

ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОФИЗИКА, РАДИОТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ РАЗРЯДАМ

В.Ф. АЛЕКСЕЕВ, Н.И. СИЛКОВ, Г.А. ПИСКУН, А.Н. ПИКУЛИК*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь**Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации
Мележа, 3, Минск, 3220113, Беларусь**Поступила в редакцию 29 апреля 2011*

Экспериментально исследовано воздействие электростатических разрядов на микроконтроллеры типа AT89C51RC. Установлено, что накопленный заряд статического электричества, равный 6,5 кВ, приведет к катастрофическому отказу 100% микроконтроллеров. Предложена методика проведения испытания микроконтроллеров на чувствительность к электростатическим разрядам.

Ключевые слова: микроконтроллер, электростатический разряд, метод контактного разряда, метод испытания.

Введение

Широкое использование микроконтроллеров (МК) в современных электронных средствах предопределяет необходимость исследования воздействий на них различных дестабилизирующих факторов. Одним из таких факторов является электростатический разряд (ЭСР), который, по мнению авторов [1, 2], составляет 16–22 % всех отказов у изготовителей МК.

В течение последнего времени количество публикаций, посвященных данной тематике, неуклонно возрастает, но практически все они сводятся к констатации факта существования данной проблемы. Между тем, как определить опасную величину напряжения ЭСР, воздействующего на МК, в публикациях по данной тематике не говорится.

Важность проблемы и необходимость разработки мер, помогающих предотвратить нежелательные эффекты из-за воздействия ЭСР, потребовали систематизации и разработки методик испытаний МК на чувствительность к ЭСР.

Источники накопления статического электричества и последствия воздействия ЭСР

Электростатический разряд – импульсный перенос накопленного электростатического заряда между телами с разными электростатическими потенциалами [3].

В настоящее время существуют три основных источника, накапливающих статическое электричество и являющихся причинами отказов изделий вследствие его воздействия [4, 5]:

- а) человек, с накопленным статическим электричеством, касается изделия и разрягается на него или через него на землю;
- б) само изделие, выполняющее роль одной из обкладок конденсатора и накапливающее заряд. Контакт его с заземленным предметом может привести к отказу;

в) электрическое поле, формируемое заряженными предметами. В определенных условиях изделие, помещенное в такое поле, может приобретать значительную разность потенциалов на противоположных его плоскостях.

Опасность воздействия ЭСР на контактные выводы МК обусловлена возникновением двух типов повреждений: катастрофических и скрытых [6].

Катастрофические повреждения обнаруживаются наиболее легко, так как поврежденные изделия не выполняют своих функций [7]. Основными механизмами отказов являются: тепловой вторичный пробой [8, 9], расплавление металлизации, пробой диэлектрика, поверхностный пробой, объемный пробой и газовый дуговой разряд [10].

Скрытые повреждения затрагивают только один из параметров или вызывают некоторые изменения начальных характеристик, которые могут, тем не менее, не выходить за рамки допустимых отклонений [11]. Данные повреждения обнаружить труднее, так как они проявляются в результате повторяющихся разрядов или в процессе эксплуатации [12–14].

Методика проведения эксперимента

Авторами были проведены испытания МК на чувствительность к ЭСР по «модели человеческого тела» [17], которые учитывали результаты, высказанные в [1, 15–17], а также условия соответствующие требованиям [3, 15–16] в области климатических условий (испытания проводились при нормальных климатических условиях) и электромагнитной обстановки (электромагнитная обстановка не влияла на результаты испытаний).

Целью проведения испытания являлось определение допустимых значений напряжения ЭСР для МК типа AT89C51RC. Достижение данной цели осуществлялось на основании реализации следующих задач:

1) Формирование партий МК по три штуки в каждой.

Для проведения испытания МК на чувствительность к ЭСР был использован МК типа AT89C51RC, представляющий собой восьмибитный МК с 32-мя Кб flash-памяти и выполненный в сорокавыводном пластмассовом корпусе типа MCS-51. Данный выбор обусловлен тем, что набор аппаратных средств и совокупность реализуемых функций (табл. 1) делают данный МК эффективным средством сбора, обработки информации и управления объектами [18].

Выбор количества МК в партии обусловлено финансовой стороной.

