

전력조절분배기 저전압 컨버터 모듈의 고장 방지에 대한 연구

(Study on the Failure Protection Mechanism for the
Low Voltage Converter Module of Power Control and Distribution Unit)

박성우* · 박희성 · 장진백 · 장성수 · 이상곤
(Sung-Woo Park · Hee-Sung Park · Jin-Beak Jang · Sung-Soo Jang · Sang-Kon Lee)

한국 항공우주 연구원

Abstract

Even though many modular converters have several internal protection circuit blocks for various abnormal operation conditions, there are many failure cases on modular converters at real applications. In this paper, the control strategy for failure protection of converters with internal 'In-Hibit' function is investigated. As an example, for the MDI modular converters the in-hibit function application is realized and the test results shows that adopting in-hibit function while converter switching reduces the voltage and current stress. And the reduction of switching stress on converter will decrease failure rate on converters.

1. 서 론

최근에는 응용의 편리함이나 공간적인 이점을 포함한 다양한 이유로 모듈형 컨버터에 대한 사용이 점차 증가하고 있다. 인공위성을 포함한 항공, 우주 분야의 전력 시스템이나 전장품 개발에서도 모듈형 컨버터에 대한 수요는 점차 확대되는 추세에 있다. 이와 같은 경향에 따라 IR, Interpoint 및 MDI 등 항공, 우주 분야에 적용 가능한 고 신뢰도의 컨버터 제작 경험이 있는 업체에서 다양한 입출력 전압 및 동작 전력 사양을 갖는 모듈형 컨버터의 출시가 증가하고 있다.

본 논문에서는 저궤도 위성의 전력조절분배기의 동작에 필요한 전력을 공급하기 위한 저전압 컨버터 모듈(LVC, Low Voltage Converter)에 사용되는 MDI사의 컨버터에 대한 고장 원인 분석 및 고장 방지를 위한 조치과정을 통해서 'In-Hibit' 기능을 제공하는 모듈형 컨버터 응용 시, 컨버터의 스위칭 과정에서 발생하는 전압, 전류 스트레스로 인한 컨버터의 고장을 방지하기 위한 In-Hibit 응용 방법에 대해서 검토한다. 검토 결과는 실제 LVC 하드웨어에 적용되어 컨버터 스위칭 과정에서 컨버터의 입출력 전압 파형을 확인함으로써 전압, 전류 스트레스의 저감을 확인한다.

LVC에 사용되는 MDI사의 모듈형 컨버터 모델은 7193-S05.2로서 30-75VDC의 입력 전압 범위, 40W의 출력 전력 사양을 갖는다. 7193-S05.2의 주요 전기적 사

양 및 기능은 다음과 같다.

- 입력전압 범위: 30 - 75VDC
- 출력전압 사양: +5.2V
- 출력전력 사양: 40Watts
- 전력변환 효율: 74%(@최대부하 조건)
- 출력전압 리플: 최대 85mVpp
- Line 레귤레이션: 최대 50mV
- Load 레귤레이션: 최대 50mV
- Proton Rad Hard, SEU Resistant
- Power On Soft Start
- Built-in EMI 입력필터: MIL-STD-461C CE01, CE03, CS01, CS02 및 CS06 만족
- Short Circuit, Overvoltage Protection

2. 저전압 컨버터 모듈 적용 시스템

그림 1은 MDI사의 모듈형 컨버터가 적용된 전력조절 분배기의 저전압 컨버터 모듈의 블럭다이어그램을 나타낸다. 저전압 컨버터 모듈은 모두 4개의 모듈형 컨버터 및 릴레이와 주변 회로로 구성된다. 컨버터 모듈은 Primary, Redundant 각각 두 개의 5.2V 컨버터 모듈과 2개의 15V 컨버터 모듈로 구성된다. 실제 컨버터 보호를 위 In-Hibit 블록은 5.2V 컨버터와 15V컨버터 모두에 대해 동일하게 적용된다.

