

技術論文

종래의 차동증폭기를 사용한 인공위성 배터리 셀 전압 감시 시스템

구자춘*, 최재동*, 최성봉*

Satellite Battery Cell Voltage Monitor System Using a Conventional Differential Amplifier

Ja-Chun Koo*, Jae-Dong Choi* and Seong-Bong Choi*

ABSTRACT

This paper shows a satellite battery cell voltage monitor system to make differential voltage measurements when one or both measurement points are beyond voltage range allowed by a conventional differential amplifier. This system is particularly useful for monitoring the individual cell voltage of series-connected cells that constitute a rechargeable satellite battery in which some cell voltages must be measured in the presence of high common mode voltage.

초 록

본 논문은 한쪽 또는 양쪽의 측정 점들이 종래의 차동증폭기에서 허용되는 전압 범위를 초과할 때 차동전압 측정을 위한 인공위성 배터리 셀 전압 감시 시스템을 제시하였다. 본 시스템은 다수개의 직렬로 연결된 셀들로 구성된 재충전 가능한 인공위성 배터리에서 몇몇의 셀 전압들이 높은 공통모드 전압에서 측정될 때 각 셀 전압 감시를 위해 특히 유용하다.

Key Words : Differential Amplifier(차동증폭기), Common Mode(공통모드), NiCd(니켈-카드뮴), NiH₂(니켈-수소), Overcharge(과충전), Overdischarge(과방전), Reconditioning(재조절), Stack(위치), Isolating Resistor(절연저항), Loading Resistor(로딩 저항), Voltage Divider(분압기), Multiplexer(멀티플렉스), Processing Circuitry(처리회로), Command Logic Processor(명령로직처리장치), Scale Factor(척도계수), Drift(표류), Matching(정합), Common Mode Rejection Ratio(공통모드제거비), Instrumentation Amplifier(계측증폭기), NAND(역논리곱), Schmitt Trigger(슈미터트리거), Ripple Counter(리플카운터), Edge(에지), Decoder(디코더), Flip-Flop(플립플롭), AND(논리곱), Buffer(버퍼), Dwell(머무름)

1. 서 론

인공위성에서 배터리는 에너지를 저장하는 용

도로 사용되며 전체 배터리 전압 형성을 위하여 직렬로 연결된 셀들로 구성되어 있다. 인공위성에서 니켈-카드뮴이나 니켈-수소와 같은 재충전 가능한 배터리를 유지할 때 몇몇의 역행할 수 없는 손상이나 출력 용량과 수명의 감소와 같은 성능 저하 문제점들이 일어날 수 있다[1]. 예를 들어 인공위성 배터리의 과충전은 각각의 셀에서 수명과 출력 용량을 감소시킬 수 있다[1-6].

