

개방형 고밀도 스위칭 컨버터의 개발

오용승, 김희일, 김희준
 한양대학교, 헥스파워시스템, 한양대학교

Development of Open Frame Type High Density Switching Converter

Yong-Seung Oh, Hee-Il Kim, Hee-Jun Kim
 Hanyang University, Hex Power System, Hanyang University

Abstract - This paper describes the open frame type high power density switching converter. It is based on active clamp forward converter with synchronous rectifier, and packaged by using the open frame and multi-layer printed circuit board (PCB) techniques to achieve the high power density. Furthermore, windings of transformer and inductor are also realized by multi-layer PCB so that it achieves the higher power density. Through the experiment on the proto-type converter of 50[W], it is confirmed that power density of 50[W/in³] and maximum efficiency of over 91[%] are obtained.

1. 서 론

최근 정보·전자 산업의 전 분야에 있어서 디지털 기술의 발달로 전자기기는 급속도로 소형·경량화 되고 있고 전자기기에 필수적인 직류전원을 공급하는 전원부도 소형·경량화가 요구되고 있다. 그러나 전원부는 스위칭 기법으로 인해 소형화가 이루어지고 있지만 전력용 반도체 소자, 자성소자, 용량성 소자, 각 소자의 기생성분 등의 존재로 인한 제약으로 기대하는 만큼 소형화가 이루어지지 않고 있다. 이를 해결하기 위해 고주파 스위칭이 가능한 공진형, 소프트 스위칭 등의 회로 방식과 손실 전력을 최소의 공간에 적절하게 분산할 수 있는 방열설계 및 packaging 방법을 적용한 고밀도 스위칭 컨버터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

최근에는 고밀도 스위칭 전원의 회로 설계에 있어 반드시 요구되는 고효율을 실현하기 위해 능동 클램프 방식, 소프트 스위칭 방식, 동기 정류방식 등이 사용 되고 있으며, 기존의 급속기판을 이용해 외함으로 봉합하는 밀폐형 실장 방법으로부터 전력밀도, 방열, 노이즈 등의 측면에서 장점을 지니는 다층기판을 사용한 개방형 실장법이 적용되고 있다.[1]

본 논문에서는 통신용 장비의 on-board형 전원으로 적합한 48[V] 입력, 5[V] 출력의 50[W] 스위칭 전원을 동기 정류방식 능동클램프 포워드 컨버터로 설계하여 다층기판 패턴설계, 개방형 실장법을 적용하여 제작, 시험하고 그 결과를 나타내었다.

2. 본 론

2.1 Active Clamp Forward DC-DC Converter

제작된 컨버터는 손실을 최소화 하기 위해 동기 정류기를 채용한 능동 클램프 포워드 컨버터로 회로도 는 그림 1

과 같다.

출력전압이 5[V]이하인 저출력 전압 전원의 경우 출력단의 정류회로에 schottky 다이오드를 사용할 경우, 전체 손실의 30-50 [%]을 발생하게 되어 고효율을 얻기 위해서는 동기 정류기의 채용이 불가피하다.[2][3]

동기정류기의 구동방식은 self-drive 방식으로 구성하였다. 별도의 IC를 이용한 동기정류기의 구동회로를 구성하면 손실을 더 저감할 수 있으나, 구조가 복잡해 지고 부품수가 증가하여 공간이 더 필요하게 되므로 self-drive 방식을 채택하였다.[4]

또한 누설 인덕턴스에 축적되는 에너지를 이용하여 주스위치 Q₁을 영전압 스위칭 하는 방법은 소프트 스위칭을 실현하기 위하여 트랜스포머의 1차측 인덕턴스의 값을 비영전압 스위칭 방법에 비하여 작은 값으로 설계하여야 하므로, 스위치의 전도 손실 및 자성체 손실의 증가로 인해 전체 효율이 1-2[%] 감소하게 되므로 비영전압 스위칭 방법을 적용하여 설계, 제작하였다.[5][6]