Таблица 1 Функции выводов микроконтроллера типа AT89C51RC [19]

Номер вывода	Назначение вывода	Условное графическое обозначение
Port 0 (P0.0–P0.7)	Двунаправленный программируемый 8-разрядный параллельный порт ввода/вывода с возможностью установки в высокоимпедансное состояние.	<p>(T2) P1.0 □ 1 40 □ VCC (T2EX) P1.1 □ 2 39 □ P0.0 (AD0) P1.2 □ 3 38 □ P0.1 (AD1) P1.3 □ 4 37 □ P0.2 (AD2) P1.4 □ 5 36 □ P0.3 (AD3) P1.5 □ 6 35 □ P0.4 (AD4) P1.6 □ 7 34 □ P0.5 (AD5) P1.7 □ 8 33 □ P0.6 (AD6) RST □ 9 32 □ P0.7 (AD7) (RXD) P3.0 □ 10 31 □ $\overline{EA/VPP}$ (TXD) P3.1 □ 11 30 □ ALE/PROG (INT0) P3.2 □ 12 29 □ PSEN (INT1) P3.3 □ 13 28 □ P2.7 (A15) (T0) P3.4 □ 14 27 □ P2.6 (A14) (T1) P3.5 □ 15 26 □ P2.5 (A13) (WR) P3.6 □ 16 25 □ P2.4 (A12) (RD) P3.7 □ 17 24 □ P2.3 (A11) XTAL2 □ 18 23 □ P2.2 (A10) XTAL1 □ 19 22 □ P2.1 (A9) GND □ 20 21 □ P2.0 (A8)</p>
Port 1 (P1.0–P1.7)	Двунаправленный 8-разрядный параллельный порт ввода/вывода.	
Port 2 (P2.0–P2.7)	Двунаправленный 8-разрядный параллельный порт ввода/вывода.	
Port 3 (P3.0–P3.7)	Двунаправленный 8-разрядный параллельный порт ввода/вывода.	
RST	Вход инициализации. Высокий уровень на этом входе в течении двух машинных тактов запускает процесс инициализации микроконтроллера.	
ALE / \overline{PROG}	Активное значение сигнала на этом выходе разрешает фиксацию младшего байта адреса при обращениях к внешней памяти.	
\overline{PSEN}	Активное значение сигнала на этом выходе разрешает чтение из внешней памяти программ.	
EA/VPP	Сигнал на этом входе переключает источник кода при обращении к младшим 4 Кб памяти программ.	
XTAL1	Вход инвертирующего усилителя для синхрогенератора.	
XTAL2	Выход инвертирующего усилителя для синхрогенератора.	
VCC	Напряжение питания (+5 В).	
GND	Земля.	

2) Измерение электрических параметров МК до воздействия ЭСР.

При проведении измерения электрических параметров МК до воздействия ЭСР был использован цифровой запоминающий осциллограф Tektronix TDS 3052C [20], который позволяет измерять и наблюдать сигналы на контактных выводах МК до и после воздействия ЭСР. Выбор был обусловлен тем, что данный осциллограф регистрирует и отображает сложные сигналы, случайные события и едва различимые особенности в поведении сигналов, в реальном масштабе времени предоставляет информацию о сигнале в трех измерениях: амплитуда, время и зависимость амплитуды от времени.

