

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ**

К.В. Зольников<sup>1</sup>, К.И. Таперо<sup>2</sup>, В.В. Суханов<sup>3</sup>, Д.Н. Чернов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>АО «Научно-исследовательский институт электронной техники»

<sup>2</sup>АО «Научно-исследовательский институт приборов» (г. Лыткарино)

<sup>3</sup>ФГКВ ОУ ВО «Воронежский институт правительственной связи (филиал)  
Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации»

В статье рассматриваются результаты испытаний ЭРИ на воздействие тяжелых заряженных частиц. Представлены данные, возникшие в процессе облучения одиночных радиационных эффектов. В процессе облучений образцов измерение интегрального потока (флюенса) ионов проводилось с помощью трековых детекторов. Для проведения испытаний применялась технологическая оснастка, реализующая режимы функционирования испытуемой аналогово-цифрового преобразователя и обеспечивающая измерение параметров критериев годности. При облучениях образцов ионами возникновение тиристорного эффекта, катастрофического отказа и эффектов функционального прерывания не зарегистрировано.

Ключевые слова: тиристорный эффект, события сбоев переключения, события одиночных функциональных сбоев, тяжелые заряженные частицы, испытания.

## **RESULTS OF TESTS OF CONTROL SYSTEMS ON EXPOSURE TO HEAVY CHARGED PARTICLES**

K.V. Zolnikov<sup>1</sup>, K.I. Tapero<sup>2</sup>, V.V. Sukhanov<sup>3</sup>, D.N. Chernov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Scientific research institute electronic engineering

<sup>2</sup>Research Institute of Scientific Instruments

<sup>3</sup>Voronezh Institute of Government Communications (branch) of the Academy  
of the Federal Security Service of the Russian Federation

The article discusses the results of the ERI tests for the effects of heavy charged particles. The data that arose during the irradiation of single radiation effects are presented. During the irradiation of the samples, the measurement of the integral flux (fluence) of ions was carried out using track detectors. To conduct the tests, technological equipment was used that implements the operat-

ing modes of the tested analog-to-digital converter and provides measurement of the parameters-the validity criteria. When irradiating samples with ions, the occurrence of a thyristor effect, catastrophic failure and functional interruption effects were not recorded.

Keywords: thyristor effect, switching failure events, single functional failure events, heavy charged particles, tests.

Объектом испытаний являлись образцы микросхем АЦП с элементами оперативной памяти, функциональное назначение – СБИС типа «система на кристалле» 2...4-канального приемного тракта со встроенным 18-разрядным АЦП и программируемым АЛУ ЦОС. Проблема испытаний микросхем описана в [1-12].

Целью испытаний являлось определение основных информативных зависимостей параметров-критериев годности от значений характеристик спецфакторов, исследование зависимости уровней сбоеустойчивости изделий к воздействию спецфакторов от режимов (электрических, функциональных) и условий работы при воздействии ионов с ЛПЭ.

Задачи испытаний – получение экспериментальных данных для расчета сечений эффектов одиночных событий в образцах ЭРИ 5534ТХ014 в различных режимах.

В процессе облучения контролировалось возникновение следующих одиночных радиационных эффектов (ОРЭ):

- отказ необратимого (катастрофического) типа (КО);
- тиристорный эффект (SEL);
- события инвертирования отдельных ячеек памяти (SEU);
- события сбоев переключения (SET);
- события одиночных функциональных сбоев (SEFI).

Испытания образцов проведены на испытательном стенде на базе изо-хронного циклотрона.

Испытания сложных микросхем проведены в следующем составе и последовательности:

- подготовка образцов ЭРИ для проведения облучений (удаление крышки корпуса над полупроводниковым кристаллом) (выполнено Заказчиком);
- комплексирование рабочего места испытаний, включающего в себя контрольно-измерительное оборудование, технологическую оснастку и тестовое программное обеспечение;

- проверка работоспособности образцов аналогово-цифрового преобразователя после декапсуляции (выполнено Заказчиком);
- формирование выборки из работоспособных образцов для испытаний;
- проведение облучений образцов ЭРИ ионами с характеристиками, соответствующими нормам испытаний, в активном электрическом режиме и контролем в процессе воздействия событий одиночных эффектов;
- проверка сохранения работоспособности образцов ЭРИ после окончания облучений;
- обработка результатов облучений и оформление протокола испытаний.

Нормы испытаний задавались для интегрального потока (флюенса) и энергии ионов (ТЗЧ).