* 2004년 7월 8일 접수 ~ 2004년 10월 27일 심사완료

* 정회원, 한국항공우주연구원
연락처, E-mail : jckoo@kari.re.kr
대전광역시 유성구 어은동 45

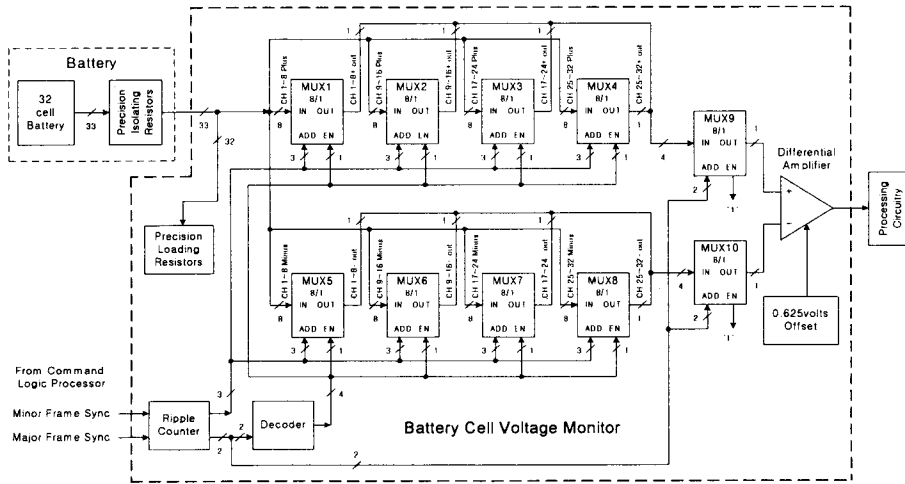


그림 1. 인공위성 배터리 셀 전압 감시 시스템의 블록다이어그램

재충전 가능한 인공위성 배터리에서 공통적으로 수행되는 하나의 절차는 재조절을 하는 것이다[1,3,4,5]. 인공위성 배터리를 재조절 할 때 각각의 셀들은 의도적으로 방전된다[1,3,4,5]. 셀이 극단적으로 방전되면 셀의 양단 전압은 역전될 수 있다[1,3,4,5]. 특히 의도적인 방전 동안에 배터리 셀 전압을 감시 하는 것은 매우 중요하다. 의도적인 방전 동안에 직렬로 연결된 셀들 중에서 한 셀이 거의 완전 방전될 때 셀의 손상과 고갈된 셀 양단의 전압 역전을 방지하기 위해 방전 과정은 멈추어야 한다[1,3,4,5]. 이러한 문제점들을 방지하기 위해 배터리가 충전되거나 방전되는 경우에 각 셀의 양단 전압을 감시하는 것이 매우 중요하다. 그러나 셀 전압 감시는 자체의 문제점을 가지고 있다. 예를 들어 각 셀의 최대 전압이 1.6 volts로 60개가 연결된 인공위성 배터리의 최대 출력 전압은 96 volts 이다. 배터리의 각 셀 전압을 감시해야 하기 때문에 차동전압 측정이 요구된다. 가장 위에 위치한 셀의 양극 전압은 최대 96 volts 이며 음극 전압은 94.4 volts 이다. 입력 전압 96 volts 및 94.4 volts 그리고 공통모드 전압 94.4 volts는 종래의 차동증폭기의 최대 입력 전압 범위를 각각 초과하기 때문에 종래의 차동증폭기로는 직접적으로 측정할 수 없다. 종래의 차동증폭기가 +/-18 volts의 전압을 공급 받는 것을 가정할 때 차동증폭기의 최대 허용할 수 있는 입력 전압은 약 +/-16.5 volts, 공통모드 전압은 약 +/-12 volts 이다.

본 논문은 다수개의 직렬로 연결된 셀들로 구성된 재충전 가능한 인공위성 배터리에서 종래의 차동증폭기에서 수용할 수 없는 입력 전압 및 공통모드 전압 범위를 갖는 셀 전압을 측정할 때,

종래의 차동증폭기를 사용하여 배터리 셀 전압을 측정하기 위한 인공위성 배터리 셀 전압 감시 시스템을 제시하였다.

II. 본 론

2.1 시스템 블록다이어그램

직렬로 32개 셀이 연결된 인공위성 배터리에 대한 셀 전압 감시 시스템의 블록다이어그램은 그림 1과 같다. 차동전압 측정을 위해 배터리 셀 양쪽의 각 측정 점들은 정밀 절연저항과 정밀 로딩저항으로 구성된 분압기에 연결된다. 배터리 셀 감시 시스템은 분압기를 통해 32개의 양극 전압과 1개의 기준 전압(가장 아래에 위치한 셀의 음극)을 입력 받는다. 분압기는 각 셀의 전압을 충분히 낮추어 종래의 차동증폭기 입력 전압 범위에서 셀 전압을 수용할 수 있도록 한다.

