전원장치의 소형화와 고효율화를 위한 스위칭 파워 모듈의 제작과 특성에 관한 연구

김찬 · 전의석 · 강도영 · 김병철*
(주)모빌일렉트론 · *진주산업대학교 전자공학과

A Study on the Characteristics and Fabrication of Switching Power Module for High Efficiency and Small Size of Power Supply System

Chan Kim · Eui-seok Jeon · Do-young Kang · Byung-cheul Kim*
Mobile Electron Co., Ltd · *Dept. of Electronic Engineering, Jinju National University
E-mail : bckim@jinju.ac.kr

요 약

전원장치의 소형화 핵심기술인 반도체 스위칭 기술을 이용하여 단일 전원을 사용하는 소형, 경량화 전자기기에 적합한 5 V/500 ㎃급 트랜스리스형 파워 모듈(transless type power module)을 설계하였다. 파워 모듈은 강압형 chopper 방식을 이용한 스위칭회로, 제어회로, 전압검출회로, 그리고 정전압 회로 등으로 구성되어 있으며, 하이브리드-집적회로형(hybrid-IC type)으로 제작되었다. 본 연구에서 설계한 스위칭 레귤레이터 전원회로는 5 V/500 ㎃급 트랜스리스형 파워 모듈의 전기적 특성을 만족하였다.

ABSTRACT

We have designed 5 V/500 ㎃ transless type power module by using semiconductor switching technique, key technique for small size of power supply system. The power module is suitable to a small sized electronic system using a single power supply. It is composed of switching circuit using voltage drop type chopper method, control circuit, voltage detect circuit, and constant voltage circuit, and is fabricated to hybrid-IC type. The switching regulator power supply circuit, designed in this study, has satisfied the electrical characteristics of 5 V/500 ㎃ transless type power module.

키워드
Transless Type Switching Regulator, Power Module, Small Size Power Supply System, DC-DC Converter

Ⅰ. 서 론

정보통신의 발달로 단일 전원을 사용하는 개인용 휴대기기가 많이 개발되면서 전원장치도 필수적으로 소형화 및 경량화가 요구되고 있다. 복수 전원을 사용하는 기존의 트랜스형(trans type) 전원장치는 전원 상호간의 전기적 절연을 위하여 transformer가 필요하기 때문에 소형화 및 경량화가 어렵다.[1][2] 그러나 단일 전원을 사용하는 소형 전자기기의 경우 전원 상호간에 절연할 필요가 없기 때문에 transformer를 사용하지 않고 전원 회로를 설계하는 것이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 트랜스형의 저효율, 부피, 크기 등의 문제점을 해결할 수 있으며, 단일 전원을 사용하는 소형, 경량화 전자기기에 적합한 트랜스리스형 스위칭 레귤레이터 (transless type switching regulator)전원 회로를 설계, 제작하고 성능 및 효율을 조사하였다.

II. 트랜스리스형 파워 모듈의 설계

트랜스리스형 스위칭 레귤레이터 전원회로의 블럭도를 그림 1에 나타내었다.

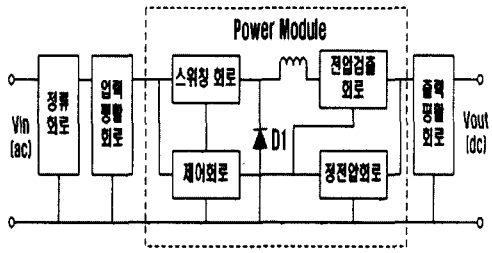

그림 1. 트랜스리스형 스위칭 레귤레이터 전원회로의 블럭도

파워 모듈은 전원공급 장치로서 스위칭 소자를 이용하여 고입력 전압을 저출력 전압으로 변환하는 DC-DC converter이며, 출력전압을 일정하게 유지하는 스위칭 레귤레이터이다. 본 연구에서 설계한 파워 모듈은 강압형 chopper 방식을 이용한 스위칭 회로, 제어회로, 전압검출회로, 정전압회로 등으로 구성되어 있다. AC 입력 전원을 transformer로 감압하지 않고 정류회로를 거치면 식 (1)로 부터 최대치 전압으로 정류가 되며 식 (2)에 의해 입력 전압이 결정된다.

