

동기정류기를 적용한 공진형 하프브릿지의 효율특성에 관한연구

이광택, 안태영
 청주대학교 전자공학과

A study on the efficiency characteristics for LLC resonant half-bridge converter with synchronous rectifier

Gwang-Taek Lee, Tae-Young Ahn
 Dept. of Electronics Eng. Cheongju Univ.

ABSTRACT

In this paper results of the experiment which used LLC resonant half bridge DC-DC converter to a portable electrical equipment. LLC resonance Half Bridge DC-DC converter which was used in this experiment improved an efficiency because it reduced switching, conduction losses and with synchronous rectifier. As a result of the experiment, this proposed converter could verified an increase of 2% to the efficiency more than diode rectifier.

1. 서론

최근 한정된 전력을 효율적으로 이용하기 위해서는 높은 전력밀도, 높은 효율과 높은 주파수에서 동작하는 DC-DC 컨버터의 회로기술이 필요하다. 공진형 컨버터는 원리적으로 스위칭 손실이 없기 때문에 높은 효율, 높은 주파수와 높은 전력밀도를 갖는 컨버터를 설계할 수 있다. 일반적으로 병렬 공진형 컨버터는 낮은 부하에서 출력전압을 안정시키기가 어려우며, 직렬 공진 컨버터는 높은 입력과 낮은 부하에서 높은 전려변환 효율을 유지하는 것이 어렵다고 알려져 있다.

본 논문에서 검토하고 있는 LLC 공진형 Half Bridge 컨버터는 소프트 스위칭 기술을 사용하기 때문에 스위칭 손실이 적고, 변압기와 주요 스위치에 흐르는 실효 전류값이 작기 때문에 전도손실이 작아지며 따라서 고효율 운전이 가능하다. 최근 통신기 및 프로세서의 소비전력을 줄이기 위한 방법으로 전원장치의 저전압 대전류의 출력 특성을 요구하고 있으며, 이를 만족시키기 위해서 다이오드 정류방식 대신에 동기정류기를 이용한 회로방식이 증가하고 있다. 본 논문에서는 동기정류기를 이용한 200W급 LLC 공진형 Half Bridge 컨버터의 효율특성을 분석하고 그 실험결과를 보고한 것이며, 그 결과 200W에서 94% 이상의 고효율을 달성할 수 있었다^[1].

2. LLC 공진형 Half Bridge 컨버터

그림 1은 동기정류기를 적용한 LLC 공진형 Half Bridge DC-DC 컨버터의 기본 회로를 나타낸다. 그림 2는 회로가 정상상태에서 동작하는 경우 주요소자의 전압과 전류의 이론파형을 나타내고, V_{Cr} 에 걸리는 전압과 L_R 과 L_M 에 흐르는 전류와 그에 따른 2차측 출력전류 I_o 를 보이고 있다. 그림 3은 그림 2의 등가회로가 정상 상태에서 동작한다는 가정 하에 Q_1, Q_2 와 Q_3, Q_4 의 동작을 각 상태별로 나타낸 상태별 등가회로이다.

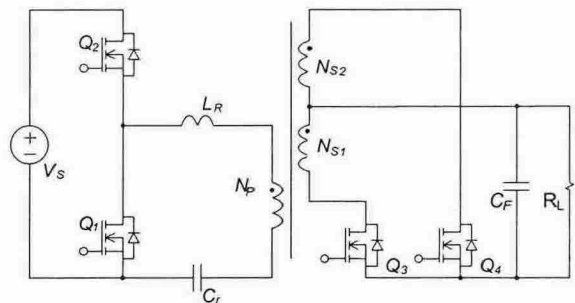


그림 1. LLC 공진형 Half Bridge DC-DC 컨버터
 Fig. 1 LLC resonant Half Bridge DC-DC converter

