

# LLC 하프브리지 공진형 컨버터의 효율 특성 검토

조영표 · 이헌수 · 유지윤  
고려대학교 전기전자전파공학부

## The Investigation of Efficiency Characteristics for LLC Half-Bridge Resonant Converter

YoungPyo Cho · HeonSu Lee · JiYoon Yoo  
Department of Electrical Engineering, Korea University

### ABSTRACT

본 논문은 LLC 공진형 컨버터의 효율 특성 검토에 관한 연구이다. 고효율을 구현하기 위하여 제안된 동기정류기형 LLC 하프브리지 공진형 컨버터를 채택하였으며 출력측 회로에 다이오드 대신 능동 스위칭 소자(MOSFET)를 사용하였다. 본 논문에서는 고효율 컨버터를 구현함에 있어 몇가지 경우의 입력 및 출력 조건에서 고효율을 갖는 스위칭 소자를 선정하였고 실제 스위칭 소자의 특성을 반영한 시뮬레이션을 통해 LLC 하프브리지 공진형 컨버터의 효율 특성을 검토하고 개선효과도 확인하였다.

### 1. 서론

최근 저탄소 녹색성장에 부합되는 신·재생에너지에 대한 보급이 대폭적으로 증가하고 있다. 이러한 신·재생에너지 중 태양광, 연료 전지 등 일부는 직류 발전되어 교류로 변화하여 기존 계통에 연계시켜 전력을 공급한다. 또한 전력계통에서 공급받은 교류는 상당 부분 다시 직류로 변화하여 부하에 전력을 공급한다. 이러한 여러번의 변환 과정에서 많은 전력 손실이 일어난다. 따라서 이러한 손실을 줄이고자 DC배전의 필요성이 대두되고 있다. DC배전의 초기 단계에서는 48V 시스템이 표준화 되고 일부 상용화 되었으나, 저전압, 대전류로 인해 도선의 단면적이 증가함으로써 공간 효율성이 떨어지는 단점이 있어 300V~400V 정도의 고압의 DC를 배전하는 방식이 부각되고 있다.<sup>[1]</sup> 본 논문에서는 이와 같은 DC 배전 시스템에서 효율 개선을 위해 제안된 LLC 하프브리지 공진형 컨버터와 동기정류기형 LLC 하프브리지 공진형 컨버터에 대해 입력전압과 출력전압의 관계를 통해 효율 특성을 검토하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 LLC 공진형 컨버터

전력 시스템 설계 시 효율, 온도관리, 전압조절, 신뢰성, 전력밀도, 비용 등이 주된 이슈가 되고 있다. 따라서 DC-DC 컨버터에서 높은 효율과 전력밀도를 높이기 위한 빠른 스위칭 주파수를 실현시키기 위해 그림 1과 같이 LLC 공진형 컨버터에 대한 연구가 진행되어 왔다.<sup>[2]</sup> 그림 2는 입력전압( $V_{in}$ ) 400V, 출력을 1kW 48V로 정하고 표 1의 변수값으로 설계했을 때 LLC 공진형 컨버터의 파형을 나타낸 것이다. 그림 2의 두 번째 파형에서 나타나는 것과 같이 자화 인덕턴스( $L_m$ )의 영향으로 ZVS(Zero Voltage Switching)이 일어나는 것을 확인할 수 있다.

