

다목적 실용위성 2호 DC-DC컨버터 설계 및 해석

정규범*, 김동진**, 김종덕**, 이상곤***

*우석대학교, **한국항공우주산업주식회사, ***한국항공우주연구원

Design and Analysis of DC-DC Converter for KOMPSAT II

Gyu Bum Joung*, Dong Jin Kim**, Jong Duck Kim**, Sang-Kon Lee***

*Woosuk University, **Korea Aerospace Industries, Ltd.,

and ***Korea Aerospace Research Institute

ABSTRACT

DC-DC converter for KOMPSAT 2 has been designed to satisfy input current, and output voltage ripples constraints, in this paper. The converter has been simulated to analyze small signal characteristics. The resulted phase margin of the converter is above 60°. The DC-DC converter has been experimented for 93 kHz, 90 W output load.

1. 서 론

인공위성은 최근 정보화 시대의 도래와 함께 그 중요성이 날로 증가하고 있다. 최근에는 무궁화 위성의 발사^[1,2]와 정부의 인공위성 국산화 계획에 따라 다목적 위성이 성공적으로 발사되어 위성에 대한 연구가 크게 관심을 끌고 있다.^[4,6]

인공위성 중 전원장치는 주로 태양전지의 전압을 조절하는 전압조절부와 배터리에 에너지를 충전하는 배터리 충전기, 에너지를 방전하는 배터리 방전기를 갖고 있다.^[2,5,6] 다목적 실용위성 2호에서는 배터리의 충방전을 SAR를 이용하여 제어하는 방식의 전원장치를 갖고 있다. 또한, 1차 전원으로부터 공급받은 전압을 이용하여 부하에서 사용하는 직류 전원을 공급하는 DC/DC 컨버터가 있다.

DC/DC 컨버터를 비롯한 인공위성 전원장치는 위성의 구동에너지를 공급하게 되는 데 이는 위성의 수명 및 Payload의 성능과 직결되는 매우 신뢰성이 요구되는 장치이다. 따라서 미국, 일본을 비롯한 위성 선진국에서는 지속적인 연구를 통하여 고신뢰도의 제품을 상품화하였고, 국내에서도 다목적

실용위성 1호기의 성공적인 발사를 계기로 시스템 구성 등 관련기술을 확보하고 있다. 또한, 다목적 실용위성 2호기의 발사를 통하여 자체설계 기술을 이용한 설계 및 제작을 하고있다.

다목적 실용위성 2호기의 경우 위성의 용량증대로 DC/DC 컨버터부의 전력용량이 66 W에서 90 W로 증가되었으며, 이를 고려한 설계 및 해석 시뮬레이션의 실시를 통한 시스템의 검증이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 다목적 실용위성 2호 DC/DC 컨버터의 시뮬레이션을 통하여 컨버터 요구조건에 맞는 DC/DC 컨버터를 설계하였다. 또한 컨버터의 변압기와 출력 필터가 출력리플전압이 기준에 적합하도록 출력필터회로를 설계하였다. 또한, 제어회로를 포함한 전체 회로도에 대하여 보드선도(Bode plot)를 해석하여 제어기의 안정도를 해석하여 DC-DC 컨버터가 안정적으로 동작함을 확인하였다. 컨버터는 스위칭 주파수 90 W 부하에 대하여 실험하여 그 특성을 확인하였다.

2. 컨버터의 구성

그림 1은 다목적 실용위성 2호에 대한 DC-DC 컨버터를 간략히 그린 것이다. 그림 1에서 보는바와 같이 컨버터는 포워드(Forward) 컨버터로 구성되었고 부하는 크게 5.45 VDC, ± 14.9 VDC의 출력으로 나뉘어진다. 변압기의 2 차측에서 각 부하의 인덕터는 Coupled 인덕터를 사용하였고, 출력의 제어는 5.45 VDC의 전압을 폐환제어(Feedback control)하였다. 출력전압은 Coupled 인덕터로 인하여 ± 14.9 VDC의 전압도 제가가 이루어짐을 알 수 있다.

그림 1에서 DC-DC 컨버터의 제어전압을 위해

실제의 경우 +14 VDC의 전압이 추가되어 있으나 출력전력이 매우 적어서 회로의 동작에 큰 영향을 주지 않으므로 여기서는 나타내지 않았다.

