

### 슬림형 어댑터용 하프 브리지 공진형 컨버터

신용희\*, 황국화\*†, 김창선\*, 이철경†, 윤대영†  
 \*목포대학교 전기공학과, †에스피에스(주)

### LLC Half Bridge Resonant Converter for Slim type Adapter

\*Shin Yonghee, \*†Hwang Gookhwa, \*Kim Changsun, †Lee Chulkyung, †Youn Daeyoung.  
 \*Dept. of Electrical Eng. Mokpo National University, †Smart Power Solution (SPS) Inc.

**Abstract** - The resonant converters cause the high voltage stress according to the input voltage, which increases the conduction loss in converter power switches. The topology of LLC half bridge resonant converter provides ZVS characteristic and also the stress of voltage and current is smaller than that of the general resonant converters. So we can expect the higher efficiency. In this paper, the LLC resonant converter is designed for slim adapter. In the adapter design, we should consider the weight, the size and overheat of the adapter. Thus the optimal design of transformer is the most important facts. Some parameters should be considered in order to get the highest efficiency. The LLC resonant converter input is 390V<sub>DC</sub> Link voltage of PFC and the output has 16V<sub>DC</sub>/90W ratings. The efficiency measured is about up to 93%.

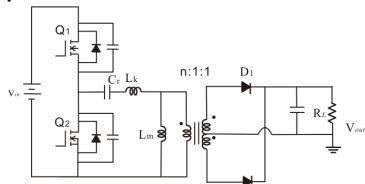
#### 1. 서 론

공진형 컨버터의 경우 입력전압이 높으면 입력전압에 따라 발생하는 높은 전압 스트레스로 인해 스위치의 전도손실이 증가된다. LLC 하프 브리지 공진형 컨버터는 세 개의 공진소자 L<sub>k</sub>(누설인덕턴스), L<sub>m</sub>(자화인덕턴스), C<sub>r</sub> (공진커패시터)를 이용하여 영전압 스위칭을 실현한다. LLC 공진형 컨버터는 일반 하프 스위칭 방식의 컨버터는 물론 다른 공진형 토폴로지에 비하여 낮은 전압스트레스와 높은 효율을 기대할 수 있기 때문에 어댑터 용에 적합 할 것 이라고 판단하였다. 특히 LLC는 사이즈 면에서 출력 인덕터를 제거할 수 있다는 것이 장점이다. 어댑터용 컨버터는 밀폐된 공간에서 동작하기 때문에 높은 전력밀도를 요구한다.<sup>[1][4]</sup>

본 논문에서는 슬림형 어댑터를 제작하기 위해 LLC 공진형 컨버터를 설계하였다. 어댑터에 적용될 컨버터 설계에 있어서 우선 고려되어야 할 사항은 경박 단소화이며 이 경우 밀폐된 공간에서 열 폭주가 문제가 된다. 따라서 효율을 높이는 것은 필수적이며 그렇게 설계하기 위해서 컨버터의 전력변환 트랜스포머는 최적으로 설계되어야 한다. 따라서 트랜스포머와 관련해 회로적으로 효율에 영향을 미치는 변수들이 제시되어야 한다. 제시된 변수들을 고려하여 설계된 어댑터용 컨버터의 입력전압은 상용 AC 전압이며 PFC회로를 거쳐 약 390VDC로 변환되어 공진형 컨버터의 입력 전압인 DC 링크 전압이 되고 출력은 16V/90W, LLC 회로의 측정된 효율은 약 93%이다.

