

ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ СЛОЖНОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

А. В. Тетеревков, А. Н. Панченко, В. А. Пикарь

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В процессе подготовки к исследованиям радиационной стойкости сложнофункциональных микросхем испытателя возникает необходимость в выборе или создании (если нет готовых вариантов) измерительной системы, обеспечивающей задание режима работы и контроль параметров критериев годности исследуемого образца микросхемы. Применение готовых тестовых решений, используемых производителем микросхем при производстве, чаще всего невозможно. Поэтому, в большинстве случаев, испытателям приходится самостоятельно разрабатывать и изготавливать системы для тестирования микросхем. Разработка измерительной оснастки осложняется в тех случаях, когда исследуемый образец обладает большим количеством (несколько десятков) информационных выводов и тестовые векторы для функционального контроля имеют большую (несколько тысяч тактов) длину. Для таких случаев целесообразно разработать унифицированную программно-аппаратную измерительную систему (ПАИС), которая в автоматическом режиме будет проводить тестирование образцов во время проведения радиационного эксперимента с возможностью простой перенастройки на различные типоминималы исследуемых микросхем путем загрузки соответствующих тестовых векторов.

Исследование стойкости при статическом радиационном воздействии

Изначально, ПАИС разрабатывалась для исследования радиационной стойкости при статическом

радиационном воздействии. По результатам [1] было принято решение построить систему на базе модульного измерительного оборудования компании National Instruments. ПАИС (рис. 1) представляет собой шасси, объединяющее между собой измерительные модули, управляющий контроллер и измерительные модули, обладающие необходимыми функциями.

Критериальными параметрами для оценки работоспособности большинства исследуемых микросхем являются: динамический ток потребления, выходное напряжение логического «нуля» и «единицы» и функциональный контроль на всем протяжении эксперимента.

Для обеспечения ПАИС требуемыми функциями использовались следующие модули формата PXI:

- NI PXI-4110 – трехканальный источник-измеритель, который питает исследуемый образец и с высокой частотой (3 кГц) измеряет ток потребления;
- NI PXIe-6556 – 24-х канальный генератор – анализатор цифровых сигналов, который воспроизводит тестовые последовательности, регистрирует ответные сигналы и сравнивает с эталоном. Также, модуль NI PXIe-6556 реализует функцию измерения логических уровней «нуля» и «единицы» в заданные пользователем моменты времени.

В случаях, когда количество необходимых цифровых каналов превышает 24 и приходится использовать более одного генератора NIPXIe-6556, синхронизацию измерительных модулей между собой обеспечивает шасси NIPXIe-1085, которое обладает 100 МГц шиной синхронизации и возможностью установки до 8-ми генераторов-анализаторов одновременно.



Рис. 1. Внешний вид (вид спереди) ПАИС на базе оборудования National Instruments

Выбор оборудования National Instruments также был продиктован широкими возможностями автоматизации измерений с помощью написания управляющих программ в среде Lab View [2, 3]. Программное обеспечение (ПО) для разрабатываемой ПАИС должно обладать следующими функциями:

- загрузка тестовых векторов в память генератора-анализатора;
- настройка, запуск и управление процессом тестирования;
- регистрация отказов, подсчет количества ошибок и вывод в виде графика;
- считывание и отображение данных об уровнях «нуля» и «единицы» и тока потребления;
- парирование падения напряжения питания на линиях связи;
- сохранение полученных в процессе эксперимента данных в файл.

Большинство необходимых функций ПО (рис. 2) реализованы стандартными средствами среды программирования Lab View.

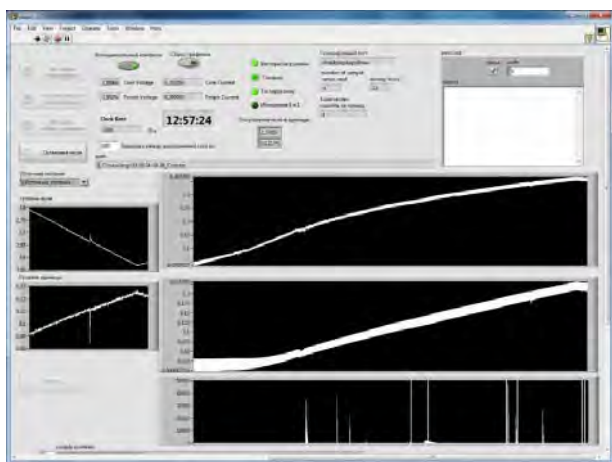


Рис. 2. Внешний вид главного окна управляющей программы

Загрузка тестовых векторов в память генератора NIPXIe-6556 возможна в различных форматах данных: строка символов, символьный массив, числовой тип, Hierarchical Waveform Storage (HWS), Direct Memory Access (DMA). Проанализировав все возможные варианты записи данных в генератор, был выбран формат HWS. Основное преимущество формата Hierarchical Waveform Storage это простота его использования и возможность прямой записи тестовых последовательностей в генератор, минуя оперативную память контроллера.

