

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods –
Part 38: Soft error test method for semiconductor devices with memory**

**Dispositifs à semiconducteurs – Méthodes d’essais mécaniques et climatiques –
Partie 38: Méthode d’essai des erreurs logicielles pour les dispositifs à
semiconducteurs avec mémoire**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2008 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch
Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch
Tél.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods –
Part 38: Soft error test method for semiconductor devices with memory**

**Dispositifs à semiconducteurs – Méthodes d’essais mécaniques et climatiques –
Partie 38: Méthode d’essai des erreurs logicielles pour les dispositifs à
semiconducteurs avec mémoire**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

M

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope.....	5
2 Terms and definitions	5
3 Test apparatus	7
3.1 Measurement equipment	7
3.2 Alpha radiation source.....	7
3.2.1 Background information	7
3.2.2 Preferred sources	7
3.2.3 Variation in results	7
3.2.4 Effect of high radiation levels.....	7
3.2.5 Measurement accuracy.....	8
3.3 Test sample	8
4 Procedure	8
4.1 Alpha radiation accelerated soft error test	8
4.1.1 Surface preparation	8
4.1.2 Power supply voltage	8
4.1.3 Ambient temperature	9
4.1.4 Core cycle time.....	9
4.1.5 Data pattern	9
4.1.6 Distance between chip and radiation source	9
4.1.7 Number of measurement samples.....	9
4.2 Real-time soft error test.....	9
4.2.1 General	9
4.2.2 Power supply voltage	9
4.2.3 Ambient temperature	9
4.2.4 Operating frequency	9
4.2.5 Data pattern	10
4.2.6 Test time	10
4.2.7 Number of test samples	10
4.2.8 Environmental neutron testing	10
4.3 Neutron radiation accelerated soft error test.....	10
5 Evaluation	10
5.1 Alpha radiation accelerated soft error test	10
5.2 Real-time soft error test.....	11
6 Summary.....	12
 Bibliography.....	 13
 Figure 1 – Effect of source-device spacing on normalized flux at device	 8
 Table 1 – X for FIT calculation	 11

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SEMICONDUCTOR DEVICES –
MECHANICAL AND CLIMATIC TEST METHODS –**
**Part 38: Soft error test method for semiconductor
devices with memory**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60749-38 has been prepared by IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
47/1943/FDIS	47/1951/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all the parts in the IEC 60749 series, under the general title *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

SEMICONDUCTOR DEVICES – MECHANICAL AND CLIMATIC TEST METHODS –

Part 38: Soft error test method for semiconductor devices with memory

1 Scope

This part of IEC 60749 establishes a procedure for measuring the soft error susceptibility of semiconductor devices with memory when subjected to energetic particles such as alpha radiation. Two tests are described; an accelerated test using an alpha radiation source and an (unaccelerated) real-time system test where any errors are generated under conditions of naturally occurring radiation which can be alpha or other radiation such as neutron. To completely characterize the soft error capability of an integrated circuit with memory, the device must be tested for broad high energy spectrum and thermal neutrons using additional test methods. This test method may be applied to any type of integrated circuit with memory device.

2 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

2.1

single-event upset

SEU

soft error caused by the transient signal induced by a single energetic-particle strike

2.2

soft error

erroneous output signal from a latch or memory cell that can be corrected by performing one or more normal functions of the device containing the latch or memory cell

NOTE As commonly used, the term refers to an error caused by radiation or electromagnetic pulses and not to an error associated with a physical defect introduced during the manufacturing process.

2.3

single-event hard error

SHE

irreversible change in operation resulting from a single radiation event and typically associated with permanent damage to one or more of the device elements (e.g. gate oxide rupture)

2.4

static soft error

soft error that is not corrected by repeated reading but can be corrected by rewriting without the removal of power

2.5

transient soft error

soft error that can be corrected by repeated reading without rewriting and without the removal of power

2.6

soft error, power cycle

PCSE

soft error that is not corrected by repeated reading or writing but can be corrected by the removal of power

2.7

single event functional interrupt

SEFI

soft error that causes the component to reset, lock-up, or otherwise malfunction in a detectable way, but does not require power cycling of the device (off and back on) to restore operability, unlike single-event latch-up (SEL), or result in permanent damage as in single-event burnout (SEB)

2.8

multiple bit upset

MBU

multiple-cell upset in which two or more error bits occur in the same word

2.9

single event latch up

SEL

abnormal high-current state in a device caused by the passage of a single energetic particle through sensitive regions of the device structure and resulting in the loss of device functionality

NOTE 1 SEL may cause permanent damage to the device. If the device is not permanently damaged, power cycling of the device (off and back on) is necessary to restore normal operation.

NOTE 2 An example of SEL in a CMOS device is when the passage of a single particle induces the creation of parasitic bipolar (p-n-p-n) shorting of power to ground.

2.10

flux (of particle radiation)

time rate of flow of particles emitted from or incident on a surface, divided by the area of that surface

NOTE The flux is usually expressed in particles per square centimeter second (N/cm²s) or particles per square centimeter hour (N/cm²h).

2.11

alpha source activity

number of alpha particle decays in the alpha source per unit time

NOTE The preferred SI unit is the Becquerel (Bq); to convert from the Curie, multiply by $3,7 \times 10^{10}$ (exactly).

2.12

soft error rate

SER

rate at which soft errors occur

2.13

failures in time

FIT

the number of failures in 10⁹ device-hours

2.14

multiple-cell upset

MCU

single event that induces several bits in an IC to have a soft error at one time

NOTE The bits are usually, but not always, adjacent.

