



МЕТОД И УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ УРОВНЯ БЕССОБОЙНОЙ РАБОТЫ
ИНТЕГРАЛЬНЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ В ЦЕПОВЫХ УСЛОВИЯХ

И.Н. Давыдов, В.И. Бутин

Разработан метод и предложено устройство контроля уровня бессобойной работы изделий интегральной электроники. Рассмотрены способы организации сплошного контроля партий микросхем с использованием устройства для подготовки контрольных образцов. Приведены результаты апробации разработанного метода при контроле партий микросхем серий 564 и 533.

Важным моментом при разработке методов контроля уровня бессобойной работы (УБР) и времени потери работоспособности цифровых интегральных микросхем (ИС) и тестовых элементов ИС высокой степени интеграции (БИС) является выбор измерительной схемы, обеспечивающей получение достоверной информации о показателях радиационной стойкости (РС) изделий. Для информационно-измерительных систем, обслуживающих сложные объекты (ИС и БИС) с большим числом измеряемых параметров, характерно наличие достаточно сильных стохастических, а зачастую и функциональных связей между сообщениями, передаваемыми по различным измерительным каналам. Это обуславливает практическую ограниченность применения большинства известных систем при проведении радиационных испытаний выборки ИС и БИС в условиях сложной помеховой обстановки нестабильных полей импульсного ионизирующего излучения, в особенности при организации отбраковочных испытаний партии однотипных изделий [1].

Одним из возможных путей обеспечения достоверности и снижения трудоемкости радиационных испытаний ИС — использование функциональных возможностей облучаемых изделий при организации контроля показателей их РС, т.е. переход к схемному (аппаратному) самоконтролю ИС в процессе радиационных испытаний. Дополнительное оборудование, неизбежное при использовании методов самоконтроля [2], подлежит схемотехнической реализации также на основе испытываемых изделий.

В соответствии с целями контроля изделий искомая измерительная схема должна обеспечивать получение информации о фактическом состоянии облучаемых объектов и показателях их РС, осуществлять сопоставление полученной первичной информации для множества испытываемых изделий, а также обеспечивать надежное (устойчивое) сохранение информации о расхождении показателей РС отдельных изделий [3,4]. Эти требования позволили ограничить область поиска схемотехнического решения измерительных схем самоконтроля множеством цифровых конечных автоматов с памятью. Кроме того, искомая измерительная схема радиационных испытаний изделий в условиях воздействия импульсного излучения в большей степени соответствует одному из видов абстрактной динамической системы, а именно, динамической системе с дискретным вмешательством случая [5].

Особенность подобных систем состоит в скачкообразности изменения состояния в момент поступления входных сигналов или возмущений и относительной устойчивости состояний между этими моментами. Следовательно, для реализации разрабатываемой схемы в виде цифрового последовательностного автомата необходимы средства представления его внутренних состояний. В этом качестве в цифровой технике выступают замкнутые структуры, которые обладают двумя устойчивыми электрическими состояниями, — бистабильные ячейки [6,7].

Из обобщенной модели последовательностной цепи (рис. 1) [7,8] следует, что при построении измерительной схемы на основе испытываемых изделий, последние должны обеспечивать реализацию функций логического блока и блока памяти, а также иметь обратную связь информационных или выходов и вы-

ходов. Практическая реализация обобщенной минимизированной модели цифрового автомата с памятью может быть обеспечена последовательно-параллельным соединением логических элементов ИС по замкнутой схеме, что позволяет положить в основу поисковых измерительных схем принципы построения бистабильных и многоустойчивых структур (рис. 2).

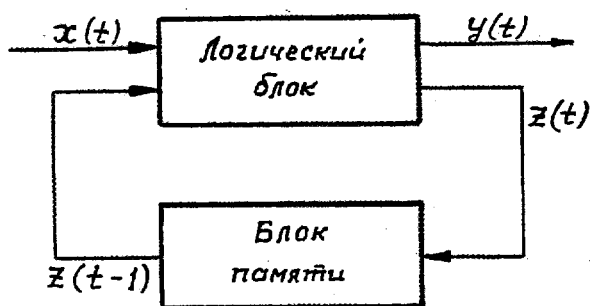


Рис. 1. Модель последовательной цепи

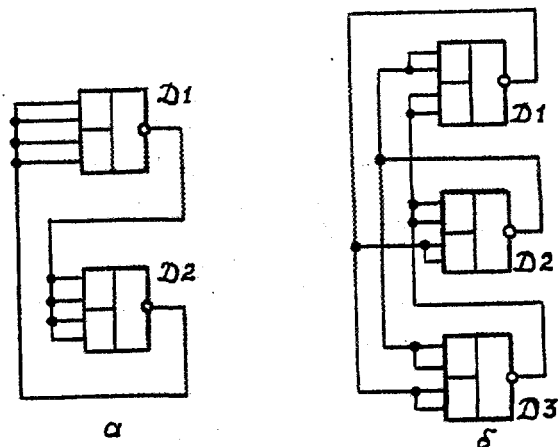


Рис. 2. Примеры бистабильной (а) и многоустойчивой (б) измерительных схем прямого контроля по методу парных и множественных сравнений

