

논문 2016-53-11-14

FET 문턱전압 특징을 이용한 전원입력단용 단일전원 이상전원 검출회로

(Abnormal Voltage Detection Circuit with Single Supply Using
Threshold of MOS-FET for Power Supply Input Stage)

원 주 호*, 고 형 호**

(Joo Ho Won[©] and Hyoungho Ko)

요 약

전원입력단에 사용되는 회로는 입력전원만을 사용할 수가 있다. 일반적인 전자회로는 입력전원을 이용하는 전압변환기에 의해 생성되는 2차전원을 이용하게 된다. 하지만 전원입력단의 저전압 및 과전압에 의한 고장에 대비하기 위한 보호회로는 2차전원을 사용할 수가 없기 때문에, 입력전원만을 이용해서 구현이 되어야 한다. MOS FET의 문턱전압 특징을 이용한 저전압/과전압 검출회로는 50V 입력전압만을 이용해서, 정상적인 전압범위를 벗어나는 저전압/과전압 현상을 정상적으로 검출할 수가 있고, 기존의 Zener diode만으로 보호만 가능했던 것을 검출이 가능하게 되었고, 이상전압검출회로의 동작의 정확도를 결정하는 기준전압은 환경조건 등에 의해서 발생할 수 있는 모든 변수를 고려하면 최악조건 해석상으로 8.4%에서 2.5%로 향상되었다.

Abstract

All circuits in power input can only use the power provided by an external power supply. General electronic circuits use a secondary supply generated by a converter using a primary power in the power input. But protection and detection circuit for over-voltage circuit or under-voltage in power input have to use that input power because there is no other supply in power input. Therefore, previous electronics for satellite can protect only over-voltage using a zener diode, and can't detect over-voltage and under-voltage events, and provide a detection capability for over-voltage and under-voltage only for secondary supply. The proposed circuit can detect over-voltage and under-voltage using a single supply for the primary power input, +28V, with the threshold characteristics for MOS-FET, and the accuracy for a detection circuit is increased by 2.5%.

Keywords : 저전압/과전압, 검출회로, 문턱전압, 전원입력단, MOS-FET

I. 서 론

전기전자장치내부에 사용되는 회로는 일부의 전력전자 회로를 제외하고, 일반적으로 외부에서 공급되는 전원을 이용하는 전원입력단에 위치한 전압변환기에 생성된 2차전원을 이용해서 동작하게 된다. 특히, 우주환경

에서 사용되는 인공위성 또는 인명과 연관된 자동차, 항공기 같은 높은 신뢰성을 제공해야하는 전기전자장치에 사용되는 전압변환기에 대해서는 오동작을 발생시킬 수 있는 저전압 또는 과전압 조건에 대한 보호회로 및 검출회로를 제공해야한다. 하지만, 전원입력단에서는 외부에서 직접 제공되는 입력전원을 제외하면 별도의 전원을 사용할 수가 없다. 인공위성의 경우에는 외부에서 28V, 50V, 또는 100V의 1차전원을 태양전지판 또는 배터리를 통해서 직접 제공받게 된다^[1]. 검출하고자 하는 1차전원에 대해서, 오직 하나의 전원만을 이용해서 이상전압조건을 검출할 수 있는 회로를 제공해야하고, 검출회로에서 이상현상이 발견되는 경우에는 오작동 및

* 정회원, 한국항공우주연구원 위성전자팀 (Satellite Electronics Team, Korea Aerospace Research Institute)

** 정회원, 충남대학교 전자공학과 (Department of Electronics, Chungnam National University)

© Corresponding Author (E-mail: jooho@kari.re.kr)