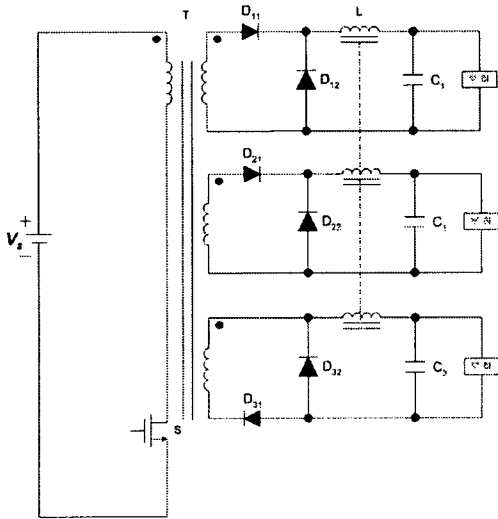


그림 1 간략한 DC-DC 컨버터 전력회로

표 1 DC-DC 컨버터의 규격

구 분	규 격
입력 전압	23.1 - 34 VDC
출력 전력	90 W
효 율	76 % 이상
출력 전압	5.45 VDC +14.9 VDC -14.9 VDC
리플 전압	2 % p-p for 5.45 VDC output 1 % p-p for ±14.9 VDC output
단락회로보호	최대부하의 125 %
Radiation 환경	K2-SP-330-001
출력리플전압	100 mVp-p
입력리플전압	200 mVp-p
정상상태 도달시간	50 msec

DC-DC 컨버터의 설계 요구사항은 표 1과 같다. 표 1에서 보는바와 같이 다목적 실용위성 2호의 DC-DC 컨버터는 1호에 비해 전력이 66 W에서 90 W로 증가하였다. 그러나, 컨버터의 크기는 다목적 실용위성 2호와 같은 크기가 요구되는 바 컨버터의 스위칭 주파수를 53 kHz에서 93 kHz로 증가시켜 입력필터 및 출력필터, 변압기 및 Coupled 인

덕터를 설계하였다.

컨버터의 입력전압은 배터리 전압으로 위성 SAR(Solar Array Regulator)의 출력전압인 위성 BUS 전압이 되어 표 1과 같이 최소 23.1 VDC - 34 VDC의 전압이 된다.

컨버터의 성능은 열진공 실험과 리플시험 등을 거쳐 확인하였으며, 여기서는 컨버터의 제어특성을 살펴보기 위하여 컨버터의 안정도를 해석하였다. 컨버터의 Bode Plot 시뮬레이션 결과는 다음절에 보인다.

3. 시뮬레이션 결과

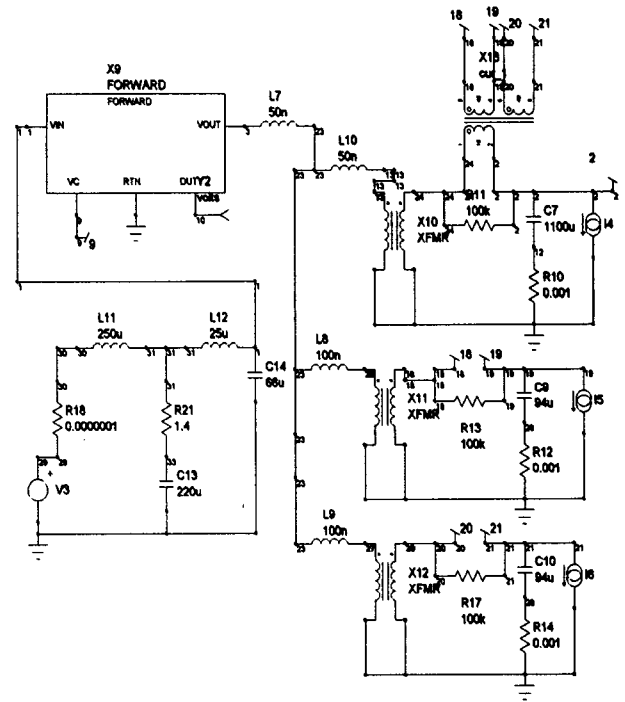


그림 2. 시뮬레이션을 위한 컨버터 전력회로

그림 2는 DC-DC 컨버터의 안정도를 해석하기 위한 컨버터의 전력회로를 나타낸다. 그림 2에서 컨버터의 주 회로부인 출력필터회로를 제외한 Forward 컨버터는 컨버터의 스위칭 성분을 무시한 State Space Average된 Forward 컨버터 모듈(X2)을 사용하였다. 또한, 출력 필터부인 Coupled 인덕터는 실제로 전기적으로 분리되어야 하나 여기서는 이상적인 Coupled 인덕터를 가정하였고 부하의 전류는 전부하(Full load) 조건에서 시뮬레이션 하였다.

