

전력조절분배기의 보조전원 설계

(Auxiliary Power Interface Design for Power Control and Distribution Unit)

박성우* · 장진백* · 박희성* · 윤희광**

(Sung-Woo Park · Jin-Beak Jang · Hee-Sung Park · Hee-Kwang Yoon)

한국항공우주연구원* · 한국항공우주산업**

Abstract

Power Control and Distribution Unit (PCDU) plays roles of power generation control for solar array panel, power storage control for battery system, power conversion for unregulated and regulated primary bus and power distribution to bus and payload system. The selection and design of the proper auxiliary power interface for PCDU depending on various mission is one of the most important step for electrical power subsystem design. In this paper, the general design approach of auxiliary power interface for PCDU which can be used for small-sized LEO satellites application is given. And, the auxiliary power design concept for always alived modules such as solar array regulator and house keeping module is also suggested.

1. 서론

위성의 전력조절분배기 (PCDU, Power Control and Distribution Unit)는 태양전지판으로부터 입력되는 전력량을 조절하여 위성의 에너지 저장 장치인 배터리의 충전 전력량 및 위성 부하에 필요한 전력을 제어하는 기능을 담당한다. 또한 일차 전원버스 전압을 위성 본체 및 탑재 체의 각 전장품들의 동작 전압에 맞게 변환하고, 분배하는 기능을 담당한다. 뿐만 아니라 위성 히터 전원 공급, 태양전지판 전개장치 구동, 위성 밸브 구동 장치 제어, 위성 내부 릴레이 제어를 위한 고전압 펄스 등을 포함한 다양한 기능을 부수적으로 수행한다. 이와 같은 여러 기능을 수행하는 전력조절분배기의 동작에 필요한 보조 전원은 배터리를 이용하여 전력조절분배기에서 자체적으로 생성한다.

위성 전력을 생성, 저장, 변환 및 분배 기능을 수행하거나 제어를 담당하는 전력조절분배기는 위성의 임무 수행기간 동안 어떠한 임무 수행 조건 및 동작모드에서도 정상적이고 안정적으로 동작해야 한다. 이를 위해 전력조절분배기의 동작에 필요한 전원을 공급하는 보조전원 회로의 설계 및 구성은 전력조절분배기의 설계에서 매우 중요한 비중을 차지한다. 보조전원 회로의 전력정격은 전력조절분배기를 구성하는 각 부분의 회로에 대한 초기 설계가 완료되어야 예측 가능한 값이며, 임무조건이나 동작 조건에 따라서 설정 및 가변 가능한 값으로 본 논문에서는 전력조절분배기의 보조 전원부에 대한 전력용량 보다는 전력조절분배기의 동작 특성을 고려한 보조 전원회로의 동작 요구 사항, 전력조절분배기 내부 일부 모듈의 고장에 따른 고장 모드 특성 및 전력

조절분배기 내부의 각 모듈과의 인터페이스 구성 방법, 전원부에 대한 Redundancy 개념 등에 대한 설계 방법을 제시하고자 한다. 특히, 위성이 Contingency 모드로 진입하거나 메인 프로세서 유닛이 Redundancy 측으로 전환하는 등의 과정에서 전력조절분배기의 동작에 따라 상태에 적절한 보조 전원 인터페이스를 제공해야 하며, 보조전원 회로에서 전력조절분배기의 외부로 제공하는 +5V, +15V 등의 전압을 사용하는 부하 고장이 발생하는 경우에도 전력조절분배기의 보조 전원회로의 안정적인 동작을 보장할 수 있는 설계 개념을 제시하고자 한다.

2. 보조 전원회로 요구 사양 및 구성

본 논문에서 제안하는 전력조절분배기의 보조전원회로는 소형 저궤도 지구관측 임무를 수행하는 위성에 최적화 되도록 설계되었다. 전력조절분배기 보조전원회로가 가져야하는 주요 특징 및 요구 사항은 다음과 같다.

- 입력 전원으로 배터리를 사용해야함
- Single Fault Tolerant 해야 함
- 배터리가 완전 방전상태에서 다시 충전되면, 정상 동작을 보장해야 됨
- 전력조절분배기 내부 보조 전원 공급 및 외부 전원 공급에 대해 다른 각각 별도의 보호 회로를 이용하여 구성되어야 함.
- 보조 전원회로 Primary 측 고장 발생 시, 자동으로 Redundant 측으로 전환해야 됨.
- 지상 Command에 의해서 보조 전원 부의 Primary, Redundant 전환이 가능해야 됨.