Received ; August 10, 2016 Revised ; October 12, 2016

Accepted ; October 19, 2016

고장을 방지하기 위해서 전원을 차단시켜야 한다. 하지만 일반적인 검출회로는 외부에서 제공되는 입력전원만으로는 정상적으로 검출이 불가능하기 때문에, 기존의 전자장치의 경우 전원입력단에 대해서는 저전압조건은 검출 및 보호회로를 제공하지 않고, 과전압조건에 대해서 제너다이오드를 이용해서 보호기능만 제공하고 있다. 따라서 과전압에서 보호는 가능하지만, 현상 분석을 위한 검출은 불가능하다. 또한 저전압조건에 대한 검출 및 보호가 불가능하기 때문에 별도의 동작요구조건을 통해서 입력전압이 안정화된 이후에, 동작을 시켜야 하는 제약이 존재한다. 상용전자장치의 경우에는 수리가 가능하고, 신뢰성 요구조건을 완화할 수 있기 때문에, 동작요구조건을 통한 회피가 가능하지만, 항공기 또는 자동차용 전자장치와 같이 탑승자의 안전을 보장해야만 하거나, 개발비용이 크고 고장수리가 불가능한 우주용 전자장치의 경우에는, 고도의 신뢰성을 요구하기 때문에 동작제약을 통한 회피가 불가능하고, 전기전자장치 자체가 아닌 시스템적인 해결책 또는 외부 3중 보호회로를 간접적으로 제공하고 있다.

본 논문에서는 기존의 2차전원에만 사용되는 이상전압 검출장치의 단점을 MOS-FET의 문턱전압을 이용해서 제거하고, 문턱전압 특성을 이용해서 해당 검출회로를 1차전원에 적용해서, 전원입력단의 1차전원에 이상전압 검출 및 보호회로로 사용하였고, 제안된 회로의 정확도 향상을 최악조건해석을 통해서 해석하였다.

II. 본 론

1. 우주용 전기전자장치 설계 원칙

인공위성, 우주발사체등과 같은 우주용 전기전자장치는 우주환경에서 경험할 수 있는 방사성 및 온도조건을 고려한 임무환경에 따른 엄격한 요구조건을 만족할 수 있는 제한된 부품만 적용될 수 있다. 또한 상용부품을 우주용 전기전자장치에 적용하기 위해서는 별도의 추가적인 스크린작업을 통과해야만 한다^[2]. 고신뢰성 부품을 적용하더라도 열악한 우주환경에서 온도, 방사성 및 노화 등에 따른 부품특성 변화에도 요구하는 성능을 유지할 수 있도록, 부품응력 해석 및 최악조건해석을 통해서 임무수행기간동안 정상적인 동작을 보장하도록 해석, 설계한다^[3]. 엄격한 부품 선택 및 다양한 해석을 통한 고신뢰성 설계와 함께, 삼중잉여구조를 사용하는 FPGA 등 부품레벨의 잉여구조 및 전장박스 등 시스템레벨에서 잉여구조를 적용해서 신뢰성을 향상시킨다.

가. 우주용 저전압/과전압 검출회로

(1) 위성용 탑재컴퓨터의 전원 및 기능

표 1은 위성용 탑재컴퓨터의 입력전원과 내부에서 사용되는 2차전원의 종류 및 해당 전원의 기능에 대해서 보여주고 있다.

표 1. 위성탑재컴퓨터 1차/2차 전원종류 및 기능
Table1. List and each function of 1st and 2nd supply for satellite on-board computer.