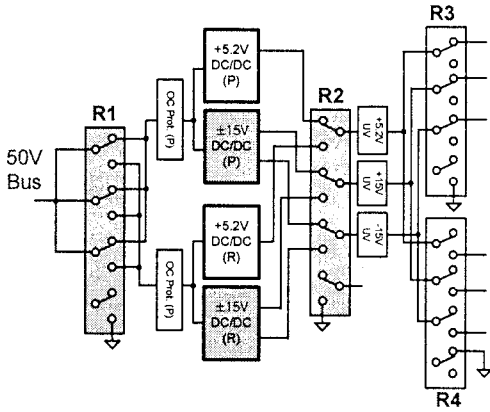


그림 2. 저전압 컨버터 모듈 블록다이아그램
Fig. 1. Block diagram for low voltage converter module

그림 1의 저전압 컨버터 모듈에 적용된 컨버터 모듈은 컨버터 입력 단 릴레이 R1과 출력 단 릴레이 R2 및 부하단 릴레이 R3, R4의 전환과 같은 급격한 전압 및 전류 과도 응답 특성에 대해서 안전하게 동작해야 한다. 하지만, 저전압 컨버터 모듈의 하드웨어 시험과정에서 +5.2V 컨버터에 여러 차례 고장이 발생하였다. 고장 발생 원인은 제작사의 검토 결과 과전압으로 인한 컨버터 출력 단의 다이오드 파손으로 판명되었다. 그림 2에서 4는 고장 컨버터 모듈에서 파손된 출력 단 다이오드의 Microscope 사진을 나타낸다. 각 사진에서 다이오드의 Pad와 Bonding-wire 사이에 과 전압으로 인한 파손을 확인 할 수 있다.

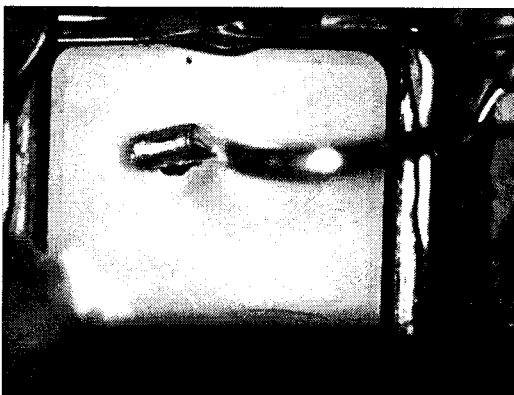


그림 2. 고장 컨버터 #1 출력 다이오드 사진
Fig. 2. Photo of output diode at failed #1 converter (SN8027, CR12)

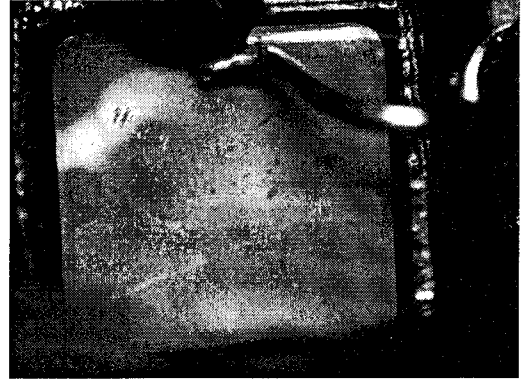


그림 3. 고장 컨버터 #2 출력 다이오드 사진
Fig. 3. Photo of output diode at #2 failed converter (SN8015, CR12)

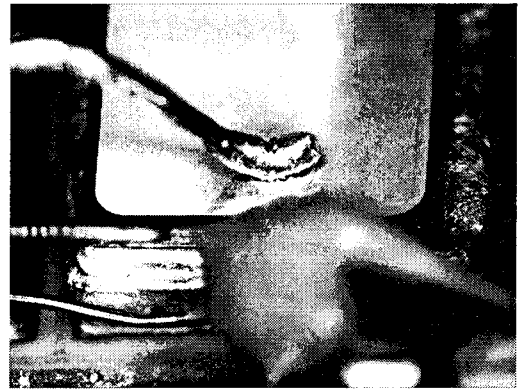


그림 4. 고장 컨버터 #3 출력 다이오드 사진
Fig. 4. Photo of output diode at #3 failed converter (SN8020, CR12)

컨버터 제작사에서는 위와 같은 컨버터의 고장 장치를 위해서는 컨버터의 In-Hibit 기능을 적용하여 컨버터의 입출력에 급격한 과도 응답이 발생하는 기간 동안 컨버터를 'Disable' 시키는 방법을 권장하였다. 저전압 컨버터 모듈에서는 전력조절분배기의 동작 특성 및 부하 특성을 고려하여 컨버터의 Primary, Redundant 전환 및 각 부하의 ON, OFF 시에 컨버터의 In-Hibit 기능을 이용하여 컨버터를 'Disable' 시키기로 하였다. 따라서 컨버터에 과도한 스위칭 전압, 전류 스트레스가 발생할 수 있는 컨버터의 전환이나 부하의 스위칭 기간 동안 컨버터가 동작하지 않도록 함으로서 컨버터에 인가되는 전압 및 전류 스트레스를 저감하였다. 컨버터의 In-Hibit 신호는 컨버터 전환 릴레이 구동 신호, 각 부하의 릴레이 ON, OFF 구동 신호를 이용하여 구현 하였다.