Задача анализа бистабильных и многоустойчивых структур в условиях облучения как динамических систем с дискретным вмешательством сводится в отношении динамических процессов на выходах логического блока и блока памяти по заданным входным воздействиям и возмущениям. При этом считается, что до приложения указанных воздействий бистабильные или многоустойчивые структуры находятся в устойчивом начальном состоянии, т.е. во всех элементах закончились переходные процессы.

Для обобщенной минимизированной модели бистабильной структуры, представленной последовательным соединением инвертирующих элементов по замкнутой схеме, уравнение переходов имеет вид $y(t) = \bar{x}(t)$. Учитывая, что $z(t) = y(t)$, а $z(t-1) = x(t)$, получаем $z(t) = \bar{z}(t-1)$.

Таким образом, при отсутствии входного динамического процесса ($x(t) = z(t-1)$) изменение состояния замкнутой структуры $z(t)$ возможно лишь при дискретном вмешательстве внешнего возмущающего воздействия на элементы структуры. Подобными воздействиями являются импульсы ионизирующего излучения или электрического насыщения, синхронно обуславливающие протекание переключательных процессов различной длительности в элементах структуры.

На основе анализа временных диаграмм переключательных процессов в логических элементах замкнутой структуры, вызванных возмущающим воздействием, получены закономерности выявления элементов предпочтения (а именно, более радиационно-стойких изделий) по логическим состояниям ИС после завершения инициированных переключательных процессов. Это обеспечивает возможность определения элементов предпочтения в структурах без передачи измерительной информации по кабельным линиям связи в момент возмущающего воздействия.

Использование бистабильных и многоустойчивых структур в качестве измерительных схем при проведении радиационных и электрических испытаний ИС допускает переход к организации процессов контроля, математические модели которых подчиняются законам алгебры бинарных отношений и бесконечнозначной логики. В этом случае измерительные схемы реализуют по существу методы парных или множественных сравнений ИС в условиях импульсного воздействия и обеспечивают решение разнообразных задач классификации изделий на основе информации с парным доминированием объектов сравнения. Транзитивность отношения предпочтения для партии контролируемых ИС является следствием однозначности и монотонности зависимости времени потери работоспособности изделий от уровня ИС и глубины насыщения [3,6,9], которая сохраняется практически во всем диапазоне значений мощности излучения.

Разработанный комплекс средств контроля УБР цифровых интегральных радиоэлектронных устройств для цеховых условий серийного производства включает: средства ранжирования выборки изделий по данным прогностических электрических испытаний ИС или тестовых элементов БИС по методу парных сравнений; средства отбора контрольных образцов и измерения УБР; средства прямого электрического контроля партии ИС и классификации изделий по УБР контрольных образцов. Апробация метода и средств выполнена при контроле партии цифровых ИС серий 564 и 533 на установках физического моделирования РМУС-5 и ЛМУ-10.

Электрическая функциональная схема прямого контроля изделий при проведении прогностических электрических испытаний ИС приведена на рис. 3. Специализированный источник питания обеспечивает формирование отключающего импульса напряжения длительностью не менее времени рассасывания и накопления зарядов в кристалле биполярных ИС. Пример заполнения матрицы бинарных отношений для электрических парных сравнений выборки ИС (объемом 11 шт.) приведен в табл. I. Коэффициент приоритета для каждой ИС выборки рассчитывается по формуле $K = n'/n - 1$, где n - объем выборки ИС; n' - количество приоритетных исходов в парных сравнениях ИС.

