

Разработка архитектуры интегрированной системы генерации псевдослучайных тестов цифровых устройств

Т. А. Зинченко, Ю. Е. Зинченко, О. Н. Дяченко
Донецкий национальный технический университет
zinchenko.tatyana@gmail.com

Аннотация

Предлагается архитектура интегрированной системы генерации псевдослучайных тестов цифровых устройств. Приводятся многочисленные функции системы, описывается структура программного обеспечения и интерфейс системы. Анализируются ключевые особенности разрабатываемой системы, выгодно отличающие ее от других систем построения тестов, такие как адаптивное псевдослучайное тестирование, построение в процессе тестирования так называемого альтернативного графа объекта диагностики, параллельное тестирование в локальной компьютерной сети как одного, так и группы объектов диагностики с построением в динамике альтернативных графов объектов диагностики. Эти особенности не имеют аналогов среди систем построения тестов.

Введение

Несмотря на то, что задача построения (синтеза) тестов цифровых устройств (ЦУ) радиоэлектронной (РЭА) и электронно-вычислительной (ЭВА) аппаратуры является классической и появилась на рынке диагностики одной из первых, можно сказать, что она до сих пор успешно не решена. Существующие на мировом рынке и СНГ системы автоматического синтеза тестов покрывают всего лишь 50-60% неисправностей, что является далеко не достаточно. При этом компании, занимающиеся построением диагностического обеспечения, вынуждены даже строить тесты вручную, что сопряжено с высочайшей трудоемкостью и высокой квалификацией инженеров-диагностов.

Поэтому разработка эффективных систем построения тестов по-прежнему является актуальной задачей.

Существенный вклад в развитие этого направления внесли отраслевые и академические институты, высшие учебные заведения и научно-производственные организации: ИПУ АН России, ДВНЦ АН России, ЛЭТИ (Ленинград), СГУ (Саратов), ЦКБ "Алмаз-Антей" (Москва), ИПМЭ АН Украины, ИПММ АН Украины, ИК АН Украины, НТУУ "КПИ" (Киев), ХНУРЭ (Харьков), ДонНТУ (Донецк) и др. Наиболее важные теоретические и экспериментальные исследования и разработки были выполнены научными школами под руководством Abramovici M., David R., Zorian Y., Agrawal V., Abraham J., Roth J., Schnider P., Corno F., Goel P., Fujivara H., McCluskey E., Пархоменко П., Гуляева В., Ярмолика, Сперанского Д., Шаршунова С., Убара Р., Скобцова Ю., Хаханова В. и др. [1-4]. Активно исследования и разработки в области диагностики ведутся на

кафедре компьютерной инженерии в ДонНТУ на базе FPGA-лаборатории [5-9].

Данная работа посвящена разработке архитектуры так называемой интегрированной системы автоматического построения тестов цифровых типовых элементов замены (ТЭЗ) средней степени интеграции на основе псевдослучайного тестирования (ИСПСТ) [10-14]. В качестве объекта диагностики (ОД) выступают цифровые устройства, которые представляется принципиальной схемой в EDIF-формате и PSpice-моделями компонент ОД. В качестве моделей неисправностей при синтезе и анализе тестов используются константные неисправности (КН).

Функции ИСПСТ

Предполагается, что разрабатываемая система должна выполнять следующие основные функции.

- генерация линейных, и нелинейных псевдослучайных тестов, ручное задание тестов;
- анализ полноты теста, измерение активности внешних и внутренних КТ ОД на основе логического моделирования;
- анализ стабильности и критических состязаний теста на основе PSpice-моделирования с реальными задержками ИМС;
- устранение «холостых» векторов и построение псевдослучайного теста, соизмеримого по длине с детерминированным тестом;
- автоматическое построение баз данных тестов и тестовых реакций для внешних и внутренних КТ ОД на основе PSpice-моделирования ТЭЗ на реальных задержках ИМС;

- отображение результатов синтеза и анализа тестов на принципиальной схеме ОД в графическом редакторе;

- поиск неисправностей ТЭЗ с точностью до съемной компоненты на основе сочетания алгоритмов обратного прохода и «галопирования».

