

넓은 입력 및 출력전압 범위를 갖는 500W용 LLC 공진컨버터 토폴로지 구성 비교 분석

조용기, 유승희, 김민중, 이병국*
성균관대학교 정보통신대학

Comparative Analysis of 500W LLC Resonant Converters for wide Input and Output Voltage Range

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

ABSTRACT

본 논문에서는 넓은 입력 및 출력전압 범위를 갖는 LLC DC DC 컨버터 구성에 있어서 1:2 차 측 토폴로지별 입력 전압 및 부하 변동에 따른 주요 소자에 대한 이론적 해석 및 PSIM 시뮬레이션을 통해 손실을 예측·비교함으로써 500 [W] 용 LLC 공진컨버터에 적합한 토폴로지 구성을 제안한다.

1. 서론

전기자동차용 충전기 및 태양광 발전 등 넓은 입출력 전압을 요구하는 시스템에서 LLC 공진컨버터는 고효율과 높은 전압밀도의 장점을 가지고 있기 때문에 많이 사용된다. 그러나 LLC 공진컨버터는 스위칭 주파수, 공진탱크, 부하 등에 의해 손실 및 효율이 달라지기 때문에 구성할 수 있는 토폴로지별 효율 예측 및 비교가 필요하다. 넓은 입출력전압범위에서 높은 효율을 가지는 토폴로지를 선정하기 위해 그림 1과 같이 네 가지의 LLC 공진컨버터 방식으로 토폴로지를 구성한다. 네 가지 구조의 토폴로지를 비교한 목적은 1차 측의 Full bridge구조인 경우 Half bridge에 비하여 더 넓은 출력전압 범위를 가지고, 공진전류가 적게 흐르는 장점을 가지고 있기 때문이다. 또한 2차 측의 Center tap구조는 저전압, 대전류에서 효과적인 구조이고, Full bridge구조는 고전압, 저전류에서 적절한 방식이다.

본 논문에서 제안한 설계사양에서는 Center tap방식이 적절하지만 Full bridge구조는 다이오드 내압이 2배로 증가하기 때문에 비교를 하게 되었다. 위와 같은 목적으로 구성된 토폴로지를 시뮬레이션을 통하여 능동소자 및 수동소자의 손실을 계산한 후 효율을 예측해보고, 가변하는 입출력전압 조건에서 높은 효율을 가지는 토폴로지를 선정한 뒤, 500 [W]용 LLC 공진컨버터를 구성한다.

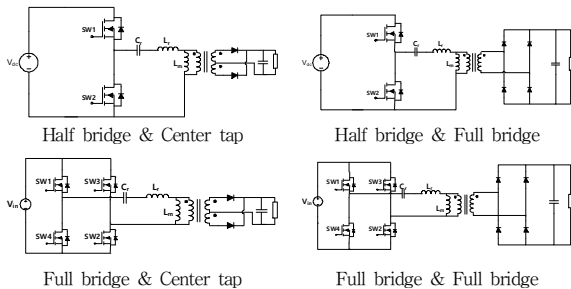


그림 1. 구성 가능한 네 가지 방식의 토폴로지.
Fig. 1. 4 types LLC converter topologies.

2. 본론

2.1. LLC 공진컨버터 구성

기본과 분석 (First Harmonic Approximation, FHA)을 근거로 하여 Half bridge 및 Full bridge구조의 LLC 공진컨버터를 구성한다^[1]. 표 1은 Half bridge 및 Full bridge구조의 설계사양을 나타낸다.

