

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ СТОЙКОСТИ ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 621.3.049.77:539.1.043

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ПОРТОВ ВВОДА-ВЫВОДА СЛОЖНО- ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЯ

© 2020 г. А. Н. Шемонаев^{а, *}, К. А. Епифанцев^а, П. К. Скоробогатов^{а, б}

^аНациональный исследовательский ядерный университет МИФИ, Каширское ш., 31, Москва, 115409 Россия

^бАО “ЭНПО Специализированные электронные системы”, Каширское ш., 31, Москва, 115409 Россия

*E-mail: anshem@spels.ru

Поступила в редакцию 18.01.2019 г.

После доработки 27.05.2019 г.

Принята к публикации 16.08.2019 г.

Проведены испытания стойкости простейшего AVR микроконтроллера ATtiny13A (ф. Atmel) к воздействию одиночных импульсов напряжения в зависимости от конфигурации портов ввода-вывода. Обнаружена зависимость импульсной электрической прочности микроконтроллера от режима работы портов.

DOI: 10.31857/S0544126920010123

ВВЕДЕНИЕ

Работа электронных систем в реальных условиях эксплуатации сопровождается воздействием электромагнитных излучений различной природы. Применение сложно-функциональных изделий, выполненных по субмикронным технологиям, требует учета влияния электрических сигналов на выводах изделий, связанных с наводками от электромагнитных излучений [1]. В данной работе рассматриваются эффекты, возникающие при воздействии одиночных импульсов напряжения на выводы таких сложно-функциональных и распространенных изделий как микроконтроллеры [2, 3]. Особенностью таких изделий является использование двунаправленных схем на выводах, режим работы которых (вход или выход) настраивается программно. Для практики применения и испытаний важно знать насколько сильно изменение режима работы порта ввода-вывода влияет на импульсную электрическую прочность изделия.

В качестве объекты испытаний был выбран AVR МК ATtiny13A фирмы Atmel, выполненный по 0.25-микронной технологии. Наличие сильной зависимости импульсной электрической прочности от режима работы портов ввода-вывода может потребовать усложнения процедуры проведения испытаний изделий. Отсутствие такой зависимости сократит сроки и стоимость испытаний.

1. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД

Испытания были проведены с использованием аппаратно-программного комплекса на основе крейта с модульными измерительными приборами фирмы National Instruments и программной среды LabVIEW [4]. В качестве источника одиночных импульсов напряжения использовался генератор ЭМИ-0502, предназначенный для формирования на выводах полупроводниковых приборов и интегральных схем импульсов тока и напряжения, моделирующих воздействие ЭМИ естественного или искусственного происхождения. Параметры генератора одиночных импульсов напряжения ЭМИ-0502 приведены в табл. 1. Процедура испытаний описана в [1].

Автоматизированный стенд обеспечивал полную автоматизацию испытаний на ИЭП, что позволило существенно сократить срок испытаний, а также уменьшить количество ошибок, за счет исключения человеческого фактора при проведении функционально-параметрического контроля [5].

Параметрический контроль включал в себя измерение параметров токов потребления в статическом и динамическом режиме, входных токов при подаче логических уровней “0” и “1”, а также мониторинг выходных напряжений высокого и низкого уровня. С помощью устройства механической коммутации, управляемого с компьютера по интерфейсу USB, обеспечивалось поочередное подключение испытываемого изделия к схеме воздействия и схеме функционального и пара-

Таблица 1. Параметры генератора ОИН ЭМИ-0502

Параметр	Значение
Форма импульса	Двухэкспоненциальная
Амплитуда импульса, В	$4 < U_m < 5000$
Длительность переднего фронта, нс	< 5
Длительность импульса по уровню 0,5, мкс	0,1, 1,0 и 10
Эквивалентное сопротивление генератора, Ω	50

метрического контроля. Схема включения воздействия приведена на рис. 1. Величина резистора R_T подбиралась исходя из условия, чтобы максимальное падение напряжения на нем (при воздействии одиночных импульсов напряжения) не превышало 5% от амплитуды одиночных импульсов напряжения.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На образцы микроконтроллеров подавался двухэкспоненциальный импульс $U(t)$ отрицательной и положительной полярности амплитудой U_m с длительностью импульса на полувысоте 1 мкс в соответствии с выражением (1)

$$U(t) = U_m \left[-\exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) + \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) \right]. \quad (1)$$

Короткий передний фронт импульса (не более 5 нс) обеспечивает возможность срабатывания паразитных тиристоров вследствие эффекта dU/dt . Длительность импульса в 1 мкс на полувысоте и амплитуда ОИН дает необходимую энергию для проявления электрических и тепловых эффек-

