

낮은 높이의 변압기를 이용한 고효율 슬림 아답터

김덕유, 문건우
KAIST

ABSTRACT

본 논문은 LLC 공진 컨버터를 이용한 고효율 슬림 아답터의 구조를 제안한다. 1차 측의 구리 권선과 2차 측을 그 외부에 PCB를 이용하는 새로운 구조의 슬림한 변압기가 제안되었다. 제안하는 구조는 쉬운 공정성과 넓은 도통 단면적을 가져 고효율의 슬림 컨버터에 적합하다. 또한 2차 측 권선의 간단한 구조를 위해 voltage doubler 정류기와 출력 필터 사이즈를 줄이기 위해 CLC 필터가 사용되었다. 효과를 확인하기 위해 85W 컨버터를 제작하여 실험하였다.

1. 서론

소비자들의 요구에 의해 노트북 컴퓨터는 점차 고성능, 대화면, 얇은 두께의 특성을 가지며 발전되었다. 그에 따라 아답터 역시 높은 전력 사양, 얇은 두께가 요구되었다. 또한 그와 동시에 구동 시 낮은 온도는 필수적으로, 손실을 줄이기 위해 슬림 아답터의 고효율을 위해 연구가 진행되고 있다.

높은 전력 사양의 아답터의 경우 고조파 규제를 만족하기 위한 PFC 단과 그에 따른 높은 입력 전압 사양의 DC/DC 단으로 구성된다. 따라서 낮은 입력 전압 스트레스를 갖고, 영전압 스위칭이 가능하며 2차 측 출력 필터가 작은 LLC 공진 컨버터가 1차측 컨버터로 적합하다.^[1]

따라서 변압기가 높은 비중의 손실과 부피를 차지하게 되고, 그 설계가 무척 중요하다. 변압기 역시 낮은 높이를 가져야 하며, 그만큼 사용 가능한 창면적이 작기 때문에 설계가 용이하지 않다. 본 논문에서는 슬림 아답터에 적합한 변압기의 구조와 그에 따른 설계 방법을 제안한다.

2. 제안하는 구조

높이가 낮은 변압기의 설계를 위해 1, 2차 측 권선을 PCB의 패턴으로 이용하는 그림 1(a)의 구조가 연구되었다. 이는 낮은 높이와 간단한 구조를 가지는 장점을 가지고 있지만 입력 전압이 높아 변압기의 1차 측 턴 수가 많은 경우 절연에 의해 도통 면적이 작은 단점을 가진다. 이런 단점을 보완하기 위해 그림 1(b)와 같이 1차 측의 구리 권선, 2차 측의 PCB 패턴을 적용하는 구조가 연구되었다. 구리 권선은 많은 턴 수에 적합하지만 슬림한 변압기에서 1, 2차 측 간의 절연이 큰 부피를 차지하게 되어 창면적을 작게 사용하게 된다.

제안하는 슬림한 변압기의 구조는 그림 1(c)와 같이 보빈에 1차 측 구리 권선을 감고, 2차 측의 PCB 패턴을 그 외곽에 위치시키는 방법이다. 절연의 부피가 상대적으로 작기 때문에 창면적을 넓게 사용할 수 있어 도통 손실을 줄일 수 있고, 변압기의 공정성도 높다는 장점이 있다. 또한 PCB 패턴을 통해 1차 측과 2차 측의 간격을 조절해 기생 인덕턴스 성분을 결정할

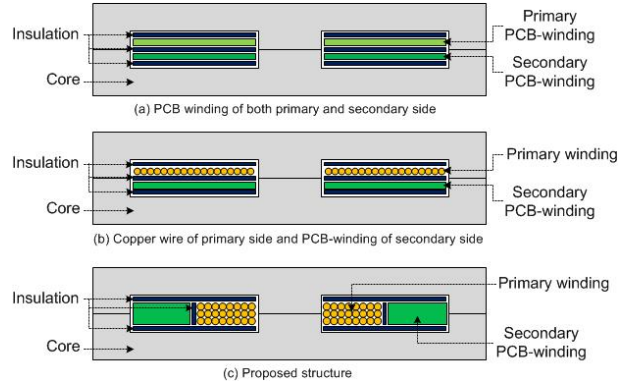


그림 1 변압기 구조 비교

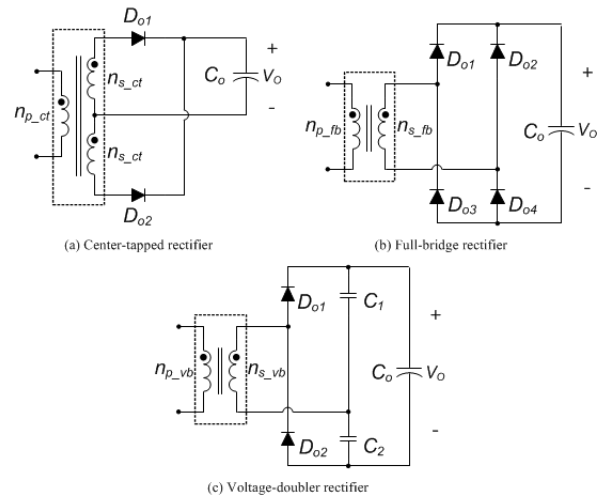


그림 2 적합한 2차 측 정류기 구조

수 있다는 장점이 있다. 이는 LLC 공진 컨버터를 설계하는데 중요한 고려 사항이다.

2차 측의 정류기 선정은 변압기의 구조를 결정하기 때문에 역시 중요하다. 그림 2는 적합한 2차 측 정류기 구조를 나타낸 것이다. 변압기의 설계에 무엇보다 중요한 특성이 2차 측의 권선 구조이기 때문에 가장 작은 턴으로 구성이 가능한 voltage doubler 정류기가 제안되었다.