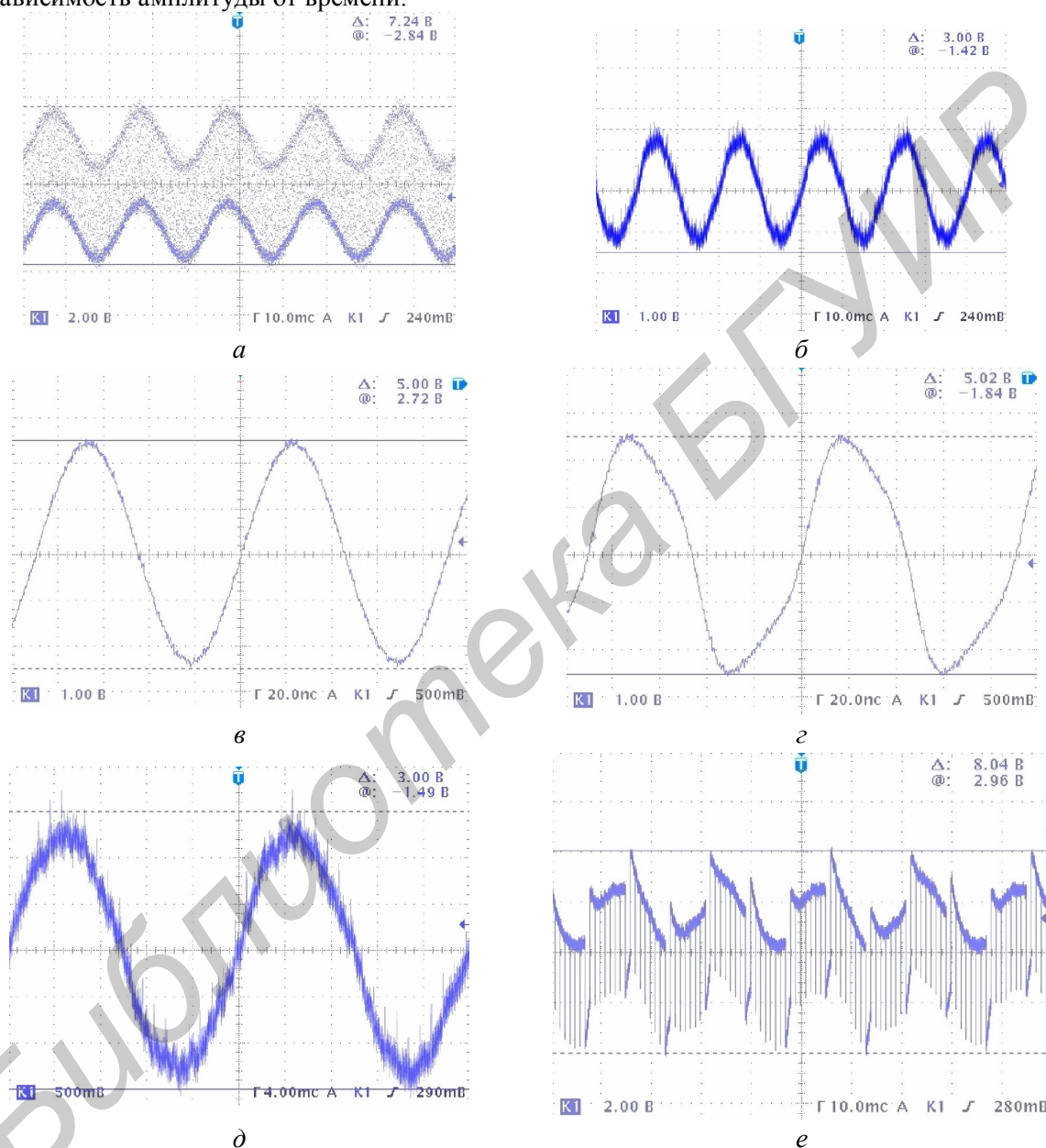


Рис. 1. Осциллограммы, снятые на контактных выводах МК до воздействия ЭСР: ALE / $\overline{\text{PROG}}$ (а); Port 2 (б); XTAL1 (в); XTAL2 (г); EA/VPP и VCC (д); Port 0 (е)

Анализ осциллограмм, приведенных на рис. 1, убеждает в том, что испытуемые МК являются работоспособными. Следует отметить, что данные осциллограммы были получены для всех МК выборки, на которые, в дальнейшем, было произведено воздействие ЭСР.

3) Осуществление контактных разрядов на выводы МК с расположением разрядного наконечника генератора ЭСР перпендикулярно к поверхности контактных выводов, что позволит улучшить повторяемость результатов испытаний [3].

Для генерации ЭСР был использован симулятор ЭСР – ESD 3000 [21], так как данное оборудование обладает возможностью генерации импульсов необходимых напряжений, полярностей и соответствующих эпюре разрядного тока, которые полностью соответствуют требованиям [3, 15–17].

На каждый контактный вывод МК (табл. 2) производилось попеременно по 10 одиночных разрядов разной полярности с интервалом, между последовательными одиночными разрядами, равным 1 с. Длительность импульса составляет $0,7 \div 1$ нс [3].