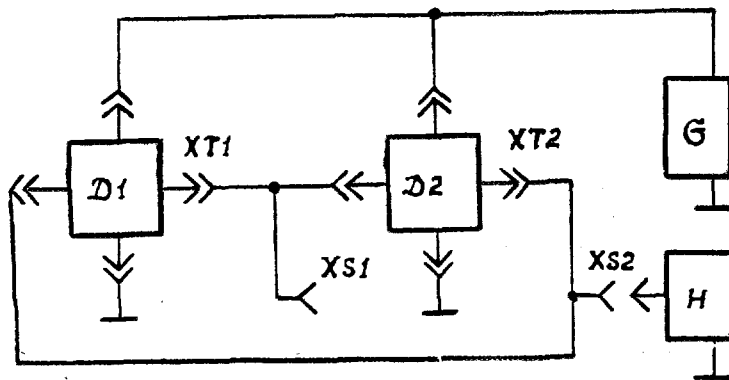


Рис. 3. Функциональные схемы средств прямого контроля ИС: D1, D2 - контролируемые ИС; G - специализированный источник питания; H - индикатор логических состояний ИС; XT1, XT2 - устройства контактирования ИС; XS1, XS2 - гнезда для подключения индикатора

Таблица I

Полная матрица бинарных отношений ИС по данным электрических испытаний выборки методом парных сравнений

Номер ИС	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Коэффициент приоритета
1	-	I	0	0	I	0	0	I	I	0	0	0,4
2	0	-	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0,1
3	I	I	-	I	I	I	I	I	I	I	I	1,0
4	I	I	0	-	I	0	0	I	I	I	0	0,5
5	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0,0
6	I	I	0	I	I	-	0	I	I	I	0	0,7
7	I	I	0	I	I	I	-	I	I	I	I	0,9
3	0	I	0	0	I	0	0	-	I	0	0	0,3
9	0	I	0	0	I	0	0	0	-	0	0	0,2
10	I	I	0	0	I	0	0	I	I	-	0	0,5
11	I	I	0	I	I	I	0	I	I	I	-	0,8

Упорядочение изделий по числовым значениям коэффициента приоритета приводит к распределению экспериментальных данных электрических испытаний ИС относительно главной диагонали матрицы (табл.2), что, наряду с результатами измерения УБР ИС, показывает справедливость условия транзитивности бинарных отношений при парных сравнениях изделий по показателям РС с помощью разработанных средств прогностических испытаний и контроля УБР ИС.

Таблица 2

Ряд предпочтения ИС в выборке

Номер ИС	Коэффициент приоритета	УБР, Гр/с
3	1,0	$3 \cdot 10^8$
7	0,9	$2 \cdot 10^8$
II	0,8	$1 \cdot 10^8$
6	0,7	$5 \cdot 10^7$
4	0,6	$2 \cdot 10^7$
10	0,5	$1 \cdot 10^7$
I	0,4	$7 \cdot 10^6$
8	0,3	$4 \cdot 10^6$
9	0,2	$1 \cdot 10^6$
2	0,1	$9 \cdot 10^5$
5	0,0	$8 \cdot 10^5$

Отбор из ряда предпочтения (см. табл. 2) контрольных образцов ИС 9, 10 и II обеспечивает решение задачи классификации партии ИС на 4 группы стойкости с граничными значениями УБР 10^3 , 10^6 и 10^{10} рад/с (10^6 , 10^7 , 10^8 Гр/с) в цеховых условиях по результатам электрических испытаний изделий по методу парных сравнений с соответствующими контрольными образцами (см. рис. 3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Н.И., Секолов А.Г. Параметрические и функциональные испытания интегральных схем // Зарубежная радиоэлектроника. 1979. № II. С. 38-63.
2. Кудрицкий В.Д., Синица М.А., Чинаев Н.И. Автоматизация контроля радиоэлектронной аппаратуры / Под ред. П.И. Чинаева. М.: Сов. радио, 1977.
3. Кулаков В.М., Ладугин Е.А., Шаховцев В.И. и др. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники / Под ред. Е.А. Ладугина. М.: Сов. радио, 1980.
4. Долгов В.А., Касаткин А.С., Сретенский В.Н. Радиоэлектронные автоматические системы контроля (системный анализ и методы реализации) / Под ред. В.Н. Сретенского. М.: Сов. радио, 1978.
5. Дмитриев А.К. Распознавание отказов в системах электроавтоматики. Л.: Энергоатомиздат, 1983.
6. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. М.: Энергия, 1977. 672с.
7. Фрйдман А., Менон П. Теория и проектирование переключательных схем: Пер. с англ. / Под ред. В.А. Тафта. М.: Мир, 1978.
8. Левин В.И. Бесконечнозначная логика в задачах кибернетики. М.: Радио и связь, 1982.
9. Мирова Л.О., Чепиженко А.З. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям. М.: Радио и связь, 1988.

Статья поступила в редакцию 25 июня 1993 г.