

DC/DC 스위칭 컨버터 특성

최영진, 김상준, 김태경

삼성항공우주연구소

TEL +82-593-851-1828 FAX +82-593-851-1844

DC/DC Switching Converter Characteristics

Young-jin Choi, Sang-june Kim, Tae-kyung Kim

Samsung Aerospace Engineering Center

e-mail : yjchoi@samsung.co.kr

Abstract

In this paper, Flyback type DC/DC Switching Converter was designed, analyzed and fabricated. Worst Case Analysis(WCA) was performed with Mathcad program and presents circuit simulation results for the in-rush current limit circuit. The value of the maximum OFF voltage stress is 131.84V, it is less than device specification(200V). The switching frequency(nominal case) and duty cycle at the worst case analysis are 75kHz and 34.62%, respectively. The maximum in-rush current presents 0.5A. Those results show a possibility for use in space

I. 서론

인공위성의 버스와 페이로드에 전력을 공급해주는 전원은 일반적으로 태양전지어레이를 사용하고 있으며 이 태양전지어레이에서 발생하는 전력은 직류전력이다. 따라서 각 버스시스템과 페이로드시스템에서 필요로하는 전압을 만들어주기 위

해서는 위성체 각 서브시스템에서 요구되는 전압으로 변환해 주어야 한다. 위성체 시스템에 사용되는 DC/DC Switching Converter는 이러한 목적으로 사용하고 있으며 그 종류는 비절연형과 절연형으로 대별된다. 절연형은 로이어형, 전선형, 플라이백형, 포워드형, 푸쉬풀형등으로 구분된다. 또한 제어방식에 따라 펄스폭제어형, 주파수제어형으로 구분하기도 한다.

본 연구에서는 회로구성이 간단하고 현재위성용 DC/DC Switching Converter의 주류를 이루고 있는 플라이백형 DC/DC Switching Converter를 설계하고 제작하였다.

Fig.1은 블록다이아그램을 나타내고 있으며 In-rush current 제한회로, 레귤레이터회로, 라인 필터, 전류감지회로, PWM(Pulse width Modulation)회로, 스위칭 트랜스포머, 스위칭 트랜지스터, 리플필터부로 구성되어 있다. 스위칭 트랜지스터와 레귤레이터 트랜지스터는 순방향 전압강하를 줄이기위한 HEXFET 트랜지스터를 사용하였다.

설계된 회로가 인공위성용으로의 사용가능성을 평가하기위해 Worst Case Analysis(WCA)를 실

시 하였다. WCA를 위해 MATHCAD 프로그램을 사용 하였으며 in-rush current limit 회로의 분석은 SPICE 프로그램을 이용하였다.

II. 본론

2.1 Maximum Off-Voltage Stress(V_{ms}) 계산

V_{ms}는 스위칭 트랜지스터에서 스위칭 트랜스포머의 2차측전압에의해 1차측으로 왜관되는 전압으로 트랜지스터의 용량을 결정하는 중요변수이다. 본 연구에 사용된 IRF250의 최대 V_{ms} 정격은 200V 이며, 다음과 같은 설계조건에서 V_{ms}는 131.84V를 얻었다,

트랜스포머 Turn ratio

N_p : 10(primary turn)

N₁₃ : 13(13V Output 2차 turns)

N₂₀ : 19(20V Output 2차 turns)

N_{sm} : 11(10V master 2차 turns)

N_{rush} : 11(10V current limit 2차 보조출력 turns)

트랜스포머 입.출력 전압

최대출력전압 편차(Tolerance)는 ±2.5%로 하였으며 입.출력 전압은 다음과 같다.

V_{inmax} : 35V(최대입력전압)

V_{inmin} : 22V(최소입력전압)

V_{innom} : 28V(정규입력전압)

V₁₃ : 13.3(10V 출력)

V₂₀ : 20.5(20V 출력)

V_{m5} : -5.125(-5V 출력)

V_{sm} : 10.3(10V master 출력)

V_{aux} : 10.3(10V 보조출력)

V_{on} : 0.7(HEXFET "turn-on" Voltage)

k : 1.5(누설인덕턴스에의한 전류 Spike Factor)

$$V_{ms} = \left[V_{inmax} - V_{on} + \left[\frac{N_p}{N_{20}} (V_{20} + 0.7) + \frac{N_p}{N_{13}} (V_{13} + 0.7) + \frac{N_p}{N_{m5}} (V_{m5} + 0.7) + \frac{N_p}{N_{sm}} (V_{sm} + 0.7) \right] k \right] \quad (1)$$

위의 식(1)과 같이 HEXFET의 최대 Off-Voltage stress는 131.84V로 트랜지스터 정격인 200V이하의 값을 보인다.

