

위성 탑재용 래칭 전류 리미터

김 두 일*
한양대학교

김 희 준
한양대학교

한 상 철
한국항공우주산업

Latching Current Limiter for Satellite

Duik Kim*
Hanyang Univ.

Heejun Kim
Hanyang Univ.

Sangchul Han
KAI

Abstract - Satellite is operated only with internal battery when separated from rocket. Internal battery is charged only from SAR(solar Array Regulator), solar cell. So battery will be exhausted and purpose of satellite will be failed if load module is out of order or short. This paper proposed real time current limiter which operated by telemetry of outer processor. This current limiter operates by control signal simultaneously cuts off over current by self over current sensing circuit. So it can reduce waste of battery energy and over load of outer processor.

1. 서 론

인공위성에는 그 목적에 관계없이 많은 부품들이 들어가며 상업용급, 산업용급과는 달리 높은 안정성을 요구한다. 위성체 내부의 전자장치들은 인공위성이 발사체에서 이탈되면 본체 내부에 탑재된 배터리의 전력에 의해 서만 모든 기능이 수행되어야 하며, 이 배터리는 SAR(Solar Array Regulator)에서 공급되는 에너지에 의해서만 충전된다.[1] 따라서 전력의 효율적 운용이 인공위성의 수명을 결정한다.[2] 하지만 배터리가 효율적으로 운용된다 하더라도 장비의 고장 또는 오동작에 의해 예상치를 초과하는 전력 소모가 발생하게 되면 그 수명을 보장할 수 없게 된다. 전자장치의 고장 및 오동작은 장치의 입력전류의 크기로써 판별이 가능하다. 즉, 각 모듈에서 요구하는 전류량이 설계사양보다도 커지게 되는 것을 검출하고 이를 고장 또는 오동작으로 판단할 수 있다. 이 경우 즉각 회로를 차단함으로써 장치를 보호함과 동시에 불필요한 전력소모도 방지하여야 한다.[3]

본 논문에서 제안하는 래칭 전류 리미터(Latching Current Limiter, 이하 LCL)는 외부 MCU (Micro Controller Unit)의 명령 신호에 의해 스위치를 개폐시켜 각 모듈로 흐르는 전류의 공급을 제한하며, 각 부하 모듈에 과전류가 발생 시 일정 조건을 만족하게 되면 MCU 신호와는 별도로 독립적으로 스위치를 차단시킨다. 또한 전류의 크기와 스위치의 개폐 상태를 실시간으로 감시하여 그 값을 MCU로 보고하는 기능을 제공하므로 한층 지능적인 전류 제한 기능을 구현할 수 있다.

2. LCL의 기능

2.1 LCL의 개념

그림 2은 LCL의 블록도이다. SAR에 의해 얻어진 50V전원은 본체 내부의 배터리에 저장되고, 다시 DC-DC 컨버터를 통해 28V전압으로 감압되어 LCL의 12개 스위치를 통해 각각 부하 모듈로 공급된다. 외부 MCU에서 들어오는 명령신호와 LCL 내부에서 발생하는 각종 신호는 PLD를 이용하여 처리된다. 외부 MCU의 신호에 의해 12개 스위치를 구동시키는 명령을 발생되

고, 모듈로 흐르는 전류를 감시하여 과전류 발생 시 과전류 검출 회로가 동작되어 능동적으로 스위치를 차단시킴과 동시에 검출신호가 PLD로 전송된다. 또한 사용자는 스위치의 구동신호와 실제 스위치의 동작 상태를 LED display를 통해 실시간으로 감시할 수 있다.

2.2 전류 제한 조건

12개의 부하 모듈로 흐르는 전류의 최대치는 3가지이며 각각 8A, 5A, 2.5A이다. 또한 부하의 순간적으로 흐르는 초기 구동전류와 연속적인 과전류를 구분하기 위해 일정시간 이상 지속되는 제한 시간을 두었다. 그림 1에서 보듯이 8A이상의 부하 모듈에 과전류가 발생시 10ms이상 지속되는 것을 방지하며, 5A이하의 부하 모듈에 과전류가 발생시 20ms이상 지속되는 것을 방지하는 식으로 전류를 제한한다. 이로 인해 외부 MCU의 부담률을 줄일 수 있으며 신속한 대응으로 부하와 내부 배터리를 보호할 수 있다.

