hee Kim, and Byoung Kuk Lee*
College of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문에서는 트랜스포머를 공유하는 다입력 LLC 공진형 컨버터를 설계하기 위한 과정을 제시한다. 전원 종류에 따라 다입력 전원을 배터리 충전기에 사용되는 LLC 공진형 컨버터의 공진 네트워크를 설계한다. 시스템 효율을 증가시키기 위해 비대칭 듀티 제어법을 적용하였으며, 2.2kW/600W급 배터리 충전기를 제작 구현함으로써 설계과정의 타당성을 검증한다.

1. 서론

최근의 전자제품은 높은 전력밀도와 고효율 특성을 가지면서, 다양한 기능을 수행할 수 있도록 연구가 진행되고 있다. LLC 공진형 컨버터는 높은 스위칭 주파수로 동작하면서, 영전압 스위칭을 통해 스위칭 손실을 최소화 할 수 있다. 또한 트랜스포머를 공유하여 다중 출력 시스템을 구성할 수도 있어서 시스템 전력밀도를 향상시킬 수 있다. 이러한 장점으로 인해 LLC 공진형 컨버터는 배터리 충전기 및 디스플레이용 전원장치에 사용된다^[1].

본 논문에서는 트랜스포머를 공유하는 다입력 LLC 공진형 컨버터를 적용한 배터리 충전기를 제안한다. 신재생 에너지에 대한 연구가 이루어지면서, 다양한 에너지원을 배터리 충전기의 전원으로 이용할 수 있게 되었다. LLC 공진형 컨버터의 경우 트랜스포머와 2차 측 정류단을 공유함으로써 2 입력 전원용 배터리 충전기를 구성할 수 있다. 2 입력 전원을 갖는 배터리 충전기의 효율을 향상시키기 위해서, 비대칭 듀티 제어법을 적용하여 시스템을 설계 방법을 제시하고, 각각 2.2kW와 600W 용량을 갖는 다입력 LLC 공진형 컨버터를 제작하여 타당성을 검증한다.

2. 공진 네트워크 설계

그림 1은 본 논문에서 제안하는 다입력 배터리 충전기의 회로도이다. 배터리 충전기는 전원 조건에 따라 2.2kW와 600W의 용량으로 설계되었으며, 각각 풀 브릿지 구조와 하프 브릿지 구조로 구성된다. 하프 브릿지 회로 구성 시 부하가 증가할수록 풀 브릿지 회로에 비해 도통손실이 커지기 때문에 2.2kW 충전기는 풀 브릿지 회로로 구성하였으며, 600W 충전기는 하프 브릿지 회로로 구성하였다. 배터리 충전기의 주요 입출력 사양은 표 1과 같다. 제안하는 다입력 LLC 공진형 컨버터는

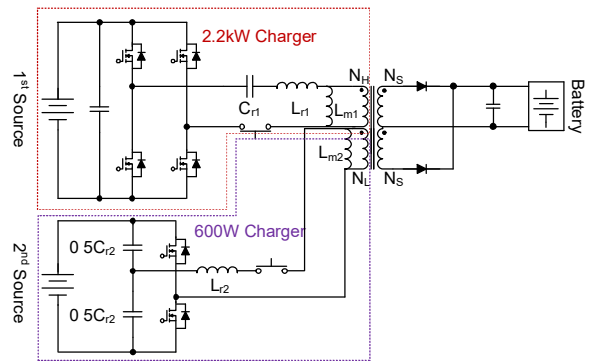


그림 1. 제안하는 다입력 배터리 충전기.
Fig. 1. Proposed the battery charger with multi input.

표 1 배터리 충전기 입출력 사양
Table 1 Parameters of the battery charger

Parameter	Value
$V_{in1} \& V_{in2}$	220 430 [V]
V_{o1}	12.5 14.5 [V]
$I_{o,max} (@ 2.2kW)$	130 [A]
$I_{o,max} (@ 600W)$	40 [A]
$f_{o,max}$	150 [kHz]

