

높은 전력밀도를 갖는 개방형 DC-DC 컨버터 모듈에 관한 연구

연 제 선, 안 태 영
 청주대학교 정보통신공학부

A Study on Open-Frame Type DC-DC Converter Module with High Power Density

Je-Sun Yon, Tae-Young Ahn
 School of Information and Communication Engineering, Cheongju University

Abstract - This is a thesis that a quarter-brick size of 100W class open-frame type on board power module comprising telecommunication application is reported. The input voltage is established between 36 and 75 in range in order for power module to be utilized for the telecommunication application, and output were set at 3.3V and 30A. A number of parts used for transformer, inductor, and hit sink are composed of PCB in order for DC-DC converter to be lowered below 8 mm. A constant current control circuit was annexed to the system as well as basic protection prototypes such as over-voltage, over-current, and over-temperature were well considered to enhance more credibility, and were tested. As a result, high circuit performance and credibility turned out to be significant.

1. 서 론

스위칭 전원장치는 고효율이며 소형화가 가능하기 때문에 산업 전반에 널리 사용되고 있는 추세이다. 또한 전원장치의 전력 변환 효율은 회로의 내부 손실과 밀접한 관계가 있고, 손실이 증가함에 따라서 전원장치의 발열량이 비례하기 때문에 방열 설계에서 중요한 평가기준이 되기도 한다. 따라서 전원장치의 효율을 높이지면, 장치의 신뢰성이 높아지고, 운전 수명이 길어지며, 방열을 효율적으로 운용할 수 있기 때문에 제품의 외형을 소형화시킬 수가 있다.[1-3]

본 논문에서는 통신기용 전원장치에 적합한 쿼터 브릭(quarter-brick) 사이즈(2.3inch × 1.45inch)의 100W급 개방형 온보드 전원장치를 구성하여 실험 결과를 보고한 것이다. 전원장치는 통신기용으로 사용하기 위해서 입력 전압을 36-75V 범위로 설계하였으며 출력은 3.3V, 30A로 하였다. DC-DC 컨버터 모듈을 0.315inch(8mm) 이하로 낮추기 위해서 변압기, 인덕터, 방열판 등의 소자는 PCB를 이용하여 회로에 일체시킨 형태로 구성하였다. 실험 회로의 성능과 신뢰성을 고려하여 과전압, 과전류, 과온도 등의 기본적인 보호회로 외에도 실험 회로의 신뢰성을 더욱 향상시키기 위하여 정전류 보호 회로를 추가, 구성하였다.

2. 능동 클램프형 파워 컨버터

그림 1은 동기 정류기를 갖는 능동 클램프형 파워 DC-DC 컨버터의 기본 회로를 나타내었다.[4, 5] 그림 1의 기본회로가 일정한 스위칭 주파수 f_s 와 일정한 시비율 D에서 동작하며, 각 소자가 이상적인 특성을 갖는다고 가정하면, 그림 2와 같은 등가회로를 구성할 수 있다. 그림 2의 등가회로가 정상상태에서 동작하는 경우, 각 스위치 Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 의 동작 상태에 따른 상태별

등가회로를 그림 3에 나타내었다. 그림 4에서는 각 상태에 대한 이상적인 동작 파형을 나타내었다. 그림 3의 등가회로와 그림 4의 이론 파형으로부터 회로의 동작은 두 가지 상태로 다음과 같이 간단하게 설명된다.

그림 3 (a)의 등가회로에서 주 스위치 Q_1 이 제어 신호에 의해서 도통되면 변압기 1차 측 전압은 입력 전압 V_{IN} 과 같아지고, 변압기 권선비 N에 의해서 2차 측 전압이 유기되면서 Q_3 의 게이트-소스에 (+)의 전압이 인가되므로 Q_3 는 ON 상태가 되고, Q_4 는 역 바이어스 이므로 OFF 상태가 된다. 그림 3 (b)의 등가회로에서 보조 스위치 Q_2 가 제어 신호에 의해서 턴 온 되고, 변압기 1차측 전압이 클램프 전압 V_{CL} 과 같아지면서 변압기 권선비 N에 의해서 동기 정류기 Q_4 는 ON 상태가 되고, Q_3 는 OFF 상태가 된다.

