

가전기기용 직류전원 모듈 설계 및 신뢰성 특성 해석

모영세¹, 송한정^{1,2*}

¹인제대학교 나노융합공학과, ²인제대학교 나노메뉴팩처링연구소

Design and Reliability Evaluation of 5-V output AC-DC Power Supply Module for Electronic Home Appliances

Young-Sea Mo¹, Han-Jung Song^{1,2*}

¹Department of Nanoscience & Engineering, Inje University

²Center for Nano Manufacturing, Inje University

요약 본 논문은 소형 가전기기를 위한 AC DC 파워모듈 설계를 제시하고 효율과 신뢰성 및 안정성 특성을 나타낸다. 제안하는 파워모듈은 PCB 테스트보드에서 PWM 제어 IC 칩, 파워모스 소자, 트랜스포머, 각종 수동소자 (저항, 커패시터, 인덕터)를 사용하여 제작하였다. 본 논문에서 제시한 AC DC 파워모듈 회로 시뮬레이션 결과를 토대로 측정된 실험에서 입력 전압은 상용전원 전압 220 V (RMS), 주파수 60 HZ의 교류전압(VAC : Voltage alternating current)을 사용 하였으며, 출력전압, OCP (over current protection), EMI(electromagnetic interference), PWM 신호 펄스, 효율 측정, 패키징 여부에 따른 발열 측정 등을 실시하였다. 또한 파워모듈의 온도에 따른 특성변화와 트랜스포머 기준으로 1차측의 회로와 2차측 회로의 절연상태 확인을 하기 위한 내전압 테스트 등의 신뢰성테스트를 실시하였다. 효율 및 신뢰성 측정결과, AC DC 파워 모듈이 5 V의 출력전압, 200 mV의 리플, 약 73 %의 효율, 온도 약 80℃ 까지 안정적으로 동작함을 확인하였으며, 4.2 kV의 크기로 60초 동안 견디는 내압 성능을 보였다.

Abstract This paper presents an AC-DC power module design and evaluates its efficiency and reliability when used for electronics appliances. This power module consists of a PWM control IC, power MOSFETs, a transformer and several passive devices. The module was tested at an input voltage of 220V (RMS) (frequency 60 Hz). A test was conducted in order to evaluate the operation and power efficiency of the module, as well as the reliability of its protection functions, such as its over-current protection (OVP), overvoltage protection (OVP) and electromagnetic interference (EMI) properties. Especially, we evaluated the thermal shut-down protection (TSP) function in order to assure the operation of the module under high temperature conditions. The efficiency and reliability measurement results showed that at an output voltage of 5 V, the module had a ripple voltage of 200 mV, power efficiency of 73 % and maximum temperature of 80℃ and it had the ability to withstand a stimulus of high input voltage of 4.2 kV during 60 seconds.

Keywords : AC-DC, Analysis, Converter, Power module, Reliability

1. 서론

최근, 산업기기 및 자동화 설비, 자동차, 가정용기기 등 여러 분야에서 전원공급 장치인 파워모듈의 활용도가

크게 증가하고 있다 [1-2]. 전기 자동차와 일부 가정기기에 적용되는 파워 모듈은 고온 및 진동 등의 열악한 환경에서 동작하기 때문에 높은 신뢰성이 요구된다.[3] 또한 전력 변환 하는 IC는 장시간 사용하기 위해 넓은 부

본 논문은 2016년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2014H1C1A1066686)

*Corresponding Author : Han Jung Song (Inje University)

Tel: +82-55-320-3873 email: hjsong@inje.ac.kr

Received October 31, 2016

Revised (1st February 27, 2017, 2nd April 5, 2017)

Accepted April 7, 2017

Published April 30, 2017

하조건에서 높은 효율을 갖는 AC-DC 컨버터가 필요하다.[4] 이에 따라 이를 구현하기 위한 다양한 개발을 하고 있으며, 특히 PWM 방식의 효율감소 문제, 신뢰성 및 안정성에서 큰 문제로 대두되고 있다.[4]

AC-DC 변환기는 안정적인 신뢰성을 갖는 출력 및 전압변화에도 출력전압이 안정적으로 공급 될 수 있도록 설계되어야 한다. 그러므로 고신뢰성, 고효율의 컨버터 설계를 위해서는 온도, 내구성 등의 신뢰성 평가, 효율, 보호회로에 대한 정확한 분석이 필요하다. 파워모듈의 보호기능은 크게 과전류보호, 저전압감지, 과열보호 세 가지가 있다.