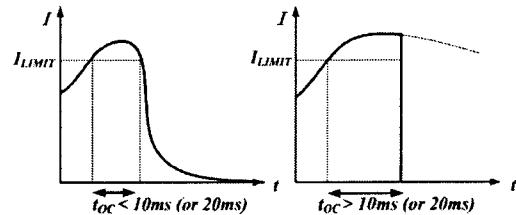


그림 1 전류 제한 조건

2.3 Telemetry

12개의 부하 모듈을 연결하는 스위치는 외부 MCU의 지령 신호에 의해 동작되는데, 외부 MCU는 두 가지의 신호로 구성된다.

첫 번째는 16bit 신호로 이루어지는 명령 텔레메트리(Command Telemetry)이다. 이 신호는 명령비트(Bit15:8), 어드레스비트(Bit7:1), 동작비트(Bit0)로 구성된다. 명령비트는 ①스위치로의 명령 ②현재 모듈로 흐르는 전류를 아날로그 값으로 출력 ③현재 스위치의 상태를 디지털 값으로 출력 등의 3가지 모드의 신호를 전달하며, 어드레스비트는 1번 채널부터 12번 채널까지의 스위치 어드레스를 나타내며, 동작비트는 1이면 스위치 개통, 0이면 스위치 차단을 나타낸다. 이들에 대해서는 표 1에 나타내었다.

두 번째는 5bit로 구성된 /SPC (Special Command)이며, 명령 텔레메트리에 우선하여 처리된다. /SPC 신호는 다음 설명과 같다. /SPC1은 채널1을 강제 개통시키며 명령 텔레메트리를 차단시킨다. /SPC2은 채널1을 강제 차단시키며 명령 텔레메트리를 차단시킨다. /SPC3은 명령 텔레메트리를 허가시킨다. /UV는 배터리 전압이 낮

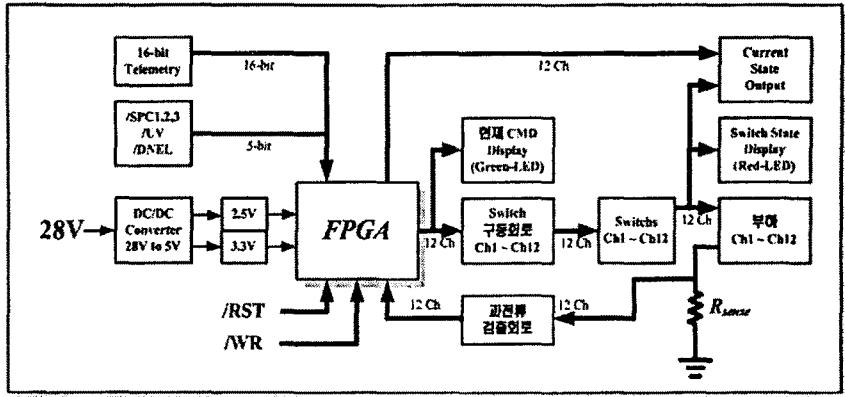


그림 1 LCL의 블록도

을 때 MCU에서 발생되는 신호로서 해당 채널을 차단시킨다. /DNEI은 비상시 불필요한 모듈을 차단하기 위한 신호이다. /SPC는 동시에 1개 Bit 이상 입력되지 않는다.

2.4 전류 제한 회로

전류 제한회로는 부하로 흐르는 전류를 검출 저항을 이용하여 검출하는 방식이다. 그림 3의 회로와 같은 형식으로, 20mΩ/2W 저항을 사용하여 전류에 의한 저항 양단전압을 OP-Amp를 이용하여 증폭시키고, 이 값을 비교기의 $V_{ref,254}$, $V_{ref,54}$, $V_{ref,44}$ 중 하나와 비교하여 그 출력 신호를 PLD의 파전류 발생 신호로 입력 시킨다. 그 다음 PLD 내부에 구성해놓은 타이머를 이용하여 10ms 또는 20ms의 지연시간 이후에 자동으로 스위치 차단신호가 발생되어 구동신호로 입력된다.