표 1 Half bridge 및 full bridge구조의 공진탱크 파라미터
Table 1 Resonant tank parameters of half bridge and full bridge type

| 종류 | Half bridge | Full bridge |
|--------------|-------------|-------------|
| V_{in} [V] | 220 | 420 |
| V_o [V] | 11 | 15 |
| P_o [W] | 500 | |
| C_r [nF] | 71.4 | 298 |
| L_r [uH] | 35.5 | 849 |
| L_m [uH] | 65 | 155.5 |
| $N_1 : N_2$ | 10.6 : 1 | 21.2 : 1 |

식 (1)은 규준화된 동작주파수 (f_n), L_m 과 L_r 의 비 (λ)와 Q factor를 이용한 전압이득 식을 나타낸다. 네 가지 토폴로지의 최대, 최소동작주파수 및 전압이득이 동일하므로 전압이득 곡선 (M)은 그림 2로 나타낼 수 있다.

$$M = \frac{1}{\sqrt{(1 + \lambda - \frac{\lambda}{f_n^2})^2 + Q^2(f_n - \frac{1}{f_n})^2}} \quad (1)$$

2.2 효율 계산 및 비교 분석

효율을 계산하기 위하여 입력전압(220 ~ 420 [V]), 출력전압(11 ~ 15 [V])으로 하고, 시뮬레이션을 이용하여 반도체스위치에서 발생하는 도통손실, 스위칭 손실 및 2차 측 다이오드 도통손실, 트랜스포머에서 발생하는 철손과 동손을 계산한다. 다음의 표 2는 손실계산을 통해 입출력전압과 부하가변에 따른 효율변화를 나타낸다.

표 2 입출력 전압 및 부하가변에 따른 효율 변화
Table 2 Efficiency variation of input and output voltage and load

| 종류 | 상태 변화 | 효율 |
|-------|--------------------------|----|
| 입력고정 | 출력 (11 → 13 → 15 [V]) | 상승 |
| 출력고정 | 입력 (220 → 300 → 420 [V]) | 저하 |
| 입출력고정 | 경부하 → 최대부하 | 상승 |

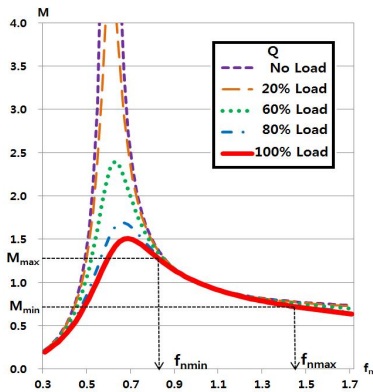


그림 2. 토폴로지의 전압 이득 곡선.
Fig. 2. Voltage gain curve of topology.

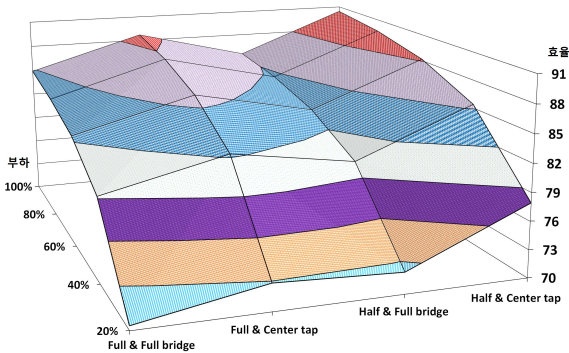


그림 3. 부하가변에 따른 토폴로지 효율 (@300 [V] - 13 [V]).
Fig. 3. Efficiency of topologies according to load variation (@300 [V] - 13 [V]).

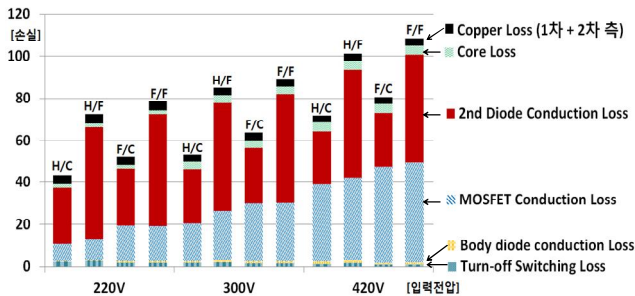


그림 4. 최대부하 (100%)에서의 토폴로지 손실 분석.
Fig. 4. Loss analysis at maximum load.