$$\text{실효치전압}(Vrms)=(1/\sqrt{2})\blacksquare\text{최대치전압}(Vp\text{-}p) \cdots\cdots (1)$$

$$Vdc(\text{정류전압})=\sqrt{2}Vrms=\sqrt{2}\blacksquare 220Vrms=311\ Vdc \cdots\cdots (2)$$

220 V 상용 전원에서 입력전압은 311 V 정도가 되며 상용 전원의 ripple을 고려하면 보다 높은 DC 전압이 입력된다. 이 경우 리니어 레귤레이터는 입출력간의 전압 차이가 전부 파워 트랜지스터의 손실로 되어 효율이 떨어지지만 chopper형 레귤레이터인 경우는 스위칭 트랜지스터의 ON/OFF에 의해 정전압 제어가 되어 입출력간의 전압차가 커도 손실이 적은 전원 회로의 설계가 가능하다. 스위칭 회로의 스위칭 소자 경우 OFF가 되면 입력 전압이 스위칭 소자에 모두 인가되어 내압이 큰 스위칭 소자가 필요하다. 상용 전원의 순간 서지 전압까지 감안하면 220 V 상용 전원에서는 600 V급의 스위칭 소자가 필요하다. 스위칭 회로를 제어하는 제어 회로에서도 동일한 내압을 가지는 소자가 필요하지만 스위칭 회로에서 감압이 되었고, 스위칭 회로에서처럼 순간 서지 전압이 없기 때문에 400 V급의 스위칭 소자가 필요하다. 출력 전압은 스위칭 회로의 스위칭 소자의 ON/OFF의 비로 제어되는데, ON 상태일 때는 부하에 전력을 공급함과 동시에 입출력 전압 차에 해당하는 에너지를 인덕턴스에 축적하여 스위칭 소자가 OFF상태가 되면 축적된 에너지를 부하에 공급함으로써 입력 전압과 분리된 출력 전압을 정전압으로 유지 할 수 있도록 한다. 출력 전압이 정전압보다 벗어날 경우 전압 검출 회로에서 이를 감지하여 제어 회로에 신호를 보내 스위칭 회로를 제어함으로써 정전압을 유지 시킨다. 이와 같이 에너지 축적을 담당하는 것이 인덕턴스이며 스위칭 회로가 OFF시 에너지를 방전 loop를 형성시키기 위해 flywheel diode D1이 필요하게 된다. 그리고 스위칭 회로의 원할한 스위칭을 위해 자려식 발진을 하는 발진회로를 구성한다.

출력 5 V/500 ㎃급의 트랜스리스형 스위칭 파워 모듈 설계 회로도를 그림 2에 나타내었다.

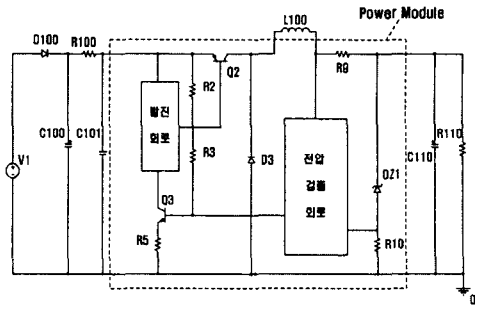

그림 2. 트랜스리스형 스위칭 파워 모듈 회로도

R, C로 구성된 자려식 발진 회로의 발진 주파수는 식 (3)에 의해 결정된다.

$$f=1/(2\pi\sqrt{RC}) \cdots\cdots (3)$$

발진주파수는 입력전압과 출력전압, 출력전류등 모든 회로에 의해 영향을 받는다. 따라서 입력전압, 출력전압을 고정시켜 놓고 출력전류만을 변화시켜도 발진 주파수가 변하며, 전류와 발진 주파수는 서로 비례관계가 있다. 이는 L100에 충·방전되는 전류의 해석과 동일하다. 즉 출력 전류가 적을 경우 L100에 충전된 전류의 방전 시간이 길어져 발진 주파수가 줄어들며, 출력 전류가 많아지면 방전 시간이 단축되어 다시 충전을 위한 시간이 짧아져 결과적으로 발진 주파수가 올라가게 된다.