#### 2. LLC 하프 브리지 공진형 컨버터

##### 2.1 동작 해석



〈그림 1〉 LLC하프 브리지 공진형 컨버터 기본 회로

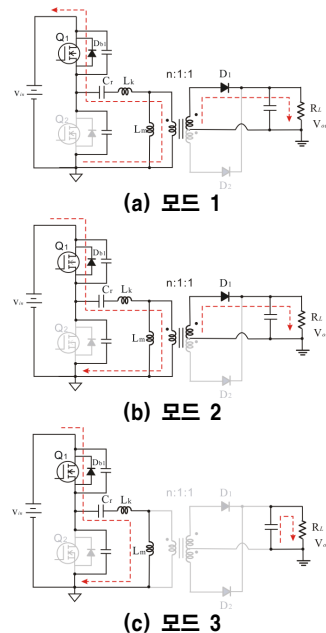
그림 1은 LLC 하프 브리지 공진형 컨버터의 기본회로이다. 회로는 두 개의 스위치 Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>와 공진소자 C<sub>r</sub>(공진커패시터), L<sub>k</sub>(누

설인덕턴스), L<sub>m</sub>(자화인덕턴스)으로 구성되어 있는데 C<sub>r</sub>는 L<sub>k</sub>, L<sub>m</sub> 와 직렬로 연결되었고 부하는 L<sub>m</sub>과 병렬로 연결되었다. 스위치 Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>는 MOSFETs와 내부 다이오드로 구성되었으며 구형과 전압에 의하여 각각 드라이브 된다. 구형과 신호 V<sub>GS1</sub>, V<sub>GS2</sub>는 스위칭 주파수가 fs이고 duty가 약 50%인 전압신호로서 두 스위치 Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>를 엇바뀌 턴 온, 턴 오프시킨다. 트랜스포머의 2차측은 중간탭정류기 D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>로 구성되었다.

〈표 1〉 설계사양

입력 전압	상용 AC 전압
출력 전압	16V ± 1%
출력 전력	90W ~ 120W
스위칭 주파수	200KHz
효율	>92%
사이즈	135mm (horizontal)
	70mm (vertical)
	13mm (height)

LLC 공진형 어댑터의 설계 사양은 표 1에 제시한 것과 같다. 입력전압은 상용 AC전압이고 출력전압은 16Vdc이고 출력 전력은 평균 90W, 최대 120W이고 스위칭 주파수는 200KHz이다. 135mm×70mm×13mm의 슬림 사이즈에서 고효율, 고전력밀도로 설계 하였다..



〈그림 2〉 LLC하프 브리지 공진형 컨버터의 모드별 동작 회로

모드 1 ( $t_0 \sim t_1$ ) : 스위치  $Q_2$ 가 턴 오프 될 때 모드1 동작이 시작된다. 이 동작 구간에서 공진전류는 MOSFET,  $Q_1$ 의 내부 다이오드를 통하여 역 방향으로 흐르고 영전압 스위칭 된다. 이 때  $Q_1$ 이 턴 온 된다. 공진전류는 증가하여 2차측 정류 다이오드  $D_1$ 을 도통시킨다.

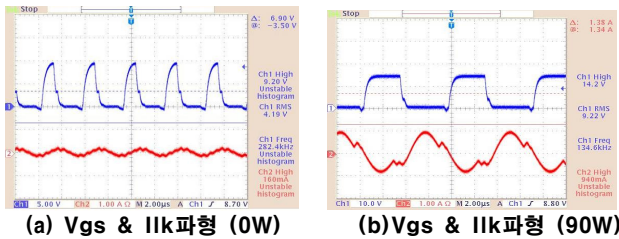
모드 2 ( $t_1 \sim t_2$ ) : 이 구간에서 high side 게이트 신호에 의하여 스위치  $Q_1$ 이 턴 온 되면서 공진전류는  $Q_1$ 을 통하여 드레인에서 소스방향으로 흐른다. 2차측 정류 다이오드  $D_1$ 이 도통되고 자화 인덕턴스 전류는 출력전압에 선형적으로 증가된다. 이 모드에서 자화 인덕턴스는 공진에 참여하지 않고 누설인덕턴스와 공진커패시터만이 공진에 참여한다. 즉 이 구간의 동작은 직렬공진컨버터(SRC-series resonant converter)의 동작과 비슷하다.  $t_2$ 점에서 자화인덕턴스와 누설인덕턴스에 흐르는 전류는 같게 된다.