3. 실험 결과

그림 3은 제안하는 변압기 구조의 결합 과정을 나타낸다. 2차 측을 voltage doubler 정류기를 사용함으로써 2차 권선을 한 턴으로 설계할 수 있다. 따라서 PCB 패턴의 모든 층을 병렬 연결함으로써 도통 손실을 감소시키고 간단한 구조를 얻을 수 있다.



그림 3 제안하는 변압기 구조의 결합 과정

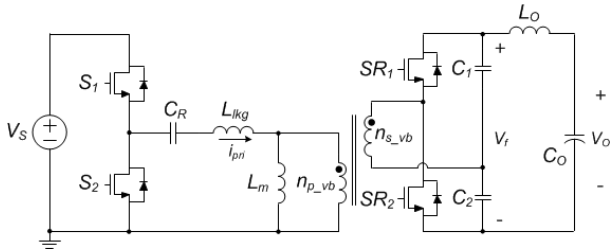


그림 4 슬림 아답터 사양에 제안하는 회로도

그림 4는 슬림 아답터 사양에서 제안하는 실험에 사용된 회로이다. 1차 측에 LLC 공진 컨버터, 2차 측에 voltage doubler 정류기가 사용되었다. 또한 출력 필터의 부피를 줄이기 위해 CLC 출력 필터가 사용되었다. 작은 출력 인덕터를 사용함으로써 큰 전류 리플은 왼쪽의 캐패시터 C_1 , C_2 에 발생하고 출력 캐패시터에는 작은 전류 리플이 생긴다. C_1 , C_2 에는 MLCC를 사용하고 출력 캐패시터에 전해 캐패시터를 사용함으로써 출력 필터의 부피를 줄일 수 있다.

제안하는 구조의 검증에 위해 85W의 전원 장치를 구성하였다. 실험 사양은 입력 전압, $V_S=400V$, 출력 전압, $V_O=18.5V$, 턴 비, $n_{p_vb} : n_{s_vb}=22:1$, 스위칭 주파수, $f_S=198.253kHz$ 이다.

그림 5는 실험의 주요 파형을 나타낸다. 가장 위의 파형은 공진 형태의 1차 측 전류를 나타낸 것이고, 가운데와 아래의 파형은 각각 doubler 캐패시터와 출력 전압의 리플을 나타낸 것이다. 두 파형의 비교를 통해 CLC 출력 필터에 의해 전류 리플이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

그림 6은 구성된 컨버터의 측정 효율을 나타낸 그래프이다. 부하 전류가 커질수록 높은 효율을 보이는 것을 확인할 수 있다. 일반적으로 전원 장치는 중부하 영역에서 많은 손실과 열을 발생시키기 때문에 이와 같은 결과는 아답터 사양에 적합하다. 동작 상황에서의 최고 온도가 아답터의 성능을 결정하기 때문이다.

4. 결론

고효율이며 높이가 낮은 아답터의 설계 시 고려 사항을 제안하였다. LLC 공진 컨버터와 voltage doubler 정류기가 1, 2차 측에 사용되었다. 2차 측 권선을 PCB 패턴으로 사용하며 1차 측 구리 권선의 외곽에 위치시키는 변압기 구조를 제안하였다. 이는 간단한 구조, 넓은 도통 단면적을 가져 높이가 낮은 변압기 구조에 적합하였다. 85W 컨버터를 이용한 실험 결과로부터 96% 이상의 높은 효율을 얻을 수 있었고, 제안하는 방법이 고효율, 슬림 아답터 사양에 적합하다는 것을 확인하였다.

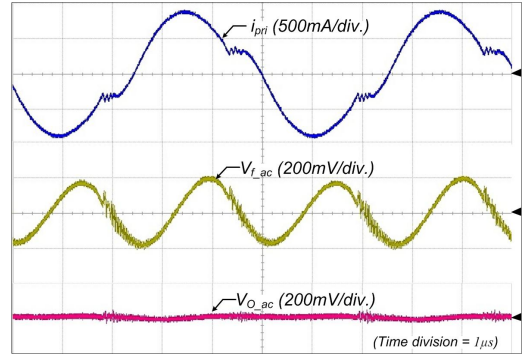


그림 5 주요 동작 파형

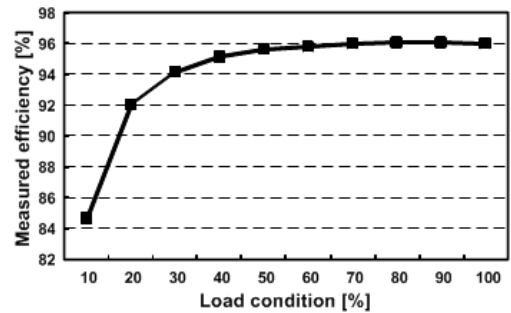


그림 6 제안하는 컨버터의 부하에 따른 효율 곡선

Acknowledgement

본 논문은 산학 협력의 일환으로 삼성전기 PERC의 지원을 받아 연구되었음

참고 문헌

- [1] B. C. Kim, K. B. Park, C. E. Kim and G. W. Moon, "LLC Resonant Converter With Adaptive Link-Voltage Variation for a High-Power-Density Adapter," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 25, no. 9, pp. 2248-2252, Sep. 2010.
- [2] C. Yan, F. Li, J. Zeng, T. Liu and J. Ying, "A Novel Transformer Structure for High power, High Frequency converter," in *Proc. Power Electron. Specialists Conf.*, 2007, pp. 214-218.