Для парирования падения напряжения на линиях связи было принято решение установить модуль мультиметра (NIPXI-4072), который будет измерять напряжение непосредственно на объекте в процессе эксперимента. Управляющее ПО, по результатам этих измерений, изменяет выходное напряжение источника питания NIPXI-4110 поддерживая, таким образом, постоянным напряжение на объекте вне зависимости от его тока потребления.

С помощью разработанной ПАИС произведены исследования радиационной стойкости нескольких образцов базового матричного кристалла (БМК).

Образец БМК содержит 240 выводов. Из них 133 цифровых вывода применяются для функционального тестирования, 58 используются для электропитания, остальные 49 выводов не задействованы. Критериальными параметрами для оценки работоспособности исследуемого БМК являются: динамический ток потребления, выходное напряжение логического «нуля» и «единицы». Также, работоспособность БМК оценивалась по результатам проведения функционального контроля. Для этого разработчиками были представлены 25 тестов, каждый из которых содержал более миллиона строк.

Для тестирования данного БМК в ПАИС было установлено 6 модулей генератора-анализатора NIPXIe-6556, которые обеспечили 144 канала цифрового ввода-вывода.

Исходные данные для тестирования БМК, предоставленные разработчиками – тестовые векторы в формате авс. Формат авс представляет собой текстовый файл в кодировке ASCII, содержащий командные символы, определяющие действия теста контроллера. Такие строки называются тестовыми векторами.

Всего заказчиком было предоставлено 25 авс файлов, каждый из которых содержал тестовую последовательность для определенного логического блока БМК. Общая длина тестовых векторов составила 20 310 198 тактов, а объем, занимаемый на жестком диске, 5270,2 Мбайт. Из этого следует, что обработка файлов тестовых последовательностей без применения специализированного ПО затруднена, если совсем не возможна. ПО для обработки тестовых векторов должно обладать следующими возможностями:

- обработка формата авс для записи в память генераторов, разделение векторов на части для загрузки в генераторы;
- переназначение каналов-векторов в зависимости от схемы коммутации и вида теста.

Для этих целей была написана специальная подпрограмма – парсер¹. Разработанная подпрограмма показала свою эффективность в плане использования оперативной памяти (потребление не более до 100 Мб). Обработка файлов блоками и распараллеливание вычислений, средствами LabView, на все доступные ядра процессора значительно повысили скорость выполнения операций и время обработки всех файлов сократилось с 24-х до 2-х часов.

Типовые зависимости критериальных параметров от времени облучения представлены на рис. 3 и рис. 4.

У образца №2 во время эксперимента наблюдалось постепенное возрастание тока потребления и выход за установленные пределы.

¹ Парсер – программа (или подпрограмма) для автоматизации процесса обработки информации по определенному алгоритму.

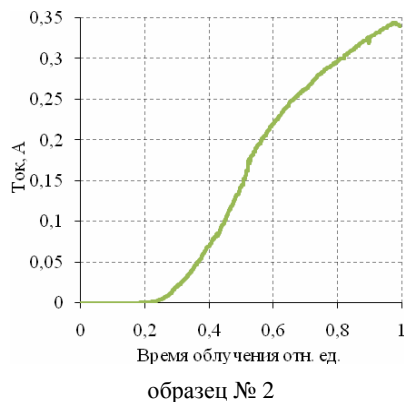
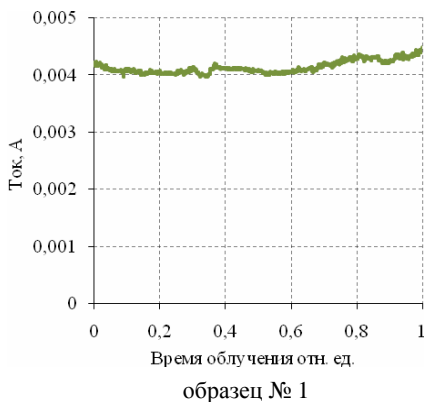