3. 고장 방지 대책이 적용된 저전압 컨버터 모듈 및 실험 결과

3절에서는 실제 저전압 컨버터 모듈에 적용된 In-Hibit 기능의 구동 회로와 In-Hibit 기능 적용 전후의 컨버터 동작 전압, 전류 파형을 실험적으로 확인함으로써 In-Hibit 기능을 통해 컨버터의 스위칭 전압, 전류 스트레스를 저감 할 수 있음을 확인한다. 그림 5에서 6은 In-Hibit 기능을 적용하기 전, 컨버터 스위칭 순간의 전압 및 전류 파형을 나타낸다.

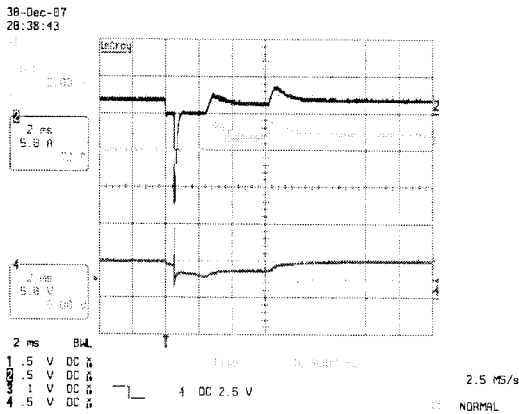


그림 5. 컨버터 전환 시, 출력 전압 및 전류
Fig. 5. Output current and voltage during converter switching P to R ($I_{out}(R)$, I_{out} , and V_{out})

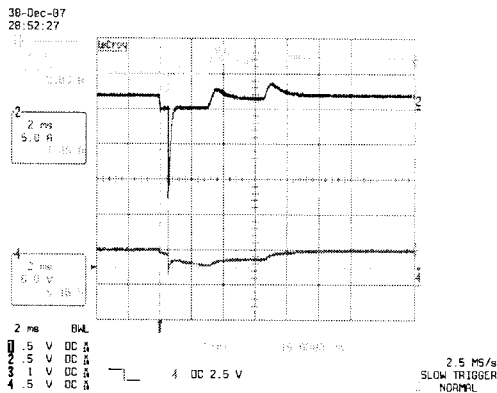


그림 6. 컨버터 전환 시, 출력 전압 및 전류
Fig. 6. Output current and voltage during converter switching R to P ($I_{out}(R)$, I_{out} , and V_{out})

그림 5와 그림 6에서 컨버터가 P 또는 R측에서 반대측으로 전환되는 순간 부하의 기생 커패시턴스에 충전되어 있는 전류 전류가 순간적으로 컨버터 출력으로 입력되는 것을 확인 할 수 있다. 뿐만 아니라 릴레이가

ON되어 있던 컨버터에서 분리되어 OFF되어 있던 컨버터에 붙는 순간 컨버터 출력에 높은 전압 스파이크가 발생하는 것을 실험적으로 확인 할 수 있다.

그림 6은 저전압 컨버터 모듈 4개의 컨버터 모듈에 In-Hibit 기능을 적용한 회로의 블록다이어그램을 나타낸다. 앞 절에서도 설명되었듯이, 각 컨버터의 In-Hibit 입력 단자에 인가되는 제어 신호는 각 릴레이의 구동 신호를 이용하여 생성된다. 그림 6에서 한 개의 신호에 대해서 Redundancy를 하여 In-Hibit 제어 신호 생성회로를 2개로 구현하였으며 각 제어 신호의 출력은 모두 4개의 컨버터 모듈에 입력된다.

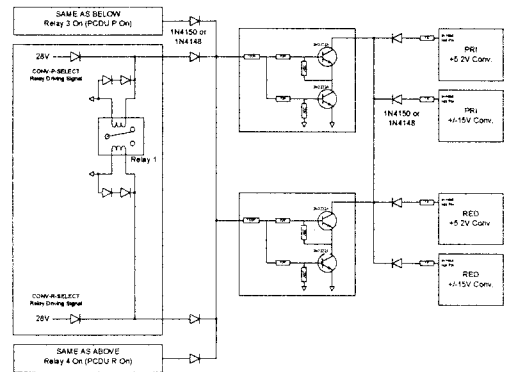


그림 6. In-Hibit 기능 적용 블록다이어그램
Fig. 6. Block diagram of In-Hibit function Application for low voltage converter

그림 7은 +15V 컨버터에 대해서 In-Hibit 적용 시간을 60msec로 설정하여 컨버터 전환 시험을 수행한 결과를 나타낸다. 본 실험 결과에서는 컨버터 스위칭 구간동안 컨버터가 'Disable' 되도록 In-Hibit 기능이 적용되었지만, 시간이 충분하지 않아서 컨버터가 다시 켜지는 구간에서 출력 전압에 과전압이 인가되는 것을 확인할 수 있다. 그리고 각 컨버터 출력에 1Kohm의 Dummy 저항을 추가하여 최악의 상황을 가정한 무 부하 조건에서도 설정된 In-Hibit 기간 이후 컨버터가 다시 ON 되더라도 출력 전압에 스파이크나 과전압이 인가되는 것을 방지하였다.

