
소형 전원용 스위칭 파워 모듈

김병철*

Switching Power Module for a Small-Sized Electric Power Source

Byung-cheul Kim*

요 약

전원장치의 소형화 핵심기술인 반도체 스위칭 기술을 이용하여 5 V/500 mA급 트랜스리스형 파워 모듈(transless type power module)을 설계하였다. 파워 모듈은 강압형 chopper 방식을 이용하였으며, 스위칭회로, 제어회로, 전압검출회로, 그리고 정전압 회로 등으로 구성되어 있다. 본 연구에서 설계한 스위칭 파워모듈은 0.2 V의 load regulation, 0.1 V의 line regulation, 85 mVp-p의 output ripple 전압, 64.7 kHz의 스위칭 주파수, 최대 58% 정도의 효율을 나타내었으며, 신뢰성 및 EMC 평가항목을 만족하였다.

ABSTRACT

5 V/500 mA transless type power module was designed by using a semiconductor switching technique for a small-sized electric power source. It used voltage drop type chopper method, and is composed of switching circuit, control circuit, voltage detect circuit, and constant voltage circuit. The switching power module, which is designed in this study, showed load regulation of 0.2 V, line regulation of 0.1 V, output ripple of 85 mVp-p, switching frequency of 64.7 kHz, maximum power efficiency of 58 %, and satisfied its reliability and EMC test.

키워드

Switching Power Module, Transless Type Regulator, Small-Sized Electric Power Source,
Voltage Drop Type Chopper

1. 서 론

다양한 형태의 모양과 무게가 적은 전자제품이 많이 개발되면서 전원장치의 소형화 및 경량화가 필수적으로 요구되고 있다.[1] 또한 정보통신의 발달로 간편하고 가벼운 개인 휴대용 기기가 많이 개발됨에 따라서 전원 공급용 adaptor 등도 휴대가 간편한 형태로 개발이 되고 있다. 기존의 전원장치는 trans type이 일반적이었는데, trans를 이용할 경우 제품의 소형화 및 경량화에 여러 가지 제약이 따른

다.[2][3] 복수 전원을 사용하는 기존의 트랜스형(trans type) 전원장치는 전원 상호간의 전기적 절연을 위하여 transformer가 필요하기 때문에 소형화 및 경량화가 어렵다. 그러나 단일전원을 사용하는 소형 전자기기의 경우 전원상호 간에 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 레

*전주산업대학교 전자공학과

풀레이터(transless type regulator) 전원 회로를 전원 장치의 핵심기술인 스위칭기술을 이용하여 설계, 제작하고 성능 및 효율을 조사하였다.

II. 스위칭 파워 모듈

스위칭 파워 모듈의 블록도를 그림 1에 나타내었다. 스위칭 파워모듈은 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 이용하였으며, 스위칭 회로, 제어회로, 전압검출회로, 정전압회로 등으로 구성되어 있다.

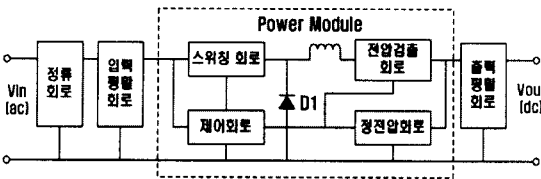


그림 1. 스위칭 파워 모듈의 블록도
Fig. 1 Block diagram of switching power module

AC 입력 전원을 transformer로 감압하지 않고 정류회로를 거치면 식 (1)으로부터 최대치 전압으로 정류가 되며 식 (2)에 의해 입력 전압이 결정된다.

$$\text{실효치전압}(V_{rms}) = (1/\sqrt{2}) \times \text{최대치전압}(V_{p-p}) \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\begin{aligned} V_{dc}(\text{정류전압}) &= \sqrt{2} V_{rms} \\ &= \sqrt{2} \times 220V_{rms} = 311 V_{dc} \quad \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