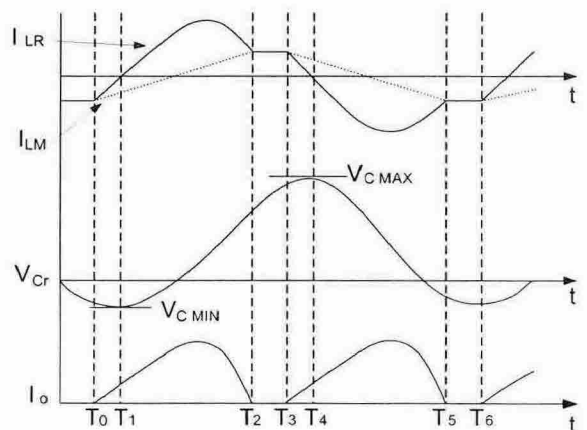


그림 2. 이론 동작 파형
 Fig. 2 Theoretical waveform

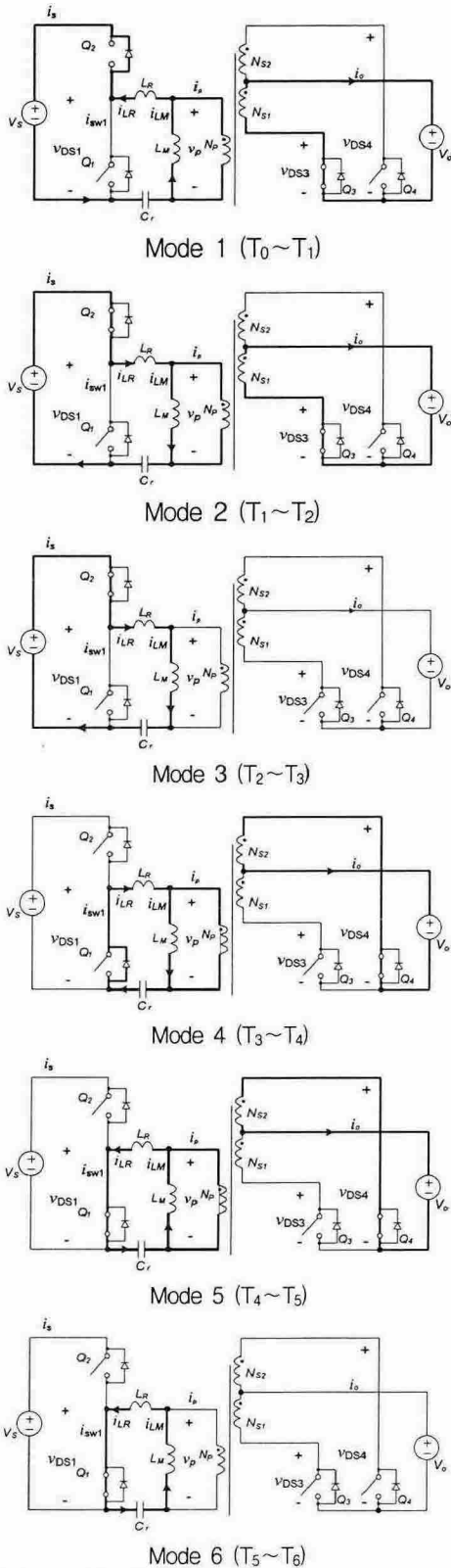


그림 3. 각 상태별 등가회로
Fig. 3 Equivalent circuit for steady states

T_0 에서 Q_1 이 오프된다. 이 때 공진 인덕터 L_R 에 역전류가 흐르게 되고 이 전류는 Q_2 의 기생 다이오드를 통해 흐르는 동안 Q_2 는 ZVS에 도달하게 된다. 그리고 변

