

# LLC 공진형 컨버터의 동기정류기의 새로운 구동 방법

김명복, 곽봉우

한국생산기술연구원 동력부품연구그룹

## Novel Driving Scheme for Secondary-side Synchronous Rectifiers of LLC Resonant Converter

Myungbok Kim and Bong Woo Kwak

Automotive Components R&D Group, KITECH

### ABSTRACT

An LLC resonant converter is widely used due to many advantages over others. However, it is still not used in high current applications because it is difficult to drive the synchronous rectifiers. In this paper, a novel gate driving scheme for secondary side synchronous rectifiers is introduced and its simulation results are also presented

### 1. 서 론

LLC 직렬 공진형 컨버터는 홀드업(hold up) 시간이 필수적인 전원장치 응용 분야에 있어서는 다른 컨버터에 비교할 때 많은 장점을 지니고 있다<sup>[1]</sup>. LLC 컨버터는 기존의 직렬 공진형 컨버터에서 자화 인덕턴스를 낮춤으로 비교적 작은 스위칭 주파수 변화로 넓은 부하 조건에 대해 일정한 출력 전압을 보장할 수 있으며 낮은 자화 인덕턴스에 의하여 어떠한 부하 조건에 대해서도 1차측 주 스위칭소자의 영전압 스위칭 조건을 만족할 수 있다. 또한, 컨버터의 Q 인자를 낮춤으로 홀드업 조건 때의 출력 전압을 충분히 제어할 수 있다. 이러한 장점으로 인하여 전원 장치의 출력 밀도를 높일 수 있어서<sup>[2]</sup>, 디지털 평면 TV의 주 전원 장치로 널리 사용되고 있다. 하지만 이러한 장점에도 2차측 정류단의 영전류 스위칭 동작으로 인하여 전류 리플이 다른 컨버터에 비하여 큰 편이어서 출력 전류가 비교적 낮은 응용 분야에 주로 사용되었다. 게다가 출력 전류가 큰 응용 분야에서는 도통 손실을 줄이기 위해서 다이오드 정류기 대신 MOSFET을 이용한 동기 정류기가 주로 사용되는데 LLC 컨버터의 경우 ZCS 동작으로 인하여 동기정류기 구동에 있어서 스위칭 턴 오프 시점을 설정하기 어려워서 전원 장치 동작의 신뢰성을 향상시키기 어려웠다. 본 논문에서는 LLC 컨버터의 기존 동기 정류기 구동 방법에 대해서 분석하여 새로운 구동 방법을 제시한다.

### 2. 기존 구동 방법들

동기 정류기를 사용한 LLC 컨버터의 구성은 그림 1과 같다. 동기라는 의미는 두가지로 고려할 수 있는데 하나는 1차측 게이트 구동 신호와의 동기화를 의미할 수 있고 다른 하나는 동기 정류기의 흐르는 전류와의 동기를 의미할 수 있다. 현재 하이엔드급의 전원 장치에는 고성능 DSP를 이용한 제어 방법이

활발히 개발되고 있다.

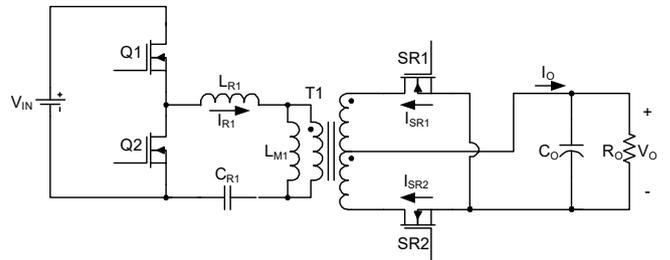


그림 1. 동기 정류기를 채택한 LLC 컨버터

### 2.1 Lookup table을 이용한 구동 방식

최근의 DSP 양산 업체에서 출시되는 제품의 경우 저가이면서 고성능의 DSP를 많이 출시하고 있다. 대표적으로는 TI사의 Piccolo 시리즈인데 TMS320F2802x의 경우 저가이면서 다양한 부가 기능도 제공하고 있다. 특히나 PWM의 경우 고해상도를 포함한 6개 이상의 PWM을 지원하여 전원 장치에 필요한 PWM 신호를 독립적으로 제어하면서 그 자유도가 높다. 이 경우 동기 정류기에 사용될 때, LLC 컨버터의 경우 부하에 따라서 공진주파수를 기점으로 낮은 부하에서는 2차측의 전류 형태가 CCM으로 되다가 부하가 높아지면서 DCM 모드로 접어들게 된다. 이렇게 부하에 따라서 게이트 신호를 그림 2와 같이 Lookup table형태로 생성하면서 2차측 동기 정류기의 도통을 제어하게 된다.