220V 상용 전원에서는 311V 정도가 되며 상용 전원의 ripple을 고려하면 이보다 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. 그림 1에서 스위칭 회로의 스위칭 소자가 OFF인 경우 입력 전압이 스위칭 소자에 모두 인가되어 내압(breakdown

voltage)이 큰 스위칭 소자가 필요하다. 상용 전원의 순간 서지 전압까지 감안하면 220V 상용 전원에서는 600V급의 스위칭 소자가 필요하다. 스위칭 회로를 제어하는 제어 회로에서도 동일한 내압을 가지는 소자가 필요하지만 스위칭 회로에서 감압이 되었고, 스위칭 회로에서처럼 순간 서지 전압이 없기 때문에 400V급의 스위칭 소자가 필요하다. 출력 전압은 스위칭 회로에서 스위칭 소자의 ON/OFF의 비로 제어되는데, ON 상태일 때는 부하에 전력을 공급함과 동시에 입출력 전압 차에 해당하는 에너지를 인덕터에 축적하여 스위칭 소자가 OFF상태가 되면 축적된 에너지를 부하에 공급함으로써 입력 전압과 분리된 출력 전압을 정전압으로 유지할 수 있도록 한다. 출력 전압이 정전압에서 벗어날 경우 전압 검출 회로에서 이를 감지하여 제어 회로에 신호를 보내 스위칭 회로를 제어함으로써 정전압을 유지시킨다. 이러한 에너지 축적을 담당하는 것이 인덕터이며 스위칭 회로가 OFF시 에너지를 방전 loop를 형성시키기 위해 flywheel diode D1이 필요하게 된다.

III. 회로설계 및 동작원리

출력 5 V/500 mA급의 트랜스리스형 파워 모듈의 설계 회로도도 그림 2에 나타내었다.

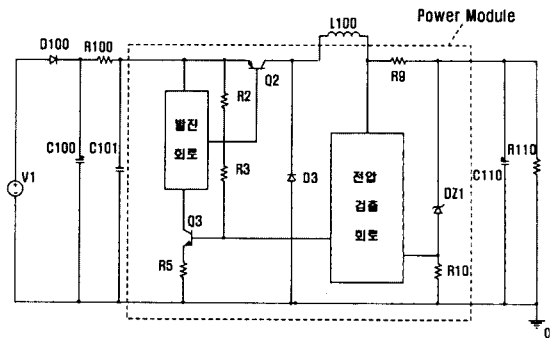


그림 2. 트랜스리스형 파워 모듈 회로도
Fig. 2 Circuit of transless type power module

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

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

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

순차적으로 설명을 하면, 정류 회로로 입력된 전류는 제어 회로에 공급되어 제어 회로의 Q3을 ON 시킨다. Q3이 ON 되면 발전 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 시키며, Q3에 의해 Q2가 OFF 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 다시 전류를 공급시킨다. 이러한 순서로 계속적인 되풀이에 의해 정전압을 유지하면서 출력단에 전류를 공급한다.

IV. 결과 및 고찰

스위칭 파워 모듈의 load regulation 특성을 그림 3에 나타내었다.

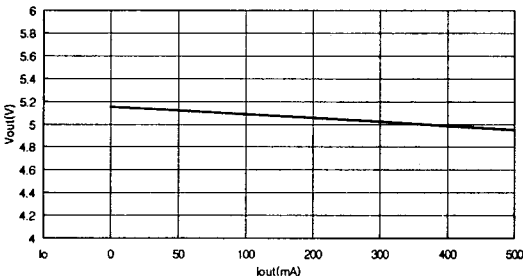


그림 3. Load Regulation 특성
Fig. 3 Load regulation characteristics

그림 3에 나타난 것과 같이 부하에 따라서 출력 전압이 감소되고 있는데 이것은 인덕터의 내부 저항, 전류 제한을 하는 저항 R9에 의한 전압 강하 성분, 그리고 L100, C110의 평균값의 감소가 주원인이다. 측정 결과 부하에 따른 출력전압은 4.9V~5.1V로 0.2V의 출력전압 차이를 나타내었다.