전 압	기 능
100V/50V/28V	1차 입력전원
5V	로직처리용
+15V/-15V	아날로그 처리용
17V	외부 구동 명령용

5V는 로직처리용으로 위성의 정보를 처리하는 프로세서 및 메모리에 사용되는 전원으로 해당 전원에 저전압 현상이 발생하면, 프로세서 및 메모리에 저장된 모든 디지털 정보의 신뢰성을 보장할 수가 없다. 따라서 5V에서 저전압이 발생하는 경우 탑재컴퓨터의 동작을 중단하고 모든 정보를 초기화하는 과정을 수행해야 한다. 또한 저전압 조건이 순간적으로 발생하는 경우에도 전기전자장치 내부의 모든 로직소자에 저장된 정보에 대한 신뢰성을 보장할 수 없기 때문에, 위성의 동작이 중단되고 탑재컴퓨터가 초기화가 수행되는 동안 위성이 안전하게 궤도유지를 할 수 있도록 보호모드로 진입해서, 위성은 지상의 접속을 통해서만 정상 운용모드로 복귀할 수 있다. 따라서 지상의 접속을 통해서 정상운용이 될 때까지 임무수행이 중단되는 문제를 발생한다. 하지만, 아날로그 부품 처리를 위한 +15V/-15V 전원에 저전압현상이 발생하는 경우에는 아날로그 출력 정보만을 신뢰할 수 없기 때문에, 전압이 정상으로 돌아온 이후에 해당 정보를 다시 사용해서 정상적인 동작 수행이 가능하다.

(2) 기존 저전압/과전압 검출장치

우주용 전기전자장치에 사용되는 이상전압 검출회로는 저항분배기와 비교기를 이용한 그림 1과 간단한 회로로 구현된다. VAA는 이상전압현상을 검출하기 위한 대상전원이고, VBB는 이상전압검출을 위해 사용되는 비교기의 기준전압을 생성하기 위한 전압분배기에 사용되는 전원이다.

기존의 회로는 기준전압을 생성하기 위해서 별도의

VBB와 같은 전원을 필요로 한다. 식 (1)은 기존 이상전압 검출기의 동작기준전압을 보여주고 있다. VAA와 VBB를 같은 전원을 사용하게 되면 비교기의 양단의 입력이 동시에 증가 또는 감소하기 때문에 정상적으로 이상전압 검출이 불가능하기 때문에, 기존의 검출회로는 단일전원만 제공되는 전원입력단에는 적용할 수가 없고, 2차전원이 생성하기 되는 전압변환기의 출력에서부터 적용이 가능하다. 또한 이상전압조건을 검출하기 위한 대상전압인 VAA가 정상인 상황에서도, 기준전압을 생성하기 위한 VBB에 이상이 발생하는 경우에도 이상현상으로 오동작할 수 있는 문제가 있다.

$$V = V_{BB} \cdot \frac{R_d}{R_c + R_d} \cdot \frac{R_a + R_b}{R_b} \quad (1)$$

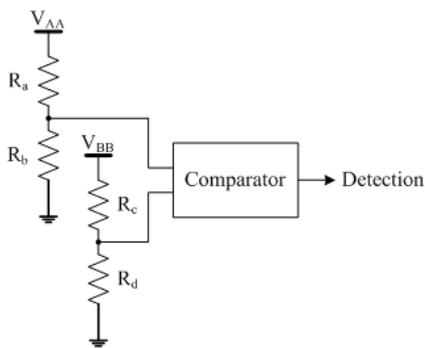


그림 1. 기존의 우주용 저전압/과전압 검출회로
Fig. 1. Simple Under/Over Voltage Decton circuit for aerospace application.

인공위성용 탑재컴퓨터에서는 안정적인 위성의 자세 제어를 위해 로직정보 보호를 위한 로직전원인 +5V에 대해서는 저전압검출기를 필수적으로 요구하고 있다^[1]. 일반적으로 로직용 저전압 검출회로에서는 대상전원 VAA로 5V를 사용하고, 기준전압 생성용 VBB로 15V로 사용하고, 아날로그 전원인 15V용 저전압검출회로에서는 VAA를 15V, VBB는 5V로 사용한다. 15V용 저전압검출회로의 경우에는 대상전원에 이상이 발견되거나, 대상전압에 관계없이 VBB의 이상에 의해서 이상전압 현상이 검출이 되더라도, 그 순간동안에만 동작을 멈추고 VBB가 정상으로 복귀하면 즉시 원래의 동작을 재개하면 된다. 하지만, 5V 저전압검출회로에서 VAA에 관계없이 VBB인 +15V 전압에 이상이 발생해서 이상전압조건이 발생하면, 모든 위성의 동작이 중단되고, 메모리 및 프로세서 내부의 모든 정보를 삭제하고, 초기화하기 위해 운영이 완전하게 중단된다. 따라서 아날로그

전원과는 달리 로직전원인 5V의 경우에는 15V에 의한 순간적인 이상조건이 검출되어도 위성의 임무가 중단되는 문제가 발생할 수 있다. 또한 전압변환기 출력이 아닌, 입력전원만 사용이 가능한 전원변환기 입력인 1차 전원측에서는 해당 회로가 사용될 수가 없기 때문에 단일 전원으로도 적용이 가능한 회로가 필요하다.