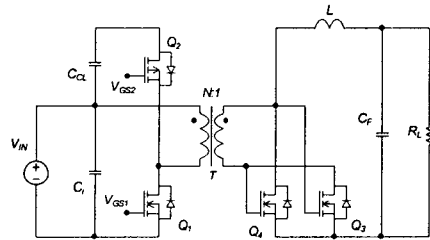


그림 1. 능동 클램프 파워 DC-DC 컨버터의 기본 회로

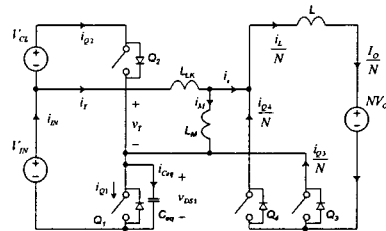
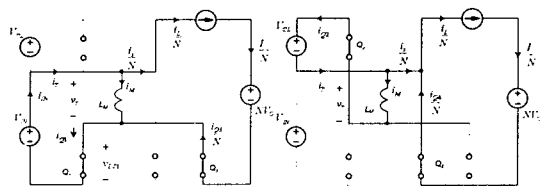


그림 2. 등가 회로



a) Q1, ON 상태 b) Q2, ON 상태

그림 3. 상태별 등가 회로

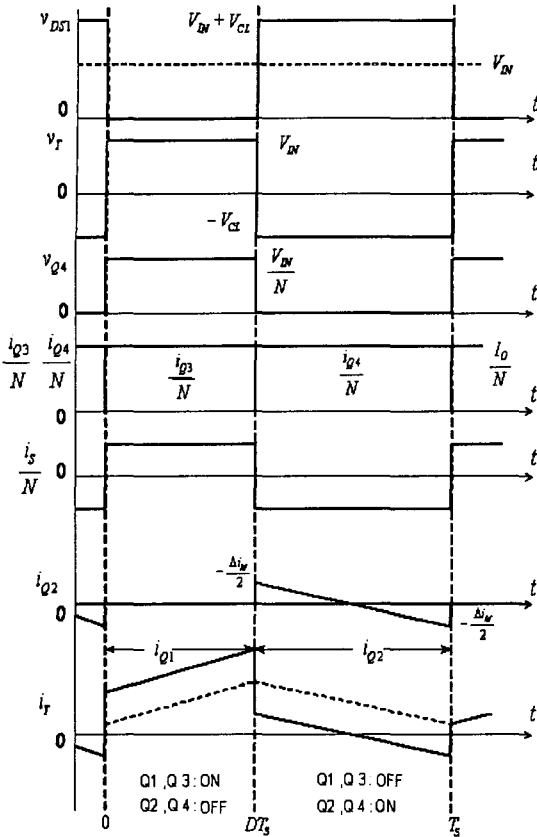


그림 4. 각 상태별 이론 동작 파형

3.고 전력밀도를 갖는 컨버터의 설계

본 논문에서는 통신용 전원장치에 적합한 쿼터 브릭(quarter-brick) 사이즈(2.3inch × 1.45inch)의 100W급 개방형 온보드 전원장치를 구성하였다. DC-DC 컨버터 모듈의 높이를 0.315inch(8mm) 이하로 최소화하기 위해 변압기, 인덕터, 방열판 등의 부피가 큰 소자는 8층의 다층 인쇄 회로 기판에 일체화 시키는, 소위 다층 PCB로 제작하여 회로에 일체시킨 형태로 구성하였다.

고효율, 소형, 경량, 초박형의 전원장치를 구현하기 위해서는 저손실의 다층 PCB 제조 기술을 이용해야하며, 본 논문에서는 PCB의 외부를 2oz, 내부는 3oz의 다층 PCB 공정을 이용, 최적의 전류밀도를 낼 수 있는 변압기와 인덕터를 설계하여 고효율 전원회로를 구현하였다.

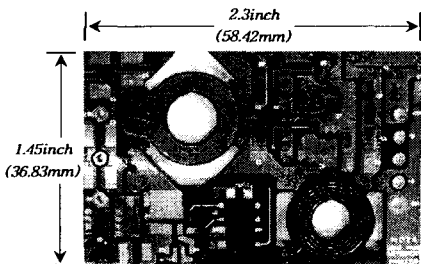
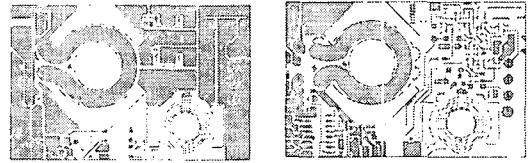
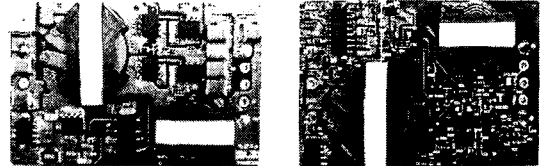