본 논문에서는 가전기기에 활용되는 5 V 출력의 AC-DC 변환기를 트랜스포머와 PWM 제어 칩 및 power MOS 소자를 사용하여 설계하고, 온도 및 내전압에 따른 신뢰성 특성평가를 실시하였다. 2장에서는 파워 모듈의 회로 설계와 시뮬레이션을 진행하였고, 3장에서는 테스트용 PCB보드에 구현한 파워모듈의 측정하였다. 4장에서는 온도에 따른 전압특성, 내전압테스트 등의 신뢰성특성을 나타낸다. 이는 차후 가전기기 파워모듈 응용에 활용 될 것으로 사료된다.



Fig. 1. DC power module range of application [5]

2. 가전용 직류전원 모듈 설계

그림 2은 제안하는 가정용 전자 기기 컨버터의 블록도를 나타내었다. 제안하는 블록도는 EMI 필터, 브릿지 다이오드, 트랜스포머, 컨트롤 IC, 각종 다이오드, 능동 소자 및 수동 소자로 구성되어있다. 컨트롤 IC는 피드백을 통해 PWM 파형을 생성한다.

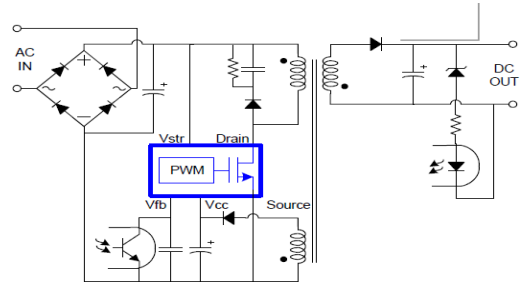


Fig. 2. Proposed AC-DC converter block diagram

표 1.에 제안하는 컨버터의 목표 스펙을 나타내었다. 입력전압은 상용전압 (AC) 220V이며, 출력 전압은 5V를 목표로 하였다. 스위칭 주파수는 200kHz로 동작한다. 출력 전류는 500~1200mA로 하였으며, Over current protection(OCP)는 1.4A로 기준을 하였다. 효율은 70% 이상으로 제안하였다.

Table 1. Key Spec. of proposed converter

Spec.	Value	Units
Supply voltage	220(AC)	V
Output voltage	5	V
Load current	0.5~1.2	A
Switching frequency	200k	Hz
OCP	1.4	A
Efficiency	73	%

그림 3은 SPICE 회로 시뮬레이션을 위한 시뮬레이션 회로와 모의실험 결과를 나타내었다. 입력 전압은 AC 220V 이며 시뮬레이션 결과로 출력값 5V로 나타난다.

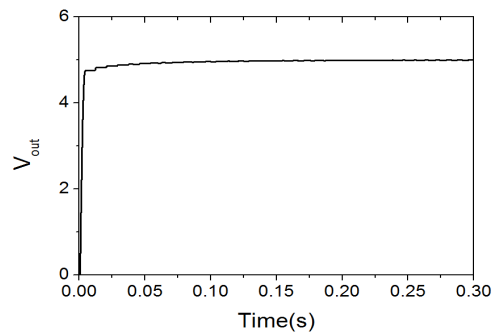


Fig. 3. The proposed power module Spice simulation result

3. 전원모듈 구현 및 측정

그림 4는 제안하는 컨버터 측정을 하기위해서 PCB

테스트보드를 제작하고 각종 수동 소자 및 파워모스를 구성하고 PWM은 상용 IC칩을 이용하였다.

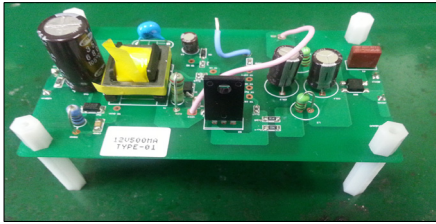


Fig. 4. Test board of proposed converter

제안하는 컨버터는 출력 전압, OCP, EMI, PWM 펄스, 효율등을 측정 하였다. 그림 5은 제안하는 컨버터의 출력전압을 나타낸다.