3 Test apparatus

3.1 Measurement equipment

The equipment shall be capable of measuring the functions of the integrated circuit devices, and capable of measuring the time taken for the change of stored data by the exposure to energetic particles, such as alpha radiation to take place (i.e. the generation of a soft error). Alternatively, the test equipment (memory tester etc.) shall have the capability of counting the number of soft errors in unit time.

3.2 Alpha radiation source

3.2.1 Background information

Uranium and thorium impurities found in trace amounts in the various production and packaging materials emit alpha particles. Alpha particles are strongly ionizing, so those that impinge on the active device create bursts of free electron-hole pairs in the silicon. Different types of alpha sources can be used to simulate the alpha emission from uranium and thorium impurities. Sources that emit alpha particles with energy spectra similar to uranium and thorium impurities simulate the radiation environment of wirebonded components encapsulated in moulding compound. Sources that emit alpha particles with similar energy spectra to ^{210}Po are used for simulating components in a flip-chip arrangement with solder bumps. The source should provide an alpha particle spectrum similar to that encountered in the actual component.

3.2.2 Preferred sources

^{238}U or ^{232}Th are the preferred sources for inducing SER in mould-resin compounds. ^{241}Am and ^{210}Po sources can be used as substitutes.

3.2.3 Variation in results

Results will differ depending on the source used due to spectral variations. Alpha particle sources available on the market are usually only classified by their activities in μCi (rather than in the preferred unit, Bq, see 2.11) and the emission rates of alpha particle are seldom indicated.

The emission rate cannot be determined simply from the activities because of the effects of absorption of alpha particle in the source itself and its situation. For example, the activity of $1\mu\text{Ci}$ is $3,7 \times 10^4$ decays/s. However, the alpha emission rate from the source would be less than $3,7 \times 10^4$ alpha/s.

Therefore, a measurement of the alpha emission rate of the source which is used in the SER test is recommended.

As a consequence, the energy spectrum of the alpha radiation source shall be confirmed because different test values can result from differing energy spectra even if the alpha radiation sources have the same level of radioactivity.

NOTE If ^{241}Am or ^{210}Po are used, this should be documented in a report along with the statement that results can differ if other sources have been used, due to energy spectra variations.

3.2.4 Effect of high radiation levels

In cases where the dose concentration delivered to the test sample is high, consideration shall be given to the effect of multiple hits.

3.2.5 Measurement accuracy

If the emission area of the alpha radiation is significantly smaller than the chip area, absorption of the alpha radiation through the atmosphere and the chip protection film and incident angle effects will contribute to give erroneous values. Therefore, to perform the test accurately, the emission area of the alpha radiation shall not be significantly smaller than the chip area and, preferably, shall be larger. In Figure 1, the curves apply for devices of about 10 mm diameter. Dimension "d" should be scaled up or down in proportion for devices with a different diameter (for more information, see Bibliography).

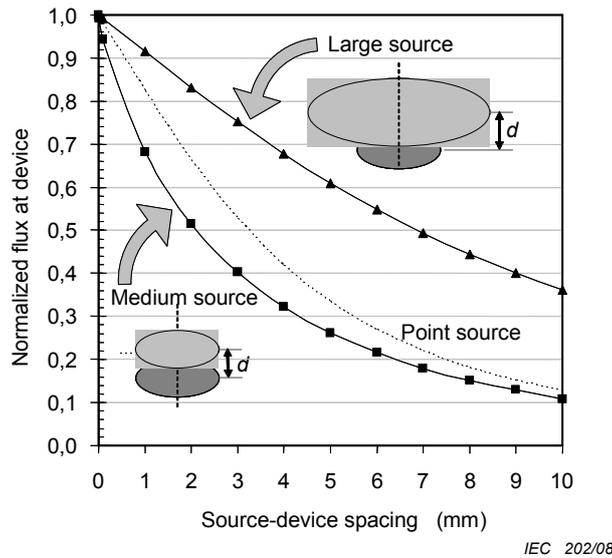


Figure 1 – Effect of source-device spacing on normalized flux at device

3.3 Test sample

Any type of integrated circuits with memory may be tested. The device parameters (capacitance of the memory cell in the DRAM etc.) which can affect the soft error rate shall be well understood.

4 Procedure

4.1 Alpha radiation accelerated soft error test

4.1.1 Surface preparation

The surface of the sample shall be suitably prepared before irradiation. For accelerated alpha particle testing, the surface of the sample shall be exposed using a method which does not affect the electrical characteristics. When, however, the purpose of the test is to evaluate the effect of chip coating, the chip coating shall not be removed.

NOTE As an example, the upper side of the package can be cut with a small knife or the moulding resin on the upper surface of the chip can be dissolved chemically etc. Unless otherwise specified, chip coatings should be removed because alpha radiation from an ^{241}Am source (peak energy 5 MeV approximately) is absorbed by the chip coating. Alpha radiation of higher energy can occur in the package materials or as natural radio-activity.

4.1.2 Power supply voltage

This shall be set at the minimum voltage of the recommended operating condition (when required, the supply voltage dependence on failure rate shall be measured). For latch up testing, the voltage shall be set at the minimum and maximum voltage of the recommended operating condition.

4.1.3 Ambient temperature

The ambient temperature shall be room temperature and, for latch up, at the manufacturer's maximum recommended operating temperature.

4.1.4 Core cycle time

The core cycle time is dependent on the samples under test and shall be set to the manufacturer's recommended value (when required, the core cycle time dependence shall be measured).