인공위성 배터리 셀의 양극에서 분압된 전압은 멀티플렉서 MUX1, MUX2, MUX3 및 MUX4로 입력되고, 음극에서 분압된 전압은 MUX5, MUX6, MUX7 및 MUX8로 입력된다. MUX1, MUX2, MUX3 및 MUX4의 출력은 MUX9로 입력되고, MUX5, MUX6, MUX7 및 MUX8의 출력은 MUX10으로 입력된다. MUX9 및 MUX10은 항상 동작 되도록 설계되어 출력은 차동증폭기의 비반전단자 및 반전단자로 각각 입력된다. 모든 멀티플렉서들을 8-채널 입력 및 1-채널 출력 구성을 갖는 소자를 사용한다.

차동증폭기의 증폭 비는 출력 전압이 처리회로의 허용 전압 범위 내에 유지하도록 결정된다. 셀의 양단 전압이 역전될 때 역전 전압도 감시하

기 위해 차동증폭기는 +0.625 volts 오프셋을 가지도록 설계되었다.

명령로직처리장치로부터 입력된 Minor frame sync 및 Major frame sync 명령은 각각 MUX의 ADD(Address) 및 EN(Enable)을 제어한다. Minor frame sync 명령에 의해 리플카운터의 5 개 출력 중에서 하위 3개의 출력은 MUX1부터 MUX8의 ADD를 제어하고, 상위 2개의 출력은 MUX9 및 MUX10의 ADD를 제어하며 동시에 디코더로 입력된다. 디코더는 2개의 입력을 4개의 출력으로 디코딩 한다. 디코더의 4개 출력은 MUX1부터 MUX8의 EN을 제어한다. 디코더의 최상위 출력은 MUX1 및 MUX5의 EN을 동시에 제어하고, 상위 2번째 출력은 MUX2 및 MUX6의 EN을 동시에 제어하고, 상위 3번째 출력은 MUX3 및 MUX7의 EN을 동시에 제어하고 최하위 출력은 MUX4 및 MUX8의 EN을 동시에 제어한다. Minor frame sync 명령에 따라 위치한 셀 전압은 순차적으로 측정된다. Major frame sync 명령은 셀 전압 측정을 초기화 시킨다.

2.2 셀 전압 측정의 단순화된 모델

그림 1의 인공위성 배터리 셀 전압 감시 시스템에서 하나의 셀 전압이 측정될 때 단순화된 모델은 그림 2와 같다. 차동증폭기가 +/-15 volts의 전압을 공급 받는 것을 가정할 때 증폭기의 최대 허용할 수 있는 입력 전압은 약 +/-13.5 volts 이며, 공통모드 전압은 약 +/-10 volts 이다. 최대 1.6 volts로 32개의 셀들로 이루어진 인공위성 배터리의 전체 전압은 최대 51.2 volts 이다. 100 kΩ 및 20 kΩ의 동일한 저항 분압기(R1 및 R2, R3 및 R4)를 사용하여 +/-0.01 % 허용오차 내에서 1/6 척도계수로 인공위성 배터리의 최대 전압 및 공통모드 전압을 10 volts 이내로 낮춘다.

분압기는 온도의 변화에 의한 분압 비의 표류를 최소화하기 위해 낮은 온도계수를 가지는 정밀 저항으로 설계해야 한다. 각 셀의 전압을 거의 동일하게 척도하기 위해 각 분압기의 저항들은 온도계수가 +/-2 ppm/°C 이내인 얇은 필름 타입을 사용하여 분압 비를 +/-100 ppm 이내로 설계한다. 분압기들이 밀접하게 정합될 때 차동증폭기의 출력은 측정 점들의 차동전압과 직접적으로 비례하게 되어 셀의 차동전압은 정밀하게 결정된다. 분압기 저항들에 의해 낮추어진 셀 양단 전압은 차동증폭기의 허용되는 최대 입력 전압 및 최대 공통모드 전압 범위 내로 입력되도록 한다. 셀 전압 측정에서 멀티플렉서(ADG508A) 스위치들이 닫혔을 때 ON 저항 R_{ON} 값은 280 Ω으로 차동증폭기의 입력 임피던스 값보다 훨씬 작으므로 무시할 수 있다.