높은 출력전류 특성을 고려하여 트랜스포머 2차측은 Busbar로 구성하였으며, 전력밀도 향상을 위해 트랜스포머와 2차 측 정류단을 공유하는 구조를 가진다. 또한 공진 네트워크의 공진 인덕턴스의 크기는 트랜스포머의 누설 인덕턴스 성분을 이용하여 시스템 부피를 최소화 하였다. 각각의 LLC 공진형 컨버터는 입력 전원의 상태에 따라서 선택적으로 동작하며 두 충전기의 1차측 공진네트워크에 릴레이를 추가하여 개별 동작 시 공진전류가 상호 간섭하는 것을 방지하였다. 일반적인 LLC 공진형 컨버터의 전압전달 식은 식 (1)과 같다. 식 (1)에 나타났듯이 LLC 공진형 컨버터의 전압 전달비는 부하 크기, 스위칭 주파수, 자화인덕턴스와 공진인덕턴스의 비에 의해서 결정된다.

$$M_g = \left| \frac{\frac{L_m}{L_r} \times f_n^2}{\left[\left(\frac{L_m}{L_r} + 1 \right) \times f_n^2 - 1 \right] + j \left[\left(f_n^2 - 1 \right) \times f_n \times \frac{\pi^2 N^2 L_m \sqrt{L_r C_r}}{8 R_o L_r} \right]} \right| \quad (1)$$

$$f_n = \frac{f_{sw}}{f_o} = 2\pi f_{sw} \sqrt{L_r C_r} \quad (2)$$

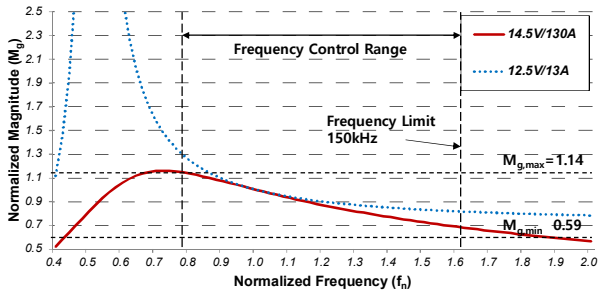


그림 2. 2kW LLC 공진형 컨버터 전압이득 곡선.
Fig. 2. Voltage gain curves of 2.2kW LLC resonant converter.

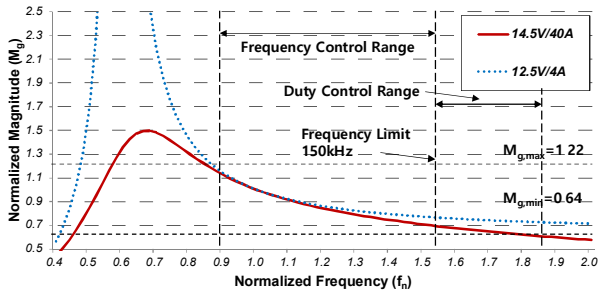


그림 3. 600W LLC 공진형 컨버터 전압이득 곡선.
Fig. 3. Voltage gain curves of 600W LLC resonant converter.

트랜스포머의 누설 인덕턴스 성분을 이용하여 입출력 조건을 만족시키기 위해서는 공극의 크기를 가변해야 하는데, 트랜스포머를 공유하는 시스템에서 두 시스템 모두 운전영역을 만족 하면서 높은 효율을 가지도록 설계하는데 어려움이 있다. 따라서 600W 배터리 충전기는 150kHz 동작이 필요한 영역은 비대칭 듀티를 제어함으로써 시스템 효율을 향상시켰다. 그림 2와 그림 3은 각 LLC 공진형 컨버터의 전압이득 곡선이며, 공진 네트워크의 특성값은 표 2와 같다. 비대칭 듀티 제어 방법을 적용할 경우 전압전달 식은 식 (3)과 같다. D는 하프 브릿지 구조에서 상단 스위치의 듀티이며, 0.5보다 작은 값으로 제어하고 하단 스위치의 듀티는 (1-D)로 제어함으로써 주파수 제어에 비해 동일 주파수로도 낮은 전압전달 비를 가져갈 수 있다. 이를 통해 경부하에서 제한된 주파수로 최소 전압 전달비를 출력할 수 있다.

$$M_g = \frac{2\sqrt{2}\sin(\pi D)}{\pi\sqrt{(1+\lambda-\frac{\lambda}{f_n^2})+Q^2(f_n-\frac{1}{f_n})^2}} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{L_r}{L_m} \quad (4)$$

$$Q = \frac{\pi^2 N^2 \sqrt{L_r/C_r}}{8R_o} \quad (5)$$

표 2 LLC 공진형 컨버터 특성값
Table 2 Parameters of LLC resonant converters

2.2kW LLC resonant converter		600W LLC resonant converter	
Parameter	Value	Parameter	Value
L_{r1}	53.1 [μ H]	L_{r2}	39.8 [μ H]
L_{m1}	148.9 [μ H]	L_{m2}	75.7 [μ H]
C_{r1}	67.2 [nF]	C_{r2}	67.2 [nF]
f_{o1}	84.3 [kHz]	f_{o2}	97.3 [kHz]
$N_H : N_S$	29 : 1	$N_H : N_S$	19 : 1

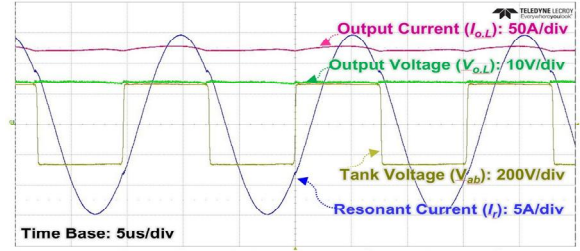


그림 4. 2.2kW LLC 공진형 컨버터 실험 파형
Fig. 4. Experimental Waveform of 2.2kW LLC resonant converter.

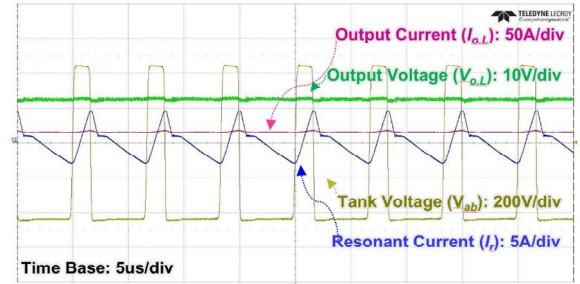


그림 5. 600W LLC 공진형 컨버터 실험 파형
Fig. 5. Experimental Waveform of 600W LLC resonant converter.

그림 4는 2.2kW LLC 공진형 컨버터가 19kW 동작 시 최대 전압 이득 조건에서 동작할 때 실험 파형이다. 입력 전압은 260V, 출력 전압은 14.5V, 출력 전류는 130A, 동작 주파수는 69.7kHz인 조건이며 전자부하를 이용하여 측정하였다. 그림 5는 600W LLC 공진형 컨버터가 200W 동작 시 최소 전압 이득 조건에서 듀티 제어를 통해 동작할 때 실험 파형이다. 입력 전압은 430V, 출력 전압은 12.5V, 출력 전류는 16A, 동작 주파수는 150kHz인 조건이며 전자부하를 이용하여 측정하였다. 각 시스템의 최대 효율은 2.2kW LLC 공진형 컨버터는 93.2%, 600W LLC 공진형 컨버터의 경우 92.2%를 얻었다.

3. 결론

본 논문에서는 트랜스포머를 공유하는 구조를 갖는 다입력 LLC 공진형 컨버터를 이용하여 배터리 충전기를 설계하였다. 각각의 충전기의 용량은 2.2kW와 600W로 설계 되었으며, 제한된 설계 조건에서 시스템 효율과 동작 조건을 만족하기 위해 비대칭 듀티 제어 방법을 적용하였다. 각 시스템은 92% 이상의 고효율을 달성하였으며, 신재생 에너지 등을 이용한 다전원 시스템을 연결한 배터리 충전기에 응용할 수 있다.

Acknowledgment

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “그린 전기자동차 차량부품개발 및 연구기반구축사업”의 지원을 받아 수행된 연구결과임

참고 문헌

- [1] B. G. Dobbs and P. L. Chapman, "A multiple input dc dc converter topology," IEEE Power Electron. Lett., vol. 1, no. 1, pp. 6-9, Mar. 2003.
- [2] S. H. Ryu, "Adjustable Frequency Duty Cycle Hybrid Control Strategy for Full Bridge Series Resonant Converters in Electric Vehicle Chargers," IEEE Transaction on Industrial Electronics. vol. 91, no. 10, pp. 5354-5362, October 2014.