2.2 스위칭주파수 및 Duty Cycle 계산

PWM(Pulse Width Modulation)용 소자로 UC1845를 사용했으며 Timing Capacitor(CT)와 Timing Resistor(RT)로 스위칭 주파수를 결정할 수 있게 하였다. Timing Capacitor의 Initial Tolerance는 10%이며 EOL(End of Life) Tolerance는 ±30%로 가정 하였다. 또한 CT의 Temperature Effect는 300ppm/degC로 하였다.

Timing Resistor의 Initial Tolerance는 1%이며 EOL Tolerance는 ±1.5%로 하였다. 또한 RT의 Temperature Effect는 30ppm/degC로 하였다.

WCA를 위해 환경온도를 20℃, 60℃, -20℃로 가정하여 각각의 온도에 대한 스위칭주파수와 duty cycle을 계산하였다. 환경온도는 저패도위성의 우주환경에서의 환경온도를 적용하였다.

20℃에서의 스위칭주파수 및 turn on 시간은;

$$CT = 0.001(1+0.0003*40*t)(1+0.03*EOL)$$

$$RT = 11(1+0.00005*40*t)(1+0.01*EOL)$$

$$Freq = \frac{0.825}{(CT*10^{-6} RT*10^3)} = 75kHz \quad (2)$$

$$T = \frac{1}{frequency} = 0.013 \mu s \quad (3)$$

EOL에서의 스위칭주파수와 Turn on 시간은 다음과 같이 계산 하였다. 이때 온도는 60℃로 가정 하였다.

$$CT = 0.001(1+0.0003*40*t)(1+0.03*EOL)$$

$$RT = 11(1+0.00005*40*t)(1+0.01*EOL)$$

$$Freq = \frac{0.825}{(CT*10^{-6} RT*10^3)} = 71kHz \quad (4)$$

$$T = \frac{1}{frequency} = 0.014 \mu s \quad (5)$$

위와 같은 방법으로 -20℃에서의 스위칭주파수와 Turn on 시간을 계산하면;

$$Frequency = 77kHz$$

$$T = 0.013 \mu s$$

정상상태(steady state)에서 에너지보존법칙에의해 트랜지스터가 Turn-on시의 전압*시간은 트랜지스터가 Turn-off일때의 전압*시간이 같아야 한다.

VINmin = 18.9V(최소입력전압)
VINmax = 35V(최대입력전압)

$$(V_{in} - V_{on})T_{on} = (V_{sm} + 0.3) \frac{N_{pri}}{N_{sm}} T_{off} \quad (6)$$

$$T_{on} + T_{off} = T \quad (7)$$

$$T_{off} = T - T_{on} \quad (8)$$

$$(V_{in} - V_{on})T_{on} = (V_{sm} + 0.3) \frac{N_p}{N_{sm}} (T - T_{on}) \quad (9)$$

$$T_{on_{max}} = \frac{\left(\frac{N_p}{N_{sm}} V_{sm} T_{min} + 0.3 \frac{N_p}{N_{sm}} T_{min} \right)}{\left(V_{IN_{min}} - V_{on} + \frac{N_p}{N_{sm}} V_{sm} + 0.3 \frac{N_p}{N_{sm}} \right)} \quad (10)$$

$$T_{on_{max}} = 4.869 \cdot 10^{-6} \text{ sec} \quad (11)$$

$$\frac{T_{on_{max}}}{T_{min}} * 100\% = 34.62\% \quad (12)$$

위와같이 HEXFET 트랜지스터의 최대 turn-on 시간은 4.87 μs이며 이때의 Duty cycle은 34.62%를 나타내었다.

위와 유사한 방법으로 최소 turn-on 시간을 계산하면;

$$T_{on_{min}} = \frac{1}{1 + \frac{V_{in_{max}}}{T_{on_{max}} V_{in_{min}}} - \frac{V_{in_{max}}}{V_{in_{min}}}}$$

$$= 2.63 \cdot 10^{-6} \text{ sec} \quad (13)$$

$$\frac{T_{on_{min}}}{T_{max}} * 100\% = 20.25\% \quad (14)$$

최소 turn-on 시간은 2.63 μs이며 이때의 최소 duty cycle은 20.25%이다.

2.3 H/W 제작

본 연구를 에서 제작된 DC/DC 스위칭컨버터 회로의 주요 부품은 다음과 같다.

UC1845 : PWM IC

IRF250 : 스위칭트랜지스터, 레귤레이터용 트랜지스터

1N5811 : 정류 Diode

2N3700 : in-rush current limit 트랜지스터

인공위성용으로 사용하기 위해서는 신뢰성이 높

은 방산용 자재를 사용해야하나 본 연구에서는 실험실 사정으로 상용자재를 사용하여 회로를 제작하였다. Table1에 설계조건과 H/W 실험결과를 나타내었다. Table1의 설계조건은 국내에서 개발 중인 실용위성의 설계치를 Reference로 하였다.