차동증폭기는 높은 선형성 및 공통모드제거비를 가지는 AD620S나 AMP02A와 동등한 특성을 갖는 계측증폭기를 사용한다. 계측증폭기의 이득을 15로 설정하여 셀 전압 감시 출력이 5 volts 이내가 되도록 설정하였다. 양단 전압이 역전된 셀의 전압도 감시하기 위해 계측증폭기의 REF 단자로 +0.625 volts 오프셋 전압이 인가된다. 오프셋 전압은 REF43B +2.5 volts 정밀 전압 출력에서 +/-0.01 % 허용오차를 갖는 3 kΩ 및 1 kΩ의 정밀 저항을 사용하여 +0.625 volts로 설계한다.

본 인공위성 배터리 셀 전압 감시 시스템의 출력 전압은 식 (1)과 같다. 여기에서 V_{CELL}은 셀 전압이며 V_G는 차동증폭기로 사용되는 계측증폭기의 이득으로 15로 설정한다.

$$V_{OUT} (V) = (V_{CELL} \times \frac{1}{6}) V_G + 0.625 \quad (1)$$

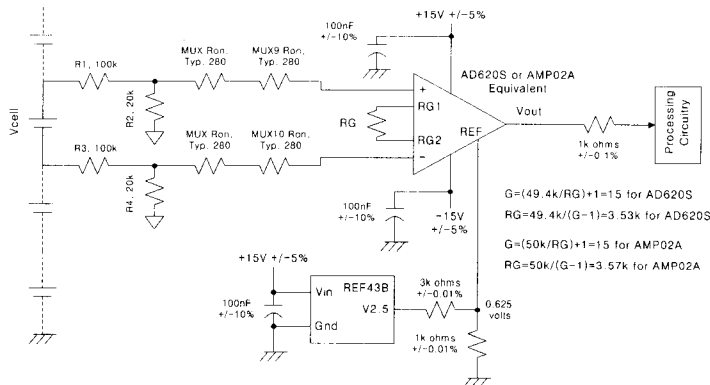


그림 2. 배터리 셀 전압 측정의 단순화된 모델

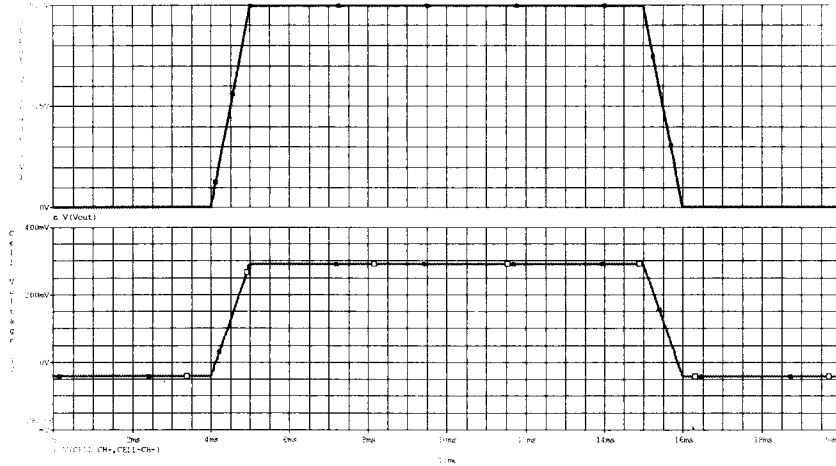


그림 3. 그림 2의 모델에 대한 해석결과

그림 2의 모델에 대한 해석결과는 그림 3과 같다. 배터리 셀 전압이 과방전에 의해 -0.25 volts에서 과충전에 의해 +1.75 volts가 입력되는 것을 가정할 때 출력 전압은 식 (1)과 같이 0.0 volts에서 5.0 volts로 됨을 확인하였다. 본 인공위성 배터리 셀 전압 측정의 정밀도인 %오차는 식 (2)와 같다. 여기에서 V_A 는 기준 전압에 대한 가장 위에 위치한 인공위성 배터리 셀의 음극 전압이다.