(3) 단일전원 저전압/과전압 검출장치

MOS-FET는 게이트에 인가되는 전압에 따라 소스와 드레인 사이의 연결여부가 결정하는 스위치와 같은 기능을 수행한다^[4]. 기존의 상용 이상전원검출기는 주문형반도체 내부에 사용되는 듀얼전원을 사용하는 검출회로와 트랜지스터를 이용하는 회로 등이 존재하고, 단일전원을 사용한 검출회로는 MOS-FET을 diode-connected 소자로 저항으로 이용하며, 저저압회로에서만 사용이 가능하다^[5~7]. 그림 2는 본 논문에서 제안하는 MOS-FET 문턱전압특성에 따른 스위치동작을 이용한 단일전원 이상전원 검출회로이다.

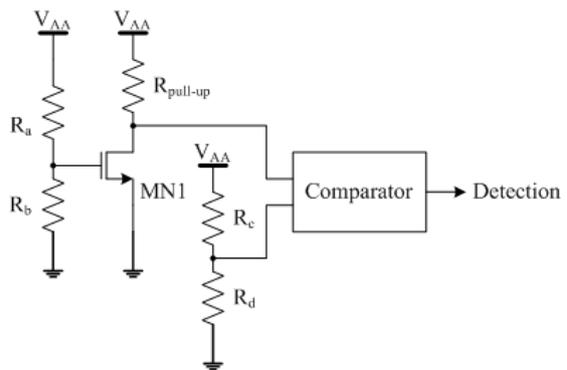


그림 2. MOS-FET을 이용한 단일전원 저전압/과전압 검출회로
Fig. 2 Proposed Under/Over Voltage Decton circuit with single power supply using threshold of MOS-FET.

그림 1과 같은 기존의 우주용 이상전압검출회로는 기준전압용 전압분배기의 출력전압과 대상전압을 직접 비교하기 때문에, 비교기 입력 전압 정확도가 동작의 성능에 직접 영향을 준다. 하지만, 그림 2와 같은 제안된 회로는 표 2와 같이 MOS-FET 문턱전압에 따라 MOS-FET의 ON와 OFF가 결정되어서, 0V와 VAA의 전압만이 비교기의 입력전원이 되기 때문에, 비교기 다른 입력인 기준전압용 전압분배기는 0V 또는 VAA 사이의 임의의 전원을 선택할 수 있고, 전압의 정확성은 동작의 정확성에 크게 영향을 주지 않는다. 따라서 Rc, Rd를 같은 저항을 사용해서 이상전압 검출회로의 기준

을 $\frac{1}{2} \times V_{AA}$ 선택하는 것이 margin을 최대한 확보하는 방법이고, 해당 비교기 입력이 0V 또는 VAA가 아니면 이상전압검출회로의 정확도에는 영향을 주지 않기 때문에, 기준전압을 생성하기 위한 전압분배기에 사용된 저항값의 변화는 동작의 정확도에 영향을 주지 않는다.