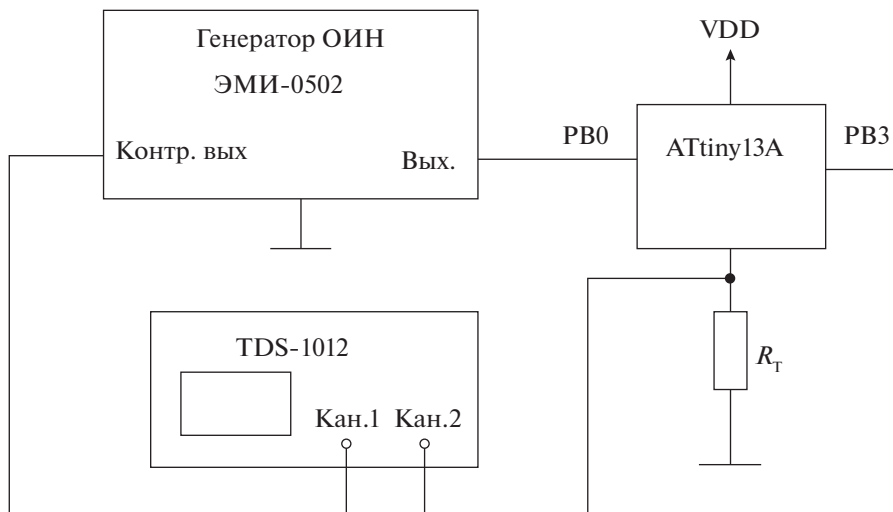
тов. Эксперимент проводился при комнатной температуре и напряжении питания образцов +5В.

Порты ввода-вывода AVR МК Atiny13A могут быть настроены как на вход, так и на выход. При настройке микроконтроллера на вход задаются следующие режимы работы: высоко импедансный вход (HI-Z), либо как вход с подтяжкой через резистор 100 кОм до напряжения питания (Pull-UP). Если порт ввода-вывода настроен как выход, то на выбранном выводе изначально выставляется логический "0" либо логическая "1".

На рис. 2 изображены осциллограммы тока и напряжения при подаче одиночных импульсов напряжения амплитудой 200В на вывод PB3 МК.

Выделяемая в переходе энергия способствует переходу его во вторичную, тепловую стадию. Ярко выраженными признаками вторичного теплового пробоя являются характерные осцилляции тока в цепи интегральных схем [6].

При дальнейшем повышении амплитуды одиночных импульсов напряжения наступали необратимые повреждения. Образцы повреждались при амплитуде импульса в 1 кВ. Характерные осциллограммы показаны на рис. 3. В результате параметрического контроля после воздействия

**Рис. 1.** Схема включения микросхемы при испытаниях на импульсной электрической прочности.

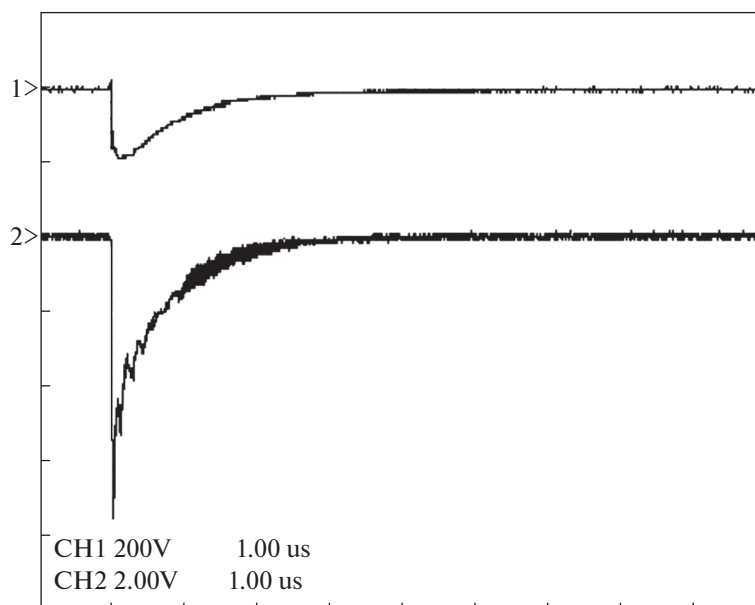


Рис. 2. Осциллограмма импульса напряжения 1 мкс 200 В (канал 1) и токовая импульс-реакция (канал 2), которая показывает лавинный пробой.