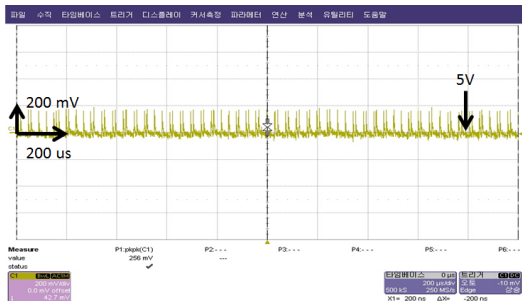


Fig. 5. Output voltage of proposed converter

상용전압 (AC)220 V의 입력을 통해서 출력 전압 5V 를 측정하였고 리플은 200 mV정도 측정이 되었다.

3.1 스위칭 주파수 측정

상용 IC칩에서 PWM의 펄스신호가 파워모스의 게이트에 인가된다. 이 주파수를 200kHz로 제안하는 모듈에서 설정을 하였다. 측정 결과 PWM 출력단의 펄스 주파수는 190~200kHz로 측정되는 모습을 확인 하였다.

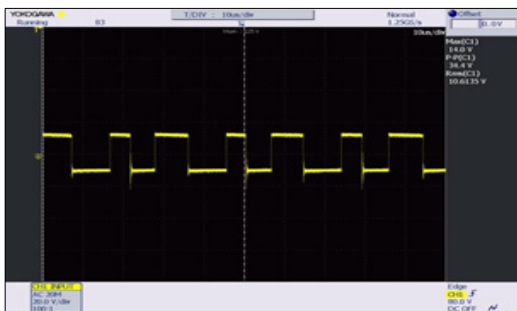
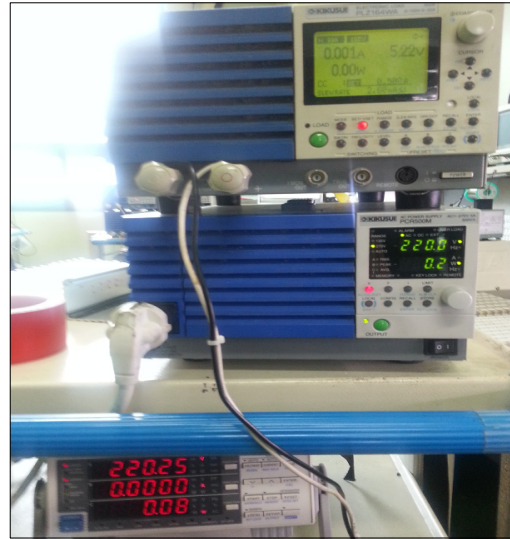


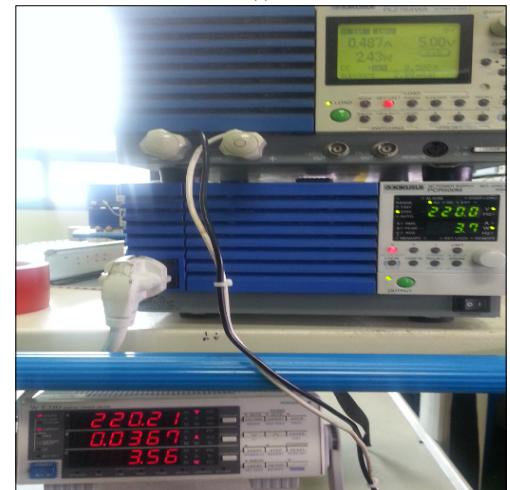
Fig. 6. Frequency measurement result of proposed converter

3.2 모듈의 효율 및 대기전력 측정

효율은 모듈의 중요한 부분중 하나이다. 제안하는 모듈은 220V의 상용 AC전압이 인가될 때, 대기전력 및 효율을 측정하였다. 측정결과 표 2.와 같이 220V의 상용 AC전압을 사용하고 부하에는 500mA의 전류가 흐르면, 그때의 효율은 73.3%가 되고 무부하시 대기 전력은 0.08W가 측정 되었다.



