펄스감마선에 의한 DC/DC 컨버터의 Latch-up현상에 대한 연구

오승찬* · 이남호*· 이흥호**

*한국원자력연구원, **충남대학교

The Study of Latch-up

Seung-Chan Oh* · Nam-Ho Lee* · Heung-Ho Lee**

*Korea Atomic Energy Researcher Institute, **Chungnam University

E-mail : scoh0502@kaeri.re.kr, leehh@cnu.ac.kr

요 약

본 시험은 군전자장비의 전원제어부품으로 사용되는 TPS54315소자에 대하여 과도방사선에 따른 과도응답특성인 Upset/Latch-up특성을 평가하기 시험으로 포항가속기 연구소내의 Test LINAC 조사시설을 이용하여 1.43×10^{7}rad(si)/sec ~ 1.25×10^{8}rad(si)/sec 선량률 조건에서의 실측시험을 수행하였다. 시험결과 1.0×10^{8}rad(si)/sec 이후 Latch-up 현상이 확인되었으며 연속펄스 인가 시 Latch-up상태에서 정상상태로 복귀하는 결과를 확인하였다. 또한 이러한 현상은 과도방사선에 의한 광전류가 내부 전원 Reset로직을 트리거 시킴으로써 Latch-up상태에서의 전원바이어스를 일시적으로 차단함에 따라 발생된 것으로 본 실험을 통하여 Reset회로가 내장된 소자의 경우 일부 Latch-up현상과 동시에 Reset회로가 트리거 되는 경우 Latch-up상태에서 정상상태로 복귀되는 결과를 확인하였다.

ABSTRACT

In this study, we carried out transient radiation experiments for identify failure situation by a transient radiation effect on DC/DC converter device due to high energy ionizing radiation pulse induced to electronic device. This experiments were carried out using a 60 MeV electron beam pulse of the LINAC(Linear Accelerator) facility in the Pohang Accelerator Laboratory. In this experiment, we has found that the latch-up phenomena could be checked in more than 1.0×10^{8}rad(si)/sec condition.

키워드

Pulsed Gamma-ray, Latch-up, TREE(Transient Radiation Effect on Electronic device), DC/DC Converter

Ⅰ. 서 론

핵폭발 시 방출되는 방사선은 일반적으로 감마선(Gamma-ray)과 고속중성자(fast neutron), 엑스선(x-ray)으로 구성되며 감마선의 경우 핵분열초기에 생성되는 즉발방사선(prompt nuclear radiation) 과 2차 핵분열을 통하여 방출되는 지연방사선으로 구분된다. 전자시스템을 구성하는 전자부품소자 및 회로가 이러한 방사선 환경에 노출되는 경우 다양한 형태의 피해현상을 유발할 수 있다. 방사선에 의한 전자소자의 피해는 크게 총 이온화선량효과(Total Ionizing Dose Effect)와 순간적으로 높은 선량율의 방사선에 노출되는 경우 발생될 수 있는 과도선량율효과(Transient radiation effect)로 구분할 수 있다[1][2]. 이러한 피해현상은 전자소자로 방사선이 조사됨에 따라 반도체소자를 구성하는 SiO^{2}층에서의 이온화현상에 발생시키며 이로 인하여 생성된 전자-전공 쌍(EHP : electron hole pair)에 의하여 소자내부에 생성된 광전류(photo-current)는 생성된 양에 따라 회로를 구성하고 있는 트랜지스터를 무작위로 개방 또는 단락시키거나 플립-플롭(Flip-Flop)과 메모리 셀(Memory Cell)의 논리상태(Logic State)를 변화시키는 요인으로 작용될 수 있다. 또한 CMOS계열의 소자의 경우 CMOS공정에서 생성된 기생 p-n-p-n구조에서의 래치 업 현상을 유발함으로 인하여 소자의 영구적인 손상을 초래할 수 있다[1][2]. 따라서 본 연구에서는 이러한 과도방사선에 의한 전자부품소자의 피해현상을 평가하기 위한 시스템구축에 대한 연구의 일환으로 실제 군용부품소자로 사용되어지는 TPS54315 (DC/DC Converter)에 대한 과도방사선 피해현상을 확인함과 동시에 내방사선 임계값을 평가하기 위한 실측시험을 수행하였다.

Ⅱ. 즉발감마선변환장치의 구성

본 연구에서는 실제 핵폭발상황에서 방출되는 즉발감마선을 실질적으로 모의하기 위하여 포항가속기연구소의 Test LINAC시설을 이용하여 60MeV, 100mA의 전자빔출력을 감마선변환장치를 통하여 즉발감마선형태로 발생시킬 수 있도록 구성하였다. 감마선변환장치는 텅스텐($_{74}$W, tungsten)재질로 구성된 디스크형태의 구조물로서 MCNP-5c코드를 통하여 주어진 선형가속기 출력인 60MeV, 100mA조건에서의 시뮬레이션을 수행한 결과 두께 6mm에서의 최대변환효율을 확인하였고[3] 이에 따라 그림 1과 같은 형태로 제작되었다.