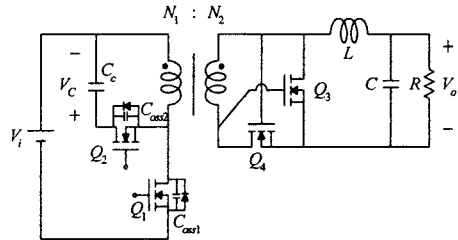


그림 1. 능동클램프 포워드 컨버터

표 1은 능동클램프 포워드 컨버터의 설계사양을 나타내었다. 컨버터의 외형은 산업계의 표준인 quarter brick을 기준으로 설계하였다.

표 1. 컨버터의 설계사양

Parameter	Contents
정격입력전압	48 [V _{DC}]
입력전압범위	40 ~ 60 [V _{DC}]
정격출력전압	5 [V _{DC}]
정격출력전류	10 [A _{DC}]
스위칭주파수	250 [kHz]
전 력	50 [W]
효 율	90 [%] 이상
전력밀도	50 [W/in ³]

2.2 PCB 트랜스포머 및 인덕터

트랜스포머, 인덕터 등의 자성소자의 권선을 PCB 패턴을 사용하여 제작하는 것은 동선을 사용하여 제작하는 것보다 별도의 절연체가 필요 없으며, fill-factor을 최대화할 수 있으므로 Low-profile 설계에 적합하다.(7)(8)

자성소자의 권선을 흐르는 전류와 절연간격을 고려하여 8층기판의 PCB 패턴을 사용하여 그림 2, 그림 3과 같이 설계하였다.

자성소자의 코어는 용량을 고려하여 RM8 코어로 선정하였고 높이를 가공하여 사용하였다. 트랜스포머의 경우 1차측과 2차측의 턴비는 4:1이고 설계되어진 PCB 패턴을 1층부터 8층까지 그림 2에 (a)에서 (h)까지 순서대로 정리하여 나타내었다. 트랜스포머의 1차측 패턴을 그림의 (f),(g)와 같이 설계하였고, 2차측은 (a)~(d)까지 4개의 층을 사용하였다. 트랜스포머의 1개층을 보조권선으로 사용하여 그림 (e)와 같이 설계하였고, (h)는 1차측 권선과 보조권선의 연결을 위해 사용하였다.

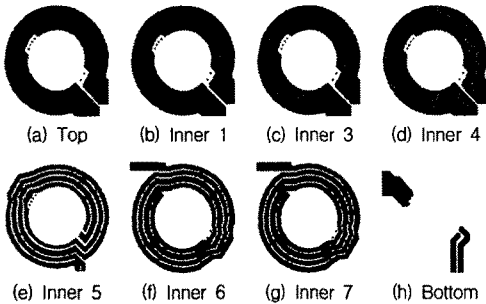


그림 2. 트랜스포머의 권선 설계

인덕터는 2턴으로 설계하였고 흐르는 전류를 고려하여 4개의 층을 병렬로 사용하였다. 다층기판의 각 층에 대한 인덕터의 PCB 패턴을 그림 3에 나타내었다.

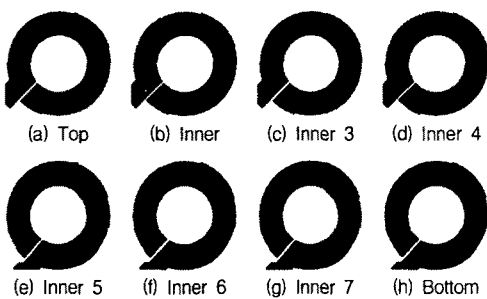


그림 3. 인덕터의 권선 설계

2.3 주요소자 및 배치

제작된 컨버터에 사용된 소자들을 표 2에 정리하여 나타내었다. 주스위치 Q_1 은 150(V) MOSFET을 2개 병렬로 사용하였고 동기정류기 Q_3 , Q_4 는 30(V) MOSFET을 각각 3개씩 병렬로 사용하였다. 출력 커패시터는 ESR을 최소화 하기 위하여 100[μ F] OS-CON과 22[μ F] MLCC를 병렬로 사용하였다.