$$\%오차 = \frac{(2V_A + V_{CELL})\%정합}{V_{CELL}} \times 100 \quad (2)$$

식 (2)를 이용하여 분석된 인공위성 배터리 셀 전압 측정의 정밀도는 표 1과 같다. 인공위성 배터리 셀 전압 측정에서 %오차는 분압기의 실제 비율에는 무관하며 주로 분압기 사이의 허용오차인 %정합 및 공통모드 전압인 V_A 에 의해 결정된다. 만약 인공위성 배터리 셀의 최대 공통모드 전압이 95 volts, 셀 전압이 1.6 volts 및 분압기의 허용오차가 +/-0.01 % 이면 인공위성 배터리 셀 전압 측정의 정밀도는 1.1975 % 이다. 만약 분압기의 허용오차가 +/-0.1 % 이면 인공위성 배터리 셀 전압 측정의 정밀도는 11.975 % 이다. 이와 같이 밀접히 정합된 분압기의 분압 비는 높은 정밀도의 측정을 위해 결정적인 역할을 한다.

2.3 명령 접속

인공위성 명령로직처리장치와의 명령 접속 시간 다이어그램은 그림 4와 같다. 인공위성 명령로직처리장치로부터 Minor frame sync 명령은 연속적인 클락 펄스로 제공되며 Major frame sync 명령은 매 32 Minor frame sync 명령마다 한번의 펄스가 제공된다. Minor frame sync와 Major frame sync 명령의 펄스폭은 각각 1 ms 이며 시간차는 +/-5 μ s를 허용한다.

인공위성 명령로직처리장치와의 명령 접속 회로는 그림 5와 같으며 해석 결과는 그림 6과 같다. 입력된 Minor frame sync와 Major frame sync 명령은 역논리곱 슈미트트리거 CD4093B를 통해 접속된다. 명령 접속 회로의 리플카운터

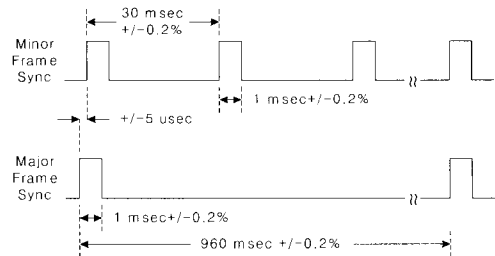


그림 4. 명령 접속 시간 다이어그램

표 1. 인공위성 배터리 셀 전압 측정의 정밀도

공통모드 전압(V_A)	셀전압(V_{CELL})	%정합	%오차
95volts	1.6volts	0.01%	1.1975%
95volts	1.6volts	0.1%	11.975%
50volts	1.6volts	0.01%	0.635%
50volts	1.6volts	0.1%	6.35%