- 전원회로의 Primary, Redundant 사이에 Fault 전이(Propagation)가 없도록 구성되어야 함.
- 보조 전원회로는 입력 부의 과전류 및 출력부의 저전압에 대한 보호기능을 포함 하도록 설계되어야 함.

위성 본체를 구성하는 대부분의 전장품은 주 입력 전원으로 일차 전원버스를 사용하도록 구성되지만, 일부 전장품은 +5V, +15V 및 -15V의 저전압을 전력조절분배기에서 직접 요구한다. 이와 같이 저전압을 필요로 하는 전장품의 전원공급을 위해 전력조절기에 별도의 저전압 생성회로를 구성하는 대신 전력조절분배기 내부의 보조 전원회로 구성 시, 외부 저전압의 전력 용량을 고려하여 단일 전력 공급회로로 구성하는 것이 일반적이다. 하지만, 이와 같은 개념으로 설계 될 경우, 앞의 요구 조건에서도 언급되었듯이 외부 저전압 전원 공급 라인과 전력조절분배기의 내부 보조전원 공급 라인에는 별도의 보호회로를 구성하여 저전압 생성부에서 고장이 감지되었을 때, 전력조절분배기의 어떤 인터페이스 부분에서 고장이 발생했는지 확인하는 것이 반드시 필요하다. 본문에서는 +5V와 +/-15V를 단일 컨버터 모듈로 구성하는 대신 +5V 단일 출력의 모듈 형 컨버터와 +/-15V의 이중출력 모듈 형 컨버터를 이용하는 방법을 사용한다. 그림 1은 보조 전원회로를 구성하는 Primary 및 Redundant 컨버터의 입출력 인터페이스 구성을 나낸다.

전력조절분배기 보조전원용 컨버터는 그림 1과 같이 Cold Redundancy 개념으로 설계되었다. Primary 및 Redundant 측을 선택하는 입출력 릴레이 R1, R2는 동일한 Command에 의해서 동시에 동작하도록 구성되었다. 단, 각 릴레이의 동작 상태를 나타내는 Telemetry는 개별적으로 확인 할 수 있도록 구성된다. 사용된 모듈 형 컨버터는 내부적으로 과전압 및 저전압에 대한 보호 기능을 포함하지만, 컨버터 자체 고장에 대한 위성의 메인 일차 전원 보호를 위해서는 그림 1과 같이 개별 컨버터의 입력 측에 과전류 보호 회로가 추가되어야 한다. 그림 1의 컨버터 출력은 다음과 같은 전력조절분배기 내부 모듈과 외부의 부하에 대한 동작 전원을 공급할 수 있는 인터페이스를 제공해야 한다.

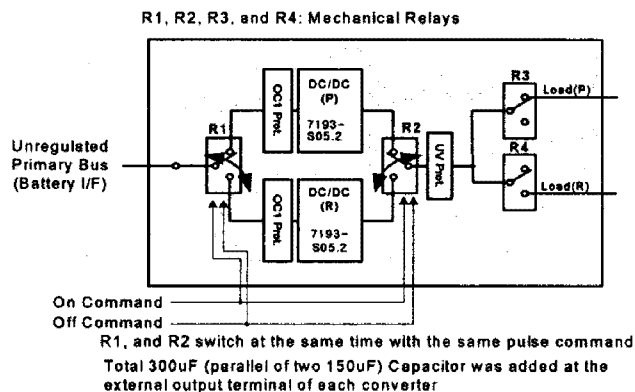


그림 1 Primary 및 Redundant 컨버터 구성

- 전력조절분배기 내부 Primary 모듈들
- 전력조절분배기 내부 Redundant 모듈들
- 밸브 구동장치 Primary 모듈
- 밸브 구동장치 Redundant 모듈
- 전력조절분배기 외부 Primary 모듈들
- 전력조절분배기 외부 Redundant 모듈들

전력조절분배기 내부 보조전원부에서 전력을 공급해야 하는 위의 모듈 중에서 전력조절분배기 내부와 외부로 구분하여 해당 부분에 대해 별도의 과전류 또는 저전압 감지 및 보호회로를 구성해야 된다. 따라서 전력조절분배기 내부의 보호회로는 아래와 같이 모두 3개로 구성된다. 밸브 구동 장치는 비록 전력조절분배기 내부 모듈이지만 분배기 내부의 다른 모듈과 별도로 동작하는 모듈로써 별도의 인터페이스로 구현하는 것이 필요하며, 이와 같은 조건을 모두 만족하는 전력조절분배기 내부의 보조 전원회로의 인터페이스 구성을 그림 2에 나타내었다.