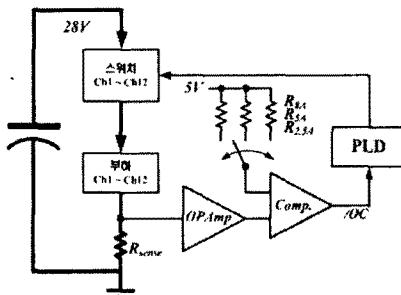


그림 3 전류 제한 회로

2.5 스위치 상태의 디지털 출력

LCL은 스위치의 상태를 디지털로 출력시키는 기능을 갖는다. 명령 텔레메트리로 해당 명령신호와 어드레스가 전송되면 PLD에 의해 스위치 상태 검출 회로가 작동되고, 스위치에 걸리는 전압상태에 의한 신호가 PLD로 전송된다. 이후 PLD는 명령 텔레메트리로의 입력으로 사용된 16bit 버스를 통해 신호를 출력시켜 신호가 외부 MCU로 전송되는 식으로 간단하게 구현된다. 실제 제작 시는 LED를 통해 시각적으로 판독 가능하게끔 설계하였다.

스위치의 구동 신호와는 달리 스위치 상태 또는 부하 조건에 따라 스위치의 개폐상태가 달라질 수 있다. 그러므로 외부 MCU는 이 상태를 판단하고 있어야 스위치의 오동작으로 인한 전류 소모를 줄일 수 있다.

2.6 전류값의 아날로그 출력

LCL은 현재 전류값을 아날로그 값으로 출력시키는 기

능을 갖는다. 과전류 검출회로에 쓰이는 OP-Amp의 출력신호를 이용한다. 일정한 증폭률을 가진 OP-Amp의 출력전압을 이용하여 현재 전류의 크기를 알 수 있다. 이 값이 항상 아날로그 스위치의 입력으로 보내지게 되므로 PLD의 신호에 의해 해당 스위치의 어드레스를 아날로그 스위치로 보내면 아날로그 스위치는 해당 채널의 OP-Amp로부터 받은 전압을 출력으로 연결시킴으로 외부에서 해당 채널로 흐르는 전류량을 감시할 수 있다.

3. 제작 결과

3.1 PLD를 이용한 로직 구현

그림 4는 각 기능을 수행하기 위한 로직의 블록도이다. ACTEL사의 APA150을 이용하여 로직을 구현하였다. 입력으로는 명령 텔레메트리 (D[15:0]), /SPC (DD4:0), /RST, /WR, 1MHz Oscillator(CLK), 과전류 발생신호(/OC[11:0]), 스위치 개폐 확인 신호(VST[11:0])들이다. [A]블록은 이 입력 신호들의 조합에 의해 스위치 구동신호를 발생시킨다. [B]블록은 과전류 검출 신호에 의해 20ms, 10ms의 지연 신호를 발생시켜 [A] 블록으로 보낸다. [C]는 외부 출력을 담당하는데, 명령 텔레메트리의 신호에 따라 전류의 아날로그 출력력을 위한 아날로그 스위치로 보내는 어드레스 신호(AS[4:0])를 발생시키며, 스위치 상태 출력을 위해 16Bit 버스로 스위치 상태의 디지털 값(D[15:0])을 출력시킨다.

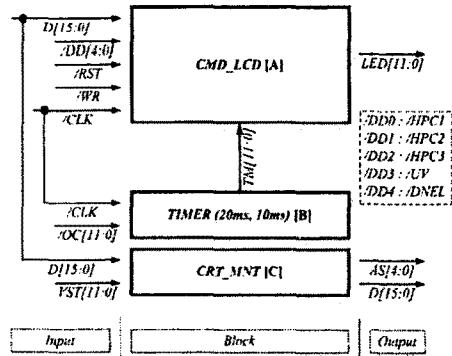
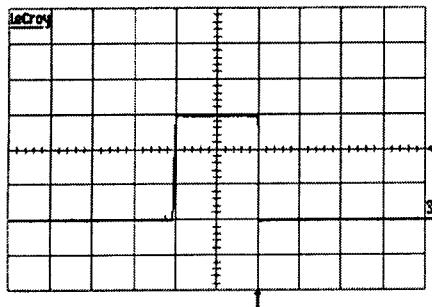


그림 4 로직 구현을 위한 블록도

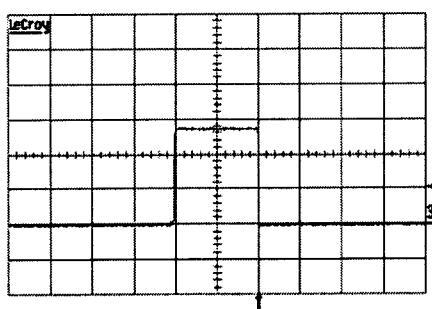
3.2 스위치 구동 신호 표시

그림 6은 명령 텔레메트리에 대한 스위치 구동 신호의 display이다. 실제 입력과 그 입력에 대한 실제 구동신호의 상태를 시각적으로 나타내어 PLD의 동작 여부를 확인할 수 있다.