Рис. 3. Зависимость динамического тока потребления БМК от времени облучения

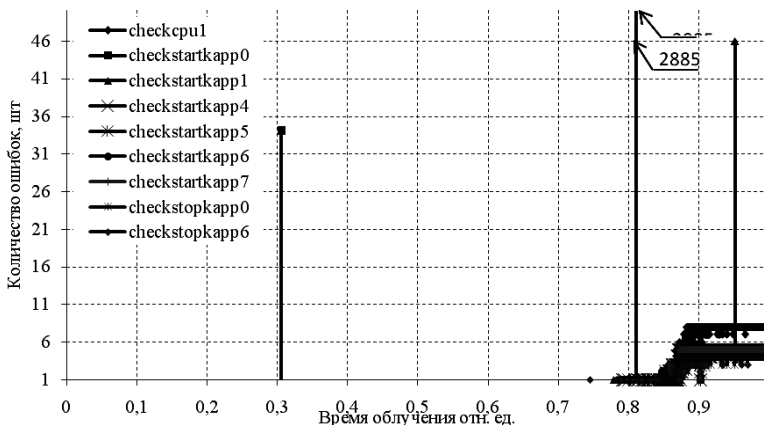


Рис. 4. Зависимость возникновения ошибок во время функционального тестирования БМК образец № 2 от времени облучения (Название графика соответствует тесту, в котором возникла ошибка)

Разработанная ПАИС выполняет следующие функции в автоматизированном режиме: генерация управляющих векторов, считывание ответных сигналов с БМК и сравнение с эталонными; измерение уровней логических «нуля» и «единицы»; измерение динамического тока потребления отдельно для каждого теста; парирование падения напряжения на линиях связи. Разработанная концепция ПАИС позволяет варьировать количество цифровых каналов ввода-вывода в зависимости от поставленной задачи. Также, с помощью технологии PXImc, существует возможность объединять несколько шасси с оборудованием, что дает неограниченные возможности по расширению.

Исследование стойкости при импульсном радиационном воздействии

После отработки ПАИС при статическом радиационном воздействии было принято решение ее модифицировать с целью использования в составе автоматизированного рабочего места (АРМ)[4] на базе малогабаритных импульсных ускорителей.

Особенностью исследования стойкости при импульсном радиационном воздействии является необходимость облучать объект точно в момент его функционирования (есть вероятность облучить

в промежуток между тестами или в момент измерения электрических параметров) и регистрация быстропротекающих процессов. Для выполнения поставленных условий в разработанную ПАИС были внесены следующие модификации:

- синхронизация тестирования выполнена с помощью модуля осциллографа NIPXI-5152, который при регистрации предпускового импульса дает генераторам сигнал о начале тестирования, до этого генераторы находятся в состоянии готовности. Выбор осциллографа NIPXI-5152 обусловлен широкой полосой пропускания(300 МГц), что позволяет производить запуск от коротких импульсов.

- регистрация быстропротекающих процессов реализована связкой модуля мультиплексора NIPXIe-2515 и осциллографа Tectronix 3054B. Модуль NIPXIe-2515 включается в разрыв кабеля между генератором анализатором NIPXIe-6556 и исследуемым объектом и позволяет вывести сигнал с любого канала генератора на разъем типа BNC, к которому подключен осциллограф Tectronix 3054B. На осциллографе регистрируется реакция выходных сигналов на импульсное радиационное воздействие.

С помощью модифицированной ПАИС, входящей в состав АРМ, проведены исследования стойкости БМК при импульсном радиационном воздействии, результаты приведены на рис. 5.



Рис. 5. Внешний вид главного окна управляющей программы во время исследования радиационной стойкости образца БМК при импульсном радиационном воздействии

Проведенные испытания макетных образцов БМК показали возможность использования ПАИС для испытаний сложнофункциональных микросхем типа БМК как при статическом, так и импульсном радиационном воздействии, а также возможность расширения функций ПАИС в зависимости от исследуемого образца и условий, поставленных заказчиком.

Литература

1. Кудрявцев Ю. Г., Копкин А. Ю., Панченко А. Н., Тетеревков А. В. Применение оборудования National Instruments для исследования радиационной стойкости интегральных микросхем. «Молодежь в науке». Сборник докладов одиннадцатой научно –

технической конференции. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2013.

2. Бутырин П. А., Васьковская Т. А., Каратаева В. В. и др. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 – ДМК пресс, 2005. С. 264.

3. Федосова В. П. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW – ДМК Пресс, 2007. С. 456.

4. Панченко А. Н., Полиенко Г. А., Эльяш С. Л., Родигин А. В., Тетеревков А. В. Автоматизированное рабочее место для проведения радиационных испытаний ЭКБ. «Вопросы атомной науки и техники». Серия: «Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру» Вып. 1, 2016. Лыткарино: ФГУП «НИИП»С. 62–65.