Первоначальное значение напряжения ЭСР (250 В) выбрано в соответствии с методом 502-1.1а «испытание микросхем по определению допустимых значений статического электричества по модели человеческого тела» [17]. Последующие значения напряжений воздействующих ЭСР составляли: 500 В, 1 кВ, 2 кВ и 4 кВ. При данных значениях никаких изменений не было выявлено.

Дальнейшее значение напряжения воздействующего ЭСР было взято в размере 6,0 кВ, что обусловлено данными по критическому значению напряжения, приведенному в [18]. Постепенное увеличение на 0,1 кВ вызвано необходимостью получения более точных данных по отказам.

4) Измерение электрических параметров МК после воздействия ЭСР.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Комбинация контактных выводов МК при подаче ЭСР является постоянной для всех МК партий и приведена в табл. 2.

Таблица 2 Комбинация выводов МК и выявление отказов после воздействия ЭСР

№ выборки	№ МК	Комбинация контактных выводов МК	Испытательное напряжение ЭСР со знаком «±», кВ					
			6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5
1	1	(Port 0; Port 1; Port 2; Port 3) – GND	–					
	2	(RST; XTAL1; XTAL2) – GND	–					
	3	(ALE/PROG; PSEN; EA/VPP) – GND	–					
2	1	(Port 0; Port 1; Port 2; Port 3) – GND		–				
	2	(RST; XTAL1; XTAL2) – GND		–				
	3	(ALE/PROG; PSEN; EA/VPP) – GND		–				
3	1	(Port 0; Port 1; Port 2; Port 3) – GND			–			
	2	(RST; XTAL1; XTAL2) – GND			–			
	3	(ALE/PROG; PSEN; EA/VPP) – GND			–			
4	1	(Port 0; Port 1; Port 2; Port 3) – GND				–		
	2	(RST; XTAL1; XTAL2) – GND				–		
	3	(ALE/PROG; PSEN; EA/VPP) – GND				–		
5	1	(Port 0; Port 1; Port 2; Port 3) – GND					+	
	2	(RST; XTAL1; XTAL2) – GND					–	
	3	(ALE/PROG; PSEN; EA/VPP) – GND					–	
6	1	(Port 0; Port 1; Port 2; Port 3) – GND						+
	2	(RST; XTAL1; XTAL2) – GND						+
	3	(ALE/PROG; PSEN; EA/VPP) – GND						+

Примечание:
«+» – отказы есть;
«–» – отказов нет.

В ходе эксперимента на всех контактных выводах МК были сняты электрические параметры. Осциллограммы, снятые с 1-го МК 5-ой выборки и всех МК 6-ой выборки, имели форму, свидетельствующую о возникновении повреждения в МК (рис. 2).

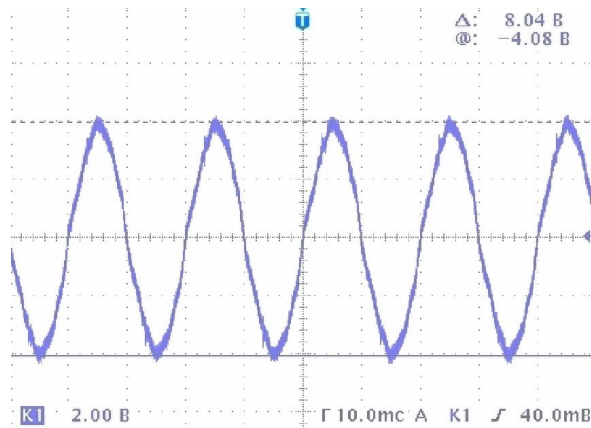


Рис. 2. Осциллограмма, снятая на контактных выводах МК, после воздействия ЭСР

После подачи напряжения питания на 1-ый МК 5-ой выборки и все МК 6-ой выборки, с помощью цифрового пирометра Mastech MS6530 [22] было выявлено постепенное повышение температуры, которая в течение $7 \div 9$ мин, поднялась с 30 до 78 °С. По прошествии 10 мин с МК нельзя было снять осциллограммы, что говорит о полной утрате работоспособности [23].