(a)



(b)

Fig. 7. Efficiency measurement results of proposed converter

(a) No load, (b) Load

Table 2. Measurement results of converter (220V conditions)

Input stage		Output stage		Efficiency
No load	load	No load	load	
0.08 W	3.56 W	5.22 V	5 V	73.3% (0.5 A)

4. 실험결과 및 검토

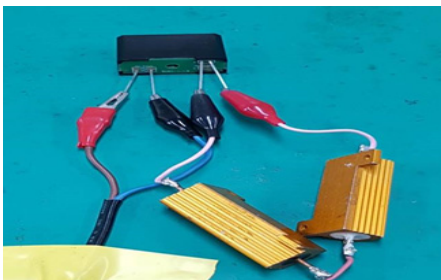
4.1 신뢰성 특성 실험방법

아래 표 3. 는 신뢰성 특성 측정을 위한 사용장비와 측정환경을 나타낸다.

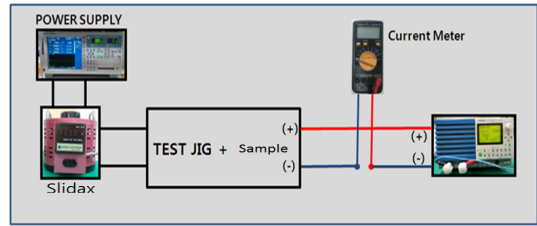
Table 3. Environment for reliability test of the power module

item	equipment	environment
EMI	-Spectrum Analyzer : NEX Future, NS-30A -Network Equipment: EMCO, 3816/2	-start frequency:150 kHz -stop frequency:30 MHz -Input voltage:Vac 220V
OCP	-Power Supply : KIKUSUI, PCR-500M -Electronic Load: KIKUSUI, PLZ164W	-Normal temperature and humidity, AC 85V ~ 264V, 100mA ~ maximum current
Temperature	Thermal imaging equipment FLUKE, Ti25	-AC 220V, Full Load 1Hr
withstanding voltage	Insulation Pressure Tester: KIKUSUI, TOS8850	-1 block '+' ~ '-' short & 2block '+' ~ '-' short, 5kV/10mA, 60sec

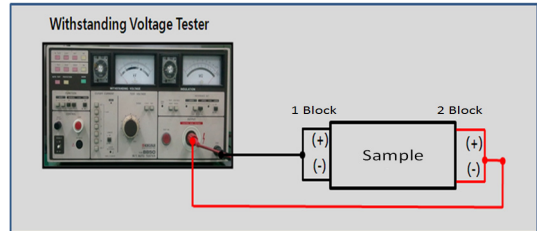
그림8 는 신뢰성 특성 시험구성을 나타내며 제안하는 파워모듈을 패키징 상태에서 신뢰성 특성 분석을 실시하였다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 8. Reliability test configuration (a)EMI (b) OCP (c) withstanding voltage

4.2 EMI 측정

입력전압 상용전압 220V가 인가될시 잡음 신호도 함께 인가가 된다. 이때, EMI 필터를 사용하여, 입력 잡음 신호를 제거하여 효율을 높인다.

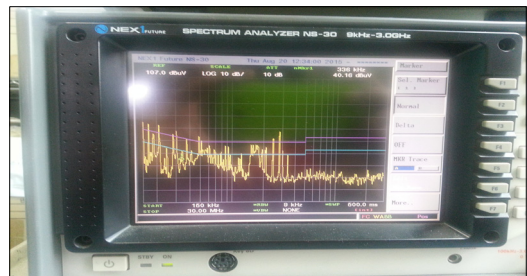


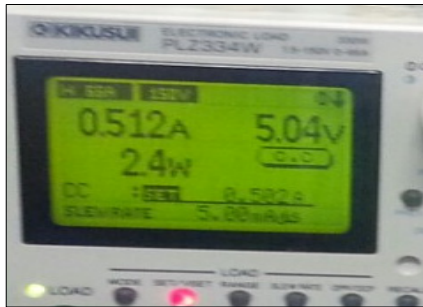
Fig. 9. EMI measurement result of proposed converter

그림 9는 EMI 측정 결과이다. 일반적으로 기준 선 보다 아래로 노란색의 피크가 나타나고 있다. 이는 EMI 필터가 잘 작동되고 그에 따른 입력 전압의 잡음이 제거된다고 볼 수 있다.