4.1.5 Data pattern

This is dependent on the samples under test. Data pattern shall be reported (a checker board, all '0/1'-read/write pattern, etc.).

4.1.6 Distance between chip and radiation source

The actual value used shall be documented in the report.

NOTE The distance between the chip and radiation source should be 1 mm or less. Excessive distance between the source and the chip will cause attenuation of the alpha flux, unless the test is performed in a vacuum. Operators should be careful to avoid touching the chip or wirebonds with the radiation source.

4.1.7 Number of measurement samples

Multiple samples shall be measured to take into account measurement variation.

4.2 Real-time soft error test

4.2.1 General

In this method, the samples are mounted on memory boards of a system machine which has a similar function to that of the test equipment. The soft errors are generated under similar conditions to those of the actual use environment, without the use of an external alpha source to provide error rate acceleration. The radiation is that which occurs naturally, consisting of alpha, neutron and other energetic particles.

4.2.2 Power supply voltage

Power supply voltage shall be set at nominal voltage so that the reported SER will be related to in-use conditions, unless otherwise specified.

4.2.3 Ambient temperature

The ambient temperature shall be from room temperature to the maximum temperature of recommended operating condition. The ambient temperature shall be reported.

4.2.4 Operating frequency

The operating frequency is dependent upon the samples used but the evaluation is recommended to be performed at the intended operating core frequency and it shall be reported. No frequency or voltage accelerations are permitted.

4.2.5 Data pattern

This is dependent on the samples under test. Data pattern shall be reported. Dependent upon the detail specification, all or some of the following data patterns shall be used with equal duration: all 1, checkerboard pattern, the complementary checkerboard pattern and all zeros. In cases where dynamic patterns are used to consider mechanisms that can not be identified with static patterns, the duty cycle shall be reported. As a special case, in the data retention test for SRAM etc., a data pattern of all '1' is written in the test samples initially. The test samples are left in the battery back-up mode and the evaluation by reading out is performed at predetermined intervals.

4.2.6 Test time

Test time shall be related to system SER requirements and shall be detailed in the relevant specification.

NOTE A test time of 1 000 h may be used.

4.2.7 Number of test samples

Sample size shall be related to system SER requirements.

NOTE A sample size of 1 000 test pieces may be used.

4.2.8 Environmental neutron testing

Neutron flux depends on the location. Therefore, the evaluation shall take into account the environment as follows:

Altitude

Region/Latitude

Room/Outdoor

The altitude and location of the test shall be reported.

Where the evaluation takes place in a building, the structure, floor, thickness and material of building shall be reported.

4.3 Neutron radiation accelerated soft error test

Where this test is required, three methods of neutron accelerated soft error test are available. These are the thermal neutron-induced soft error test, the (quasi)-mono energy test and the white neutron test, all as nuclear spallation reactions. The neutrons are generated by a nuclear reactor or accelerator. One or more methods shall be selected to satisfy the requirement. For neutron radiation accelerated soft error testing, the facilities where the test can be performed are restricted. Refer to the bibliography for the detail of the methods and facility information.

NOTE White neutron test is a radiation test using a neutron simulator that has a flux-versus energy spectrum similar to that of the naturally occurring atmospheric neutron radiation from sea level to 60 000 feet (18 290 m) altitude.

5 Evaluation

5.1 Alpha radiation accelerated soft error test

The soft error rate (SER) is calculated by the following equation.

$$SER = \frac{SER_{acc}}{F_{acc}} \times F_P \quad (1)$$

where

SER is the soft error rate (FIT);

SER_{acc} is the soft error rate in the accelerated soft error test (FIT);

F_{acc} is the alpha radiation flux in the accelerated soft error test;

F_P is the alpha radiation flux from the package.

NOTE 1 In addition, the unit 'FIT/Mbit' is recommended for a normalized expression for relative comparisons.

NOTE 2 In this method, the conversion is performed with $1\text{Bq} = 1\alpha/\text{s}$. But the conversion should be treated with caution because the error rates depend on the energy spectrum. Therefore, this test method should be used for relative comparisons between devices and it can be used for estimates.

5.2 Real-time soft error test

This test is usually terminated when sufficient data have been accumulated to demonstrate conformance to the required standard (for example, 1 000 FIT or less) or better. This is because it is not an accelerated test and requires a large number of samples and a prolonged period of test time to evaluate the soft error rate.

$$SER = \frac{X}{N_s t_T} 10^9 [\text{FIT}] \quad (2)$$

where

X is given in Table 1;

N_s is the sample number;

t_T is the test time.

Table 1 – X for FIT calculation

Number of failures	Confidence level	
	60 %	90 %
	X	X
0	0,916	2,303
1	2,022	3,890
2	3,105	5,322
3	4,175	6,681
4	5,236	7,993
5	6,292	9,274
6	7,342	10,53
7	8,390	11,77
8	9,434	12,99
9	10,47	14,20
10	11,51	15,40

NOTE More generally the failure rate in FIT is given, using chi-squared (χ^2) statistics, as:

$$SER = \frac{10^9 \chi^2(v = 2n + 2)}{2 N_s t_T} \quad (3)$$

where v is the number of degrees of freedom defining the χ^2 confidence limit.

6 Summary

The following information shall be specified in the applicable procurement document.