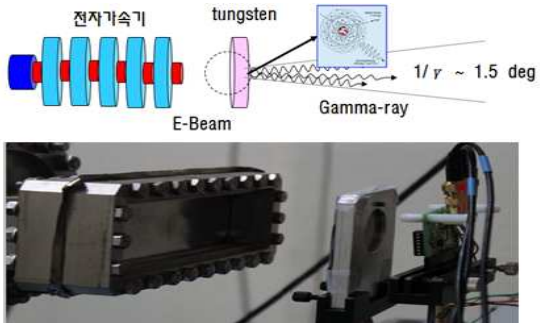

그림 1 감마선변환장치의 구성

Ⅲ. 과도방사선 실측시험 구성

방사선조사에 따른 전자소자의 과도방사선 실측시험에 대한 시스템구성은 그림2에 나타낸 것과 같이 앞서 기술한 고선량의 즉발감마선을 발생시키기 위한 감마선조사장치와 더불어 방사선조사 시 발생되는 순간적인 과도응답을 측정하고 분석하기 위한 실시간 계측장치로 구성된다.

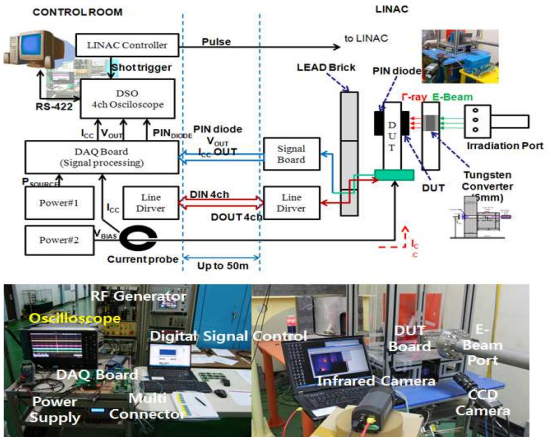

그림 2 과도방사선실측시험구성

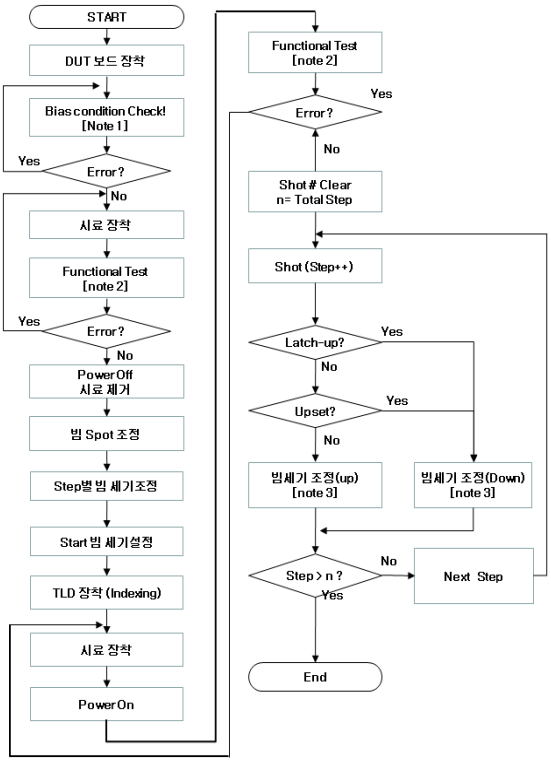

그림 3 과도방사선 시험절차

TPS54315 과도방사선 피해평가시험은 그림3에 나타낸 것과 같이 미 국방성(DoD, Department of Defence)의 MIL-STD 883G[4] 에 명시된 과도방사선 시험절차를 기준으로 테스트 시료설치 및 방사선조사 전 시험설치방법, 그리고 Upset/Latch-up상태에 대한 평가 및 내방사선 임계 치 확인을 위한 시험절차에 따라 수행되었다.

Ⅲ. TPS54315에 대한 과도방사선 실측시험 및 결과

TPS54315소자에 대한 과도방사선 실측시험은 1.43×10^{7}rad(si)sec~1.25×10^{8}rad(si)sec 범위의 선량률 조건에서 수행되었으며 실측결과 표1에 나타낸 것과 같이 주어진 선량률 조건에서 출력전압의 Upset현상 및 Latch-up 현상이 확인되었다. 특히 Latch-up상황을 유지한 상태에서 추가적으로 과도방사선 펄스를 연속적으로 인가 시 Latch-up상태에서 정상상태로 초기화 되는 현상이 발생됨을 확인할 수 있었으며 이러한 원인은 과도방사선에 의하여 생성된 내부 광전류신호가 TPS54315의 내부 리셋회로를 트리거(Active)함으로서 소자내부의 리셋신호 입력을 활성화됨에 따라 초기화과정에서의 일시적인 입력 바이어스 차단으로 인하여 발생된 것으로 설명할 수 있다. 이러한 Latch-up 특성은 그림 3에 실측결과에 나타낸 것과 같이 1.0×10^{8}rad(si)/sec 이상의 선량률

에서 발생되었고 그이하의 선량률에서는 일시적인 Upset현상을 나타내었다.