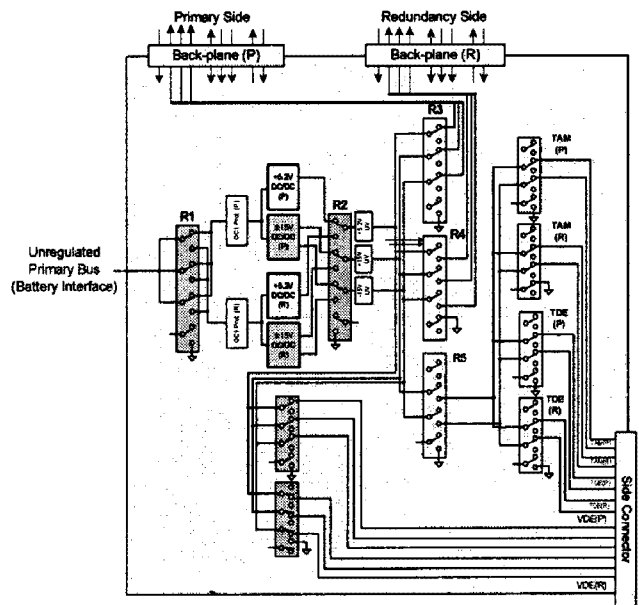


그림 2 전력조절분배기 보조전원 인터페이스

- 컨버터 입력 과전류 Detection 회로
- 컨버터 출력 저전압 Detection 회로
- 외부전원 라인 과전류 Detection 회로

그림 2와 같은 구조로 설계된 보조전원 부는 메인 전원 공급용 컨버터와 전력조절분배기 내부의 여러 모듈들 사이의 Primary, Redundant 조합으로 동작 가능하다. 즉, 전원 컨버터가 Primary에서 동작하는 상태에서 전력조절분배기 내부의 특정 모듈에 고장이 발생했을 경우, 지상 Command에 의해서 컨버터는 Primary인 상태에서 전력조절분배기의 모듈만 Redundancy 모드로 동작하도록 운용할 수 있다.

3. 보조 전원회로의 동작특성

그림 2와 같이 구성된 전력조절분배기의 보조전원회로는 전원회로 내부 고장 및 전력조절기 외부 고장에 대해 메인 전원버스를 안정적으로 보호할 수 있도록 설계되어야 한다. 따라서 보조 전원회로는 과전압 및 과전류에 대한 고장모드에서 주어진 다음 제한 조건들을 만족하도록 설계되어 있다. 첫째, 내부 컨버터 입력 측에서 과전류 검출 시, 해당 고장 정보를 위성 프로세서 유닛으로 제공하고, 컨버터 및 전력조절분배기 내부 모듈을 모두 Redundant 측으로 전환하고, 밸브 구동 장치 및 전력조절분배기 외부 모듈 전력을 공급하기 위한 릴레이는 모두 개방한다. 이후 밸브 구동 장치 및 전력조절분배기 외부 모듈에 대한 전원공급은 지상 Command에 의해서 다시 켤 수 있도록 구현된다. 둘째, 컨버터 출력단의 저전압 고장 검출 시, 입력 측의 과전류 검출과 동일하게 해당 고장 정보를 프로세서로 전달하고 보조전원용 컨버터 및 전력조절분배기 내부 모듈을 모두 Redundant 측으로 전환하고 외부 전원에 대한 인터페이스는 모두 끊어야 한다. 셋째, 전력조절분배기의 외부 전원 인터페이스 라인에 과전류 고장이 검출되었을 때에는 외부 전원 인터페이스만 개방하며 컨버터 및 전력조절분배기 내부 모듈에 대한 동작 상태는 유지해야 한다. 마지막으로 컨버터 및 전력조절분배기가 기존의 Fault등으로 Redundant로 전환되어 Redundant 측에서 동작할 때도 과전류 및 과전압 고장 발생 시, Primary 측에서 동작할 때와 동일한 고장모드 응답특성을 가져야 한다. 그림 3과 그림 4에 각각 입력 과전류 및 컨버터 모듈 출력 저전압 고장모드 발생에 따른 전력조절분배기 내부 회로의 동작 특성을 도식화 하였다.