- a) Test circumstance (shielding material, board angular orientation, and location of board)
- b) Test condition (supply voltage, core voltage, I/O voltage, cycle time, temperature)
- c) Operation mode (dynamic mode, battery back up mode, stand by mode)
- d) Data pattern (all 0, all1, checkerboard, etc.)
- e) Test sequence (write-read-write-(repeat)..., write-read-read-(repeat))
- f) Redundancy status (ECC (error correction code), without ECC, refresh mode). All errors shall be reported even though they can be handled through error correction (ECC)
- g) Error information (SEU, MCU, MBU, SEFI, fail address, I/O, fail date and time, board location, cumulative duration, etc.)
- h) Any event that is not clearly understood but shows as a disturbance (such events may include single event latch up SEL which will require de-powering to recover or the device may be permanently damaged.)
- i) Any result that does not match expectations
- j) Description of test site
- k) Results shall be normalized to sea level taking into account geomagnetic factors (normalization of results to sea level)
- l) Environmental conditions such as temperature, etc.
- m) Spacing used, etc.

Bibliography

- [1] Thermal Neutron Spectra – DIRK J. D., NELSON M. E., ZIEGLER J. F., THOMPSON A. and ZABEL T.H., 'Terrestrial Thermal Neutrons', /IEEE Trans. Nucl. Sci./, vol. 50, no. 6, pp. 2060-2064, Dec. 2003.
 - [2] High Energy Neutron Spectra – ZIEGLER J. F., 'Terrestrial cosmic ray intensities', IBM J. Res. Develop, vol. 42, no.1, pp. 117-139, Jan. 1998.
 - [3] Broad energy range (thermal up to high energy) – GORDON M. S., GOLDHAGEN P., RODBELL K. P., ZABEL T. H., TANG H. H. K., CLEM J. M., and BAILEY P., 'Measurement of the Flux and Energy Spectrum of Cosmic-Ray Induced Neutrons on the Ground', IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 51, no. 6, pp. 3427-3434, Dec. 2004.
 - [4] JEITA EDR4705 'SER Testing Guidelines'
 - [5] JESD89 'Measurement and Reporting of Alpha Particle and Terrestrial Cosmic Ray-Induced Soft Errors in Semiconductor Devices'
 - [6] JESD89-1 'System Soft Error Rate (SSER) Test Method'
 - [7] JESD89-2 'Test Method For Alpha Source Accelerated Soft Error Rate'
 - [8] JESD89-3 'Test Method for Beam Accelerated Soft Error Rate'
 - [9] TSOUFANIDIS N., "Measurement and Detection of Radiation", second edition, Taylor & Francis 1995, pp. 273
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS..... 15

1 Domaine d'application 17

2 Termes et définitions 17

3 Appareillage d'essai 19

 3.1 Equipement de mesure..... 19

 3.2 Source de rayonnement alpha 19

 3.2.1 Contexte..... 19

 3.2.2 Sources privilégiées 19

 3.2.3 Variabilité des résultats..... 19

 3.2.4 Effet des hauts niveaux de radiation 20

 3.2.5 Précision de mesure 20

 3.3 Echantillon d'essai 20

4 Mode opératoire 21

 4.1 Essai accéléré d'erreur logicielle à rayonnement alpha 21

 4.1.1 Préparation de la surface 21

 4.1.2 Tension d'alimentation..... 21

 4.1.3 Température ambiante..... 21

 4.1.4 Temps de cycle du cœur 21

 4.1.5 Structure des données..... 21

 4.1.6 Distance entre la puce et la source de rayonnement..... 21

 4.1.7 Nombre d'échantillons de mesure 21

 4.2 Essai d'erreur logicielle en temps réel 21

 4.2.1 Généralités..... 22

 4.2.2 Tension d'alimentation..... 22

 4.2.3 Température ambiante..... 22

 4.2.4 Fréquence de fonctionnement 22

 4.2.5 Structure des données..... 22

 4.2.6 Durée d'essai 22

 4.2.7 Nombre d'échantillons d'essai 22

 4.2.8 Essai des neutrons de l'environnement..... 23

 4.3 Essai accéléré d'erreur logicielle à rayonnement neutronique..... 23

5 Evaluation 23

 5.1 Essai accéléré d'erreur logicielle à rayonnement alpha 23

 5.2 Essai d'erreur logicielle en temps réel 24

6 Résumé..... 25

Bibliographie..... 26

Figure 1 – Effet de la distance du dispositif à la source sur le flux normalisé sur le dispositif 20

Tableau 1 – X pour le calcul du FIT 24

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – MÉTHODES D'ESSAIS MÉCANIQUES ET CLIMATIQUES –

Partie 38: Méthode d'essai des erreurs logicielles pour les dispositifs à semiconducteurs avec mémoire

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les publications CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et elles sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toute divergence entre toute Publication de la CEI et toute publication nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente publication CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété ou de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60749-38 a été établie par le comité d'études 47 de la CEI: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47/1943/FDIS	47/1951/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60749 publiées sous le titre général *Dispositifs à semiconducteurs – Méthodes d'essai mécaniques et climatiques* peut être trouvée sur le site internet de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – MÉTHODES D'ESSAIS MÉCANIQUES ET CLIMATIQUES –

Partie 38: Méthode d'essai des erreurs logicielles pour les dispositifs à semiconducteurs avec mémoire

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60749 établit une procédure de mesure de la prédisposition aux erreurs logicielles des dispositifs à semiconducteurs à mémoire lorsqu'ils sont soumis à des particules énergétiques telles que le rayonnement alpha. Deux essais sont décrits: un essai accéléré utilisant une source de rayonnement alpha et un essai de système en temps réel (non accéléré) dans lequel toutes les erreurs sont générées dans des conditions de rayonnement se produisant naturellement: il peut s'agir du rayonnement alpha ou de tout autre rayonnement, neutronique par exemple. Pour une caractérisation complète de la capacité d'erreur logicielle d'un circuit intégré à mémoire, il faut que le dispositif soit soumis à un essai pour le spectre large à haute énergie et les neutrons thermiques en utilisant des méthodes d'essais complémentaires. Cette méthode d'essai peut être appliquée à tout type de circuit intégré qui possède un dispositif de mémoire.