표 1 TPS54315의 과도방사선 실측시험결과

DUT #	Dose rate rad(si)/sec	I_{PEAK} [mA]	Test Result
4	1.430×10^{7}	230	Reset
4	1.430×10^{7}	230	Reset
4	2.860×10^{7}	80	Reset
5	8.938×10^{7}	110	Reset
5	8.938×10^{7}	80	Reset
4	1.001×10^{8}	90	Latch-up
4	1.144×10^{8}	120	Latch-up
4	1.251×10^{8}	115	Latch-up

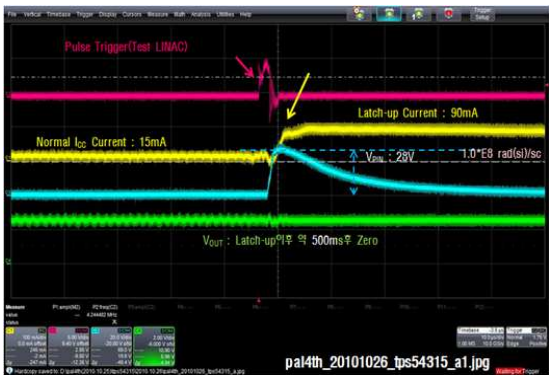

그림 4 과도방사선 인가에 따른 TPS54315의 Latch-up 결과(dose-rate : 1.001×10^{8}rad(si)/sec)

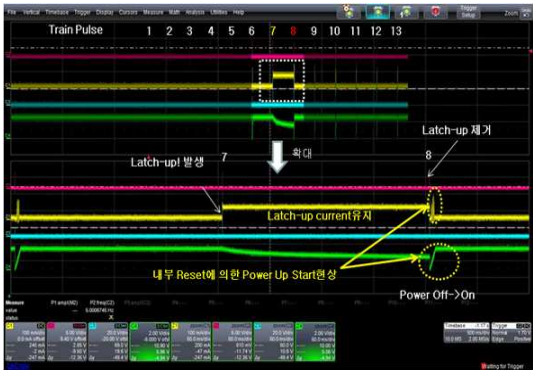

그림 5 TPS54315소자의 연속적인 펄스감마선 인가 시 과도응답특성결과

Ⅳ. 결 론

본 연구를 통하여 TPS54315의 과도방사선에 의한 Latch-up특성의 내방사선 임계 치threshold)는 1.0×10^{8}rad(si)/sec으로 확인되었다. 이러한 실제 상용화된 DC/DC 컨버터소자인 TPS54315에 대한 과도방사선 실측시험에서 보여주는 것과 같이 과도방사선 조건에서의 상용전자부품소자의 Upset /Latch-up 현상에 대한 피해평가결과는 전자시스템을 구성하는 회로 및 전자부품소자의 경우 핵폭발과 같은 과도방사선 환경조건에 노출되는 경우 심각한 오류를 유발할 수 있는 가능성을 예상할 수 있다. 따라서 향후 우리는 다양한 전자소자에 대한 과도방사선 피해평가 및 분석에 대한 연구와 더불어 핵 방호 기술을 포함한 내방사선 기술에 대한 지속적인 연구를 수행하여야 할 것이다.

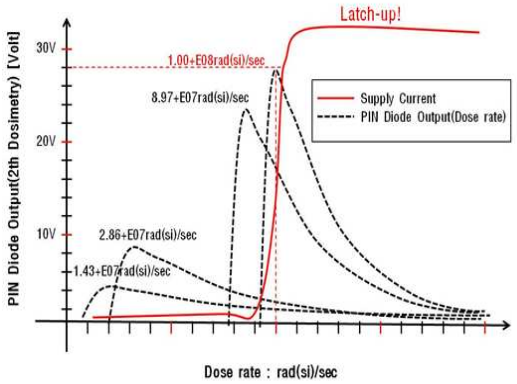

그림 6 TPS54315의 과도방사선 선량 율에 따른 소비전류의 변화(Latch-up)

참고문헌

[1] Lewis Cohn and Al Wolicki and Mayrant Simons and Clay Rogers and Alfred Costantine, “Transient Radiation Effects on Electronics (TREE) Handbook ”, Defense Nuclear Agency 6801 Telegraph Road Alexandria, VA 2231-3398, December 1995

[2] George C. Messenger and Milton S. Ash, “The Effects of Radiation On Electronic Systems”, VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, New York, May 14, 1992

[3] OH S.C, Lee,N.H, Lee H.H, “Investigation of Transient Radiation Effects in CMOS ICS Using the TCAD Simulation and Experiment” Juornal of the Korea Physical Society, Vol.59, No.2, August, 2011

[4] MIL-STD-883G 1021.2, "Dose rate upset testing of digital microcircuits", (28 February 2006)