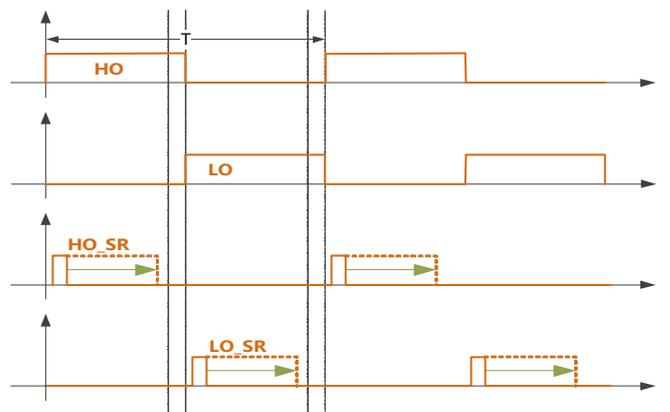


그림 2. 부하별 2차측 동기 정류기의 게이트 인가 신호

하지만, 이 방법의 경우 DCM 모드에서 2차측으로 전류가 공급되지 않을 시점에서 동기 정류기의 게이트 신호가 인가되면 1차측으로 에너지가 회수되면서 2차측 동기 정류기가 단락 등의 문제를 일으키게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 그림 2에서의 2차측 게이트 신호의 양단의 도통을 이뤄지지 않기 때문에 미소 전류이지만 도통 손실을 증가시키게 된다.

### 2.2 전류 감지형 구동 방식

전류 감지형 구동 방식의 경우, 동기 정류기의 도통 전류를 감지하여 전류가 흐르는 시점에서 MOSFET의 기생 다이오드의 도통시의 양단 전압을 측정하여 게이트 인가 신호를 발생하는 방법이다. 게이트 인가 신호를 도통 전류가 줄어들게 되어 양단의 전압이 낮아지는 시점에서 턴 오프 하게 된다. 이러한 방법은 현재 각 집적회로 회사에서 많이 출시되었는데 대표적으로는 NXP사의 TEA1792이며 그 구동 방법의 원리는 다음 그림 3과 같다.

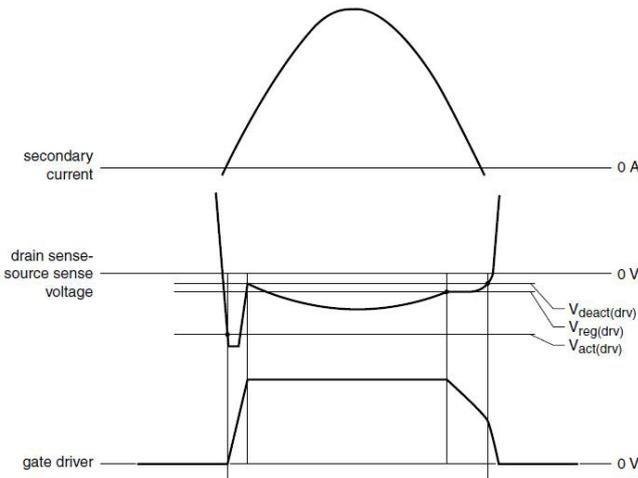


그림 3. 도통 전류 감지형 동기 정류기의 게이트 인가 방법

이 방법의 경우 도통 전류 감지를 위해서 MOSFET 양단의 전압을 감지하게 되는데 이때 전압의 범위가 극히 낮은 범위이기 때문에 Kelvin Connection 형태로 와이어링 해야 한다. 그리고 MOSFET 양단의 미소 전압을 감지하기 때문에 노이즈 등에 의해서 예기치 않게 전류가 켜지는 문제가 발생할 수 있으며 LLC 컨버터의 경우 startup하는 시점에서는 구동 주파수를 높여서 구동하기 시작하는데 이 시점에서 높은 구동 주파수로 인하여 스위칭이 제대로 이루어지지 않아서 동기 정류기가 파괴되는 현상이 발생한다.