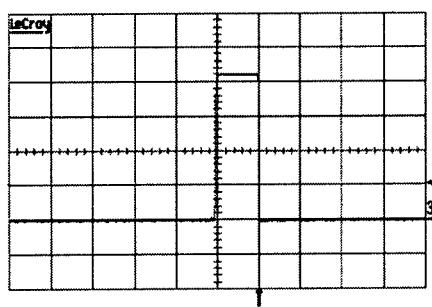
3.3 스위치 현재 상태 표시



(a) 3A 부하 시 전류제한



(b) 5.5A 부하 시 전류제한



(c) 8.53A 부하 시 전류제한

그림 5 3가지 부하에 대한 전류제한 동작

그림 7은 현재 스위치 상태의 display이다. 해당 명령에 의해 스위치 개폐 상태를 판단할 수 있으며, 스위치 상태의 디지털 출력 신호를 검증하기 위한 시작적 표시부이다.

3.4 외형

그림 8은 LCL 모듈의 전체 모형이다. 사이즈는 $L \times W \times H = 260 \times 145 \times 15(\text{mm})$ 이다. 명령 템파메트리와 /SPC는 외부 MCU가 아닌 DIP-SW를 이용하여 발생시켰다. 각각 16pin, 5pin의 DIP-SW를 이용하여 명령bit들을 맞춘 뒤 버튼을 이용하여 /WR 신호를 발생시키면 입력이 수행되도록 구성하였다. 각 부분에 들어가는 소자들은 우주급 규격과 동일한 성능을 내는 산업용급 소자를 기준으로 설계/제작하였다.

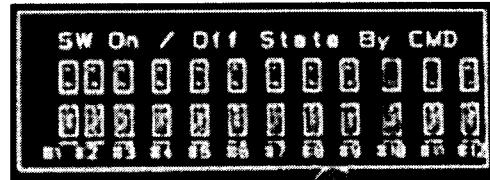


그림 6 스위치 구동신호의 표시용 LED

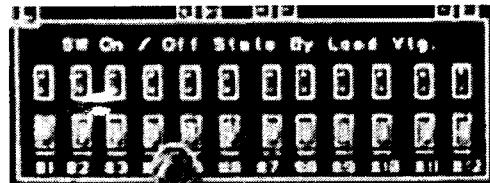


그림 7 현재 스위치 상태 표시용 LED

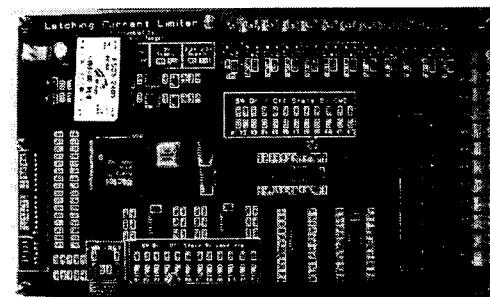


그림 8 제작된 LCL 모듈

4. 결 론

본 논문에서 제안한 LCL은 간단한 구조를 이용하여 능동적인 전류 제한기능을 갖는다. 간단한 구조로 이루어졌기 때문에 작게 설계가 가능하며, 12개 이상의 부하를 연결할 수 있는 확장성을 지니고 있다. 실험과정에서 검증하였던 전류제한 기능으로 인공위성 내에서 발생 가능한 과부하를 막아 내부 배터리의 효율적 운용 가능성을 높일 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Victor M. Van der Zel, "Three Generations of DC Power Systems for Experimental Small Satellites", APEC'96. Conference Proceedings 1996, Eleventh Annual, Volume: 2, 3-7 March 1996, Pages:664 - 670 vol.2
- [2] Hassan M. Yousef, "Power system management and distribution for future spacecraft", Aerospace Applications Conference, 1991. Digest, 1991 IEEE, 3-8 Feb. 1991, Pages:4/1 - 410
- [3] Anderson, P.M, "A lightweight, high reliability, single battery power system for interplanetary spacecraft", Aerospace Conference Proceedings, 2002. IEEE, Volume: 5, 9-16 March 2002, Pages:5-2433 - 5-2444 vol.5