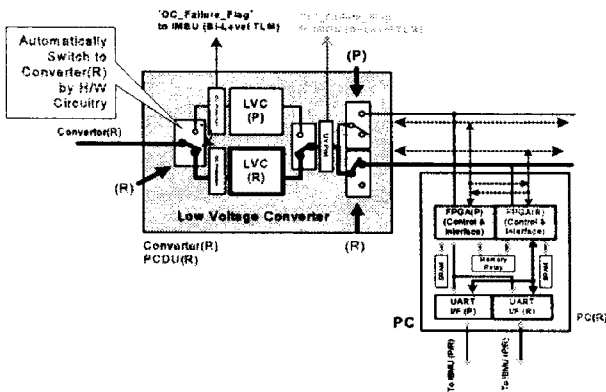


그림 3 과 전류 고장 시, 보조전원 응답 특성

그림 3은 컨버터 입력 단의 과전류 고장 검출 시, 컨버터 및 전력조절분배기 내부 모듈의 응답 특성을 나타내며, 그림 4는 컨버터 출력 단의 저전압 고장 발생 시, 컨버터 및 전력조절분배기 부하 모듈들의 동작 특성을 나타낸다. 위에서 설명되었듯이 컨버터 및 전력조절분배기가 Primary 및 Redundant 측 어디에서 동작하더라도 과전류 및 저전압 고장이 감지되면, 모두 동일하게 그림 3 및 그림 4와 같이 동작한다.

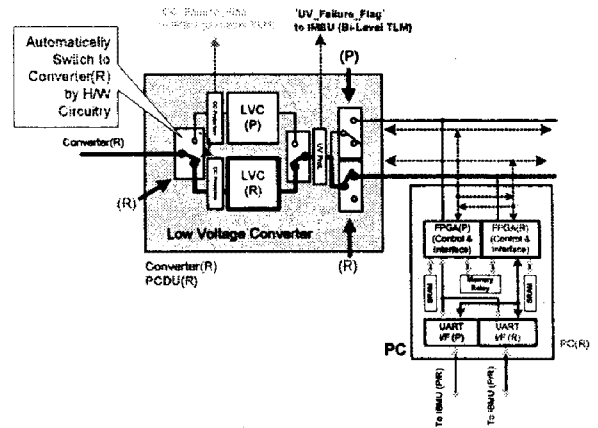


그림 4 저 전압 고장 시, 보조전원 응답 특성

전력조절분배기와 위성 프로세서 유닛과의 통신 에러로 인해 프로세서 유닛이 Redundant 측으로 전환되거나 프로세서 유닛 내부 및 위성 본체의 다른 서브유닛의 오동작으로 프로세서 유닛이 Redundant로 전환될 때, 전력조절분배기의 내부 모듈도 Redundant로 넘어가도록 설계되었다. 하지만, 이때 보조 전원회로의 컨버터는 정상상태이므로 여전히 Primary 측에서 동작하도록 구성되어야 한다. 이후, 전력조절분배기의 모듈고장이 아니라고 확인되면, 지상 Command에 의해서 전력조절분배기 모듈들은 Primary로 전환될 수 있도록 프로세서 유닛과의 직접적인 Command 인터페이스 라인을 포함해야 한다. 이때, 보조전원 컨버터의 전압, 전류 스트레스를 저감하기 위해서 Redundant 측 부하가 동작하는 상태에서 Primary 측 릴레이를 연결하고, 이후 Redundant 입력 전원을 공급하는 릴레이를 개방하여 컨버터와 내부 모듈이 Primary에 위치시키도록 해야 한다.

전력조절분배기 내부 대부분의 모듈은 보조전원 모듈에서 제공하는 저전압을 해당 모듈의 동작전원으로 사용하지만, 보조전원 모듈이 Primary에서 Redundant 측으로 전환하는 순간에도 항상 전원이 공급되어 동작해야 하는 전력조절분배기 내부 모듈은 보조전원 모듈에서 입력되는 전원은 별도로 배터리에서 자체적으로 저전압을 생성하는 보조전원 회로를 포함해야 한다. 내부 자체 저전압 생성 회로를 포함해야 하는 전력조절분배기 내부 모듈은 다음과 같다.

- 태양전력조절기(Solar Array Regulator) 모듈
- House Keeping (HK) 모듈
- 전력분배 모듈 (Latching 블록)

위 3개 내부 모듈 중, 전력분배 모듈은 해당 모듈 내의 Latching 블록 일부만 항상 전원을 입력받으면 되므로 On-Board 형태의 저용량 레귤레이터로 구현이 가능하며, 보조전원 모듈의 저전압 출력과 레귤레이터 출력을 선택적으로 사용할 수 있도록 구현된다. 태양전력조절기 및 House Keeping 모듈은 해당 모듈 전체 회로가

전력조절분배기 내부 보조전원 모듈의 정상동작 유무에 상관없이 항상 저전압 보조전원을 필요로 하므로 SPF (Single Point Failure)가 없는 구조의 저전압 변환 회로가 별도로 필요하다. 따라서 태양전력조절기와 House Keeping 모듈에는 그림 5와 같이 전력조절분배기의 보조전원 모듈이 동작할 때에는 해당 모듈에서 동작에 필요한 저전압을 입력받아서 동작하고, 해당 모듈이 Primary에서 Redundant측으로의 전환 등으로 정상적인 출력을 제공할 수 없을 경우에는 자체의 저전압 변환 회로를 사용하여 배터리로부터 직접 동작 전원을 생성하는 구조의 보조전원 회로를 갖는다.