Гибкая форма задания ОД и ИМС, поддержка EDIF- и PSpice-форматов, широкая номенклатура ИМС с возможностью расширения библиотек компонент.

Для построения тестов используются сочетание традиционных линейных и нелинейных псевдослучайных тестов, заложена также возможность «ручного» задания теста. Реализованы как традиционный та и авторский подходы анализа стабильности тестов. Возможен синтез тестов как одного, так и группы ТЭЗ.

Система включает в свой состав следующие основные программные компоненты:

- LPRTG – генератор «линейных» псевдослучайных тестов – обеспечивает генерацию тестовых последовательностей с вероятностью следования логических сигналов, близкую к 0,5.

- NPRTG – генератор «нелинейных» псевдослучайных тестов – обеспечивает генерацию тестовых последовательностей с произвольной вероятностью следования логических сигналов.

- StatAnalyzer – статистический анализатор ОД – выполняет анализ статистических (вероятностных) характеристик ОД путем моделирования его логической модели на псевдослучайных тестах с целью поиска распределения входных вероятностей ОД, близких к оптимальным.

- CritState – анализатор критических состояний ОД – отслеживает путем моделирования логической модели ОД критические состояния, которые могут возникнуть в ОД в результате тестовых воздействий.

- InitGen – генератор установочной последовательности ОД – предназначен для получения установочной последовательности ОД, которая должна предшествовать процессу собственно тестирования ОД.

- FaultSim – симулятор неисправностей ОД – выполняет моделирование всевозможных неисправностей ОД на заданном тесте и определяет его полноту.

- TBG – тест-бенч генератор – управляет процессом построения тестов и осуществляет взаимодействие с пользователем.

Программное обеспечение подсистемы автоматизированной генерации тестов и моделирования неисправностей ИСПСТ обеспечивает:

- сопряжение подсистемы генерации тестов с САПР ORCAD (конвертация файлов электронных моделей электрических принципиальных схем ТЭЗов формата ORCAD в файлы САПР-Т, конвертация файлов тестов формата подсистемы ИСПСТ в файлы тестов формата ORCAD);

- автоматическую или полуавтоматическую (в интерактивном режиме) генерацию установочной последовательности ТЭЗа;

- автоматическую генерацию псевдослучайных тестов с возможностью задания произвольной вероятности следования логических сигналов теста;

- возможность учета критических состояний схемы и исключения «неблагоприятных» тестовых последовательностей, приводящих к этим состояниям;

- анализ статистических характеристик ТЭЗа и возможность управления вероятностью следования логических сигналов псевдослучайного теста в интерактивном режиме;

- программный интерфейс пользователя (GUI) для работы оператора с компонентами подсистемы ПТО;

- моделирование константных неисправностей ТЭЗа и оценку полноты теста (число обнаруживаемых неисправностей, соотнесенное к числу всевозможных неисправностей ТЭЗа);

- программную оболочку для организации работы подсистемы ПТО (Тест-бенч генератор (TBG) и проч.).

Структура программного обеспечения разрабатываемой ИСПСТ, которая реализует описанные функции, приведена на рис. 1. На рис.2 приведен ее интерфейс

Ключевые свойства ИСПСТ

В качестве основных (ключевых) свойств разрабатываемой системы должно быть реализовано следующее.

- адаптивное псевдослучайное тестирование;

- параллельное тестирование одного или группы ОД в локальной компьютерной сети;

- синтез тестов, моделирование КН одного или группы ТЭЗ;

- анализ активности теста на внешних входах, выходах и внутренних КТ ОД;

- анализ стабильности и критических состояний ОД на тесте;

- построение базы данных тестов и тестовых реакций ОД на основе моделирования с реальными задержками ИМС;

- сбор статистики о ходе тестирования..