При выявлении причин каждого отказа, при испытании МК на чувствительность к ЭСР, учитывалась возможность разрушения разрядным импульсом отдельных элементов их конструкции.

На основании данных, приведенных в табл. 2, можно предположить, что отказ 1-го МК 5-ой выборки обусловлен наличием технологических дефектов в структуре или конструкции МК. Отказы всех МК 6-ой выборки обусловлены воздействием критического значения напряжения для данного типа МК.

Итоговый алгоритм имеет следующий вид:

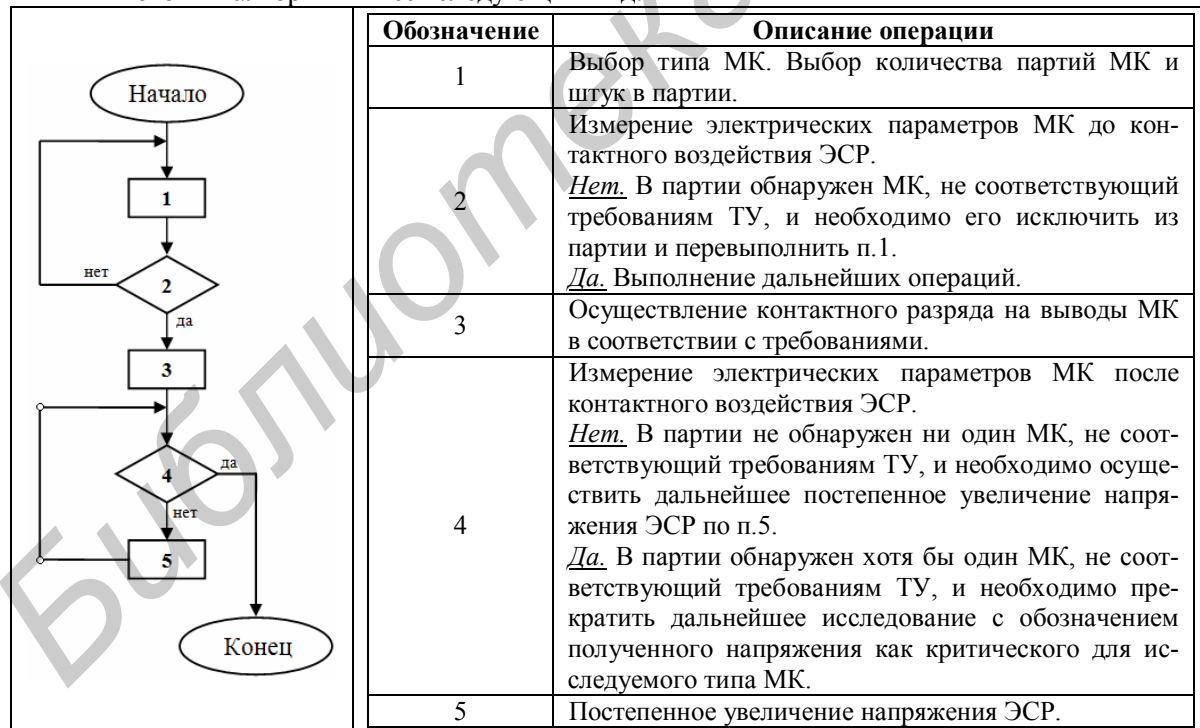


Рис. 3. Алгоритм испытания МК на чувствительность к ЭСР

Анализ полученных данных показывает, что ЭСР разноименных полярностей воздействуют на МК одного типа по-разному. На основании методики проведения расчета вероятности возникновения отказа в выборке [24], было установлено, что последовательная подача импульсов накопленного заряда статического электричества разноименных полярностей, эквивалентного 6,4 кВ, приведет к возникновению повреждения в 33,4 % МК, а 6,5 кВ – 100% МК.

Заклучение

Полученные результаты полностью подтверждают значения, приведенные в [18], что говорит о том, что данная методика верна. Рекомендация к использованию методики основана на том, что при минимизации материальных затрат можно получить результаты, не уступающие полученным и на более дорогостоящих установках [25, 26]. Данная методика не противоречит, а дополняет и совершенствует существующие результаты.