그림 4에 전체 컨버터에 대한 주요소자의 배치를 블록도로써 나타내었다. 소자의 실장은 위·아래 양면을 사용하였고, feedforward 방식 Active Clamp/Rest PWM 제어

IC인 UCC3580을 사용하였다. 클램프 커패시터는 MLCC 220[nF]이고, 1차측과 2차측의 절연을 위해 opto-coupler를 사용하였다.

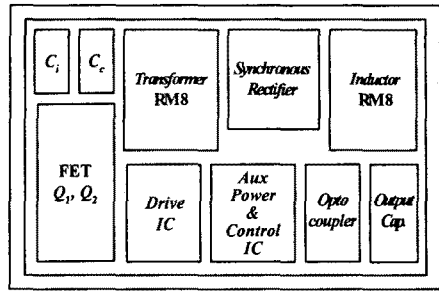


그림 4. 부품배치 블록도

표 2. 실험에 사용된 소자

Control IC	UCC3580
Drive IC	TC4420
Main switch	FQD9N15
Clamp switch	FDS2572
Transformer Core	RM8
Synchronous rectifi	SI4874DY
Inductor	RM8
Clamp capacitor	MLCC, 220 [nF]
Output capacitor	OS-CON, 100 [μ F]
	MLCC, 22 [μ F]

2.4 실험결과

제작된 컨버터의 주요특성을 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 그림 5는 정격입력전압, 정격출력전류시 주스위치 Q_1 의 게이트-소스 전압 파형과 드레인-소스 전압 파형을 나타내었다. 드레인-소스 전압이 능동 클램프 회로에 의해 약 90(V)로 클램프 됨을 볼 수 있다.

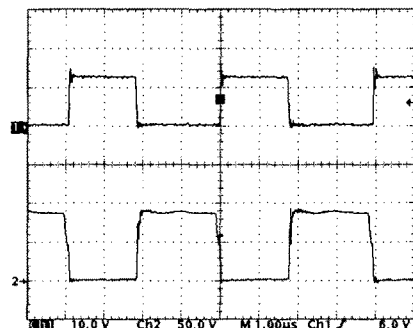


그림 5. 주스위치 Q_1 의 전압파형 ($I_o=10(A)$)
Ch1: 게이트-소스 전압 파형
Ch2: 드레인-소스 전압 파형

그림 6은 표 3에 정리된 효율특성을 그래프로 나타낸 것이다. 효율의 측정은 입력전압이 40(V), 48(V), 60(V)일

때 부하전류를 변화하면서 측정하였고 최대효율은 입력전압 48(V), 부하전류 10(A)일 때 91.2(%)로 측정되었다.

표 3. 부하전류에 따른 효율 [%]

입력전압	2[A]	4[A]	6[A]	8[A]	10[A]
40[V]	83.8	89.1	90.6	90.5	90
48[V]	82.8	89	90	90.6	91.2
60[V]	85.1	90.8	90.4	90.2	91.1