При облучении каждого образца ЭРИ нормы для интегрального потока (флюенса) ионов определялись из условия, что облучение в заданном электрическом режиме проводилось:

- либо до регистрации не менее 30 событий возникновения одиночного тиристорного эффекта (SEL);
- либо до регистрации возникновения катастрофического отказа (КО);
- либо до набора требуемого потока (флюенса) ионов, равного  $\Phi_{ТРЕБ} = 107 \text{ част./см}^2$ , независимо от количества зарегистрированных эффектов.

Норма испытаний в части потока (флюенса) ионов для циклотрона определяется по формуле:

$$\infty \Phi_{НИ} = (1 - \delta\Phi) \cdot \Phi_{ТРЕБ}, \quad (1)$$

где  $\Phi_{НИ}$  - норма испытаний в части потока (флюенса) ионов, част./см<sup>2</sup>;

$\delta\Phi$  - относительная погрешность определения потока (флюенса) ионов.

Облучения образцов ЭРИ проводились ионами с характеристиками, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики ионов при проведении испытаний

Тип иона	Линейные потери энергии в кремнии, LET, МэВ·см <sup>2</sup> /мг	Пробег в кремнии, R, мкм
Xe	69,2±1,0	42,5 ± 0,6
Kr	40,6±0,6	34,3 ± 0,5
Ar	15,8±0,2	35,6 ± 0,5
Ne	6,4±0,1	41,1 ± 0,6

Примечание – Значения ЛПЭ (Si) и R (Si) рассчитаны в программе SRIM-2013

Облучения образцов аналогово-цифрового преобразователя проводились в вакуумной камере мишени вывода пучка ионов испытательного стенда в условиях вакуума с остаточным давлением не более  $10^{-4}$  мм.рт.ст.

Облучения образцов аналогово-цифрового преобразователя проводились при нормальном падении ионов (угол  $0^\circ$  между осью пучка и нормалью к поверхности кристалла) на открытый полупроводниковый кристалл.

Плотность потока частиц устанавливалась не более  $10^5$  част./( $\text{см}^2 \cdot \text{с}$ ).

В каждом сеансе облучался один образец.

Для проведения облучений образцы аналогово-цифрового преобразователя размещались на плате адаптере, которая устанавливалась в вакуумной камере стенда. Плата адаптер обеспечивала коммутацию выводов аналогово-цифрового преобразователя с контрольно-измерительным оборудованием и управление режимами работы.

Структурная схема рабочего места, использованного при проведении испытаний ЭРИ, приведена на рисунке 1.

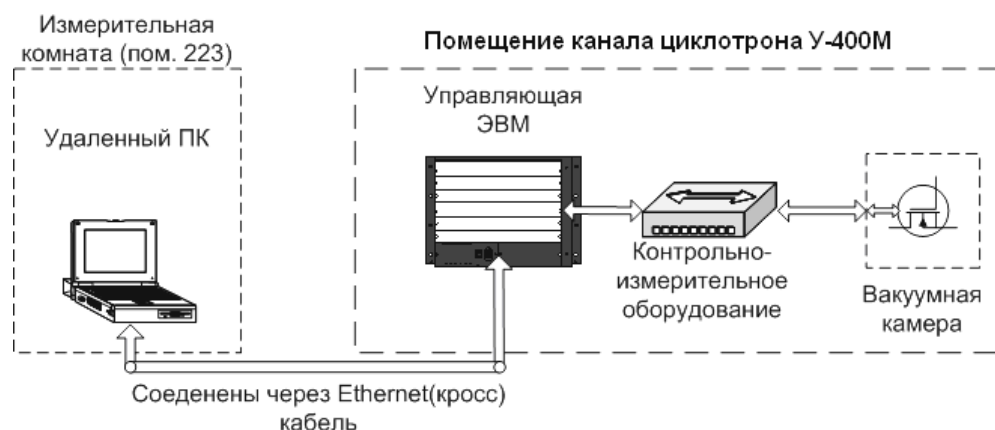


Рисунок 1 – Структурная схема рабочего места при испытаниях ЭРИ

Во время облучения выполнялся функциональный контроль образца аналогово-цифрового преобразователя с регистрацией событий одиночных эффектов того или иного типа и контроль токов потребления. Режимы облучения указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Режимы при проведении испытаний

Номер режима	Описание режима
1	$t=+25 \pm 10^\circ\text{C}$ , UCCD, UCCA, UCCDR номинальное
2	$t=+25 \pm 10^\circ\text{C}$ , UCCD, UCCA, UCCDR повышенное
3	$t=+25 \pm 10^\circ\text{C}$ , UCCD, UCCA, UCCDR пониженное

В процессе облучений образцов измерение интегрального потока (флюенса) ионов проводилось с помощью трековых детекторов в соответствии с «Методикой измерений флюенса тяжелых заряженных частиц с помощью трековых мембран на основе лавсановой пленки», а также пятью пропорциональными счетчиками. Данные, полученные с пропорциональных счетчиков, были использованы только для относительной оперативной оценки текущих значений потока и плотности потока частиц непосредственно в процессе облучения.