순차적으로 설명을 하면, 정류 회로로 입력된 전류는 제어 회로에 공급되어 제어 회로의 Q3을 ON 시킨다. Q3이 ON 되면 발진 회로를 통해 스위칭 회로의 Q2를 구동시켜 출력단 쪽으로 전류를 증가시킨다. Q2에 의해 공급된 전류는 L100에 충전이 되고, 충전된 후의 전류는 R9를 통해 출력단으로 공급된다. 출력단으로 전류가 증가하면 전압 검출 회로가 이를 검출하여, Q3을 OFF 시킨다. Q3에 의해 Q2가 OFF가 되어 전류를 감소시킨다. Q2에 의해 공급되던 전류가 감소되면 L100에 충전된 전류가 역기전력에 의해 fly back diode인 D3을 통해 출력단으로 공급된다. 출력단의 전류가 증가함에 따라 전압이 높아지고 정전압보다 높아지면 전압

검출 회로가 이를 검출하여 Q3을 ON 시키고 Q3은 Q2를 구동시켜 다시전류를 공급시킨다. 이러한 순서로 계속적인 되풀이에 의해 정전압을 유지하면서 출력단에 전류를 공급한다.

III. 결과 및 고찰

설계된 회로의 전기적 특성에 대한 규격을 표 1에 나타내었다.

표 1. 전기적 특성 (Ta=25℃)

Parameter	Symbol	Condition	Spec			
			Min	Typ	Max	Unit
Input Voltage	V_I		249	311	358	V
Output Voltage	V_O	V_I=311 V I_O=100 ㎃	4.7	5.0	5.3	V
Output Current	I_O	V_I=311 V	-	-	500	㎃
Line Regulation	V_R	V_I=249~358 V I_O=100 ㎃	-0.20	0.05	0.20	V
Load Regulation	V_L	V_I=311 V I_O=0~100 ㎃	-0.20	0.05	0.20	V
Output Ripple Voltage	V_P	V_I=311 V I_O=100 ㎃	-	*0.07*	*0.20*	*Vp-p*
Power Conversion Efficiency		V_I=311 V I_O=200 ㎃	45	55	-	%

설계된 회로는 Pspice simulation을 통해 확인하고 실험을 통해 검증하였다.

Line regulation 측정 결과를 그림 3에 나타내었다.

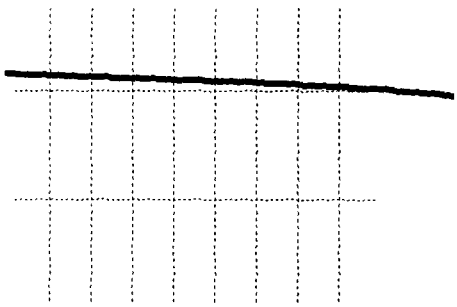

그림 3. Line Regulation

Line regulation에 영향을 주는 주요 요소로는 정전압을 유지시켜주는 Zener diode로 Zener diode의 Iz-Vz 특성에 의해서 영향을 많이 받는다. 측정 결과 입력 전압의 변동에 따른 출력 전압의 차이는 부하 100 ㎃시 4.98 V~5.08 V로 0.1 V임을 알 수 있다.

Load regulation 측정 결과를 그림 4에 나타내었다.

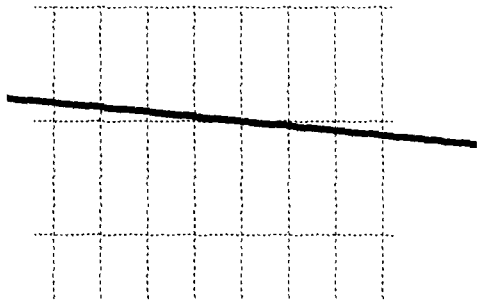

그림 4. Load Regulation

Load regulation 특성은 그림 4에 나타난 것과 같이 부하에 따라 출력전압이 떨어진다. 부하의 특성이 떨어지는 것은 인덕터의 내부 저항과 전류 제한을 하는 저항 R9에 의한 전압 강화 성분과 L100, C110으로 구성되는 LPF의 평균값의 감소가 주원인이다. 측정 결과 부하에 따른 출력 전압의 차이는 4.9 V-5.1 V로 0.2 V 임을 알 수 있다.

출력단의 ripple 성분을 그림 5에 나타내었다.