4.3 Over current protection(OCP) 측정

다음은 출력단에 과전류가 흘러 부하에 영향을 감소하기 위해서 Over Current Protection(OCP) 회로를 측정하였다. OCP 측정을 위해서 부하단에 인위적인 전류를 생성하여 허용 전류 및 과전류의 상태를 통해서 부하 전압의 변화를 관찰하여 결과를 그림 10에 나타내었다. 0.5 A와

1 A의 부하에서는 출력전압 5 V가 측정이 되었고 1.4 A에서 4.88 V의 낮은 출력 전압을 보이고, 1.5 A에서는 0.73V의 회로 off상태가 되는 것을 확인 하였다.



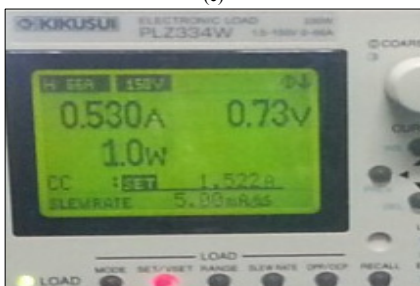
(a)



(b)



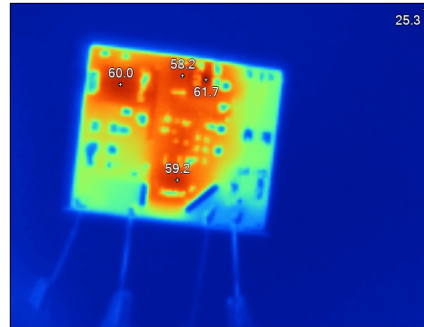
(c)



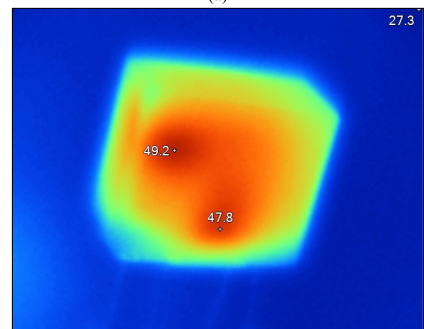
(d)

Fig. 10. OCP measurement results of proposed converter
 (a) Output current 0.5A, (b) Output current 1A
 (c) Output current 1.4A, (d) Output current 1.5A

전원 모듈의 패키징은 모듈이 동작할 때 발생하는 온도를 줄여 모듈의 안전성 및 신뢰성을 높여준다. 또한 외부 환경에 의해서 모듈에 피해를 받는 경우에 보호하는 역할을 한다. 본 측정은 모듈의 프로토타입의 패키징 유무에 따라 작동 시 발생하는 온도 변화를 측정하였다.



(a)



(b)

Fig. 11. Temperature measurement results of proposed converter
 (a) Un-package, (b) Package

그림 11에서 볼 수 있듯이, 그림11(a)는 패키징 없이 모듈이 작동하였을 때 발생하는 온도를 측정하였다. 측정 결과 왼쪽 측면에 60°C 와 중앙 하단에 59.2°C 가 측정 되었다. 그리고 그림 10(b)에서 볼 수 있듯이, 패키징 시에는 49.2°C와 47.8°C가 측정 되었다. 결과로 패키징을 통해서 모듈이 오랜 시간 동작하여도 안전하게 유지 될 것으로 사료된다.

4.4 전원모듈의 온도 신뢰성 해석

전원 모듈을 챔버에 넣어 -10°C에서 80°C까지 온도를 서서히 증가시켰을 때 부하저항의 전압을 측정하였다. -10°C에서 79°C까지 거의 변화하지 않고 80°C에서 전압이 급격히 감소하였다.