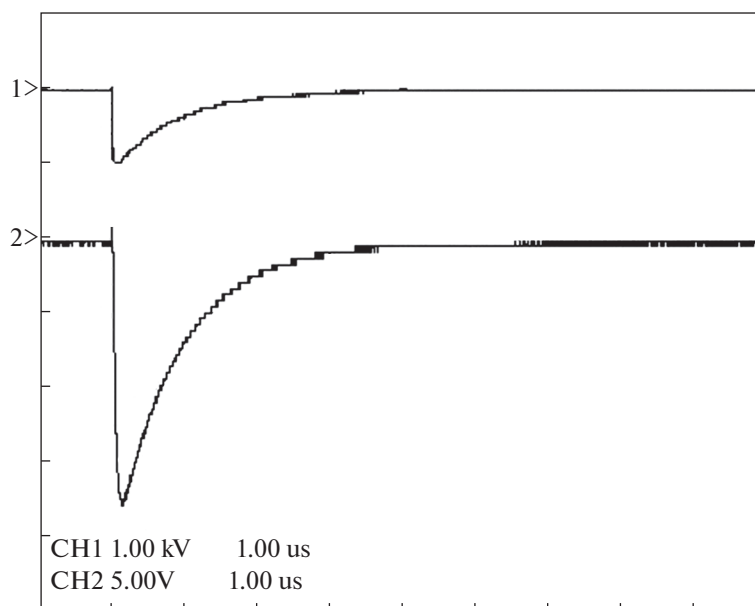


Рис. 3. Осциллограмма импульса с амплитудой 1 кВ 1 мкс (канал 1) и импульс-реакция тока на исследуемом выводе (канал 2).

одиночных импульсов напряжения обнаруживалось падение напряжения логических уровней и рост входных токов.

Было замечено, что на каждом третьем образце при амплитуде импульса +500 В проявлялся паразитный тиристорный эффект. При подаче импульсов с амплитудой больше 1 кВ были обнаружены визуальные эффекты повреждения — возникла искра и корпус ИС разрушался (рис. 4).

В результате проведения испытания установлено, что существуют отличия в показателях импульсной электрической прочности сконфигурированных входов и выходов микроконтроллеров (рис. 5).

При этом также установлено, что для входов характерен функциональный отказ и отказ по входным токам, в то время как для выходов — от-

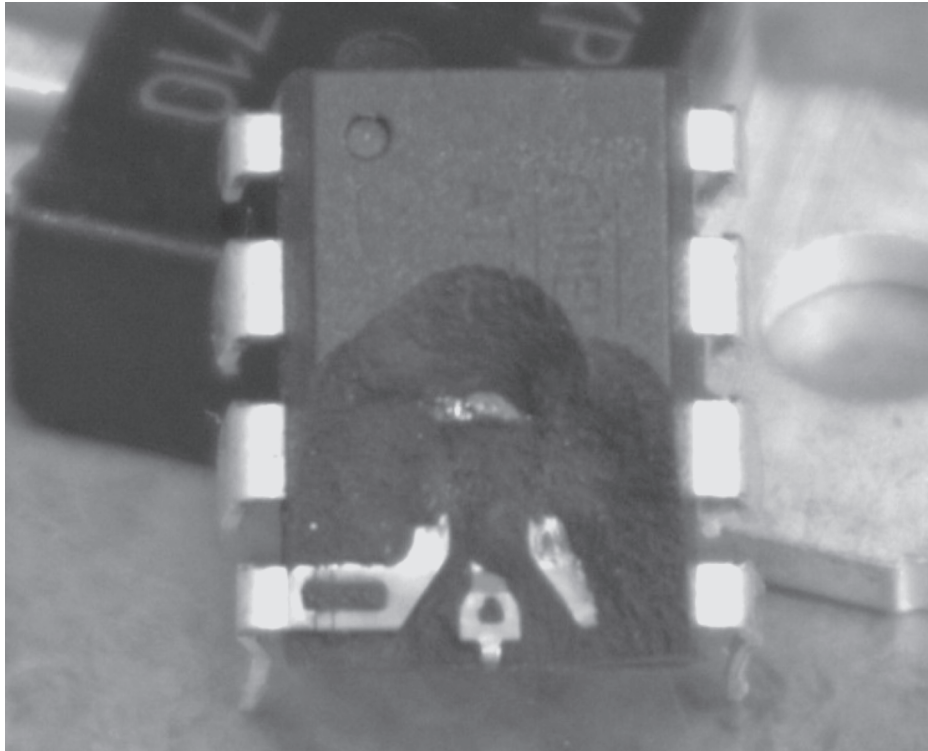


Рис. 4. Разрушение корпуса микросхемы после подачи импульса напряжения больше 1 кВ генератором ЭМИ-0502.