또한, 그림 3은 컨버터의 제어를 나타낸다. 여기서, 실제의 경우 제어기는 전류 모드 제어 IC를

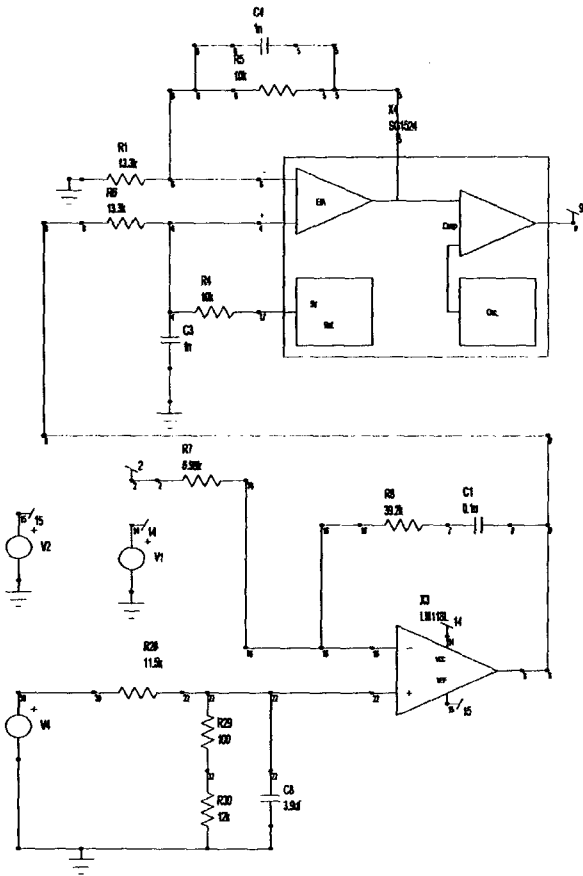


그림 3 시뮬레이션을 위한 컨버터 제어회로

사용하였으나, 그림 2의 컨버터 모듈(X2)에서 전류를 세팅하므로 전압제어 IC(X4)를 가정하여 전류 모드 IC를 구현하여 시뮬레이션 하였다.

그림 4는 컨버터의 출력이 전부하(Full load)인 경우에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 4의 Bode Plot 결과에서 컨버터의 대역폭은 대략 10 kHz 내외이며, 대략 60°를 위상마진을 보여 컨버터가 안정되게 동작함을 보여준다. 한편, 출력이 최소부하(30 W)인 경우 Bode Plot 결과도 그림 4와 거의 유사한 특성을 보이는 데 이는 컨버터의 제어기가 전류모드 제어로 이루어져 있고 출력 필터는 계속 전류 연속모드로 동작되기 때문이다.

3. 실험결과

그림 5와 그림 6은 DC-DC 컨버터의 스위칭 파형 중 전력용 MOSFET 스위치의 파형을 나타낸다. 컨버터의 입력전압은 배터리 전압의 최소인 23.1 VDC와 최대인 34 VDC에 대하여 실험하였다.