Авторы выражают благодарность директору Белорусского государственного института стандартизации и сертификации («БелГИСС») В.Л. Гуревичу за проведение исследований и экспериментов в области воздействия ЭСР на МК, а также, начальнику центра измерений и контроля качества продукции филиала НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл» А.И. Дудко за высококвалифицированные замечания и рекомендации.

TEST OF MICROCONTROLLERS FOR SENSITIVITY TO THE ELECTROSTATIC CATEGORY

V.F. ALEXEEV, M.I. SILKOY, G.A. PISKUN, A.N. PIKULIK

Abstract

Wide use of microcontrollers in modern electronic means predetermines necessity of research of influences on them various destabilizing factors. One of such factors is the electrostatic category which, according to authors [1, 2], makes 16–22 % of all refusals at manufacturers microcontrollers.

The analysis of the received data shows that electrostatic discharge heteronymic polarity influence microcontrollers of one type on a miscellaneous. On the basis of a technique of carrying out calculation of occurrence probability of refusal in sample [24], it has been established that consecutive giving of impulses of the saved up charge of a static electricity heteronymic polarity, equivalent 6,4 кВ, will lead to occurrence of damage in 33,4% MC, and 6,5 кВ – 100% MC.

Литература

1. Горлов М.И. Электростатические заряды в электронике. Мн., 2006.
2. Горлов М.И., Строгонов А.В., Адамян А.Г. // ChipNews. 2001. № 1.
3. СТБ МЭК 61000-4-2-2006 Электромагнитная совместимость Часть 4-2. Методы испытаний и измерения. Испытания на устойчивость к электростатическим разрядам.
4. Каверзнев В.А. и др. Статическое электричество в полупроводниковой промышленности. М., 1975.
5. Джозетт Ч.Е. Статическое электричество в электронике. М., 1980.
6. Горлов М.И., Королев С.Ю. Физические основы надежности интегральных микросхем. Воронеж, 1995.
7. ГОСТ 27.310-95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.
8. Урбанович П.П., Алексеев В.Ф., Верниковский Е.А. Избыточность в полупроводниковых интегральных микросхемах памяти. Мн., 1995.
9. Пискун Г.А. Сборник материалов международного форума студенческой и учащейся молодежи. Мн., 2010.
10. Кравченко В.И. Грозозащита радиоэлектронных средств: Справочник. М., 1991.
11. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения
12. Unger B.A. // European Semiconductor Production Electrostatics. 1982. №4. P. 22–28.
13. Manzoni M. // IEEE Transaction in Consumer Electronics. 1985. №3. P. 601–607.
14. Ajith Amerasekera, Charvaka Duwury. ESD in Silicon Integrated Circuits. 2nd Edition, 2002.
15. IEC 61000-4-2:2008 Electromagnetic compatibility (EMC). Testing and measurement techniques. Electrostatic discharge immunity test.
16. IEC 61340-3-1:2002 Электростатика. Методы моделирования электростатических воздействий. Модель человеческого тела (НВМ). Испытания компонентов
17. ОСТ 11 073.013 – 2008 Микросхемы интегральные. Методы испытаний. Методы электрических испытаний. Часть 7

18. Datasheet AT89C51RC [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://datasheet.su/datasheet/Atmel/AT89C51RC-24JU>
19. Бродин В.Б., Калинин А.В. Системы на микроконтроллерах и БИС программируемой логики. М., 2002.
20. Tektronix TDS3052C 500 MHz 2 Channel Digital Phosphor Oscilloscope [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.tequipment.net/TektronixTDS3052C.asp>
21. ESD 3000 System for Contact Discharge up to 30kV [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.emc-partner.com/page/pages/products.htm>
22. Цифровой пирометр Mastech MS6530 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.micronnet.ru/?page=1000065&rubrik=90&id=303200>
23. РД 50-699-90 Надежность в технике. Общие правила классификации отказов и предельных состояний.
24. Боровиков С.М. Теоретические основы конструирования технологии и надежности. Мн., 1998.
25. THERMO SCIENTIFIC SYSTEM 700 Паспорт установки тестирования на воздействие электростатического разряда
26. Стенд для испытаний интегральных схем на чувствительность к разряду статического электричества (УИСЭ-10) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ruselectronics.ru/produce/02/>

Библиотека БГУИР