모드 3 ( $t_2 \sim t_3$ ) : 누설 인덕턴스와 자화인덕턴스의 전류가 같게 되고 이때 자화인덕턴스도 공진에 참여하여 자화인덕턴스(Lm), 누설인덕턴스(Lr), 공진커패시터(Cr)가 함께 공진한다. 출력측은 트랜스포머와 분리 되어  $D_1$ ,  $D_2$ 는 모두 역방향 바이어스 된다. 이 모드는  $Q_1$ 이 턴 오프 할 때 종료된다. 파형에서 알 수 있듯이 스위치 턴 오프시의 전류는 공진 피크전류보다 훨씬 작으므로 턴 오프 손실도 줄일 수 있다.

그 다음의 반주기 동안은 앞의 3개 모드의 동작과 비슷하다. 단 모드4와 모드5에서는 low side 스위치인  $Q_2$ 와  $D_2$ 가 도통되고 모드6에서는 자화인덕턴스가 다시 공진에 참여하기 때문에 2차측 다이오드는 역방향 바이어스 된다.

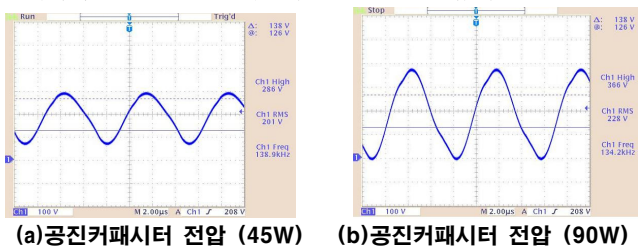
## 2.2 실험 및 고찰

TEA1610을 사용하여 제어회로를 구성하였고 전류 및 전압 사양에 따라 각각의 부품을 선정하였다. 전체 회로도도 4개 부분으로 나눌 수 있다. 제어부분, 파워 stage부분, 피드백, soft start. 제어부분은 TEA1610 주변회로로써 저항과 커패시터의 값을 이용하여 스위칭 주파수 및 dead-time을 조절하였고 피드백제어부분에서는 photo-coupler를 이용하여 출력전압을 제어한다. Photo-coupler는 발광부와 수광부와 구성되어 있는데 발광부는 로드에서 소비한 전력을 빛으로 전환하여 수광부에 전달한다. 수광부는 빛을 전달받아 다시 전기에너지로 변환한다. 수광부에서 받은 신호는 저항을 거쳐 IRS, IFS 핀에 전류로 sensing되면서 스위칭 주파수가 변화된다. Soft-start부분은 3개의 직렬 저항과 커패시터로 구성되었다. 파워 stage부분은 위에서 계산한 공진값에 근거하여 주파수영역 및 dead time을 조절하면서 LLC가 정확한 동작영역에서 ZVS스위칭을 하도록 하였다. EFD3030트랜스포머의 와인딩(winding)에 의해서는 충분한 인덕턴스 값을 얻을 수 없었으므로 외부에 작은 인덕터를 추가하여 공진값을 설계하였다.



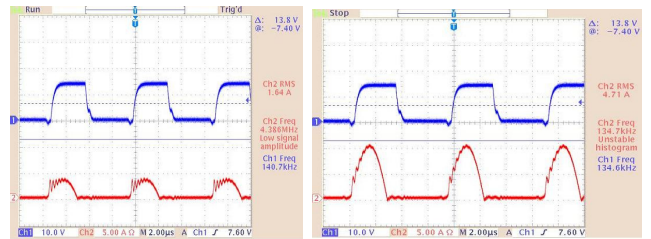
〈그림 3〉 스위치 게이트-소스 파형과 공진전류의 파형

그림 3은 경부하(0W)와 중부하(90W) 일 때의 스위치(low side) 게이트-소스 파형과 공진전류의 파형을 나타낸 것이다. 그림으로부터 무부하 일 때의 최대주파수는 약 282KHz이고 중부하일 때의 주파수는 134KHz임을 알 수 있고 정확히 LLC 동작영역에서 동작하며 ZVS조건을 만족한다는 것을 알 수 있다.