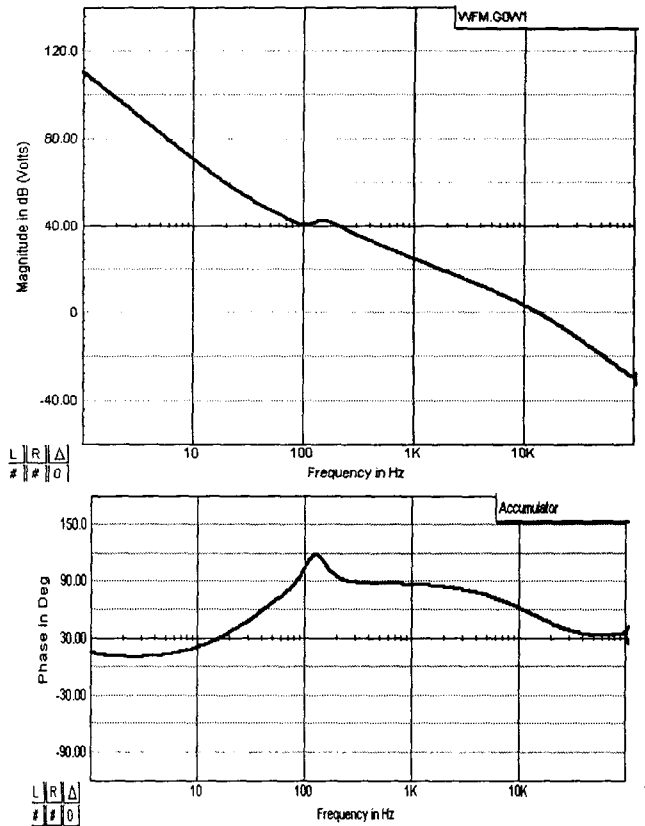


그림 4. 시뮬레이션 Bode Plot 결과

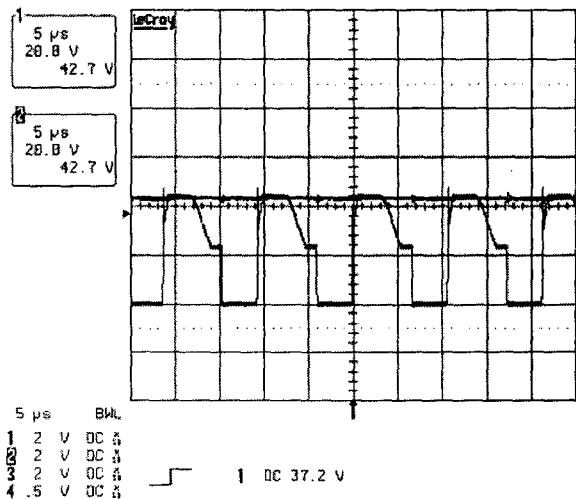


그림 5. 입력전압 23.1 VDC, 최소부하(30 W)에서 MOSFET 스위치 파형

그림 5는 입력전압이 최소인 23.1 VDC 인 경우 최소부하(30 W)에서의 파형을 나타낸다. 이 경우 통류율은 대략 1/3 정도이다. 또한, MOSFET 스위치의 최대전압은 43 V가 된다.

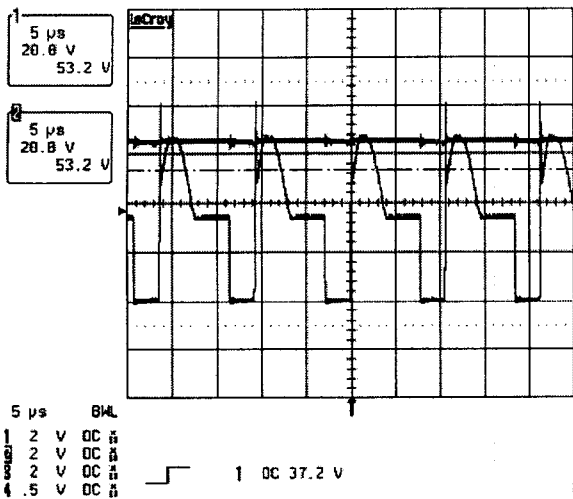


그림 6. 입력전압 34 VDC, 최대부하(90 W)에서 MOSFET 스위치 파형

그림 6은 입력전압이 최대인 34 VDC이고, 부하가 최대인 90 W에서 전력용 MOSFET 스위치의 전압파형을 나타낸다. 그림 6에서 통류율은 대략 1/4가 되며 스위치에 걸리는 최대전압은 대략 65 VDC 정도가 된다.

그림 5와 그림 6에서 스위치의 최대전압은 65 VDC 이하로 스너버에 의해 스위치가 안정된 동작을 수행함을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 다목적 실용위성 2호 DC/DC 컨버터의 요구조건에 맞는 DC/DC 컨버터를 설계하였다. 또한 컨버터의 변압기와 출력 필터를, 출력리플전압이 기준에 적합하도록 출력필터회로를 설계하였다. 또한, 제어회로를 포함한 전체 회로도에 대하여 보드선도(Bode plot)를 해석하여 DC-DC 컨버터가 약 60°의 위상마진으로 안정적으로 동작함을 확인하였다. 컨버터의 동작은 실험을 통하여 확인하였다.

이 논문은 산업자원부 지원으로 실시한 “다목적실용위성 2호 본체개발(II)”의 연구의 일부입니다.

참고 문헌

- [1] 김성규의, 위성 Bus 시스템 기술지원 및 개발연구, 최종보고서, 한국항공우주 연구원, 1994.
- [2] 정규범의, 무궁화 위성체 배터리 충전기 모델링, 항공우주학회 춘계 학술발표회의, 1994.
- [3] 한국항공우주연구원, KOMPSAT, Preliminary

Design Audit Data Package, Electrical Power Subsystem, 1996.

- [4] 정규범, 이상욱, 최완식, 다목적 위성 태양전지 모델링 및 해석, 전력전자공학회 학술대회, 1997년 7월
- [5] 한국항공우주연구원, KOMPSAT II, System Design Review, Electrical Power Subsystem, 2000.
- [6] 한국항공우주연구원, KOMPSAT II, System Design Review, Electrical Design Integration, 2000.