2 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

2.1

basculement intempestif d'événement non récurrent

SEU (single-event upset)

erreur logicielle due à un signal transitoire provoqué par l'impact d'une particule énergétique isolée

2.2

erreur logicielle

signal de sortie d'un circuit à verrouillage ou d'une cellule mémoire erroné qui peut être corrigé par l'utilisation d'une ou plusieurs fonctions normales du dispositif qui contient le circuit à verrouillage ou la cellule mémoire

NOTE Le terme fait communément référence à une erreur causée par une radiation ou une impulsion électromagnétique et non à une erreur causée par un défaut physique créé lors du processus de fabrication.

2.3

erreur matérielle d'événement non récurrent

SHE (single-event hard error)

changement irréversible qui intervient dans le fonctionnement qui est dû à un événement de rayonnement non-récurrent et qui est généralement associé à un dommage permanent affectant un ou plusieurs des éléments d'un dispositif (par exemple claquage de l'oxyde de grille)

2.4

erreur logicielle statique

erreur logicielle qui n'est pas corrigée par des lectures répétées mais qui peut l'être par réécriture sans coupure de l'alimentation

2.5

erreur logicielle transitoire

erreur logicielle qui peut être corrigée par des lectures répétées sans ré-écriture et sans coupure de l'alimentation

2.6

erreur logicielle, cycle d'alimentation

PCSE (power cycle soft error)

erreur logicielle qui n'est pas corrigée par des lectures répétées ou la ré-écriture mais qui peut l'être par la coupure de l'alimentation

2.7

erreur d'interruption fonctionnelle non récurrente

SEFI (single event functional interrupt)

erreur logicielle qui remet à zéro, bloque ou met le composant dans tout autre fonctionnement incorrect détectable, mais qui n'oblige pas à un cycle d'alimentation arrêt puis marche pour remettre en fonctionnement normal, contrairement à l'événement de déclenchement intempestif (SEL, single event latch-up), ou à un dommage permanent comme celui résultant d'un événement isolé de claquage (SEB, single event burnout)

2.8

basculement intempestif de plusieurs cellules

MBU (multiple bit upset)

basculement intempestif dans un composant comportant plusieurs cellules dans lequel deux bits ou plus sont en erreur dans le même mot

2.9

événement de déclenchement intempestif

SEL (single event latch up)

état anormal avec débit de courant important, causé par le passage d'une particule énergétique isolée dans une région sensible de la structure du dispositif et se traduisant par une perte de fonctionnalité de ce dispositif

NOTE 1 Un SEL peut causer des dommages permanents au dispositif. Si le dispositif n'est pas détérioré de façon permanente, un cycle d'alimentation arrêt – marche est nécessaire pour revenir à un fonctionnement normal.

NOTE 2 Comme exemple de SEL dans un dispositif CMOS, on peut citer le passage d'une particule isolée, qui crée un groupe de jonctions bipolaires parasites (p-n-p-n) qui met en court-circuit l'alimentation avec la masse.

2.10

flux (de rayonnement de particules)

débit du flux de particules émis par une surface ou incident à celle-ci, divisé par l'aire de cette surface

NOTE Le flux est généralement exprimé en particules par centimètres carrés seconde (N/cm²s) ou en particules par centimètres carrés heure (N/cm²h).

2.11

activité de source alpha

nombre de désintégrations de particules alpha dans la source alpha par unité de temps

NOTE L'unité préférentielle du Système International est le Becquerel (Bq); pour les conversions à partir du Curie, multiplier par $3,7 \times 10^{10}$ (exactement).

2.12

taux d'erreurs logicielles

SER (soft error rate)

vitesse à laquelle les erreurs logicielles se produisent

2.13

défaillances dans le temps

FIT

nombre de défaillances pour 10^9 dispositifs-temps

2.14

basculement intempestif de cellules multiples

MCU (multiple cell upset)

événement qui induit l'erreur logicielle de plusieurs bits en même temps dans un circuit intégré

NOTE Les bits sont généralement, mais pas toujours, adjacents.

3 Appareillage d'essai

3.1 Equipement de mesure

L'équipement doit être capable de mesurer les fonctions des dispositifs à circuit intégré et le temps nécessaire pour la réalisation de la modification des données stockées par l'exposition aux particules énergétiques, telles que le rayonnement alpha (c'est-à-dire la génération d'une erreur logicielle). Sinon, l'équipement d'essai (testeur de mémoire etc.) doit avoir la capacité de compter le nombre d'erreurs logicielles en temps unitaire.

3.2 Source de rayonnement alpha

3.2.1 Contexte

Les impuretés d'uranium et de thorium, trouvées en infimes quantités dans les matériels de production et d'emballage, émettent des particules alpha. Les particules alpha sont fortement ionisantes et celles qui agissent sur le dispositif actif produisent des rafales de paires électron-trou libres dans le silicium. Différents type de source alpha peuvent être utilisées pour simuler les émissions alpha des impuretés d'uranium ou de thorium. Les sources qui produisent des particules alpha d'une énergie similaire à celle des impuretés d'uranium ou de thorium simulent l'environnement de radiation subi par des composants soudés avec boîtier fait d'un composé moulé. Des sources qui émettent des particules alpha ayant un spectre d'énergie similaire à celui du ^{210}Po sont utilisées pour les composants de simulation montés à l'envers avec des perles de soudure. Il convient que la source produise un spectre de particules alpha similaire à celui rencontré dans le composant réel.