표 2는 제안된 이상전압검출기 회로의 동작을 보여주고 있다. 전압분배기에 의한 MOS-FET의 Gate 전압이 문턱전압보다 낮으면 OFF가 되어서, 비교기 입력에는 pull-up저항에 의해 VAA가 가해져서, 다른 입력인 $\frac{1}{2} \times V_{AA}$ 보다 높기 때문에 이상전압상태가 되지만, 문턱전압보다 커지는 경우에는 MOS-FET이 ON되어서 비교기 입력은 GND가 되어서 $\frac{1}{2} \times V_{AA}$ 보다 낮기 때문에 정상상태로 인식해서 비교기 출력이 GND로 된다. 따라서 제안된 문턱전압특성을 이용한 이상전압검출회로는 기준전압생성을 위한 전압에 대해서는 영향을 받지 않는 동작이 가능하다. 식 (2)는 단일전원을 이용한 이상전압검출회로의 동작전원에 대한 식을 보여주고 있다.

$$V = V_{th} \cdot \frac{R_a + R_b}{R_b} \quad (2)$$

표 2. 전압범위에 따른 이상전압 검출기 동작
Table2. Operation of proposed abnormal voltage detection circuit according to the voltage input.

전 압	MOS	VINP	VINN	출 력
$V_{AA} \frac{R_b}{R_a + R_b} \geq V_t$	ON	GND	$\frac{1}{2} \times V_{AA}$	GND
$V_{AA} \frac{R_b}{R_a + R_b} < V_t$	OFF	V _{AA}	$\frac{1}{2} \times V_{AA}$	V _{AA}

III. 시뮬레이션 및 해석

1. 저전압/고전압 검출회로 Simulation

가. 기존 검출회로

그림 3 (a)는 기존방식의 저전압검출회로에서 VAA와 VBB를 다른 전압을 사용했을 경우와 1차 전원 및 신뢰성 향상을 위해서 VAA와 VBB를 대상전원인 5V를 동일하게 사용했을 때 SPICE 해석을 보여주고 있다. 이상전압을 검출하기 위한 기준전압이 별도의 전원으로 항상 유지되는 경우에는 정상적인 검출이 가능하다. 하지만 단일전원을 사용하는 경우에는 그림 3 (b)와 같이

비교기 양단의 전원이 동시에 변하기 때문에 정상적인 이상전압현상을 검출하는 것이 불가능하다.

나. 제안된 단일전원 검출회로

그림 4에서는 MOS-FET를 적용해서 대상전원인 VAA로 5V전원만을 사용한 이상전압 검출기 회로도 및 SPICE 해석 결과를 보여주고 있다. 4 (a)의 대상회로는 2차전원이 이용가능한 전원출력부 2차전원부에서 적용된 구조로 +15V는 안정적으로 비교기를 동작하기 위한 전원으로만 사용되고 있다.

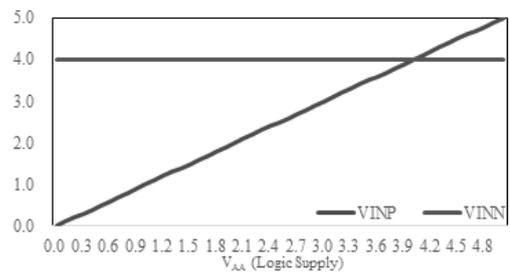


그림 3(a). 기존 복수 전원을 사용하는 이상전압 검출회로 PSPICE 해석 결과

Fig. 3(a). Simulation result for previous abnormal voltage detection circuit with multiple supplies using PSPICE.

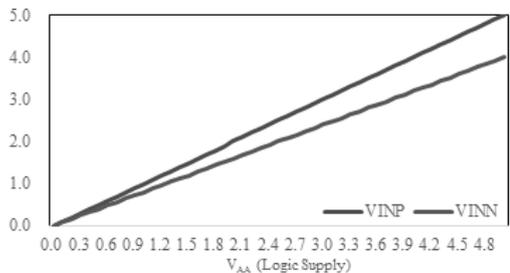


그림 3(b). 단일전원을 적용한 기존 이상전압 검출회로 PSPICE 해석 결과

Fig. 3(b). Simulation result for previous abnormal voltage detection circuit with single supply using PSPICE.

