

# LLC 공진형 하프브릿지 컨버터를 이용한 고전압 전원장치

길용만\*, 가동훈\*, 안태영\*, 이학수\*\*  
청주대학교 전자공학과\*, (주)시스하이텍\*\*

## High Voltage Power Supply using an LLC Resonant Half bridge Converter

Young Man Gil\*, Dong Hoon Ga\*, Tae Young Ahn\*,  
Eun Sil Choi\*\*, Jun Hak Lee\*\*, Hak Soo Lee\*\*  
\*Dept. of Electronic Eng. Cheongju Univ., \*\*SYS HiTEK

### ABSTRACT

In this paper, we present an experimental results of 15kV class high voltage power supply using the LLC resonant half bridge converter for CNT lamp. The resonant current of the LLC resonant half bridge converter prototype in the steady state was stable. The output voltage of prototype converter was maintained at about 15kV in the steady state.

### 1. 서론

CNT(Carbon Nanotube) 면광원은 얇은 유리 2장으로 구성되며 안정기의 고전압에 의해 하판의 CNT로부터 전자를 방출시켜 형광체에 고속 충돌시킴으로써 빛을 내는 평면 광원으로 그 자체가 두께가 얇은 면광원으로 에너지 효율과 연색성이 뛰어나며, 형광체 배합과 구역 분할에 따라 다양한 색상의 조명을 만들 수 있는 특징을 가지고 있다. 또한 면광원용 캐소드의 구조는 전극구조와 구동방식에 따라 다이오드형 또는 트라이오드형으로 구분되고, 다이오드형은 캐소드와 애노드 2개의 전극으로 구성되어 있으며, 애노드 전극에 고전압이 가해지면 캐소드 전극에 위치한 CNT 에미터에서 전자가 방출되고 방출된 전자가 애노드 전극의 고전압에 의해 가속되어 애노드 상의 형광체와 충돌함으로써 발광하는 방식이다. 따라서 15kV 이상의 고전압을 발생시켜야 하므로 순간 최대전류 및 순간 최대전력이 매우 높아져 고전압펄스 및 고전류의 구동회로가 필요하게 되므로 기존의 고압용 전원장치와는 다르게 설계초기에 고려해야 할 요소가 많아지게 된다<sup>[1,2]</sup>. 본 논문에서는 최근 고효율 전원장치로 주목 받고 있는 회로방식 중의 하나인 LLC 공진형 하프브릿지 dc dc 컨버터를 이용하여 CNT 면광원용 15kV급 초고압 전원장치를 구성하고 그 시험결과를 보고한다.

### 2. LLC 하프브릿지 컨버터

LLC 공진형 하프브릿지는 두 개의 공진용 인덕터와 한 개의 공진용 커패시터를 이용하여 스위칭주파수 근처에 공진주파수를 위치하고 그 결과 전류를 공진시켜 스위칭 손실을 저감하고 고효율 동작이 가능하다는 장점이 있다. 그림 1에는 6배압

정류기를 적용한 고배압 정류기 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터의 기본회로가 나타나 있다. 그림에서 Q1, Q2는 외부 구동신호에 의해 스위칭되어 변압기의 1차측에 공진전압이 걸리게 되고 변압기 2차측에 걸린 전압의 6배에 해당하는 고압의 전압이 출력으로 나타나게 된다.

일반적으로 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터는 공진특성 때문에 스위칭 주파수를 가변하여 출력을 제어하게 되는데 그림 2에는 공진인덕터와 변압기의자화인덕턴스의 비 K가 9.33인 경우의 주파수특성이다. 그래프에서 부하저항과 특성임피던스비 Q값의 변화를 개방상태인 0에서 0.5까지 변화하였으며 고압인 경우 부하저항이 크게 반영 되어 일반적인 설계범위보다 좁아지고 제약받게 된다. 그림 3에는 무부하 상태에서 고배압 정류기 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터의 PSIM 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다.

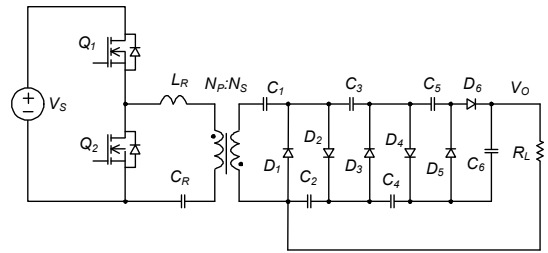


그림 1 고배압 정류기 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터의 기본회로  
Fig. 1 LLC resonant half bridge converter with multi doubler rectifier

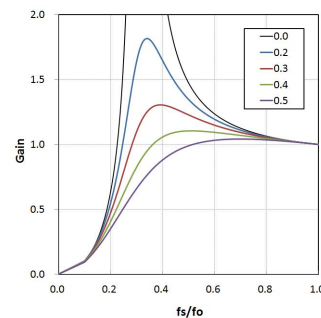


그림 2 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터의 주파수특성  
Fig. 2 Frequency characteristics for LLC resonant half bridge converter