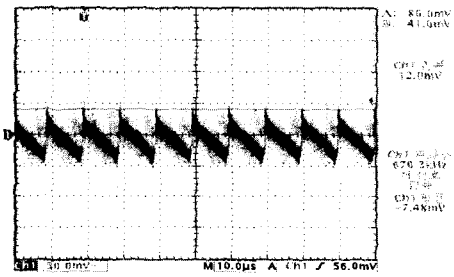

그림 5. Output Ripple

Output ripple은 출력전압에 중첩되는 입력 주파수 및 스위칭 주파수와 동기된 성분으로 전원 내부의 입력 평활 Condenser 용량과 스위칭 주파수, 출력 filter, 출력전류 등으로 정해진다. 스위칭 전원의 출력에 condenser를 추가하면 스위칭 주파수에 동기된 성분은 작아지지만, 입력 주파수에 동기된 성분은 변화하지 않는다. 출력단의 ripple 전압은 85 ㎷p-p를 나타내었다.

발진 회로의 R, C, 인덕턴스, 그리고 출력 전류에 의한 스위칭 주파수를 그림 6에 나타내었다.

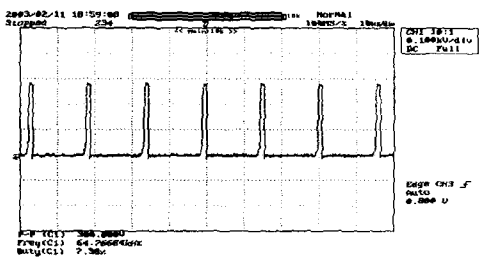

그림 6. 스위칭 주파수 특성

스위칭 주파수 특성은 식 (3)에 의해서 결정이 되지만 출력전류에 따라 변하는 부분이므로 인덕터가 포화되지 않는 주파수가 되도록 R과 C값을 조정하여 적당한 주파수가 되도록 설정하였다. 출력전류가 100 ㎃일 때 64.7 ㎑의 스위칭 주파수를 나타내었다.

스위칭 레귤레이터의 전력손실은 대부분 스위칭 트랜지스터 Q2가 OFF일 때 TF에 의해서 발생한다. 5 V/500 ㎃의 경우 식 (4)에 의해 효율을 측정한 결과 50%-55% 정도의 효율이 나타남을 알 수 있었다.

효율=(출력전력/입력유효전력)■100% ····· (4)

EMC 시험의 경우 전원 회로가 장착된 전자기기에서 시험을 해야 하지만 파워 모듈을 구동시키는 응용 회로를 구성하여 파워 모듈 자체로 시험이 가능한 항목만 시험을 하였다. 시험 항목으로는 EMI 시험 중 radiated emission(전자파 방출)과 EMS 시험 중 burst 및 conducted immunity를 시험 하였다. 방사 노이즈 측정인 radiated emission의 시험 결과 33 dB이하로 규격(40 dB이하)에 만족하였다. burst 시험은 Power line에 일정 간격의 Burst 신호를 인가한 후 정상동작 여부를 확인하는 것이고, conducted immunity 시험은 전도 내성 시험으로 전원 신호를 특정 주파수로 변조하여 인가한 후 정상동작 여부를 확인하는 것으로 시험 결과 정상적으로 동작하는 것을 확인 할 수 있었다.

그림 7에 제작한 파워 모듈의 실제 모양을 나타내었다. 트랜스리스형 스위칭 레귤레이터 파워 모듈의 크기는 31■18■6.5 ㎜(가로■세로■두께) 이고, 무게는 2.6 g 으로 매우 가볍고, 크기가 작다.

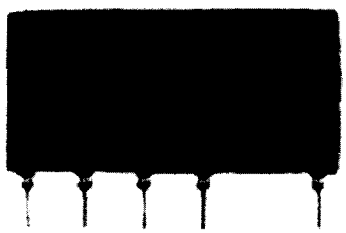

그림 7. 제작된 파워 모듈의 외관

IV. 결 론

본 연구에서 제작한 5 V/500 ㎃급 트랜스리스형 파워 모듈은 설계된 회로의 전기적 특성을 만족하였으며, 단일 전원을 사용하는 소형·경량화 전자제품에 적합한 전원 회로이다.

참고 문헌

[1] John G. Kassakian, Martin F. Schlecht, and G. Vergassian, "Principles of Power Electronics", Addision-Wesley, Boston, 1991.

[2] Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins, "Power Electronics", John Wiley & Sons, 1995.