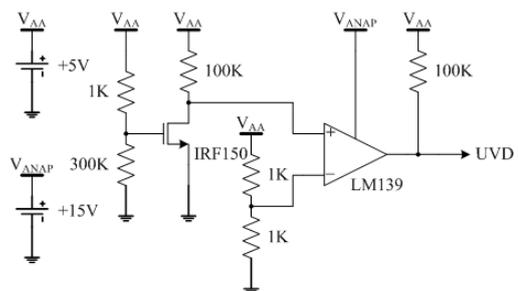


그림 4(a). 단일전원을 이용한 제안된 이상전압 검출회로 PSPICE 해석 결과

Fig. 4(a). Simulation result for proposed abnormal voltage detection circuit using PSPICE.

그림 3(b)와는 다르게 그림 4(b)에서는 이상전압검출 회로의 기준전압인 4.0V에서 비교기 입력이 MOS-FET의 특성에 따라서 VAA에서 0V로 상태가 달라져서 비교기의 출력이 반전되어 정상적으로 비교기가 이상전원을 검출하는 것을 확인할 수가 있다.

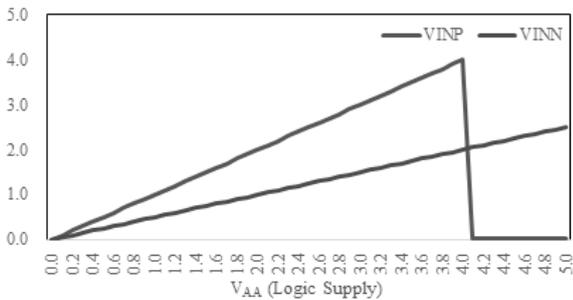


그림 4(b). 단일전원을 이용한 제안된 이상전압 검출회로 PSPICE 해석 결과.
Fig. 4(b). Simulation result for proposed abnormal voltage detection circuit using PSPICE.

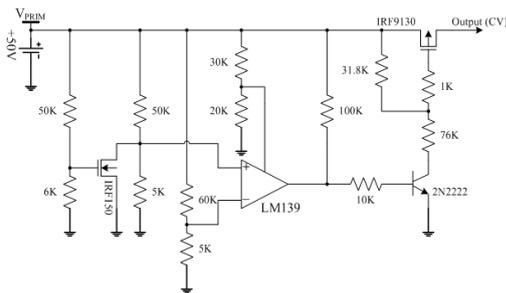


그림 5. 입력전원 50V를 이용하는 전기전자장치 저전압 검출회로
Fig. 5. Schematic for Undervoltage detection circuit in electronics using 50V input.

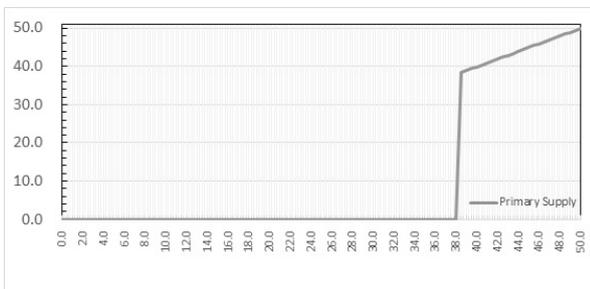


그림 6. 입력전원단에 사용된 38V 저전압검출회로 시뮬레이션 결과
Fig. 6 Simulation result for Under voltage detection circuit applied to primary supply with 38V threshold.