그림 5. PCB의 외형 규격



(a) Top Layer (b) Bottom Layer

그림 6. 다층 PCB Layout 도면



(a) Top (b) Bottom

그림 7. 능동 클램프 포워드 DC-DC 컨버터

그림 5는 본 논문의 시제품, 제작에서 사용된 PCB의 외형 규격을 나타낸 것이다. PCB의 내부에 변압기와 인덕터를 구성하기 위한 홀을 미리 만들어두게 하였으며 제품 구성 시에 코어를 끼워서 간단히 구성 할 수 있도록 하였다. 그림 6은 Orcad를 이용한 다층 PCB의 Layout 도면을 나타낸 그림이다. 여기서 변압기와 인덕터의 권선은 큰 자화 인덕턴스를 얻을 수 있는 나선형 권선 방법 중에 원형 패턴을 이용하였으며, 최대 전류가 흐를 때 PCB 권선에 흐르는 전류의 밀도를 계산하여 최적의 전류밀도를 낼 수 있는 변압기와 인덕터로 구성하였다.

본 논문에서는 정해진 전원장치의 체적에서 일정한 전력손실을 감당해야하기 때문에 일정한 신뢰성을 확보하기 위해서는 효율적인 열처리가 매우 중요하다. 효과적인 방열효과를 얻기 위해서 외층과 내층은 여러개의 비아를 통하여 연결 되어있으며, 전력손실이 집중되는 반도체 스위치는 PCB의 랜드 사이즈를 극대화 시켜서 방열효과를 얻을 수 있도록 하였다. 입력과 출력 단자는 지그로 구성하였는데 이는 컨버터의 원활한 테스트와 다른 기기의 시스템 보드에 직접 실장 할 수 있는 장점이 있다. 또한 회로에 적용 될 각 소자의 용량 및 내압의 선정을 위해 참고 문헌의 능동 클램프 포워드 컨버터의 기본 설계 식을 이용하였다. 그림 7은 100W급 초박형 능동 클램프 포워드 DC-DC 컨버터의 실험을 위해 제작된 쿼터 브릭(quarter-brick) 사이즈(2.3inch × 1.45inch)의 완성된 컨버터의 외형을 나타내었다.

4.실험 결과

표 1에서는 본 논문에서 제안된 컨버터의 설계 사양을 나타내었다.

표 1. 실험 회로의 사양

Parameters	Name	Value	Unit
Input voltage range	V_i	36-75	V
Output voltage	V_o	3.3	V
Output current	I_o	30	A
Maximum output power	P_o	100	W
Switching frequency	f_s	320	kHz

본 논문에서 제작된 회로의 입력 전압은 통신용 전원 장치에 적합한 36-48-75V 범위로 설계하였으며 출력은 3.3V, 30A로 하였다. 회로에서 주 스위치는 200V, 4A의 정격인 Vishay Siliconix사의 Si4490DY를 사용하였고, 보조 스위치는 150V, 2.2A의 정격인 IRF6618을 사용하였다. 동기 정류기는 30V, 23A의 정격인 Si4430DY 2개를 각각 병렬로 구성하였으며, 따라서 총 4개의 FET를 동기 정류용 소자로 사용하였다. 또한 변압기는 TDK사의 PC40 재질의 RM8 코어를, 인덕터는 ISU사의 Ferrite 코어인 ER코어를 사용하였다. 변압기의 권선비 N은 6:1이었으며, 인덕터 권선수는 2턴으로 하였다. 실험 회로의 성능과 신뢰성을 고려하여 과전압, 과전류, 과온도 등의 여러 가지 보호회로를 추가 구성하였으며, 실험 회로의 신뢰성을 더욱 향상시키기 위하여 정전류 보호 회로를 추가, 구성하여 실험하였다.

그림 8은 정상 상태에서의 주스위치와 보조 스위치의 게이트-소스 와 드레인-소스 파형을 나타낸 것이며, 보조스위치로 P-채널 FET를 사용했기 때문에 주스위치와 보조스위치의 게이트 파형이 동상으로 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 두 개의 스위치가 동시에 온 되는 것을 방지하고, 영 전압 스위칭이 가능하도록 데드타임이 설정 되어 있는 것을 볼 수 있다. 그림 9는 최대 출력 부하에서 변압기에 흐르는 전류 파형을 나타낸 그림이며, 주스위치의 드레인-소스 전압이 0으로 떨어진 후 변압기 1차측에 흐르는 전류가 상승 됨 으로서 영 전압 스위칭이 되는 것을 확인 할 수가 있다. 그림 10은 컨버터의 출력 전류에 따른 전력변환 효율을 나타낸 것이며, 다층 PCB 변압기 및 인덕터를 사용한 결과 최대 효율은 90.6%, 최대 부하에서는 84%의 효율을 얻었다.