### 3. 제안된 방법

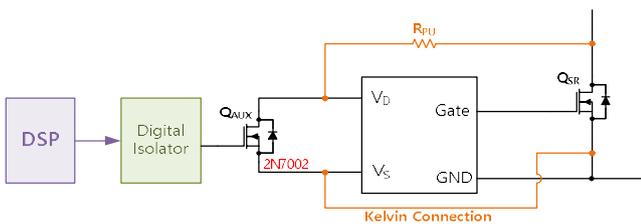


그림 4. 제안된 2차측 동기 정류기의 게이트 인가 방법

이러한 문제를 해결하기 위해서 제안된 방법의 경우, 부하별로 구동 시점을 달리하는 lookup 테이블 이용 방법과 MOSFET의 도통 전류를 감지하는 방법을 결합한 형태로 그림 4와 같이 구성이 되었다. 즉, DSP로 제어된 동기 정류기의 구동 신호가 전류 감지형 구동 IC의 트리거링을 하게 되어 도통 전류 감지는 lookup table 형태의 DSP PWM 신호 내에서만 이루어지게 된다.

제안된 방법의 모의실험은 그림 5와 같이 이루어지게 되며 LLC 컨버터의 동작 영역에 상관없이 잘 이루어짐을 알 수 있다.

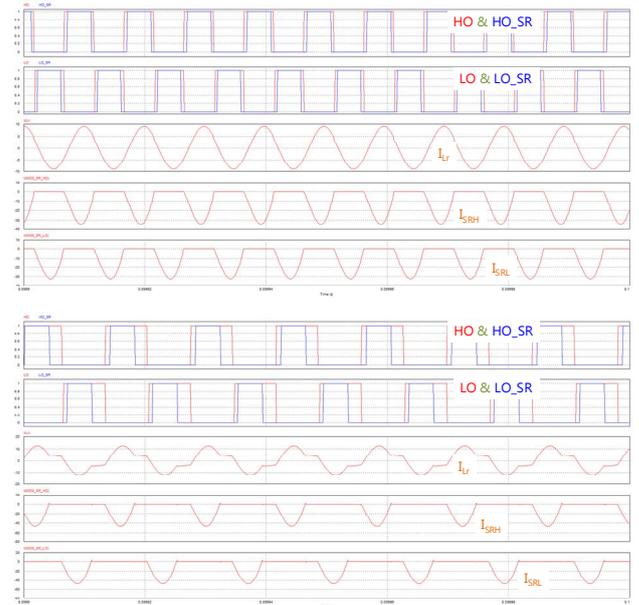


그림 5. 제안된 2차측 동기 정류기의 게이트 인가 방법의 모의실험

### 4. 결론

본 논문에서 대전류출력 전원 장치에 사용되는 동기 정류기를 채택한 LLC 컨버터의 2차측 동기 MOSFET의 새로운 구동 방법을 채택하였다. 본 구동 방법은 Lookup 테이블을 이용한 방법과 전류 감지형 방법을 결합한 형태로 구동 신뢰성이 우수하다.

이 논문은 한국생산기술연구원의 기관주요사업인 플랫폼형 R&D 지원과제의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

- [1] B. Yang, F.C. Lee, A.J. Zhang, and G. Huang, "LLC resonant converter for front end DC/DC conversion", IEEE APEC, Vol.2, pp.1108 1112, March 2002.
- [2] D. Fu, B. Lu, and F.C. Lee, "1MHz High Efficiency LLC Resonant Converters with Synchronous Rectifier", IEEE PESC, pp.2404 2410, June 2007.
- [3] NXP Application Note AN10954, "GreenChip SR TEA1795T dual synchronous rectification driver IC", December 2010.