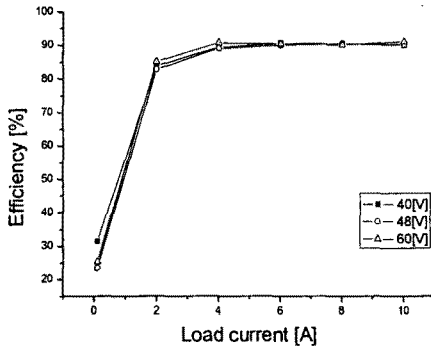


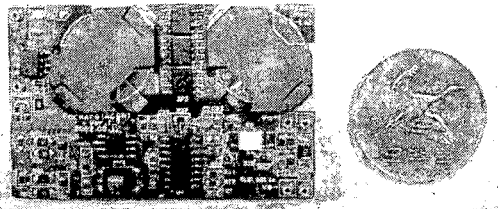
그림 6. 효율곡선

제작품의 외형은 표 4에 정리하였다. quarter brick을 기준으로 설계한 제작품의 외형은 $2.28 \times 1.45 \times 0.3 = 1[\text{in}^3]$ 이고 전력밀도는 $50[\text{W}/\text{in}^3]$ 이다.

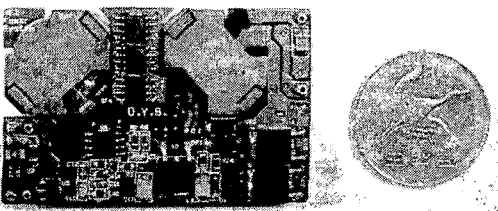
표 4. 제작품의 외형

unit	W	L	H	Volume	P	density
cm	5.79	3.68	0.76	16.2[cm ³]	50[W]	3.08[W/cm ³]
inch	2.28	1.45	0.3	1[in ³]	50[W]	50[W/in ³]

그림 7은 제작된 컨버터의 실물사진을 동전과 비교하여 나타내었다. 그림 7의 (a)는 앞면, (b)는 뒷면, (c)와 (d)는 측면 사진을 나타내었다.



(a) 앞면



(b) 뒷면



(c) 측면(가로)

(d) 측면(세로)

그림 7. 제작품 사진

3. 결 론

본 논문에서는 동기 정류방식 능동 클램프 포워드로 개방형 고밀도 스위칭 컨버터를 제작, 시험하여 그 결과를 정리하였다. 입력전압 48(V), 출력 5(V)/10(A)로 설계하였고 스위칭 주파수는 250(kHz)이다. 동기정류기 및 PCB 패턴을 이용한 자성소자를 적용함으로써 고효율 및 고밀도를 구현할 수 있었다. 제작된 컨버터는 최대부하에서 효율이 91.2(%)이고, 전력밀도는 $50[\text{W}/\text{in}^3]$ 이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김희준, "은보드형 고밀도 스위칭 컨버터의 기술 동향", 전자부품, 2002.
- [2] Bruce Carsten, "Design techniques for Transformer Active Reser Circuits at High Frequency and Power Levels", HFPC, pp235-246, 1990.
- [3] 김희준, 지호관 "MOSFET 동기정류기를 이용한 저전압 능동 클램프 Forward 컨버터에 관한 연구", 전기학회 학술연구 발표회 논문집, pp 886-888, 1993.
- [4] Milan M. Jovanovic, Michael T.Zhang, and Fred C. Lee, "Evaluation of Synchronous-Rectification Efficiency Improvement Limits in Forward Converters", I EEE Trans. on Industrial Electronics, vol.42, No. 4, pp387-395, Aug.1995.
- [5] 오덕진, 김희준, 김창선 "손실해석을 통한 능동 클램프 포워드 컨버터의 동작 특성비교", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1998.
- [6] Cobos, J.A.; Garcia, O.; Uceda, J.; Sebastian, J.; de la Cruz, E. "Comparison of high efficiency low output voltage forward topologies", PESC, pp 887 -894, 1994.
- [7] P. Alou, O. Suter, J. A. Cobos, J. Uceda, S. Ollero "Design of a 1.5V Output Voltage On-board DC/DC Converter with Magnetic Component Intergrated in a Multilayer PCB", Applied Power Electronics Conference and Exposition, pp 764-769, 1997.
- [8] O.garcia, J.A.Cobos, R.Prieto, J. Uceda and S. Ollero. "A Standard Design Method for High Frequency PCB Transformer", pp 335-339, 1995.