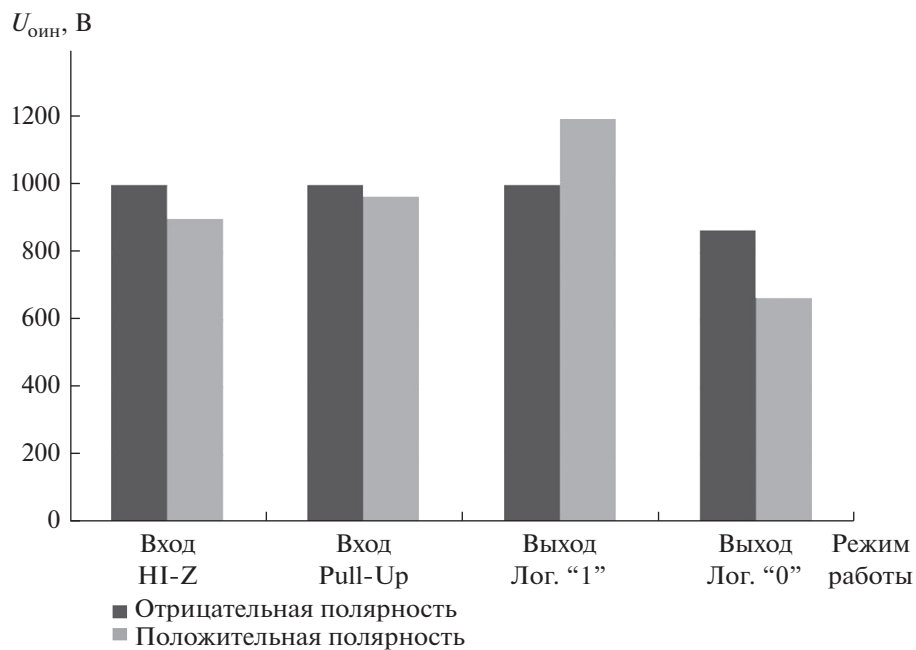


Рис. 5. Критические амплитуды одиночных импульсов напряжения, после которого наступает параметрический отказ.

каз по току потребления и входному току при подаче логического уровня "1".

Установлено отличие, в уровнях повреждения для различных вариантов конфигурации портов ввода-вывода, не превышающее $\pm 25\%$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полупроводниковых приборов и ИС чувствительны к воздействию одиночных импульсов напряжения, которые индуцируются различными источниками природного или искусственного

происхождения. Основным механизмом, который приводит к деградации устройства, является тепловой вторичный пробой.

Тип отказа интегральных схем может быть определен анализом полученных осциллограмм до параметрического и функционального управления. В частности, можно определить характер пробоя и его переход от одной формы к другой. Чаще всего имеет место комбинация нескольких физических механизмов повреждения ИС. В этом случае необходимо провести дополнительный анализ функциональных и электрических параметров интегральных схем.

Результаты эксперимента показывают, что существует влияние режима работы портов ввода-вывода сложно-функциональных устройств на показатели импульсной электрической прочности изделия и в случае с изделием AVR МК Atiny13A отличие в показателях импульсной электрической прочности импульсной электрической прочности для конфигураций порта ввода/вывода как вход и выход не превышает $\pm 25\%$.

Дальнейшие работы будут связаны с проведением испытаний на импульсную электрическую прочность с другими сложно-функциональными изделиями, у которых больший диапазон режимов конфигурации портов ввода-вывода, в том

числе имеется возможность конфигурации выводов как аналоговые.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Skorobogatov P.K.* Test Method for IC Electrical Overstress Hardness Estimation” // in Proc. 4th European Conf. on Radiations and Its Effects on Components and Systems (RADECS 97), Sept. 15–19, Palm Beach, Cannes, France, 1997. P. 174–177.
2. *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.
3. *Герасимчук О.А., Скоробогатов П.К.* Защита информации в изделиях микроэлектроники при воздействии электромагнитных излучений // Безопасность информационных технологий (БИТ). 2009. Т. 16. № 3. С. 111–115.
4. <http://www.labview.ru/>.
5. *Skorobogatov P.K., Epifantsev K.A., Djatlov N.S.* Test automation electronics at the electric strength // Proc. of XV International Conference NIDays-2016. № 15. Moscow, Russia. 2016. P. 119–122.
6. *Епифанцев К.А., Скоробогатов П.К., Аристова Н.Е.* Экспериментальные исследования по идентификации типов отказа ИС по результатам испытаний на импульсную электрическую прочность // Научная сессия МИФИ-2008. Т. 8. С. 71–74.