그림 8은 In-Hibit 기간을 90msec로 설정한 경우, +5.2V 컨버터 모듈의 동작 전압 및 전류 파형을 나타낸다. 본 실험 파형에서는 컨버터가 'Disable' 되었다가 다시 ON되는 순간 출력 전압에 스파이크나 과전압이 발생하지 않는 것을 확인 할 수 있다. 그림 9는 +15V 컨버터에 대해서 In-Hibit 기간을 80msec로 설정한 후 컨버터 전환 순간의 컨버터 출력 전압을 나타낸다. 본 실험에서는 그림 7과 달리 컨버터가 다시 ON되는 순간 출력에 과전압이 발생하지 않는 것을 확인 할 수 있다.

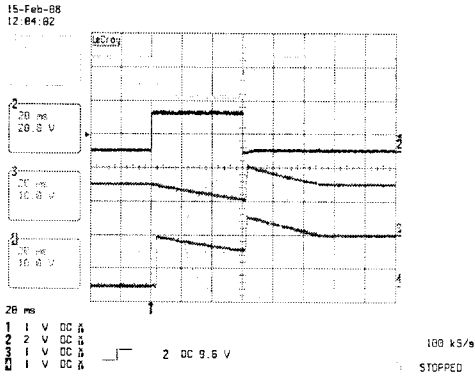


그림 7. 전압 및 전류 파형(In-Hibit 기능 적용)
Fig. 7. Current and voltage waveform with In-Hibit function application for +15V converter

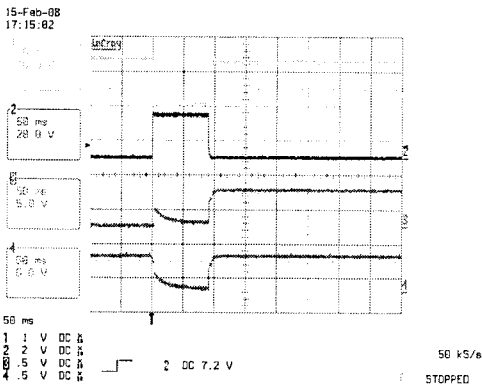


그림 8. 전압 및 전류 파형(In-Hibit 기능 적용)
Fig. 8. Current and voltage waveform with In-Hibit function application on +5.2V converter for 90msec duration.

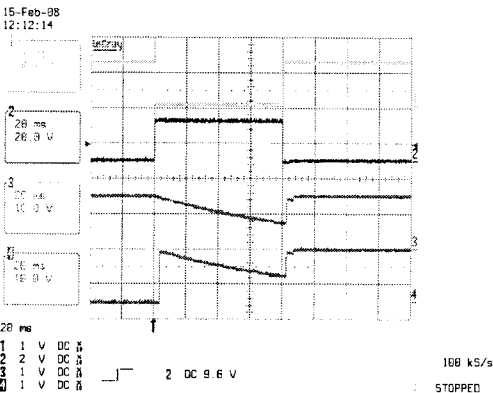


그림 9. 전압 및 전류 파형(In-Hibit 기능 적용)
Fig. 9. Current and voltage waveform with In-Hibit function application on +15V converter for 80msec duration.

그림 8과 그림 9의 결과에서 5.2V용 컨버터 및 15V용 컨버터 모두에 대해 90msec의 In-Hibit 기간은 컨버터 스위칭 시, 출력단의 과전압을 방지하기 위해 충분한 시간으로 측정되어 마진을 포함하여 저전압 컨버터 모듈에서는 120msec로 설정되었다.

4. 결론

본 논문에서는 항공우주 응용 분야에서 점점 사용이 증가하고 있는 모듈형 컨버터의 고장 방지에 대한 실증적 방법에 대해서 검토하였다. In-Hibit 기능을 제공하는 MDI사의 모듈형 컨버터가 적용된 저전압 컨버터 모듈에 대해 해당 모듈의 동작 특성에 맞는 In-Hibit 제어 신호를 생성하며, 전력조절분배기 전체의 부하 특성을 고려한 In-Hibit 시간을 찾아 설정함으로써 컨버터 스위칭이나 부하의 급격한 변화가 발생하는 과도응답 기간 동안 컨버터에 과전압, 과전류 스트레스가 발생하지 않도록 컨버터 보호 회로를 구현하였다.

참고 문헌

[1] Equipment Specification for Power Control and Distribution Unit for LEO Applications, 2007.

[2] Datasheet of Hybrid DC-DC Converters for Military, Commercial Space and Aerospace 2006.