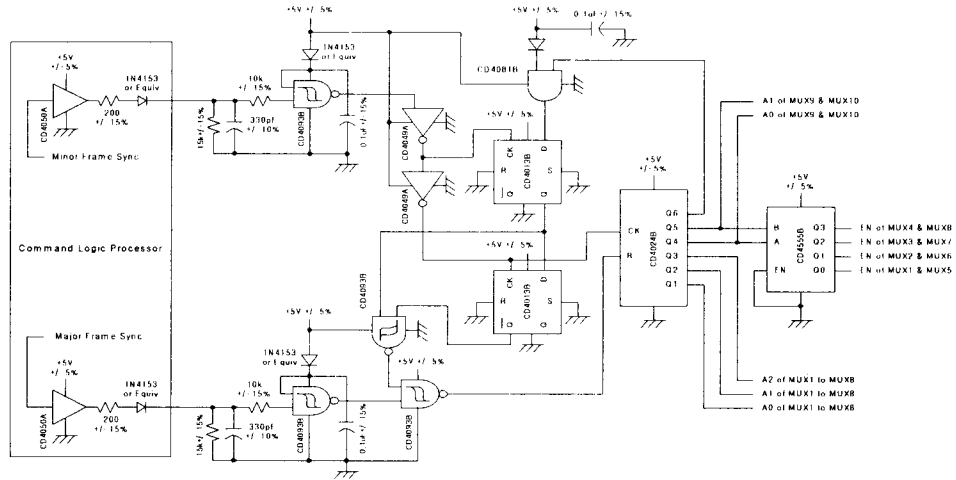


그림 5. 명령 접속 회로

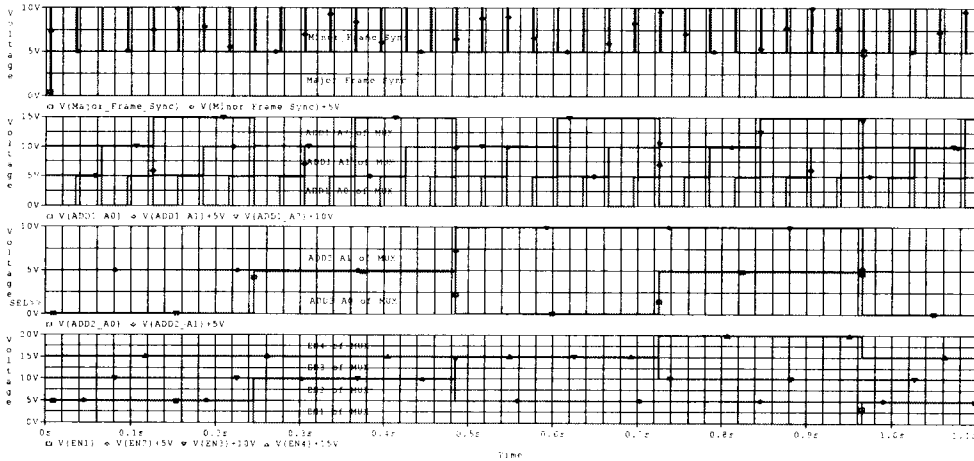


그림 6. 명령 접속 회로 해석 결과

CD4024B는 CK 단자로 입력되는 Minor frame sync 명령의 양 전이 에지에서 카운터가 증가하고 R 단자로 입력되는 Major frame sync의 활성화 구간에서 초기화 된다. Major frame sync 명령은 CD4024B를 초기화시켜 Minor frame sync 신호에 따라 인공위성 배터리 셀 전압을 다시 순차적으로 측정한다. 또한 디코더 CD4555B는 EN 단자가 Low 일 때 활성화 된다. Minor frame sync와 Major frame sync 명령의 시간차를 수용하기 위해 역논리곱 슈미트트리거 CD4093B, 반전 버퍼 CD4049A, D 타입 플립플롭 CD4013B 및 논리곱게이트 CD4081B를 사용하였다. CD4013B은 양 전이 에지에서 트리거 되어 D 단자 입력이 출력으로 전달된다. CD4013B은 CD4024B 보다 항상 먼저 트리거 되게 설계함으로써 Minor frame sync와 Major frame sync 명

령의 시간차를 수용할 수 있다.

멀티플렉서 스위치들이 적절히 폐쇄 될 수 있음을 가정하면 인공위성 배터리 셀 전압 측정은 통상의 회로 디자인 기술을 이용하여 매 30 ms마다 수행할 수 있어 32개의 각 셀들은 약 1 초마다 감시할 수 있다. 또한 인공위성 명령로직처리 장치와의 명령 접속 회로는 Minor frame sync 명령의 다음 클락 펄스가 입력되지 않을 때 배터리의 각 셀에서 머무르게 할 수 있는 능력이 존재하게 설계되어 하나의 셀 전압을 연속적으로 측정할 수 있다.