압기의 1차측 전압 v_p 은 입력전압 V_s 와 같아지게 되고, 2차측에 정전압이 유지됨에 따라 Q_3 이 턴 온 되어 전류를 도통시키게 된다. Q_4 는 역 바이어스 상태가 되기 때문에 오프 상태가 된다. 다음 구간에서 공진 인덕터 L_R 에 흐르는 전류 i_{LR} 은 정방향이 되고 사인곡선을 가지며 증가하게 된다. 최대 전류가 되는 시점에 도달하게 된 후 T_2 에서 L_M 과 L_R 에 흐르는 전류 i_{LR} , i_{LM} 이 거의 같아지면서 변압기에 흐르는 전류는 0이 된다. 따라서 2차측의 Q_3 , Q_4 는 오픈 상태이다. 이 구간이 끝나는 T_3 바로 전에 Q_2 는 오프되며 Q_1 도 오프되어 있는 상태로써 데드타임이 존재하게 된다. 나머지 반주기 동작은 앞의 주기 설명과 같이 해석할 수 있다. 그리고 1차측의 Q_2 스위치가 턴 온 되어 2차측으로 유지될 때 2차측의 구동회로를 통한 Q_3 를 턴 온 시킴으로써 저 전력 손실의 동기정류기가 구동하게 된다.

3. 실험 결과

본 논문에서는 다이오드와 동기 정류기를 이용한 200W LLC Half Bridge DC-DC 컨버터를 구성하였으며, 기본 구성은 표 1과 같은 사양의 실험회로를 구성하였다. 그림 5는 본 논문에서 제안한 동기정류기를 적용한 LLC 공진형 Half Bridge 컨버터이다. 1차측의 스위치가 턴 온 되어 2차측으로 전압이 유지될 때 2차측의 구동회로를 통한 2차측 스위치를 턴 온 시킴으로써 저 전력 손실의 동기정류기가 구동하게 된다.

그림 6의 (a), (b)는 실험회로가 정상상태에서 동작하는 경우 각소자의 전압과 전류를 측정된 실험파형이다. 이 실험파형을 통해 앞 절에서 논했던 이론 파형이 사실임을 확인할 수 있다. 그림 7은 실험회로에서 다이오드와 동기정류기를 사용했을 때의 효율을 측정하여 비교하여 나타낸 그래프이며, 그림으로부터 LLC 공진형 Half Bridge 컨버터가 중 부하 이후 다이오드가 92%가 넘는 고효율을 나타내고 있으며 동기정류기를 적용한 컨버터에는 다이오드보다 2%가 증가된 효율을 나타내고 있다. 그림 8는 동기정류기를 사용했을 때와 다이오드를 사용했을 때의 전력 손실을 그래프로 나타내었고, 그림 9는 동기정류기와 다이오드를 사용했을 때의 각각의 주파수 변화를 나타낸 그래프이다. 스위칭 주파수는 통상 65~75kHz이며 무부하시에는 최대 95kHz까지 변화하는 것을 확인하였다.

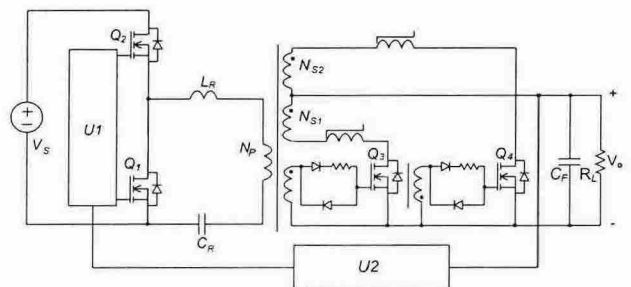
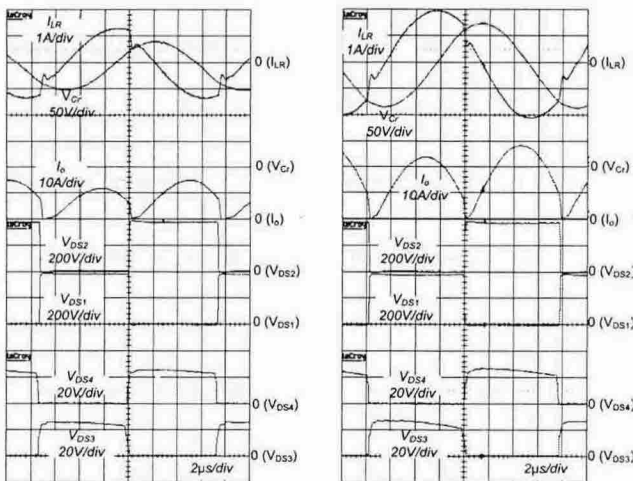