Line regulation 특성을 그림 4에 나타내었다.

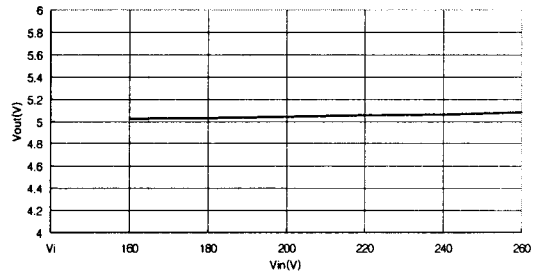


그림 4. Line Regulation 특성
Fig. 4 Line regulation characteristics

측정 결과 입력전압의 변동에 따른 출력전압은 부하 100 mA시 4.98V~5.08V로 0.1V의 출력전압 차이를 나타내었다. Line regulation에 영향을 주는 주요 요소로는 정전압을 유지시켜주는 zener diode로 Iz-Vz 특성에 의해서 영향을 많이 받는다.

출력단의 ripple 특성을 그림 5에 나타내었다.

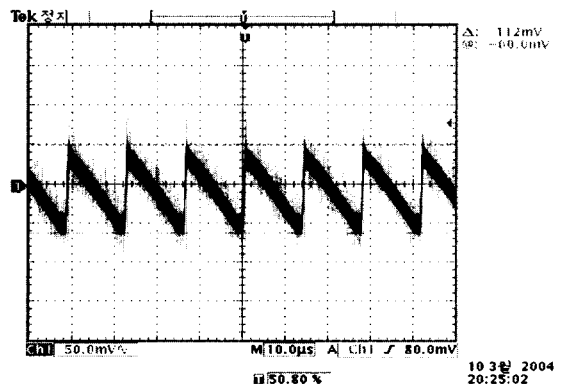


그림 5. Output Ripple 특성
Fig. 5 Output ripple characteristics

Output ripple은 출력전압에 중첩되는 입력 주파수 및 스위칭 주파수와 동기된 성분으로 전원 내

부의 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 mVp-p를 나타내었다.

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

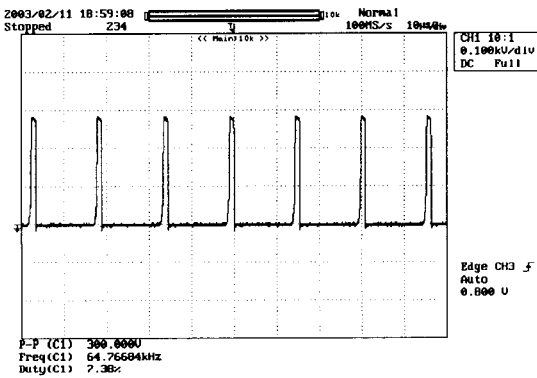


그림 6. 스위칭 주파수 특성
Fig. 6 Switching frequency characteristics

스위칭 주파수 특성은 식 (3)에 의해서 결정이 되지만 출력전류에 따라서 변하는 부분이므로 인덕터가 포화되지 않는 주파수가 되도록 R과 C값을

조정하여 적당한 주파수가 되도록 설정하였다. 출력전류가 100 mA일 때 64.7 kHz의 스위칭 주파수를 나타내었다.