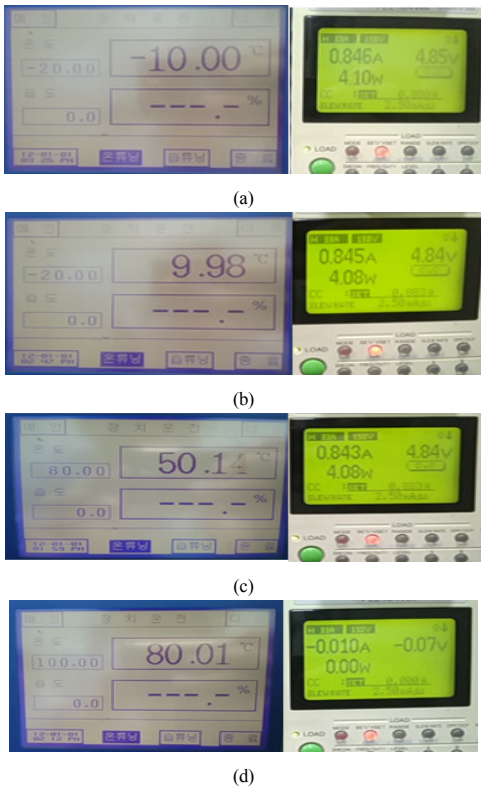


Fig. 12. Measurement results of Power module according to temperature change
(a) -10°C, (b) 10°C, (c) 50°C, (d) 80°C

4.5 전원모듈의 내전압 신뢰성 해석

내전압 테스트는 1차단 회로와 2차단 회로사이에 트랜스퍼를 기점으로 완전한 절연상태를 확인하기 위한 신뢰성 테스트이다.

내전압 테스트 실험조건은 1차단에 교류 220V, 2차단을 단락시키고 테스트 전압 3kV~5kV, 5mA일때 60초간 실험을 실시하였다. 테스트전압 4.5 kV부터 과위모듈의 오작동이 발생하였다.



(a)



(b)

Fig. 13. withstanding voltage test (a) tester (b) test

5. 결론

본 논문은 가전제품을 위한 소형 전원 모듈 AC-DC 변환기를 설계 및 측정을 하였다. 제한하는 모듈은 PWM 방식으로 상용전압(220 V) 입력 전압과 5 V의 출력 전압, 200kHz의 스위칭 주파수를 갖는다. Test board PCB를 제작하여 각종 측정 항목을 측정하였다. 측정 결과 73%의 효율 및 1.4 A OCP 허용전류를 확인 하였다. 본 모듈은 가전제품을 위한 소형 전원 모듈 AC-DC 변환기에 적합하게 사용될 것 이라고 사료된다.

References

- [1] AHN, Youngkook; NAM, Hyunseok; ROH, Jeongjin. A 93.5% efficiency, 400-mA current-mode dc-dc buck converter with watchdog functions. In: SoC Design Conference (ISOCC), 2009 International. IEEE, pp. 428-431, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1109/SOCC.2009.5423862>
- [2] PIAO, L. M. A study on Design of PMIC of SEPIC/BOOST Topology with Integrated current sensing circuit. Inha University Master degree, 2011.
- [3] B. W. Kim and J. Hur, "Technology trend of green car power module", Communications of the Korea Information Science Society, vol. 28 no. 7, pp. 21-24 2010.
- [4] ZHANG, Xin, et al. A 0.6-V input 94% peak efficiency CCM/DCM digital buck converter in 40-nm CMOS with dual-mode-body-biased zero-crossing detector. In: Solid-State Circuits Conference (A-SSCC), 2013 IEEE Asian. IEEE, pp. 45-48, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1109/ASSCC.2013.6690978>
- [5] YOON, Jeong-Won, et al. Power Module Packaging Technology with Extended Reliability for Electric Vehicle Applications. Journal of the Microelectronics and Packaging Society, vol. 21, no. 4, pp. 1-13, 2014. DOI: <https://doi.org/10.6117/kmeps.2014.21.4.001>

모 영 세(Young-Sea Mo)

[준회원]



- 2017년 2월 : 인제대학교 나노융합공학부 (공학사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 인제대학교 나노융합공학과 재학중

<관심분야>

반도체, 회로설계, 소자

송 한 정(Han-Jung Song)

[정회원]



- 1986년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)
- 1988년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 인제대학교 나노공학과 정교수

<관심분야>

반도체 소자 신뢰성 및 회로설계