다. 입력전원용 저전압 검출회로

그림 5는 50V입력을 사용하는 전원입력단에 적용된 저전압 검출회로의 회로도이다. 전원입력단에는 외부에

서 제공된 전원만 존재하기 때문에 비교기의 전원역시 입력전원을 사용해야만 한다. 우주용으로 사용가능한 Analog Device사의 LM139 비교기 소자는 5V부터 30V 까지 사용이 가능하기 때문에 어떠한 조건에서도, 30V 이하로 제한하기 위한 저항을 이용한 전압강하회로를 이용해서 LM139를 동작시킬 수가 있다^[8]. 또한 LM139 비교기는 open-collector 방식으로 출력이 high인 경우에는 floating이기 때문에 pull-up저항을 이용하는 bias 회로가 필요하다. 저전압검출회로가 저전압인 경우에는 입력전원은 pull-up 저항 (Rpull-up)을 통한 bias회로에 의해서 PMOS를 차단하고, 저전압을 벗어나서 정상 range에 들어오는 경우에 PMOS가 ON되어서 정상적으로 전압을 공급할 수 있다. 따라서 입력전원은 비교기가 정상적인 동작을 수행할 수 있는 전압이지만, 전원 변환기가 동작하지 않는 전압인 경우에, 이상전압검출 회로를 통해서 MOS-FET을 OFF 시켜서 전원을 완전하게 차단시켜서 전원변환기가 오동작하는 것을 방지시켜서, 전기전자장치의 안정성을 향상시킬 수 있다. 그림 6은 38V를 저전압검출기 기준전압으로 적용한 저전압 검출기 회로의 시뮬레이션결과를 보여주고 있다. 38V까지는 저전압검출회로가 최종출력 FET를 OFF해서 출력전압이 나타나지 않고, 38V를 넘는 경우에 FET가 ON되어서 입력전원이 정상적으로 출력으로 전달되는 결과를 확인할 수가 있다. 따라서 입력단에 존재하는 전압변환기가 정상적으로 동작하는 기준전압까지 전기 전자장치가 ON되더라도 전압이 안정될 때까지 입력을 차단해서 전압변환기가 이상동작하는 것을 완전하게 방지할 수가 있다.

2. 최악조건해석 결과

기존의 이상전압 검출회로는 기준전압 정확도는 비교기 입력에 가해지는 전압값이 직접 이용되기 때문에, 식 (1)의 대상전압을 생성하는 저항 (R_a , R_b)의 변화와 기준전압 생성을 위한 전압분배기의 저항 (R_c , R_d) 및 전원 (V_{BB})의 변화에 직접적인 영향을 받는다. 하지만, 단일전원을 사용한 제안된 이상전압 검출회로는 식 (2)와 같이 V_{BB} 가 사용되지 않기 때문에, 해당전원에서 발생가능한 변화에 영향을 받지 않고, 기준전압 생성을 위한 전압분배기의 저항값 변화도 이진변수와 함께 동작하기 때문에 직접적인 영향이 없다. 따라서 제안된 회로에서 발생가능한 변화는 대상전압을 생성하는 저항 (R_a , R_b)의 변화 및 MOS-FET 문턱전압의 영향만 받게 된다. 따라서 R_a , R_b 의 영향은 기존의 이상전압 검출회

로와 동일하고 MOS-FET 문턱전압의 변화만 기준전압 정확도에 영향을 준다.

가. R_a, R_b, R_c, R_d 저항 변화

유럽우주청의 최악조건 해석의 기준을 따르면 저항의 변동은 초기 저항변화를 1% 저항을 사용하는 경우 우주환경에서 발생 가능한 온도 변화, 방사능 및 시간 경과에 따른 모든 변동가능성을 포함하면 1.52%까지 저항값이 변경될 수 있다^[3,9].

나. V_{BB} 전압 변화

기준전압을 생성하기 위한 전압분배기의 전원은 전압변환기의 2차 전원 15V출력을 사용하면 400mV까지 변화한다^[10]. 별도로 레퍼런스 회로를 사용한다면 변화를 줄일 수 있지만, 저전압검출회로를 위해서 레퍼런스 회로는 부품의 개수가 증가하는 경우에, 신뢰도가 떨어지기 때문에, 특수한 경우를 제외하면 사용하지는 않는다.

다. MOS-FET 문턱전압 변화

MOS-FET 문턱전압변화는 3시그마 변화를 고려하는 경우 30mV이다^[11]. 또한 우주환경에서는 기본적인 변화량에 최악조건해석을 위해서 마진을 포함해서 100mV를 문턱전압 변동값으로 적용하였다.