그림 5. 실험 회로
Fig. 5 Experimental circuit

표 1. 실험 회로 사양

Table 1. Specification of experimental circuit

| Parameters | Name | Value | Unit |
|----------------------------|----------------------------------|-------|------------|
| Input voltage | V_s | 380 | [V] |
| Output voltage | V_o | 12 | [V] |
| Maximum load current | I_o | 17 | [A] |
| Maximum power | P_o | 200 | [W] |
| Resonant inductor | L_M | 300 | [μ H] |
| Magnetizing inductor | L_R | 130 | [μ H] |
| Resonant capacitor | C_r | 64 | [nF] |
| Turns ratio of transformer | $n(n=N_p/N_{s1}, N_{s1}=N_{s2})$ | 18 | - |



(a) $P_o = 100W$

(b) $P_o = 200W$

그림 6. 실험 파형

Fig 6. Experimental waveform

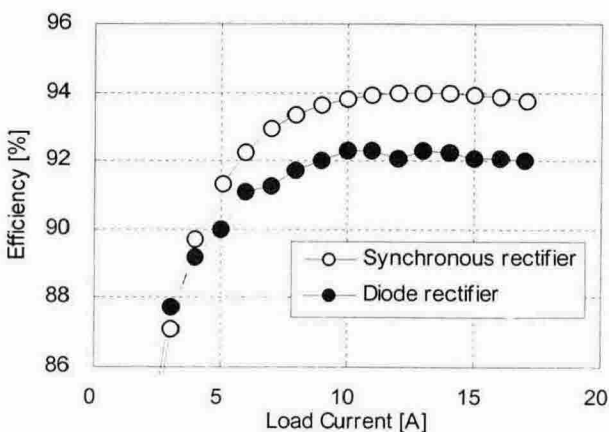


그림 7. 부하전류에 대한 전력변환 효율

Fig 7. Power conversion efficiency for load current

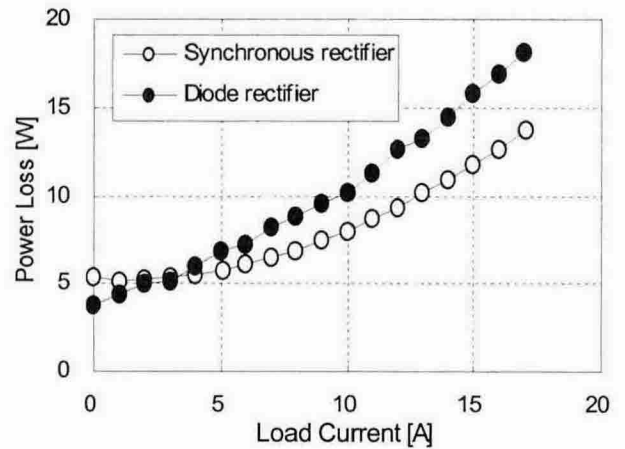


그림 8. 부하전류에 대한 전력손실

Fig 8. Power loss for load current

4. 결론

본 논문에서는 동기정류기를 이용한 200W급 LLC 공진형 Half Bridge DC-DC 컨버터의 효율특성에 대해 실험결과를 보고한 것이다. 일반적으로 LLC 공진형 Half bridge 컨버터는 원리적으로 스위칭 손실이 적고 각 소자에 흐르는 전류의 실효값이 기존의 회로에 비해서 작기 때문에 비교적 고효율의 회로구현이 가능하였다. 특히 다이오드 정류 방식의 경우 최대부하에서 약 92%의 최대효율을 얻은 것에 비해서 동기정류기를 사용하는 경우 94%의 효율 개선을 얻을 수 있었으며 그 결과 4W 이상의 전력손실을 저감시킬 수 있었다.

이 논문은 산업자원부·한국산업기술 평가원 지정 청주대학교 정보통신연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [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] ROBERT L. STEIGERWALD, "A Comparison of Half-Bridge Resonant Converter Topologies " IEEE Transactions on power electronics, Vol 3, No.2, April 1988, pp. 174-182.