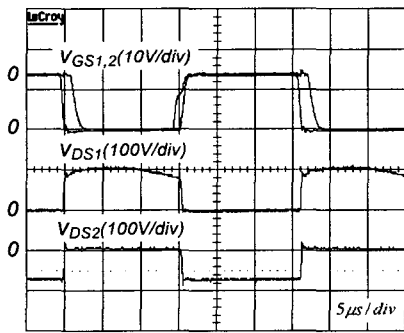


그림 8. 주스위치와 보조스위치의 게이트-소스와 드레인-소스 파형

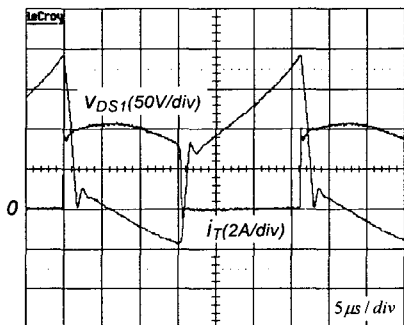


그림 9. 변압기의 전류 파형

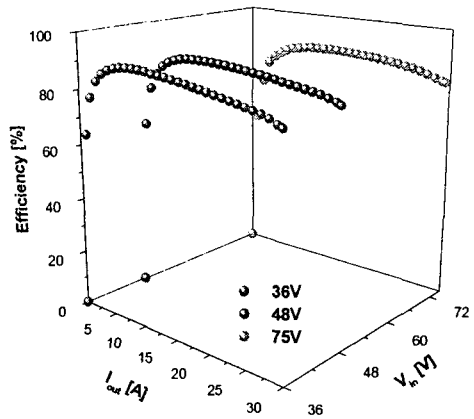


그림 10. 출력 전류에 따른 전력변환 효율

5.결 론

본 논문에서는 통신기용 전원장치에 적합한 쿼터 브릭 (quarter-brick) 사이즈(2.3inch × 1.45inch)의 100W급 개방형 온보드 전원장치를 구성하여 실험 결과를 보고한 것이다. 전원장치는 통신기용으로 사용하기 위해서 입력 전압을 36-75V 범위로 설계하였으며 출력은 3.3V, 30A로 하였다.

DC-DC 컨버터 모듈을 8mm 이하로 낮추고 고효율, 소형, 박형화의 컨버터를 구현하기 위해서 변압기, 인덕터, 방열판 등의 소자는 PCB를 이용하여 회로에 일체시킨 형태로 구성하였다. 그 결과 컨버터의 전력 밀도를 95 watt/in³ 이상으로 높일 수 있었다. 실험 회로의 성능과 신뢰성을 높이기 위해서 과전압, 과전류, 과온도 등의 기본적인 보호회로 외에도 정전류 보호 회로를 추가, 구성하여 실험하였다.

이 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 청주대학교 정보통신 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 안태영, 황선민, 조인호, "저전압 대전류용 개방형 DC DC 컨버터 모듈에 관한 연구", 전기학회논문지, 제 52권 제4호, pp. 183-190, 2003년 4월.
- [2] Yuri Panov and Milan M. Jovanovic', "Design and Performance Evaluation of Low Voltage / High Current DC DC On Board Modules" IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 16, No. 1, January 2001.
- [3] Haruo Watanabe, Hirofumi Matsuo, Haruhiko Hatakeyama, "Design Oriented Analysis of a Novel Soft Switching DC DC Converter with 2V/20A DC Output" IEEE PESC 01. pp. 884-889, 2001.
- [4] Haruo Watanabe, Hirofumi Matsuo, Haruhiko Hatakeyama, "Analysis of the Novel Soft Switching DC DC Converter with Low Output Voltage" IEEE PESC 00. pp. 1503-1509, 2000.
- [5] Laszlo Huber, Milan M. Jovanovic', "Forward Flyback Converter with Current Doubler Rectifier: Analysis, Design, and Evaluation Results," IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 14, No. 1, pp. 184-192 January 1999.