표 3은 기존의 이상전압검출회로와 제안된 단일전원 검출회로의 기준전압의 기본값과 함께, 저항, 전압출력기 출력 및 MOS-FET 등 모든 변화를 반영한 최대값과 최소값을 보여주고 있다.

표 3. 기준전압 변화 최악조건 해석 결과
Table3. The result of worst case analysis for abnormal voltage detection circuit.

대상회로	기준값	최대값	최소값	변화
기준회로	4.00V	4.64V	3.69V	±8.4%
단일전원회로	4.01V	4.11V	3.91V	±2.5%

IV. 결 론

우주용 전기전자장치는 척박한 우주환경조건에 따라서 엄격한 시험검사를 통과한 제한된 부품만 사용이 가능하고, 높은 동작 신뢰성을 요구한다. 2차전원 생성을 위한 전원변환기의 입력과 출력을 동시에 제어하기 위해서는 저전압 및 고전압 조건에 대한 검출이 필수적이지만, 기존의 구조는 2개 이상의 전원을 필요로 하기

때문에 동작의 신뢰성 및 적용할 수 있는 용도가 제한적이다. MOS-FET의 문턱전압 특징을 이용해서 단일전원만으로 이상전압검출기를 사용하면, 입력전원 1개만 사용가능한 전원변환기 입력에 대해서도 저전압 조건을 검출해서 차단할 수가 있다. 또한 이상전압검출회로의 기준전압에 대해 모든 환경조건을 고려한 최악조건 해석결과 동작정확성의 변화정도는 기존의 8.4%에서 2.5%로 향상되었다.

REFERENCES

- [1] D. Lee, Y. Jang, "Satellite System", Kyoungmoonsa, 1997.
- [2] ECSS-Q-ST-60C Rev 2, Space product assurance - Electrical, electronics and electromechanical (EEE) components, ECSS, Oct. 2013.
- [3] ECSS-Q-ST-30-11C Rev 1, Space product assurance - Derating for EEE components, ECSS, Oct. 2011.
- [4] J. Rabaey, A. Chadrakasan, and B. Nikolic "Digital Integrated Circuit-A design perspective 2nd edition", Prentice Hall, 2003.
- [5] D. Kwon, K. Lee, and J. Han, "A novel under-voltage and over-voltage detection circuit with voltage detector using one transistor", IEICE Electron. Express 8 (2011) 1882-1886.
- [6] J. Lee, J. Woo, B. Kong, Y. Jun and C. Lee, "Abrupt power-off detector for mobile TFT-LCD driver IC using dual power supply", IET Electronics Letters, Vol. 41, no. 2. Jan. 2006.
- [7] I. Lee, S. Bang, Y. Lee, Y. Kim, G. Kim, D. Sylvester, D. Blaauw, "A 635pW battery voltage supervisory circuit for miniature sensor nodes", SOVC, 2012.
- [8] SLCS0006S-LM139-Quad Differential Comparator Datasheet, Texas Instrument, Aug. 2012.
- [9] ECSS-E-ST-10-12C, Space Engineering - Methods for the calculation of radiation received and its effect and a policy for design margin, ECSS, Nov. 2008.
- [10] SMRT Dual Space DC-DC Converters, 19-56V Volt Input-35Watt - Space Qualified, Crane Aerospace & Electronics Power Solution, 2015.
- [11] S. Borkar, T. Karnik, S. Narendra, J. Tschanz, A. Keshavarzi and V. De, "Parameter Variations and Impact on Circuits and Microarchitecture", in Proc. of Design Automation Conference, pp. 338-342, June 2003.

— 저 자 소 개 —



원 주 호(정회원)
2003년 연세대학교 전기전자공학과
학사 졸업.
2005년 연세대학교 전기전자공학과
석사 졸업.
<주관심분야: 위성용 전자회로, 위
성 컴퓨터, 반도체>



고 형 호(정회원)
2003년 서울대학교 전기공학부 학사
졸업.
2008년 서울대학교 전기공학부 박사
졸업.
<주관심분야: 아날로그 집적회로,
센서인터페이스, MEMS>