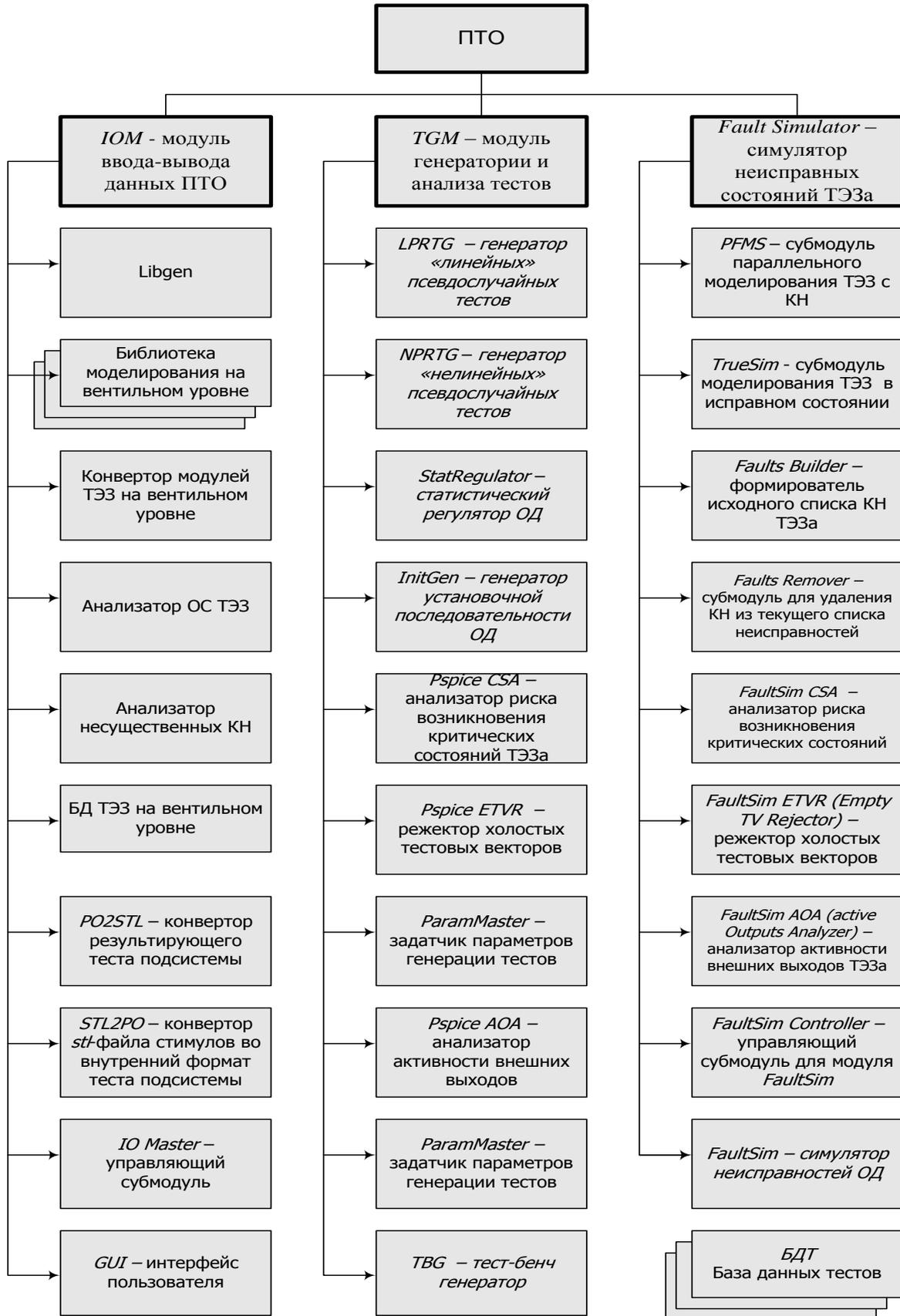


Рисунок 1 – Структура программного обеспечения ИСПСТ

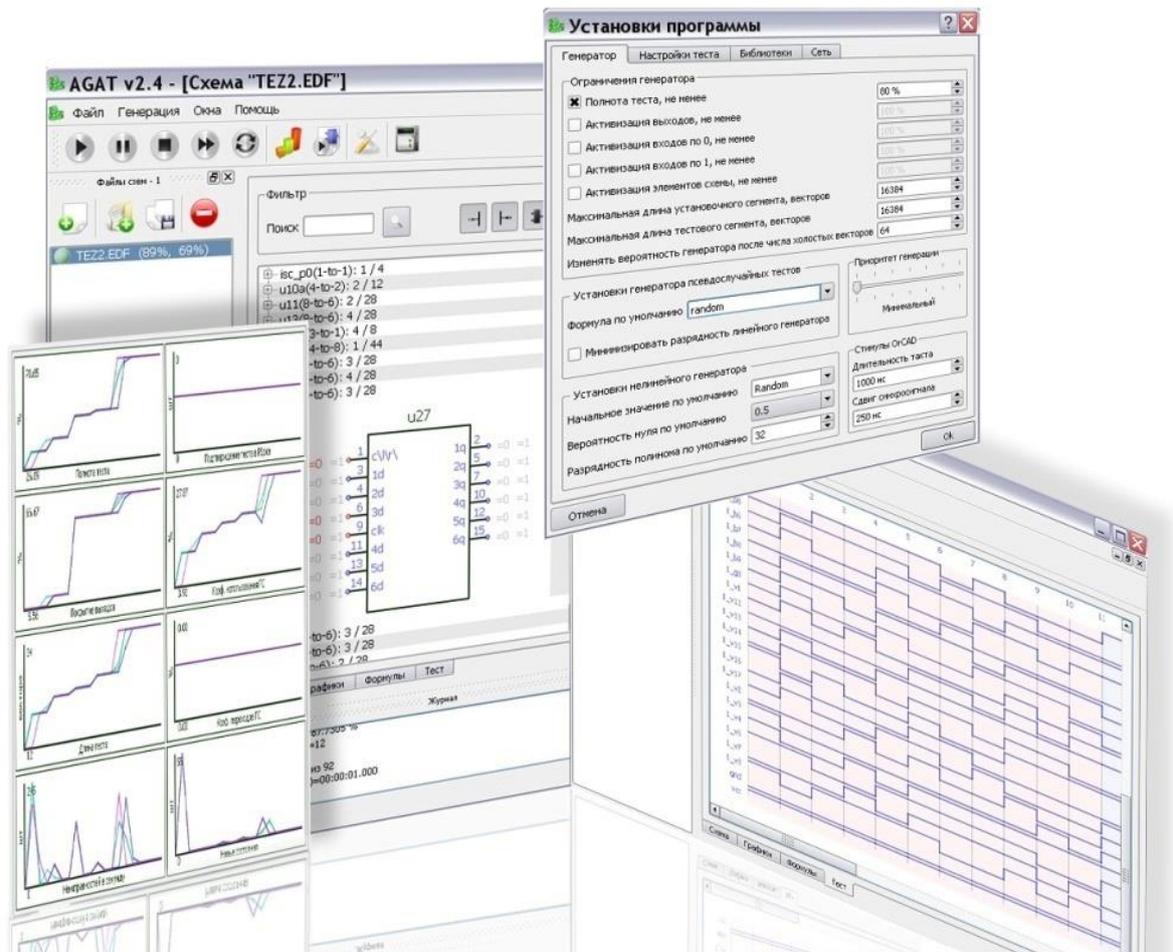


Рисунок 2 – Шаблон интерфейса ИСПСТ

Адаптивный алгоритм псевдослучайного тестирования

Для повышения эффективности традиционного псевдослучайного тестирования был разработан авторский подход, который состоит в распознавании и построении «адаптивного» графа (АГ) ОД на первом этапе и «блуждании» по этому графу на втором этапе, после того как ПСТ заходит в «тупик». Это позволяет в среднем на 10-15%, а в некоторых случаях существенно выше повысить полноту теста. На рис. 3 приведен пример АГ ОД [11,12,14]

Распределенное тестирование

Наряду с адаптивным подходом ПСТ эффективность генерации тестов в системе AGAT достигается также за счет использования распределенных вычислений в локальной компьютерной сети. Реализованная также «многопоточность» позволяет задействовать многоядерные процессоры, как автономных ПК, так и ПК, работающих в сети. Это также обеспечивает принципиальную возможность использования комплекса ИСПСТ в многопроцессорных и кластерных системах,

получаемых путем суммирования графов сети. ТЭЗ, так и для одного «тяжелого» объекта, реализуя при этом в динамике распознавание ОД и «блуждание» по АГ, непрерывно Распределенное тестирование может выполняться как для группы. На рис.4 приведен процесс параллельного тестирования ОД с динамическим построением АГ.

Выводы

Предложена архитектура интегрированной системы автоматического построения тестов ЦУ. В системе закладываются инновационные решения, такие как адаптивное псевдослучайное тестирование, параллельное тестирование одного или группы ОД в локальной компьютерной сети, анализ критических состояний ОД на построенном тесте. Эти решения выгодно отличаются предлагаемую архитектуру от аналогов. Реализация разработанной архитектуры позволяет создавать систему тестирования ЦУ, более эффективную по сравнению с известными аналогами. В настоящее время авторами статьи и другими сотрудниками FPGA-лаборатории ведутся разработки системы построения тестов ЦУ на основе предложенной архитектуры.

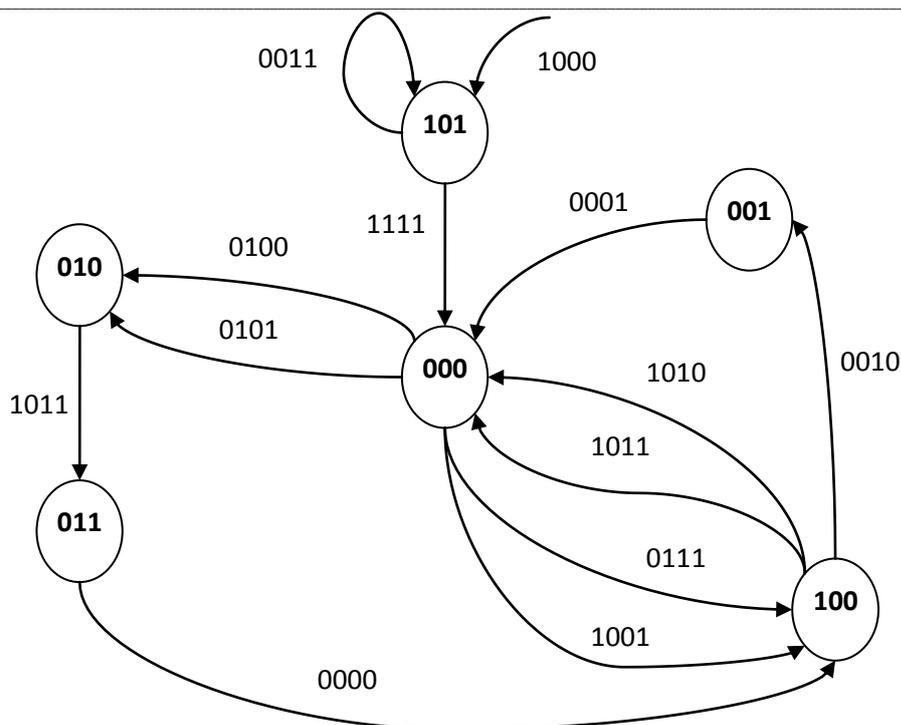


Рисунок 3 – Альтернативный граф цифрового объекта диагностики

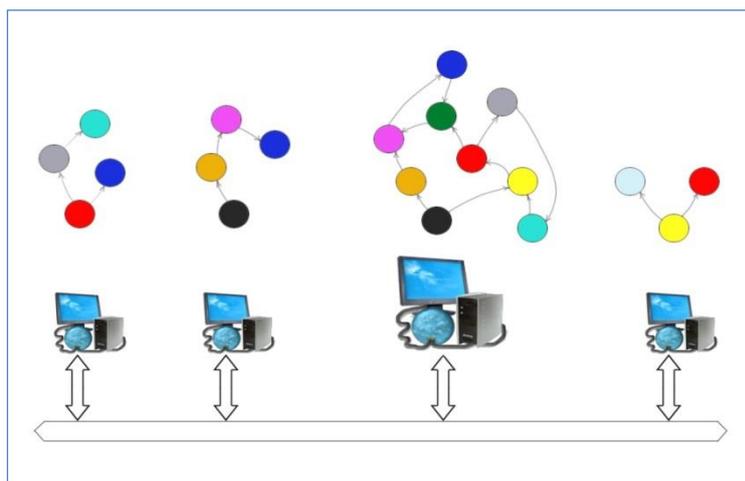


Рисунок 4 – Параллельное тестирование ОД с параллельным построением АГ

Литература

1. Bushnell, M. L. Essentials of electronic testing for digital, memory and mixed-signal VLSI circuits / M. L. Bushnell, V. D. Agrawal. – Kluwer academic publishers, 2001. – 690 p.
2. Rene, David. Random testing of digital circuits. – CRC Press, 1998. – 496 p.
3. Сперанский, Д. В. Моделирование, тестирование и диагностика цифровых устройств : учебное пособие 3-е изд. / Д. В. Сперанский, Ю. А. Скобцов. — Москва: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 529 с. // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: URL: <http://www.iprbookshop.ru/94854.html>

(дата обращения: 30.12.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

4. Ярмолик, В. Н. Генерирование и применение псевдослучайных сигналов в системах испытаний и контроля / В. Н. Ярмолик, С. Н. Демиденко. - Минск, 1986.

5. Зинченко, Ю. FPGA-технологии проектирования и диагностика компьютерных систем / Ю. Зинченко, В. Калашников, С. Хайдук и др. // Сборник научных трудов VI Междунар. научн.-практ. конф. «Современные информационные технологии и ИТ-образование». – Москва: МГУ, 2011. – Т. 1. - С. 422-429. - Режим доступа: <http://conf.it-edu.ru/conference/2011/work>

6. Нестеренко, Д. О. Тестирование аналоговых и аналогово-цифровых схем методами цифровой обработки сигналов / Д. О. Нестеренко, Ю. Е. Зинченко, В. Н. Соленов // Информатика и кибернетика. - Донецк: ДонНТУ, 2020. - № 4(22). - С. 77–59.

7. Дяченко, О. Н. Применение методов помехоустойчивого кодирования для компактного тестирования цифровых схем / О. Н. Дяченко, Ю. Е. Зинченко, В. О. Дяченко // Информатика и кибернетика. - Донецк: ДонНТУ, 2017. - № 3(9). - С. 55–59.

8. Зинченко, Ю. Е. Имитация периферийных устройств в системе дистанционного доступа к FPGA-комплексам / Ю. Е. Зинченко, В. С. Ленч, Т. А. Зинченко, В.Н. Павлыш // Информатика и кибернетика. - Донецк: ДонНТУ, 2017. - № 3(9). - С. 60–68.

9. Зинченко, Ю. Е. Детерминированная оценка длины псевдослучайного теста ОЗУ // Сб. научн. тр. ДонНТУ "Информатика, кибернетика и вычислительная техника (ИКВТ)-97". - Донецк: 1998. - Вып. 1. - С. 176-188.

10. Зинченко, Ю. Е. Сопроцессор псевдослучайных тестов для персональной ЭВМ // Докл. научн. техн. конф. «Творческое наследие В.И. Вернадского и современность», секция «Актуальные проблемы Вычислительной техники». - Донецк: ДонНТУ, 1995. - Ч.1. – 62 с.

11. Корченко, А. А. Оптимизация адаптивного подхода генерации псевдослучайных тестов / А. А. Корченко, Ю. Е. Зинченко // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Проблеми моделювання та автоматизації проектування» (МАП-2012). Вип. 10. – Донецьк: ДонНТУ. – 2012. – с. 60-68.

12. Зинченко, Ю.Е. Адаптивный подход к генерации псевдослучайных тестов цифровых устройств / Ю. Е. Зинченко, А. А. Корченко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Проблеми моделювання та автоматизації проектування» (МАП-2011). – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Вип. 9 (179). – С. 360-365.

13. Зинченко, Ю. Е. Машинно-аналитический способ расчета случайного теста константных неисправностей цифровых устройств / Ю. Е. Зинченко, А. А. Корченко, Т. А. Зинченко // Наукові праці ДонНТУ, сер. «Проблеми моделювання та автоматизації проектування» (МАП-2012), 2012. - № 1 (10)-2(11). - С. 31-38.

14. Зинченко, Ю. Е. АГАТ – система автоматизированной генерации псевдослучайных адаптивных тестов / Ю. Е. Зинченко, А. А. Корченко, Т. А. Зинченко // Матеріали III міжд. наук.-практ. конф. студ., асп. та молод. вчен. «Інформація і керуючі системи в промисловості, економіці та екології», вересень 2011 Северодонецьк: Технол. ін-т Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля, 2011. – 7 с.

Зинченко Т. А., Зинченко Ю. Е., Дяченко О. Н. Разработка архитектуры интегрированной системы генерации псевдослучайных тестов цифровых устройств. *Предлагается архитектура интегрированной системы генерации псевдослучайных тестов цифровых устройств. Приводятся многочисленные функции системы, описывается структура программного обеспечения и интерфейс системы. Анализируются ключевые особенности разрабатываемой системы, выгодно отличающие ее от других систем построения тестов, такие как адаптивное псевдослучайное тестирование, построение в процессе тестирования так называемого альтернативного графа объекта диагностики, параллельное тестирование в локальной компьютерной сети как одного, так и группы объектов диагностики с построением в динамике альтернативных графов объектов диагностики. Эти особенности не имеют аналогов среди систем построения тестов.*

Ключевые слова: *цифровое устройство, псевдослучайное тестирование, адаптивное тестирование, параллельное тестирование, константная неисправность, типовой элемент замены, альтернативный граф*

Zinchenko T. A., Zinchenko Yu. E., Dyachenko O. N. Development of the architecture of an integrated system for generating pseudo-random tests of digital devices. *The architecture of an integrated system for generating pseudo-random tests of digital devices is proposed. The numerous functions of the system are described, the structure of the software and the interface of the system are described. The key features of the system being developed are analyzed, which favorably distinguish it from other test building systems, such as adaptive pseudo-random testing, the construction of the so-called alternative graph of the diagnostic object in the testing process, parallel testing in the local computer network of both one and a group of diagnostic objects with construction in dynamics alternative graphs of diagnostic objects. These features are unparalleled among test building systems.*

Keywords: *digital device, pseudo-random testing, adaptive testing, parallel testing, constant fault, typical replacement element, alternative graph*

Статья поступила в редакцию 24.11.2021
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.