Table 1 설계조건 및 실험결과 비교표

측정항목	설계치	측정치
스위칭주파수	75kHz	53kHz
20V 출력전압	20±0.5V	20.1V
13V출력전압	13±0.5V	13.2V
-5V출력전압	-5±0.3V	-5.3V
20V출력리플	<50mV	120mV
13V출력리플	<50mV	135mV
-5V출력리플	<50mV	75mV

스위칭주파수는 RT와 CT의 시정수값으로 조정하였으나 설계조건과 큰 편차를 보였다. 반면 출력전압오차는 설계조건을 만족함을 볼 수 있었다. Fig.2는 오실로스코프로 측정한 PWM 회로의 스위칭 주파수를 보인다. CT값을 조절하여 스위칭주파수를 변화시킬 수 있었으나 60kHz이상에서는 노이즈가 증가 하여 정확한 측정이 어려웠다. Fig. 3은 In-rush current limit 회로의 SPICE 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그림에서와 같이 In-rush current가 0.5A까지 증가한후 감소하는 특성을 보였다.

III 결론

플라이백 타입의 DC/DC Converter를 설계하고 인공위성용으로써의 사용가능성을 검증하기 위해 Worst Case Analysis를 하였으며, 설계된 회로를 제작하여 특성을 검증하였다. 최대 OFF-voltage stress는 131.84V로 트랜지스터 정격인 200V 이하를 나타내었다. 출력전압은 설계조건을 만족시켰으나 리플전압은 설계조건을 초과 하였다. In-rush current limit 회로의 Spice 시뮬레이션결

과 In-rush current 제한기능을 할 수 있음을 확인할 수 있었다. 스위칭주파수는 53kHz 부근에서 안정적인 동작을 하였으며 실제조건인 75kHz 부근에서는 노이즈의 증가로 회로동작이 불안정해짐을 볼 수 있었다.

참고문헌

- [1] MathSoft, "Mathcad User's Guide", 1995.
- [2] intusoft, "ICAP/4 Manual", 1994
- [3] Dennis Roody, "Satellite Communications", Prentice Hall Inc., 1989
- [4] Wiley J. Larson and James R. Wertz, "Space Mission Analysis and Design", Kluwer Academic Publishers, 1995

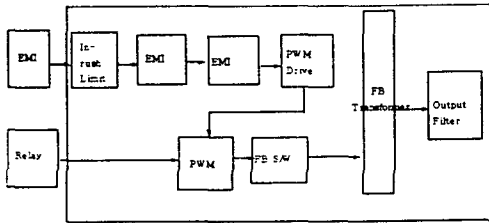


Fig.1 DC/DC Switching Converter Block Diagram

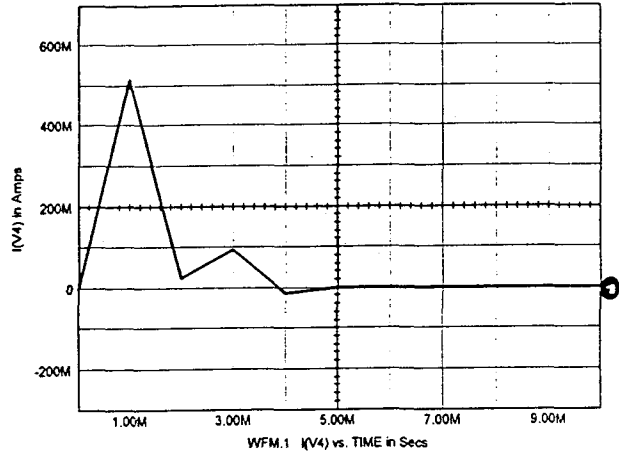


Fig.3 In-rush current simulation 파형

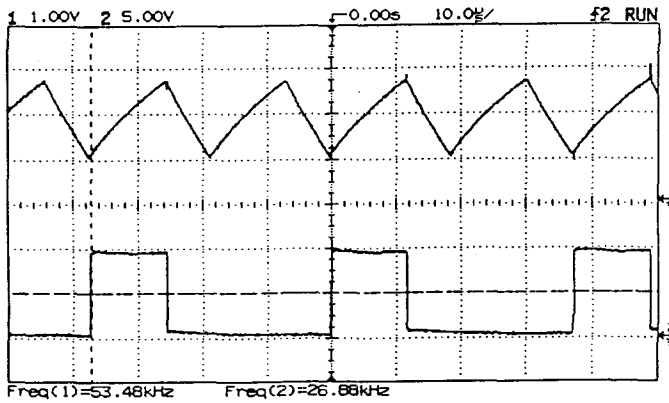


Fig.2 스위칭 주파수 파형