2.4 성능검증 절차

본 인공위성 배터리 셀 전압 감시 시스템이 실제 제작될 때 성능 검증 절차는 다음과 같다.

1. 자동충족기의 공급 전압이 +/-15.0 +/-0.05

volts 범위를 유지하는지 확인한다.

2. 그림 2의 차동증폭기 REF 단자를 접지에 연결하고, + 및 - 단자를 서로 연결하여 출력 전압(차동증폭기 자체의 오프셋 전압)을 측정 하였을 때 0.000 +/-0.0005 volts 범위를 유지하는지 확인한다.

3. 그림 2의 차동증폭기 + 및 - 단자를 서로 연결하고, REF 단자를 접지에서 제거하여 출력 전압을 측정 하였을 때 +0.625 +/-0.0005 volts 범위를 유지하는지 확인한다.

4. 배터리 셀 양단 전압에 접지가 격리된 정밀 차동 전압을 +/-0.0005 volts 오차 범위 이내로 인가하고 출력 전압을 측정 하였을 때, 측정된 전압이 식 (1)과 같이 계산된 전압과 차이가 +/-0.03 volts 범위를 유지하는지 확인한다.

III. 결 론

본 논문에서 제시한 인공위성 배터리 셀 전압 감시 시스템은 재충전 가능한 인공위성 배터리 타입에 대해 특별히 규정된 제한은 없으며 니켈-카드뮴이나 니켈-수소와 같은 대표적인 인공위성 배터리 타입에 응용될 수 있다. 또한 각 분압기의 비율을 선택함에 의해 현존하는 대부분의 인공위성 배터리에서 어떤 공통모드 전압에서도 인공위성 배터리 셀의 차동전압을 측정하는 데 사용할 수 있다.

본 논문의 인공위성 배터리 셀 전압 감시 시스템은 인공위성 배터리 전압이 최대 약 +100 volts 까지 적용할 수 있으며, 바람직한 소자들을 사용할 때 셀 전압 측정 정밀도를 2 % 이내로 달성할 수 있다. 또한 차동증폭기에서 +0.625 volts 오프셋을 가지도록 설계하여 과방전에 의해 셀의 양단 전압이 -0.25 volts까지 역전된 인

공위성 배터리 셀의 역전 전압도 감시 할 수 있도록 설계되었다.

후 기

본 연구는 과학기술부에서 지원하는 “통신해양기상위성1호 시스템 및 본체 개발사업” 과제로 수행한 연구 결과의 일부입니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Ford, F. E., Rao, G. M., and Yi, T. Y., "Handbook for Handling and Storage of Nickel-Cadmium Batteries: Lessons Learned", NASA Reference Publication 1326, Feb., 1994.
- 2) Dunlop, J. D., Rao, G. M., and Yi, T. Y., "NASA Handbook for Nickel-Hydrogen Batteries", NASA Reference Publication 1314, 1993.
- 3) "Ni-Cd Conventional Spacecraft Battery Handling and Storage", NASA Preferred Reliability Practices PD-EC-1103, Oct., 1995.
- 4) "Super Ni-Cd Spacecraft Battery Handling and Storage Practice", NASA Preferred Reliability Practices PD-ED-1108.
- 5) "Ni-H₂ Spacecraft Battery Handling and Storage Practice", NASA Preferred Reliability Practices PD-ED-1109.
- 6) 구자춘, 성단근, 박동조, "우리별 3호 NiCd 배터리 셀 선별 및 궤도에서 과충전에 의한 성능 저하", 한국항공우주학회지, 제29권, 제5호, 2001, pp.117-124.