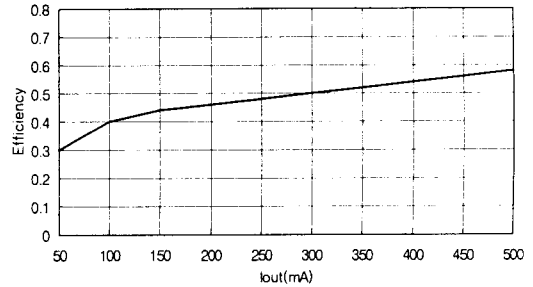
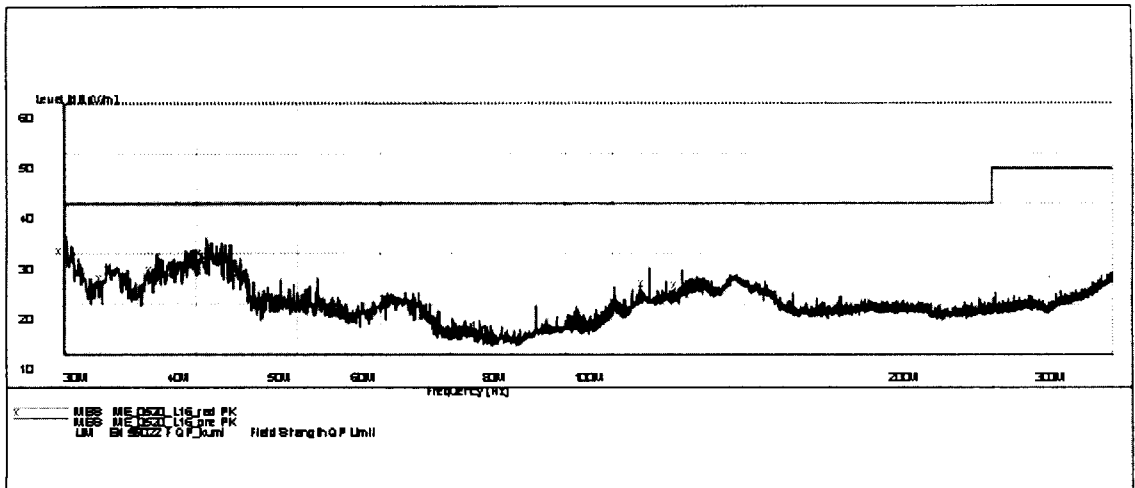


그림 7. 전력 손실 및 효율 특성
Fig. 7 Power loss and efficiency characteristics

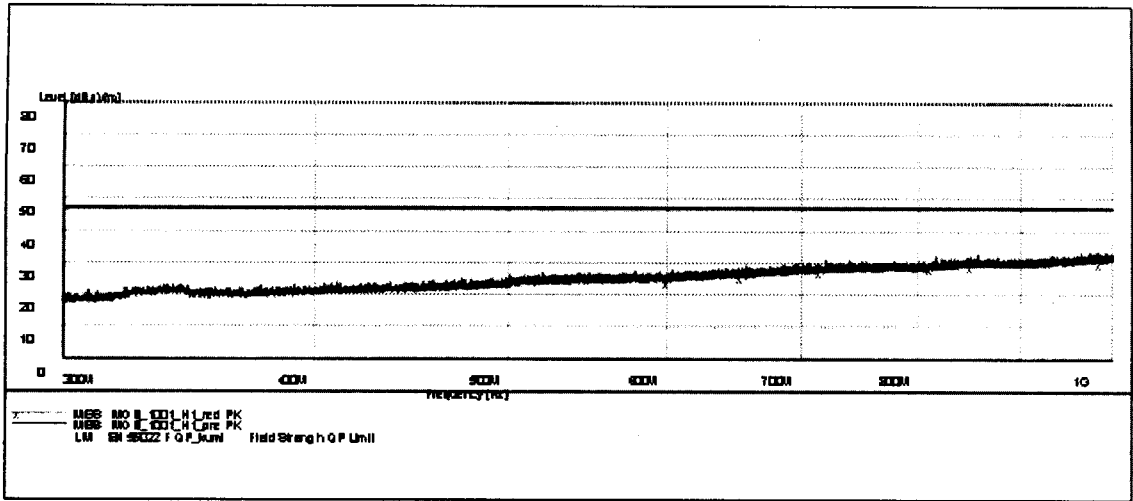
그림 7은 전력 손실 및 효율 특성을 측정된 결과이다. 스위칭 레귤레이터의 전력손실은 대부분 스위칭 트랜지스터 Q2가 OFF일 때 TF에 의해서 발생한다. 5 V/500 mA의 경우 식 (4)에 의해 효율을 측정된 결과 최대 58% 정도의 효율을 나타내었다.