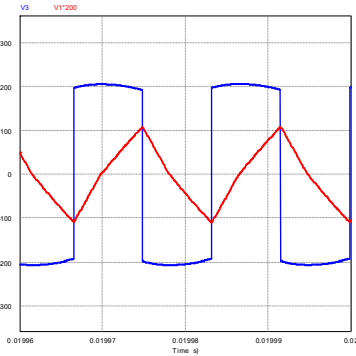


그림 3 PSIM 시뮬레이션 파형  
Fig. 3 PSIM simulation waveform

### 3. 시험결과

본 논문에서는 고배압 정류기 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터를 이용하여 CNT 면광원용 15kV급 초고압 전원장치를 구성하고 그 결과를 관찰하였다. 표 1에는 본 논문에서 시험용으로 제작한 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터의 입출력 정격이 나타나 있다. 입력전압은 교류에서 역률개선회로를 사용하는 경우 약 400V의 직류를 사용하게 되고, 출력전압은 약 15kV를 필요로 하지만 최적의 CNT 면광원의 동작조건에 맞추기 위하여 가변 할 수 있도록 설계하였다.

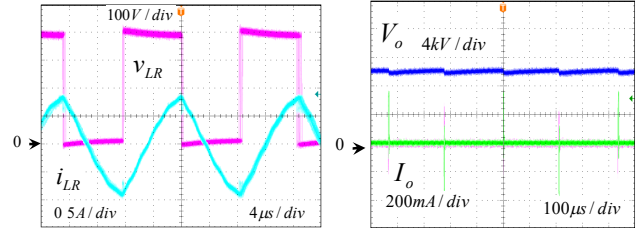
표 2에는 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터에서 사용한 고압 변압기의 사양표가 나타나 있다. 표에서 알 수 있듯이 고압의 전원이 유도되기 때문에 변압기의 2차측 권선을 분리하여 권선 하였으며 변압기의 보빈을 7개로 분할하고 각 영역에서 185턴을 권선하여 총 1295턴을 권선하였다. 자화인덕턴스는 14mH이고, 누설인덕턴스는 분할된 보빈을 사용하였기 때문에 누설자속이 증가하여 누설인덕턴스가 증가하고 그 결과 약 700uH로 측정되었다.

표 1 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터의 입출력 정격  
Table 1 Specifications of LLC resonant half bridge converter

Parameters	Value	Unit
Input voltage range	350 400	Vdc
Output voltage range	11.5 16	kVdc
Output current range	10	mA
Switching frequency	55 75	kHz

표 2 고압 변압기 사양표  
Table 2 High voltage transformer specifications

Parameters	Value	Unit
Core model	EFD3030	
Core material	PL 7	
Primary winding turns	100	Turn
Secondary winding turns	185×7	Turn
Magnetizing inductance	14	mH
Leakage inductance	700	uH
Bobbin section number	7	



(a) 공진전류 변압기전압 (b) 출력전압과 출력전류

그림 4 정상상태 파형  
Fig. 4 Steady state waveform

그림 4 (a)에는 펄스부하인 경우 1차측 전류와 전압파형이 나타나 있으며 그림 4(b)에는 CNT 면광원 부하를 연결하고 펄스부하인 경우 부하전류와 출력전압 파형을 나타낸 것이다. 시험 제작된 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터의 정상상태 파형에서 알 수 있듯이 공진전류가 안정적으로 동작하고 있으며, PSIM 시뮬레이션 결과와 유사하게 동작하고 있다. 무부하 동작과 CNT 면광원 부하를 연결한 경우 동작에는 큰 차이가 없었으며 부하전류가 상대적으로 적기 때문이라고 판단된다. 출력전압은 정상상태에서 약 15kV를 유지하였으며 펄스부하에서도 리플전압이 크지 않았고 면광원의 특성도 안정적으로 유지되었다는 것을 확인하였다.

### 4. 결론

본 논문에서는 최근 고효율 전원장치로 주목 받고 있는 회로방식 중의 하나인 LLC 공진형 하프브릿지 dc dc 컨버터를 이용하여 CNT(Carbon Nanotube) 면광원용 15kV급 초고압 전원장치를 구성하고 그 시험결과를 보고하였다. 시험 제작된 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터는 정상상태에서 공진전류가 안정적으로 동작하였으며, 무부하 동작과 CNT 면광원 부하를 연결한 경우 동작에는 큰 차이가 없었다.

출력전압은 정상상태에서 약 15kV를 유지하였으며 펄스부하에서도 리플전압이 크지 않았고 면광원의 특성도 안정적으로 유지되었다는 것을 확인하였다. 향후 시험 제작된 LLC 공진형 하프브릿지 컨버터의 공진특성을 개선시키고 최적설계 과정을 통하여 컨버터의 전력변환 효율을 개선시킬 예정이다.

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. ( No. 2011201010090 )

### 참고 문헌

- [1] S. D. Johnson, A. F. Witulski, and R. W. Erickson, "Comparison of Resonant Topologies in High Voltage DC Applications," IEEE Trans. of Aerospace and Electronic systems, Vol. 24, No. 3, pp. 263 274, May 1988.
- [2] J. Liu, L. Sheng, J. Shi, Z. Zhang, and X. He, "LCC Resonant Converter Operating under Discontinuous Resonant Current Mode in High Voltage, High Power and High Frequency Applications," in Proc. APEC09 pp.1482 1486, February 2009.