3.2.2 Sources privilégiées

Le ^{238}U ou le ^{232}Th sont les sources privilégiées pour susciter des erreurs logicielles dans les composés en résine moulée. Les sources utilisant du ^{241}Am et du ^{210}Po peuvent être utilisées comme substitut.

3.2.3 Variabilité des résultats

Les résultats seront différents selon les sources employées, à cause des variations spectrales. Les sources de particules alpha disponibles sur le marché sont généralement seulement classées selon leur activité en μCi (plutôt que dans une unité privilégiée ici, Bq, voir 2.11) et le taux d'émission de particules alpha est rarement indiqué.

Le débit d'émission ne peut pas être simplement déterminé par les activités en raison des effets de l'absorption des particules alpha dans la source elle-même et de sa situation. Par exemple, une activité de $1\mu\text{Ci}$ correspond à $3,7 \times 10^4$ désintégrations/s. Cependant, le taux d'émission alpha de la source serait inférieur à $3,7 \times 10^4$ alpha/s.

Pour cette raison, une mesure du débit d'émission alpha de la source utilisé dans l'essai SER est recommandée.

Par conséquent, le spectre d'énergie de la source de rayonnement alpha doit être confirmé car des valeurs d'essai différentes peuvent résulter de spectres d'énergie différents même si les sources de rayonnement alpha ont le même niveau de radioactivité.

NOTE 1 Si la source Am^{241} ou ^{210}Po est utilisée, il convient de l'indiquer dans un rapport en ajoutant que les résultats peuvent être différents si d'autres sources ont été utilisées, en raison des variations des spectres d'énergie.

3.2.4 Effet des hauts niveaux de radiation

Dans les cas où la concentration de radiation délivrée à l'échantillon est importante, on doit considérer les effets de collisions multiples.

3.2.5 Précision de mesure

Si la zone d'émission du rayonnement alpha est significativement plus petite que la zone de la puce, l'absorption du rayonnement alpha par l'atmosphère et la couche de protection de la puce et les effets d'angle d'incidence contribueront à donner des valeurs erronées. Par conséquent, pour réaliser l'essai de manière précise, la zone d'émission du rayonnement alpha ne doit pas être significativement plus petite que la zone de la puce et elle doit être de préférence plus grande. Dans la Figure 1, la courbe s'applique à un dispositif de l'ordre de 10 nm de diamètre. Pour d'autres dispositifs de diamètre différent, il convient que la dimension "d" soit réduite ou augmentée en rapport avec ce diamètre (pour plus d'informations, voir la Bibliographie).

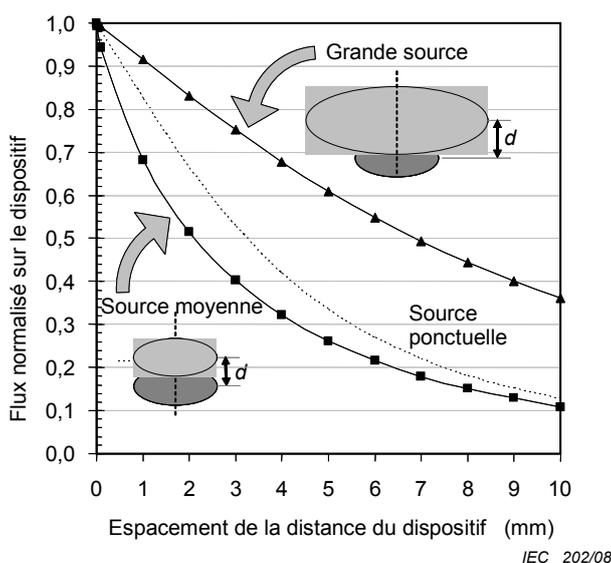


Figure 1 – Effet de la distance du dispositif à la source sur le flux normalisé sur le dispositif

3.3 Echantillon d'essai

Tout type de circuit intégré avec mémoire peut être essayé. Les paramètres du dispositif (capacité de la cellule de mémoire dans la DRAM etc.) qui peuvent affecter le taux d'erreurs logicielles doivent être bien compris.

4 Mode opératoire

4.1 Essai accéléré d'erreur logicielle à rayonnement alpha

4.1.1 Préparation de la surface

La surface de l'échantillon doit être convenablement préparée avant irradiation. Pour l'essai accéléré aux particules alpha, la surface de l'échantillon doit être exposée en utilisant une méthode qui n'affecte pas les caractéristiques électriques. Lorsque, toutefois, l'objet de l'essai est d'évaluer l'effet du revêtement de puce, il convient de ne pas enlever le revêtement de la puce.

NOTE Par exemple, la surface supérieure d'un boîtier peut être coupée par une petite lame, ou la résine moulée à la surface supérieure d'un circuit peut être dissoute chimiquement, etc. Sauf spécification contraire, il convient que les revêtements de la puce soient retirés parce que la radiation alpha provenant d'une source ^{241}Am (énergie de pointe de l'ordre de 5 MeV) est absorbée par ce revêtement. Le rayonnement alpha d'une énergie supérieure peut apparaître dans les matériaux de boîtier ou comme radioactivité naturelle.