$$\text{효율} = (\text{출력전력} / \text{입력유효전력}) \times 100\% \quad \dots (4)$$

스위칭 파워모듈의 신뢰성을 평가하기 위하여 전원전압을 인가한 상태에서 1008 시간의 수명시험(steady state operating life test), 고온방치수명시험(high temperature storage life test), 고온다습



(a) 30 MHz ~ 300 MHz



(b) 300 MHz~1 GHz

그림 8. 30 MHz~300 MHz 대역과 300 MHz~1 GHz 대역에서 각각 측정된 radiated emission 파형
Fig. 8 Radiated emission waveform measured at 30 MHz~300 MHz and 300 MHz~1 GHz, respectively

수명시험(high temperature high humidity storage life test), 온도시험(temperature cycle test), 그리고 열충격시험(thermal shock test)을 실시한 결과 신뢰성 규격을 모두 만족하였다.

EMC 시험의 경우 전원 회로가 장착된 전자기기에서 평가를 해야 하지만 파워 모듈을 구동시키는 응용 회로를 구성하여 파워 모듈 자체로 시험이 가능한 항목만 평가를 하였다. 시험항목으로는 EMI 시험 중 radiated emission(전자파 방출)과 EMS 시험 중 burst 및 conducted immunity를 평가하였다.

30 MHz~300 MHz 대역과 300 MHz~1 GHz 대역에서 각각 측정된 radiated emission 파형을 그림 8에 나타내었다. 방사 노이즈 측정인 radiated emission을 평가한 결과 33 dB이하로 매우 우수한 특성을 나타내었다. Burst 시험은 power line에 일정 간격의 burst 신호를 인가한 후 정상동작 여부를 확인하였으며, conducted immunity 시험은 전도 내성 시험으로 전원 신호를 특정 주파수로 변조하여 인가한 후 정상동작 여부를 확인하였다. 시험 결과 정상적으로 동작하는 것을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 연구에서 제작한 5 V/500 mA급 트랜스리스형

파워 모듈은 0.2 V의 load regulation, 0.1 V의 line regulation, 85 mVp-p의 output ripple 전압, 64.7 kHz의 스위칭 주파수, 최대 58% 정도의 효율을 나타내었으며, 신뢰성 및 EMC 평가항목을 만족하였다. 따라서 단일 전원을 사용하는 소형·경량화 전자제품에 적합한 전원 회로로 응용이 가능하다고 사료된다.

참고문헌

- [1] P. Cheasty, J. Flannery, M. Meinhardt, A. Alderman, S.C. O'Mathuna, "Benchmark of power packaging for DC/DC and AC/DC converters," IEEE Transactions on power electronics, Vol. 17(1), pp. 141~150, 2002.
- [2] S.C. Tang, S.Y. Hui, H.S. Chung, "A low-profile low-power converter with coreless PCB isolation transformer," IEEE Transactions on power electronics, Vol. 16(3), pp. 311~315, 2001.
- [3] S.J. Jeon, G.H. Cho, "A zero-voltage and zero-current switching full bridge DC-DC converter with transformer isolation," IEEE Transactions on power electronics, Vol. 16(5), pp. 573~580, 2001.

저자소개



김병철(Byung-cheul Kim)

1988년 2월 광운대학교 전자재료공학과 공학사

1990년 2월 광운대학교 전자재료공학과 공학석사

2001년 2월 광운대학교 전자재료공학과 공학박사

1990년 1월 ~ 2000년 4월 (주)KEC 종합연구소 선임연구원

2001년 1월 ~ 8월 고려대학교 BK21 박사후연구원

2002년 12월 ~ 2003년 5월 삼성종합기술원 기술자문

2001년 9월 ~ 현재 진주산업대학교 전자공학과 조교수

※ 관심분야: 비휘발성기억소자기술, 전력용 반도체소자기술