〈그림 4〉 스위치 게이트-소스 파형과 공진전류의 파형

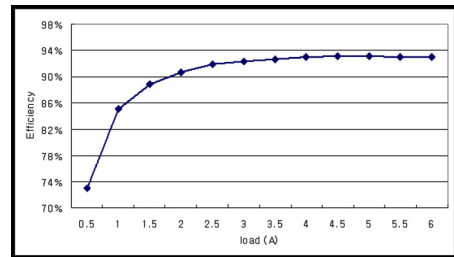
그림 4는 공진커패시터의 전압을 표시한 파형이다. 공진파형으로서 중부하 일 때의 최대값은 366V까지 달함을 알 수 있다. 즉 공진커패시터를 선정함에 있어서 주파수특성 및 전압 값에 유의하여야 한다. 그림 5는 2차측 low side정류다이오드의 전류 파형을 표시한 것이다. low side FET가 턴 온 되었을 때 low side 다이오드 역시 도통됨을 알 수 있다.



(a) 정류다이오드 전류 (45W) (b)정류다이오드 전류 (90W)

〈그림 5〉 low side Vgs 및 low side 정류다이오드 전류

위의 각 전압, 전류파형으로부터 이론 파형 및 시뮬레이션 파형과 일치함을 검증하였다. 스위치는 ZVS 동작을 하고 주파수는 LLC영역에서 동작함을 알 수 있다. 실험을 할 때 무부하 상승, 중부하에서 FET 파괴되는 등의 현상에 대해서는 공진값 및 dead time, 권수비를 조절함으로써 동작 영역을 설정할 수 있다. 그림 6은 부하가 1A에서 6A일 때의 효율을 측정하여 표시한 것이고 4.5A에서 93%의 가장 높은 효율을 얻었다.



〈그림 6〉 효율 그래프

## 3. 결 론

공진형 컨버터들은 입력전압이 높으면 높은 전압스트레스로 인하여 스위치의 전도손실을 증가하게 된다. 따라서 본 논문에서는 슬림형 어댑터를 제작하기 위하여 전압, 전류 스트레스가 높지 않은 LLC 하프 브리지 공진형 컨버터를 이용하였고 작은 사이즈와 밀폐된 공간에서 동작이 가능하도록 효율을 높이기 위하여 여러 변수들을 최적으로 선정하도록 하였다. 특히 A값, Q값 및 누설인덕턴스값과 공진커패시터값을 trade off하여 선정함으로써 LLC가 정확한 영역에서 ZVS동작을 할 수 있도록 하였다. 또한 입출력 특성에 맞게 트랜스포머의 턴비를 결정하였고 제어칩은 TEA1610칩을 사용하였다. 16V/90W정격의 컨버터를 제작, 실험하여 타당성을 입증하였고 측정된 최고 효율 93%이다.

## [참 고 문 헌]

- [1] Bo Yang, Ffed C. Lee, Alpha J. Zhang, Guisong Huang, "LLC Resonant Converter for Front End DC/DC Conversion", APEC 2002, Vol 2, pp. 1108-1112, 10-14 March 2002.
- [2] Furukawa Y, Morita K, Yoshikawa T, "A High Efficiency 150W DC/DC Converter", Telecommunication Energy Conference, INTELEC 1994, pp.148-154.
- [3] M.K.Kazimierczuk and N.Thirunarayan, "Class D voltage-switching inverter with tapped resonant inductor," Proc. IEE, Pt.B, Electric Power Applications, vol.140,pp. 177-185, May 1993.
- [4] 황국화, 윤대영, 김창선, "노트북 컴퓨터용 LLC 하프 브리지 공진형 어댑터 설계," 대한전기학회 하계학술대회 논문집(B), pp. 1039-1040, 2006.7.12-18