4.1.2 Tension d'alimentation

On doit la régler sur la tension minimale des conditions de fonctionnement recommandées (lorsque c'est exigé, la dépendance par rapport à la tension d'alimentation doit être mesurée). Pour l'essai de déclenchement intempestif, la tension d'alimentation doit être réglée au minimum et au maximum des conditions de fonctionnement recommandées.

4.1.3 Température ambiante

La température ambiante doit être celle de la pièce et, pour le déclenchement intempestif, la température de fonctionnement maximale recommandée.

4.1.4 Temps de cycle du cœur

Le temps de cycle du cœur dépend des échantillons en essai et doit être aligné sur les recommandations du fabricant (si cela est exigé, la dépendance par rapport au temps de cycle du cœur doit être mesurée).

4.1.5 Structure des données

Elle est dépendante des échantillons en essai. La structure des données doit être consignée (un damier, une configuration lecture/écriture tout "0/1", etc.).

4.1.6 Distance entre la puce et la source de rayonnement

La valeur réelle utilisée doit être notée dans le rapport.

NOTE Il convient que la distance entre la puce et la source de rayonnement soit au plus de 1 mm. Une distance excessive entre la source et la puce causera une atténuation du flux alpha, sauf si l'essai est réalisé dans le vide. Il convient que les opérateurs prennent soin d'éviter de toucher la puce ou les composants soudés avec la source de rayonnement.

4.1.7 Nombre d'échantillons de mesure

Des échantillons multiples doivent être mesurés pour prendre en compte la variation de mesure.

4.2 Essai d'erreur logicielle en temps réel

4.2.1 Généralités

Dans cette méthode, les échantillons sont montés sur des cartes mémoire d'une machine système qui a une fonction analogue à celle de l'équipement d'essai. Les erreurs logicielles sont générées dans des conditions analogues à celles de l'environnement en utilisation réelle sans utilisation d'une source alpha extérieure pour fournir l'accélération du taux d'erreurs. Le rayonnement est celui qui se produit naturellement, constitué de particules alpha, de neutrons et autres particules énergétiques.

4.2.2 Tension d'alimentation

La tension d'alimentation doit être réglée sur la tension nominale de manière à ce que le SER observé soit lié aux conditions en utilisation, sauf spécification contraire.

4.2.3 Température ambiante

La température ambiante doit être comprise entre la température du local et la température maximale de la condition de fonctionnement recommandée. La température ambiante doit être enregistrée.

4.2.4 Fréquence de fonctionnement

La fréquence de fonctionnement dépend des échantillons utilisés mais on recommande de réaliser l'évaluation à la fréquence de cœur de fonctionnement prévue et cela doit être consigné. Aucune accélération de fréquence ou de tension n'est autorisée.

4.2.5 Structure des données

Elle est dépendante des échantillons en essai. La structure des données doit être consignée. Selon les spécifications détaillées, tout ou partie des structures de données suivantes doivent être utilisées pendant la même durée: tout à 1, damier, damier complémentaire et tout à 0. Dans les cas où des structures dynamiques sont utilisées pour les mécanismes qui ne peuvent pas être identifiés avec des structures statiques, le cycle de service doit être consigné. Dans le cadre d'un cas spécial, dans l'essai de conservation des données pour SRAM etc., une structure de données de tout "1" est écrite initialement dans les échantillons d'essai. Les échantillons d'essai sont laissés dans le mode de batterie de secours et l'évaluation par lecture est réalisée à intervalles prédéterminés.

4.2.6 Durée d'essai

La durée d'essai doit être basée sur les exigences SER du système et doit être détaillée dans la spécification appropriée.

NOTE A test time of 1 000 h may be used.

4.2.7 Nombre d'échantillons d'essai

La taille d'échantillon doit être liée aux exigences SER du système.

NOTE Une taille d'échantillon de 1 000 pièces d'essai peut être utilisée.

4.2.8 Essai des neutrons de l'environnement

Le flux de neutrons dépend de l'emplacement. Pour cette raison, l'évaluation doit prendre en compte l'environnement comme suit:

Altitude

Région/Latitude

Intérieur/Extérieur

L'altitude et l'emplacement de l'essai doivent être consignés.

Lorsque l'évaluation a lieu à l'intérieur d'un bâtiment, la structure, le sol, l'épaisseur et les matériaux du bâtiment doivent être consignés.

4.3 Essai accéléré d'erreur logicielle à rayonnement neutronique

Lorsque cet essai est exigé, trois méthodes d'essai accéléré d'erreur logicielle avec un flux de neutrons sont possibles. Il s'agit de l'essai d'erreur logicielle thermique induite par les neutrons, de l'essai de mono-(quasi) énergie et de l'essai de neutron blanc, tous comme réactions de spallation nucléaire. Les neutrons sont générés par un réacteur ou un accélérateur nucléaire. Une ou plusieurs méthodes doivent être sélectionnées pour satisfaire l'exigence. Pour l'essai accéléré d'erreur logicielle due au rayonnement neutronique, les installations dans lesquelles l'essai peut être réalisé sont limitées. Voir la bibliographie pour les détails des méthodes et les informations des installations.

NOTE L'essai de « neutron blanc » est un essai de radiation utilisant un simulateur de neutron qui a rapport flux sur spectre énergétique similaire à celui de la radiation naturelle venant de l'atmosphère, du niveau de la mer jusqu'à une altitude de 18 290 m (60 000 pieds).