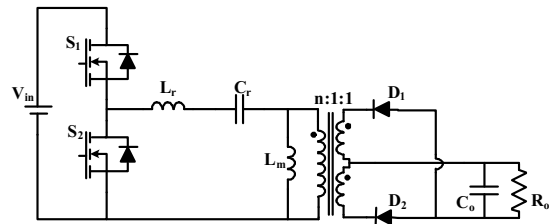


그림 1. LLC 공진형 컨버터  
Fig.1 LLC Resonant Converter

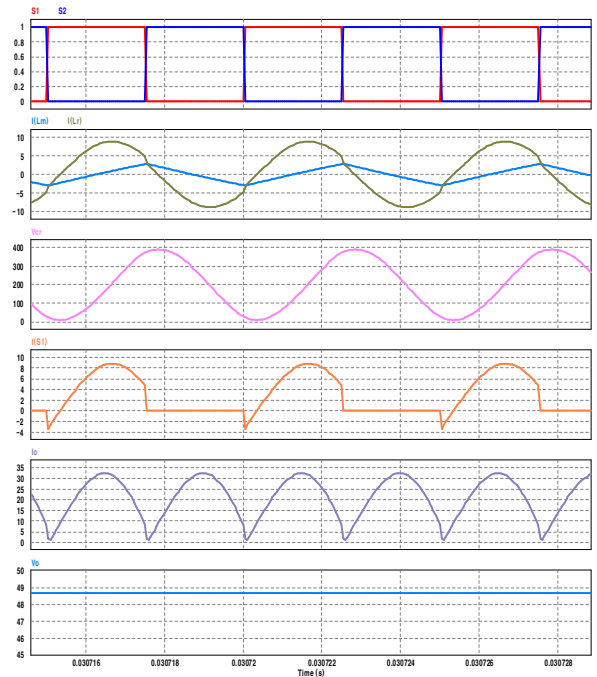


그림 2 . LLC 공진형 컨버터 파형  
Fig.2 Waveform of LLC Resonant Converter

MOSFET S1, S2 는 IXFR24N50, Diode D1, D2는 FFA60UP20DN로 구성된 그림 1의 회로소자에서 발생하는 손실을 그림 3 (a)에 나타냈다. 소자에서 발생하는 손실을 비교해 보면 2차측의 Diode 전도손이 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 그러므로 LLC 공진형 컨버터의 효율 개선을 위해서는 2차측 Diode 전도손을 감소시키는 것이 효과적이며 따라서 동기 정류기형 LLC 공진형 컨버터에 대한 연구가 진행 되고 있다.

표 1. LLC 공진형 컨버터 파라미터

Table 1. Parameter of LLC Resonant Converter

변수	$V_{in}$	$L_r$	$C_r$	$L_m$	$n$	$R_o$	$V_{out}$
값	400 [V]	16.74 [ $\mu$ H]	37.83 [nF]	83.70 [ $\mu$ H]	4.04	2.3 [ $\Omega$ ]	48 [V]

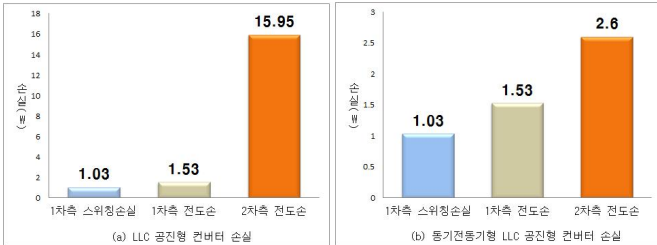


그림 3. 소자 손실 비교  
Fig. 3 Comparison of Device Loss

## 2.2 동기정류기형 LLC 공진형 컨버터

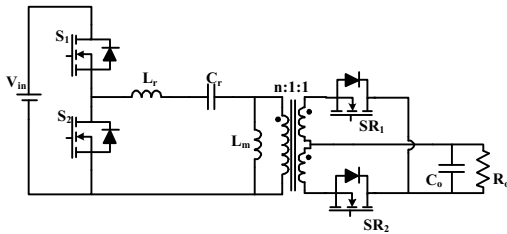


그림 4. 동기정류기형 LLC 공진형 컨버터  
Fig.4 LLC Resonant Converter with Synchronous Rectifier

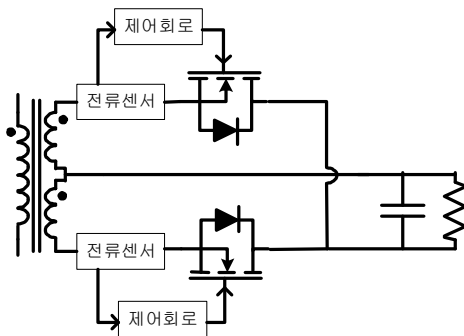


그림 5. 외부적인 동기정류기 제어 방법  
Fig.5 Externally synchronous Rectifier Control Method

그림 4과 같이 2차측 전도손을 줄이기 위해 Diode 대신 상대적으로 온저항( $R_{ds}$ )값이 작은 능동 스위치 소자(MOSFET)를 사용한다. 이를 동기정류기형 LLC 공진형 컨버터라 한다.<sup>[3]</sup> 동기정류기형 LLC 공진형 컨버터에서는 이차측 MOSFET의 제어가 필요하고 제어 방법 중에는 Voltage self 제어, Current self 제어, 외부 회로를 추가해 제어하는 방법이 있다. Voltage self 제어 방식은 LLC 공진형 컨버터의 특징상 사용하지 않는 제어 방법이고 Current self 제어 방식은 추가적인 Current Transformer가 필요하므로 여러 가지 제약이 따르게 된다. 따라서 본 논문에서는 그

림 5와 같이 외부회로를 추가한 방식을 사용한다. 앞서 LLC 공진형 컨버터와 같은 회로에 SR1, SR2를 FDB082N15A의 소자로 놓으면 그림 3 (b)에서 보는 바와 같이 2차측 전도손이 감소한 것을 확인할 수 있다.

## 2.3 출력 전압에 따른 효율 특성

동기정류기형 LLC 공진형 컨버터에 대해 입력 전압의 크기를 파라미터로 하여 출력전압 범위 내에서 효율 특성을 시뮬레이션을 통해 살펴보았다. 그림 6에서 보인바와 같이 서로 다른 입력 전압에 대해 출력 전압의 범위가 40V ~ 100V에서 곡선의 변화가 크지 않아 비슷한 효율을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 특히 입력전압의 변화와는 무관하게 출력전압이 60V에서 가장 좋은 효율을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

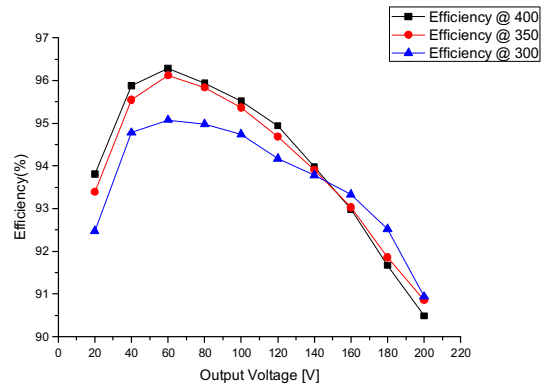


그림 6. 출력전압의 변화에 따른 효율 비교  
Fig.6 Comparison of Efficiency for variation of output voltage

## 3. 결론

본 논문에서는 동기 정류기형 LLC 하프브리지 공진형 컨버터에 대해 주어진 입력전압 하에서 출력전압 변화에 따른 효율 특성을 검토하였다. 입력전압에 상관없이 60V의 출력전압에서 가장 좋은 효율을 얻을 수 있다는 것을 시뮬레이션을 통해 알 수 있었다. 이 결과는 DC 배전시 부하기의 정격전압을 결정함에 참고할 수 있을 것으로 사료 된다.

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술 평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.  
(NO. 20114010203010)

## 참고 문헌

- [1] K. Hirose, "Trends of DC Power Technologies and their Applications," IEEJ Transaction PE, Vol.131, No.4, pp.358-361, 2011.
- [2] Bo Yang, "Topology Investigation for Front End DC/DC Power Conversion for Distributed Power System", Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003.
- [3] Ya Liu, "High Efficiency Optimization of LLC Resonant Converter for Wide Load Range", Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2007.