그림 3은 입력 300 [V], 출력 13 [V]일 때 부하가변에 따른 각 토폴로지별 효율을 나타낸다. 그림 3을 통해 가변부하상태에서 Half bridge 및 Center tap구조인 경우 넓은 부하범위영역에서 효율이 다른 토폴로지에 비하여 우수하였다. 그림 4와 5는 입력전압을 가변하고, 출력전압을 고정했을 때 최대부하와 경부하에서의 토폴로지별 능동소자 및 수동소자의 누적손실을 나타낸다. 모든 부하 영역에서 입력전압 상승 시 스위칭 주파수 상승으로 인해 토폴로지에서 반도체스위치손실은 증가한다. Half bridge구조인 경우 Full bridge구조에 비하여 더 큰 공진전류가 흐르기 때문에 개별 스위치에서 발생하는 손실의 양은 크지만 전체 시스템에서는 스위치 개수에 손실양이 비례하므로 Full bridge구조가 더 큰 손실을 갖는다. 또한 2차 측 다이오드에서 발생하는 도통손실은 Full bridge구조가 Center

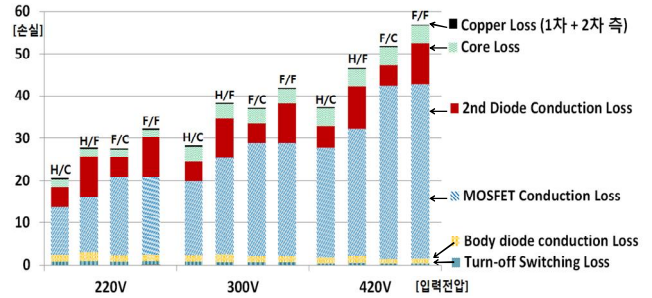


그림 5. 경부하 (20%)에서의 토폴로지 손실 분석.
Fig. 5. Loss analysis at light load.

tap구조에 비하여 2배 많은 소자를 사용하기 때문에 전체 손실 양은 증가한다.

본 논문에서는 그림으로 표현이 되지 않았지만 시뮬레이션을 통해 표 2의 결과와 같이 입력전압고정 시 출력전압을 상승하게 되면 동일한 부하에서 2차 측 전류가 감소하므로 다이오드 도통손실이 감소하게 되어 전체적인 손실양이 감소하였다. 입력전압 및 부하가변을 통하여 가장 적은 손실을 가지는 것은 Half bridge 및 Center tap구조인 경우였다. 모든 입력력 및 부하 사양에 공통적으로 적용되는 것은 아니지만 본 논문에서 제안한 500 [W]용 LLC 공진컨버터에서 높은 효율을 가지는 토폴로지는 Half bridge 및 Center tap구조였다.

3. 결론

본 논문에서는 토폴로지별 능동소자 및 수동소자의 손실을 계산함으로써 효율을 예측하였다. 예측한 결과로 500 [W]용 LLC 공진컨버터로 최종 선정된 토폴로지는 1차 측 Half bridge, 2차 측 Center tap인 구조이다. 선정된 토폴로지에서 가장 높은 효율을 보인 경우는 입력 220 [V], 출력 15 [V], 최대부하이었을 때 약 92.6 [%]의 효율을 획득하였다. 향후 얻어진 결과를 토대로 시험제작을 하여 입력전압 및 부하가변상태에 따른 실제효율을 측정할 계획이다.

본 연구는 2010년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.
(No. 20124010203300)

참고 문헌

[1] STMicroelectronics Application note, "LLC resonant half bridge converter design guideline," 2007.
[2] Wei Chen, Zhengyu Lu, "Investigation on Topology for Type 4 LLC Resonant DC DC Converter," *IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC2008)*, pp. 1421-1425, 2008.