Энергия ионов была измерена времяпролетным методом в соответствии с «Методикой измерений кинетической энергии тяжелых заряженных частиц по времени пролета».

Для проведения облучений образцов была разработана и изготовлена технологическая оснастка, реализующая режимы функционирования испытываемой аналогово-цифрового преобразователя и обеспечивающая измерение параметров-критериев годности.

Для проведения испытаний образцов аналогово-цифрового преобразователя использовалось рабочее место на основе магистрально модульных приборов, работающих в интерфейсе РХІ.

Управление контрольно-измерительным оборудованием для контроля параметров, результатов ФК образцов, одиночных радиационных эффектов и катастрофического отказа выполнялось с помощью специального программного обеспечения.

Использованные средства измерения были утвержденного типа и поверены в соответствии с «Порядком проведения поверки средств измерений, требованиям к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».

Испытательное оборудование было аттестовано в соответствии с ГОСТ.

Для проведения облучений были удалены крышки корпусов образцов ЭРИ над полупроводниковым кристаллом (декапсуляция).

Было декапсулировано три образца аналогово-цифрового преобразователя.

Выборка для испытаний сформирована из трех декапсулированных работоспособных образцов аналогово-цифрового преобразователя с номерами 1 – 3.

При испытаниях ЭРИ было проведено 24 сеанса облучений.

При облучениях образцов ЭРИ ионами возникновение тиристорного эффекта (SEL), катастрофического отказа и эффектов функционального прерывания не зарегистрировано.

## Список литературы

1. Выбор значений параметров, определяющих кинетику накопления заряда в диэлектрике при радиационном воздействии / В. К. Зольников, В. П. Крюков, В. Н. Ачкасов, В. А. Складар // Моделирование систем и процессов. – 2015. – Т. 8. № 3. – С. 24-26.
2. Расчет изменения схемотехнических параметров при воздействии низкоинтенсивного излучения факторов космического пространства / К. В. Зольников, В. А. Складар, В. П. Крюков, А. С. Грошев, К. А. Чубур // Моделирование систем и процессов. – 2015. – Т. 8. № 3. – С. 27 - 31.
3. Схемотехнический базис и проверка микросхем на работоспособность / В.К. Зольников, С.А. Евдокимова, А.В. Фомичев, В.Н. Чикин, А.В. Ачкасов, В.Ф. Зинченко // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 4. – С. 25-30.
4. Ягодкин, А.С. Современные САПР для электронной компонентной базы космического назначения / А.С. Ягодкин // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 4. – С. 92-97.
5. Условия эксплуатации нового поколения микросхем специального назначения / В.К. Зольников, В.П. Крюков, А.Ю. Кулай, М.В. Конарев, И.И. Струков, М.В. Солодилов // Моделирование систем и процессов. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 23-26.
6. Результаты оценки надежности микросхемы 1921ВК035 / В.К. Зольников, С.А. Евдокимова, Е.В. Грошева, А.И. Яньков // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 4. – С. 42-46.
7. Анализ качества проектирования блоков ОЗУ в составе микропроцессорных систем с обеспечением минимальной сбоеустойчивости / В.К. Зольников, Ю.А. Чевычелов, В.В. Лавлинский, А.В. Ачкасов, А.В. Толкачев, О.В. Оксюта // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 4. – С. 47-55.
8. Анализ проектирования блоков RISC-процессора с учетом сбоеустойчивости / В.К. Зольников, А.С. Ягодкин, В.И. Анциферова, С.А. Евдокимова, Т.В. Скворцова, А.И. Яньков // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 4. – С. 56-65.
9. Зольников, В.К. Моделирование и анализ производительности алгоритмов балансировки нагрузки облачных вычислений / В.К. Зольников, О.В. Оксюта, Н.Ф. Даюб // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 32-39.

10. Методы контроля надежности при разработке микросхем / К.В. Зольников, С.А. Евдокимова, Т.В. Скворцова, А.Е. Гриднев // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 39-45.

11. Определение мероприятий по программе обеспечения качества работ проектирования и серийного производства микросхем и оценки их эффективности на примере СБИС 1867ВН016 / К.В. Зольников, А.С. Ягодкин, С.А. Евдокимова, Т.В. Скворцова // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 46-53.

12. Разработка проектной среды и оценка технологичности производства микросхемы с учетом стойкости к специальным факторам на примере СБИС 1867Ц6Ф / В.А. Скляр, В.А. Смерек, К.В. Зольников, Д.Н. Чернов, А.С. Ягодкин // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 77-82.