5 Evaluation

5.1 Essai accéléré d'erreur logicielle à rayonnement alpha

Le taux d'erreur logicielle (SER) est calculé par l'équation suivante.

$$SER = \frac{SER_{acc}}{F_{acc}} \times F_P \quad (1)$$

où

SER est le taux d'erreurs logicielles (FIT);

SER_{acc} est le taux d'erreurs logicielles dans l'essai accéléré d'erreur logicielle (FIT);

F_{acc} est le flux de rayonnement alpha dans l'essai accéléré d'erreur logicielle;

F_P est le flux de rayonnement alpha provenant du boîtier.

NOTE 1 En outre, l'unité 'FIT/Mbit' est recommandée pour une expression normalisée pour les comparaisons relatives.

NOTE 2 Dans cette méthode, la conversion est faite avec $1Bq = 1a/s$. Mais il convient de considérer cette conversion avec précaution, car le taux d'erreur dépend du spectre d'énergie. De ce fait, il convient d'utiliser cette méthode d'essai pour des comparaisons relatives entre dispositifs et peut servir à des estimations.

5.2 Essai d'erreur logicielle en temps réel

Cet essai est habituellement terminé lorsque des données suffisantes ont été accumulées pour démontrer la conformité à la norme exigée (par exemple, 1 000 FIT ou moins) ou à une exigence supérieure. Cela est dû au fait qu'il ne s'agit pas d'un essai accéléré et que cela exige un nombre important d'échantillons et une durée prolongée d'essai pour évaluer le taux d'erreurs logicielles.

$$SER = \frac{X}{N_s t_T} 10^9 [FIT] \tag{2}$$

où

X est donné au tableau 1 ;

N_s est le nombre d'échantillons ;

t_T est la durée d'essai.

Tableau 1 – X pour le calcul du FIT

Nombre de défaillances	Niveau de confiance	
	60 %	90 %
	X	X
0	0,916	2,303
1	2,022	3,890
2	3,105	5,322
3	4,175	6,681
4	5,236	7,993
5	6,292	9,274
6	7,342	10,53
7	8,390	11,77
8	9,434	12,99
9	10,47	14,20
10	11,51	15,40

NOTE Plus généralement, le taux de défaillance en FIT est donné, à l'aide des statistiques chi-deux (χ²), comme suit:

$$SER = \frac{10^9 \chi^2(v = 2n + 2)}{2 N_s t_T} \tag{3}$$

où v est le nombre de degrés de liberté définissant la limite de confiance χ².

6 Résumé

Les informations suivantes doivent être spécifiées dans le document d'approvisionnement applicable.

- a) Circonstance d'essai (matériau de blindage, orientation angulaire de carte et emplacement de la carte)
- b) Condition d'essai (tension d'alimentation, tension de cœur, tension E/S, durée de cycle, température)
- c) Mode fonctionnement (mode dynamique, mode de sauvegarde de batterie, mode de secours)
- d) Structure des données (tous 0, tous 1, damier, etc.)
- e) Séquence d'essai (écriture-lecture-écriture-(répétition)..., écriture-lecture-écriture-(répétition))
- f) Statut de redondance (ECC (code de correction d'erreurs), sans ECC, mode de rafraîchissement). Toutes les erreurs doivent être consignées même si elles peuvent être traitées par correction d'erreurs (ECC)
- g) Information d'erreur (SEU,MCU, MBU, SEFI, adresse de défaillance, E/S, date et heure de défaillance, emplacement de carte, durée cumulative, etc.)
- h) Tout événement qui n'est pas clairement compris mais qui fait apparaître un dysfonctionnement (ce type d'événement peut inclure le déclenchement intempestif SEL qui nécessitera une coupure d'alimentation pour disparaître, ou il se peut que le dispositif soit détruit).
- i) Tout résultat qui ne correspond pas aux attentes
- j) Description de l'emplacement d'essai
- k) Les résultats doivent être normalisés au niveau de la mer en tenant compte des facteurs géomagnétiques (normalisation des résultats au niveau de la mer)
- l) Conditions environnementales telles que la température, etc.
- m) Espacement utilisé, etc.

Bibliographie

- [1] Thermal Neutron Spectra – DIRK J. D., NELSON M. E., ZIEGLER J. F., THOMPSON A. and ZABEL T.H., 'Terrestrial Thermal Neutrons', /IEEE Trans. Nucl. Sci./, vol. 50, no. 6, pp. 2060-2064, Dec. 2003.
 - [2] High Energy Neutron Spectra – ZIEGLER J. F., 'Terrestrial cosmic ray intensities', IBM J. Res. Develop, vol. 42, no.1, pp. 117-139, Jan. 1998.
 - [3] Broad energy range (thermal up to high energy) – GORDON M. S., GOLDHAGEN P., RODBELL K. P., ZABEL T. H., TANG H. H. K., CLEM J. M., and BAILEY P., 'Measurement of the Flux and Energy Spectrum of Cosmic-Ray Induced Neutrons on the Ground', IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 51, no. 6, pp. 3427-3434, Dec. 2004.
 - [4] JEITA EDR4705 'SER Testing Guidelines'
 - [5] JESD89 'Measurement and Reporting of Alpha Particle and Terrestrial Cosmic Ray-Induced Soft Errors in Semiconductor Devices'
 - [6] JESD89-1 'System Soft Error Rate (SSER) Test Method'
 - [7] JESD89-2 'Test Method For Alpha Source Accelerated Soft Error Rate'
 - [8] JESD89-3 'Test Method for Beam Accelerated Soft Error Rate'
 - [9] TSOUFANIDIS N., "Measurement and Detection of Radiation", second edition, Taylor & Francis 1995, pp. 273
-

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
P.O. Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch