

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ СТОЙКОСТИ ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 621.3.049.77:539.1.043

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ ЭКБ НА ИМПУЛЬСНУЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ

© 2019 г. Н. С. Дятлов¹, *, К. А. Епифанцев¹, **, П. К. Скоробогатов¹, ***

¹Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Каширское ш., 31, Москва, 115409 Россия

*E-mail: nsdyat@spels.ru

**E-mail: kaepif@spels.ru

***E-mail: pkskor@spels.ru

Поступила в редакцию 24.12.2018 г.

После доработки 05.03.2019 г.

Принята к публикации 18.03.2019 г.

Во время испытаний электронной компонентной базы на импульсную электрическую прочность происходит воздействие одиночных импульсов напряжения возрастающей амплитуды на испытываемый образец до тех пор, пока не будет зафиксирован функциональный или параметрический отказ изделия. Для сокращения времени проведения испытаний и минимизации участия оператора был спроектирован специализированный стенд, выполняющий испытания в автоматическом режиме. Для возможности переключения образца между чувствительным измерительным оборудованием и генератором высоковольтных ОИН было разработано устройство механической коммутации, которое также исполняет роль соединительного звена между компонентами стенда. После введения стенда в эксплуатацию время подготовки и проведения испытаний существенно сократилось. Также появилась возможность проведения исследований электронной компонентной базы на многократные воздействия импульсов напряжения.

DOI: 10.1134/S054412691905003X

ВВЕДЕНИЕ

Во время испытаний электронной компонентной базы на импульсную электрическую прочность происходит последовательное воздействие одиночных импульсов напряжения возрастающей амплитуды на испытываемый образец. После каждого воздействия ОИН производится контроль работоспособности образца с помощью модульных измерительных приборов, произведенных National Instruments, интегрированных в магистральную модульную систему NIPXI-1033 и среды разработки Lab VIEW. Амплитуда ОИН после каждого воздействия повышается до тех пор, пока не будет зафиксирован функциональный или параметрический отказ образца.

Испытания проводятся при различных параметрах ОИН для множества образцов (как правило, от 12 до 16). Цель испытаний — определение справочных данных по стойкости ЭКБ к воздействию ОИН различных полярностей и длительностей [1, 2].

Сокращения: ОИН — одиночные импульсы напряжения; ЭКБ — электронная компонентная база; ИЭП — импульсная электрическая прочность; ФПК — функционально-параметрический контроль.

Вследствие высокой амплитуды воздействующих ОИН (до 5000 В) при достаточно большой длительности (до 10 мкс) воздействие и проведение функционально-параметрического контроля в одной оснастке не представляется возможным, так как ОИН с такими параметрами, распространяясь по проводникам, могут вызвать повреждения модульных измерительных приборов. По этой причине, перед каждым воздействием импульса требуется отключать контрольно-измерительную оснастку от образца.

Для сокращения времени проведения испытаний на ИЭП и минимизации участия оператора была поставлена задача по проектированию специализированного испытательного стенда, выполняющего следующие задачи в автоматическом режиме.

1) Проведение ФПК образца. Вынесение вердикта о работоспособности.

2) Механическое переключение образца между схемой контроля работоспособности и схемой воздействия ОИН.

3) Подача на образец ОИН требуемой амплитуды и полярности.

4) Сбор данных и их сохранение в памяти ЭВМ:

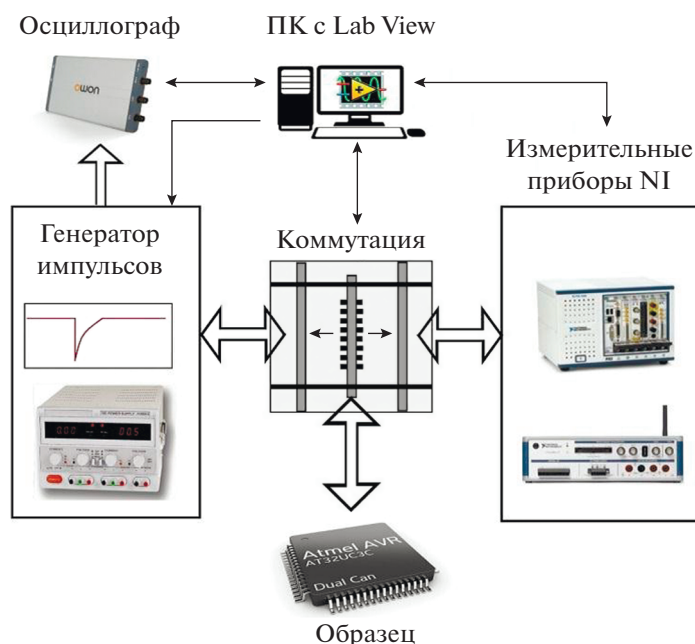


Рис. 1. Структурная схема автоматизированного стенда.

а) результаты проведения функционального и параметрического контроля с вердиктами о работоспособности;

б) запись осциллограммы ОИН и токовой реакции образца на импульс. Расчет поглощенной энергии;

в) ведение таблицы по результатам испытаний.

5) Формирование отчета по результатам испытаний.

Участие оператора ограничивается первоначальной настройкой испытательного стенда, написанием подпрограммы ФПК, заменой образцов и быстрой перенастройкой параметров воздействия во время испытаний.

1. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД

1.1. Структура стенда

Создание программного обеспечения для решения поставленной задачи осуществлялось в среде программирования Lab VIEW (ф. National Instruments (NI)) с программным модулем NI Lab VIEWFPGA. Для создания аппаратной части стенда использовался персональный компьютер, магистральная модульная система NIPXI-1033 с модульными измерительными приборами и FPGA модулем NIPXI-7851R, набор измерительных приборов NI Virtual Bench, устройство механической коммутации, разработанное в ИЭПЭ НИЯУ МИФИ, генератор ОИН ЭМИ-0501, трансформаторные источники питания, USB осциллограф OWONVDS-3102.

Структурная схема автоматизированного аппаратно-программного испытательного комплекса представлена на рис. 1.

С помощью устройства механической коммутации, управляемого с ПК по интерфейсу USB, обеспечивается поочередное подключение испытываемого образца к схеме воздействия и схеме функционального и параметрического контроля (ФПК). К схеме воздействия подключается генератор ОИН, источники питания и осциллограф, определяющий амплитуду импульса и ток, прошедший через образец во время воздействия. К схеме ФПК подключаются измерительные приборы. Во время испытаний информация с измерительных приборов и осциллографа передается на ПК и анализируется. Управление генератором и работа с NI Virtual Bench происходит по интерфейсу USB. Работа с магистралью модульной системой NIPXI-1033 происходит по интерфейсу PCI Express.

Связующим звеном в испытательном стенде является устройство механической коммутации, разработанное в 2016 г. в НИЯУ МИФИ.

1.2. Устройство механической коммутации

Устройство механической коммутации предназначено для переключения испытываемого образца между схемой воздействия ОИН и схемой ФПК. В разработанном устройстве реализована задача — гарантия отсутствия электрического контакта между генератором ОИН и измеритель-

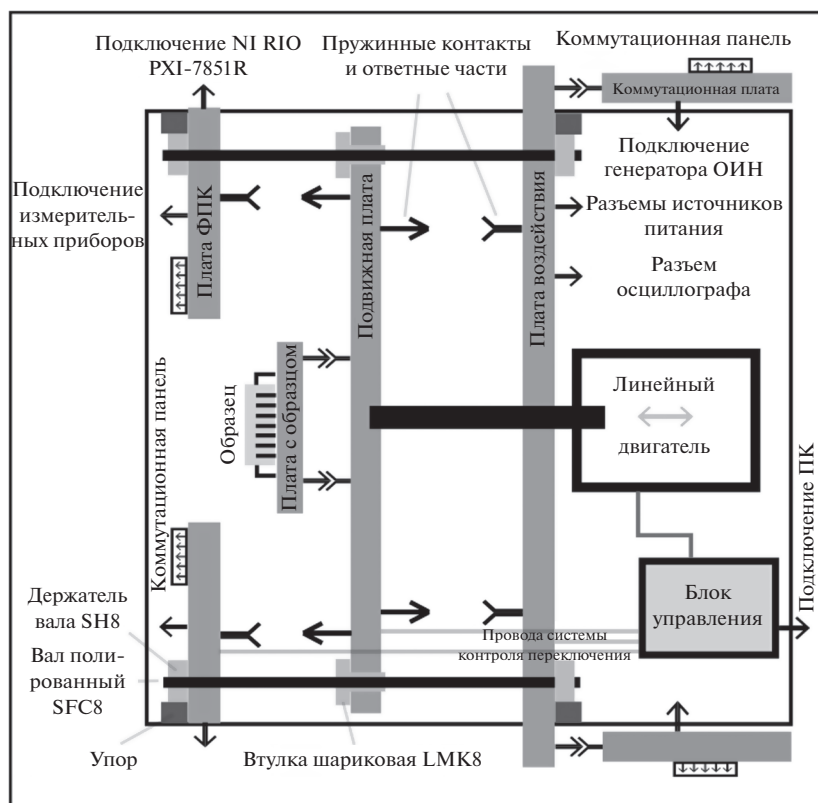


Рис. 2. Условная схема устройства механической коммутации.

ными приборами. Условная схема устройства механической коммутации приведена на рис. 2.

Общий принцип работы устройства механической коммутации заключается в линейном перемещении платы с испытываемым образцом между платой ФПК и платой воздействия ОИН. К плате ФПК подключаются измерительные приборы, и с помощью переключателей, соединителей и плат коммутируется схема измерения параметров и контроля работоспособности для испытываемой микросхемы. К плате воздействия ОИН подключается источник питания и осциллограф для измерения тока, прошедшего через образец. С помощью переключателей на коммутационных платах, к которым подключается генератор ОИН, формируется схема воздействия. Перемещение платы с образцом производится с помощью линейного двигателя. Электрическое соединение между платами обеспечивается с помощью пружинных контактов на подвижной плате, произведенных компанией Mill-Max. Общее количество коммутируемых контактов равно 180 с каждой стороны подвижной платы. Пружинные контакты равномерно расположены по квадратному контуру с шагом 2.54 мм.

1.3. Программная модель

Основным элементом программы управления является управляемый конечный автомат, включающий в себя все возможные действия с элементами стенда и файлами. Конечный автомат запускается и управляется с помощью главной программы. Главная программа обеспечивает управление стендом в ручном и автоматическом режиме, а также индикацию состояния стенда и отчета о проведенных действиях. Программная модель проекта автоматизированного стенда в среде разработки Lab VIEW представлена на рис. 3.

Перед проведением испытаний необходимо заранее подготовить программу функционально-параметрического контроля для испытываемого электронного компонента. Программа представляет собой однократную последовательность измерений параметров и контроля работоспособности испытываемого компонента. По результатам работы программы ФПК формируется массив численных значений измеренных электрических параметров и число, соответствующее результату прохождения функционального контроля. Программе присваивается стандартное имя <название-компонента_HOST.vi> и она помещается в рабочую папку для испытываемого изделия. Создание универсальной программы ФПК для всех испытываемых

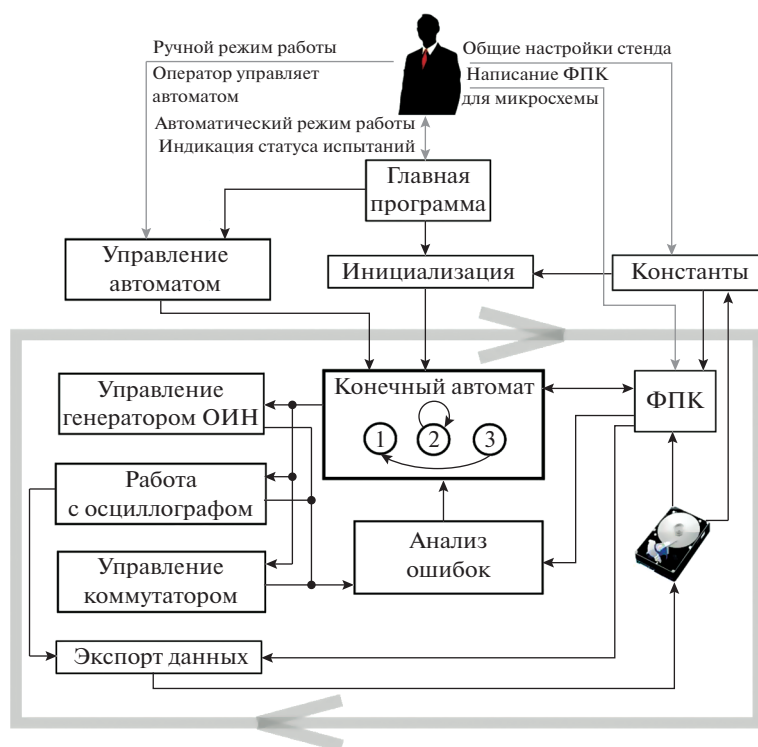


Рис. 3. Программная модель автоматизированного испытательного стенда.

типов изделий не представляется возможным по причине большого их разнообразия (проектируемый стенд рассчитан на автоматизированные испытания широкого круга микросхем и пассивных элементов). По этой причине разрабатываются шаблонные ФПК, содержащие основные функции для работы с определенным классом изделий, например, для цифро-аналоговых преобразователей.

После подготовки ФПК пользователь запускает главную программу. При первом запуске необходимо задать константы для данного компонента (номера образцов, нормы на измеряемые параметры и их названия). После кратковременной настройки можно проводить испытания. В автоматическом режиме типичная последовательность работы следующая.

1) С помощью устройства механической коммутации образец включается в схему воздействия ОИН.

2) Из заранее заданного списка (стандартного) выбирается очередное значение амплитуды ОИН.

3) Для данной амплитуды, длительности и полярности ОИН настраивается USB осциллограф, фиксирующий осциллограмму ОИН и токовую реакцию.

4) Происходит воздействие ОИН.

5) Осциллограммы ОИН и тока, прошедшего через образец, считываются с осциллографа и анализируются. Численные данные и осциллограммы сохраняются на диск.

6) С помощью устройства механической коммутации образец включается в схему ФПК.

7) Проводится ФПК и массив измеренных величин параметров изделия, включающий результат функционального контроля, сравнивается с нормами, заданными пользователем для данного типа изделия. Выносится вердикт по прохождению ФПК и все данные записываются на диск. Если по результатам ФПК зафиксирован отказ образца, то происходит прекращение испытаний: коммутатор переключается в нейтральное положение, фиксируется уровень стойкости образца к ОИН, соответствующий предпоследней амплитуде воздействующего ОИН. Краткий отчет о результате записывается на диск.

8) В случае успешного прохождения ФПК цикл повторяется.

После выполнения каждого действия с элементами стенда программа диагностики анализирует возникшие ошибки. Если ошибка не вызвана критическими неисправностями и может быть исправлена пользователем (например, пользователь не установил образец), программа приостанавливается, а после устранения ошибки ошибочное действие или последовательность повторяется. Взаимодействие программы диагностики и пользователя происходит с помощью диалоговых окон. Принцип работы стенда в ручном режиме не отличается от автоматического, за исключением того, что все перечисленные действия



Рис. 4. Лицевая панель программы управления.

	1	2	3	4	5	6	7	
1	U _{оин}	Длительн	Макс ток	Энергия	ФО	I _{ср}	I _{ср}	I _{ср}
2	0	1	1,74	15,081m		2 5,805m	5,226m	24
3	0	0	0	0	0	1	1	1
4	-8	1	59,000m	23,521u		2 5,816m	5,222m	24
5	0	0	0	0	0	1	1	1
6	-12	1	103,000m	51,921u		2 6,059m	5,434m	21
7	0	0	0	0	0	1	1	1
8	-16	1	140,000m	89,028u		2 5,798m	5,243m	24
9	0	0	0	0	0	1	1	1
10	-25	1	240,000m	260,063u		2 5,810m	5,227m	24
11	0	0	0	0	0	1	1	1
12	-35	1	328,000m	480,976u		2 6,059m	5,434m	22
13	0	0	0	0	0	1	1	1
14	-50	1	380,000m	676,887u		2 5,830m	5,222m	24
15	0	0	0	0	0	1	1	1
16	-75	1	610,000m	1,354m		2 5,794m	5,245m	24
17	0	0	0	0	0	1	1	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Рис. 5. Лог функционально-параметрического контроля микросхемы.

запускаются вручную с помощью соответствующих элементов управления. В главной программе также реализована возможность редактирования программ действий в автоматическом режиме, а также создание новых программ испытаний. После испытаний экспериментальные данные, записанные программным комплексом на диск, используются для создания отчета. Формирование большей части отчета реализовано в автоматическом режиме.

граммы. При проектировании большое внимание уделялось упрощению элементов лицевой панели для удобного восприятия информации пользователем. С одной стороны, пользователь должен видеть только самую необходимую в данный момент информацию, а с другой, иметь возможность гибко управлять настройками программы. Интерфейс взаимодействия управляющей программы и пользователя представлен на рис. 4.

2. ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Все полученные в ходе испытаний данные записываются на диск. После завершения испытаний эти данные используются для автоматиче-

1.4. Интерфейс программы управления

Еще одним важным элементом программной части стенда является лицевая панель главной про-

strength — Блокнот

Файл	Правка	Формат	Вид	Справка
	Вход	Выход	Питание	Питание2
+0.1 мкс		75		
−0.1 мкс				
+1 мкс	50	35	50	
−1 мкс	−150	−200	−2750	
+10 мкс		35		
−10 мкс				

Рис. 6. Таблица стойкости по амплитуде ОИН.

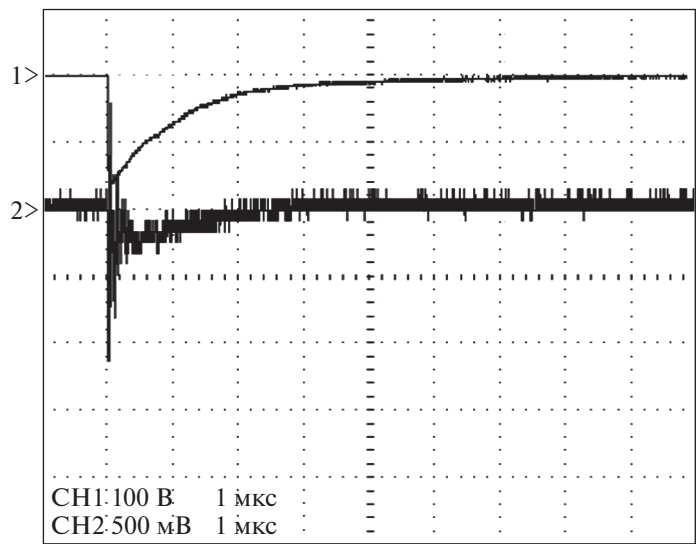


Рис. 7. Осциллограмма напряжения ОИН и тока, записанная на диск: канал 1 — напряжение; канал 2 — ток.

ского формирования отчета об испытаниях. Примеры представления данных для микросхемы ПЛИС EP3C16F484 приведены на рис. 5–7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка и внедрение автоматизированного испытательного стенда позволило существенно уменьшить время проведения испытаний на ИЭП. Более того, при незначительной перенастройке проекта разработанный стенд был использован для проведения исследования на многократные воздействия импульсов напряжения [3]. Длительность одного цикла ФПК-воздействие, в основном, определяется только длительностью ФПК. Например, для микроконтроллера ATtiny13A один цикл занимал всего 6 с, что позволило проводить

исследование при большом количестве воздействующих ОИН (порядка сотен и тысяч).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скоробогатов П.К., Епифанцев К.А., Дятлов Н.С., Герасимчук О.А. Электромагнитные воздействия и импульсная электрическая прочность интегральных схем // Безопасность информационных технологий (БИТ). 2016. Т. 23. № 3. С. 75–78.

2. Герасимчук О.А., Скоробогатов П.К. Защита информации в изделиях микроэлектроники при воздействиях электромагнитных излучений // Безопасность информационных технологий (БИТ). 2009. Т. 16. № 3. С. 111–115.

3. Diatlov N.S., Skorobogatov P.K., Epifantsev K.A. Additive effects under the series of EOS in space application VLSI circuits // MATEC Web of Conferences. 2017. V. 102. Article Number 01012.