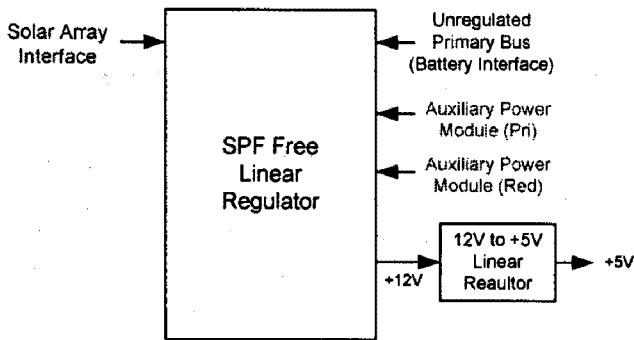


그림 5 SAR 및 HK 모듈의 보조전원 구성

그림 5에서 레귤레이터의 변환 효율 문제로 인해 보조전원 모듈에서 저전압이 공급되면, 레귤레이터는 해당 보조전원 모듈 입력을 이용하여 출력 저전압을 생성하며, 보조전원 모듈이 없는 순간에만 배터리 전력을 사용하여 저전압 출력을 생성한다. 배터리도 이용할 수 없는 최악의 조건에서만 태양전지판에서 전력을 공급받아 동작 전원을 얻는다. 태양전력조절기와 House Keeping 모듈은 임무 수행 기간 동안, 배터리가 완전 방전되는 최악의 순간에도 태양전지판으로부터 입력되는 전력이 있으면 배터리 충전 동작을 수행해야하기 때문에 동작에 필요한 입력 전력 원으로 배터리뿐만 아니라 태양전지판을 사용하는 구조로 설계 된다. 따라서 태양전력조절기와 House Keeping 모듈은 배터리, 태양전지판 등의 어떤 한 개의 전력원이라도 존재하면 정상적으로 동작할 수 있는 구조로 설계 및 개발 될 경우, 그림 5와 같은 구조의 레귤레이터를 각 개별 마다 할당하여 전체 전원 모듈 간 독립적인 동작을 보장 할 수 있도록 구성해야 한다.

4. 결론

위성의 전력시스템은 위성의 임무기간동안 필요한 전력을 생성, 변환, 저장 및 분배하는 기능을 담당한다. 특히 전력조절분배기는 태양전지판에서 생성되는 전력량을 조절하며, 배터리 충전 전류 및 배터리 전압을 조절한다. 뿐만 아니라 메인 전력버스에서 위성의 각 전장품에 필요한 전력을 분배, 제어하는 기능을 담당한다. 이와 같은 기능을 담당하는 전력조절분배기의 안정된 동작 수행을 위해서는 위성의 임무 및 전

력조절분배기의 동작특성에 맞는 적절한 보조전원 회로의 설계가 매우 중요하다.

본 논문에서는 저궤도 지상 관측위성에 적용 가능한 전력조절분배기의 최적화된 보조전원 설계 개념을 제시하였으며, 일반적인 전력조절분배기의 보조전원 회로의 구조 및 요구조건에 적절한 보조전원 모듈 구성 및 인터페이스 개념을 정의하였다. 또한 태양전력조절기 및 House Keeping과 같이 특별한 보조전원 인터페이스가 필요한 모듈에 대한 전원 구성도 제시하였다. 본 논문에서 제시된 보조전원 인터페이스 설계 개념은 향후 개발하는 저궤도 위성의 전력조절분배기 보조전원 설계에 대한 근거 자료로 충분할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] 박성우, 박희성의, "저궤도 지상관측 위성 적용을 위한 전력조절분배기 사양서", 2008.12.
- [2] 윤희광외, "저궤도 지상관측 위성 적용을 위한 저전압 컨버터 모듈 최종설계 검토자료", 2008.10.
- [3] 장진백외 "저궤도 광학 및 레이더 위성 적용을 위한 전력 시스템 기술 사양서", 2008.12.