

Целью работы является исследование многоканальных сигнатурных анализаторов для сложных цифровых устройств, позволяющих диагностировать многовыходные цифровые устройства СПД. Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1) Анализ особенностей многовыходных цифровых устройств как объекта диагностики, методов и средств компактного тестирования;

2) Оценка достоверности контроля одноканального и многоканального сигнатурных анализаторов и их сравнительный анализ на основе аналитических методов;

3) Имитационное моделирование и оценка достоверности одноканального и многоканального сигнатурного анализа для заданной модели источника отказов.

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СВЯЗИ, ИНФОРМАТИЗАЦИИ И
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

На правах рукописи

УДК 621.391

БАЛТАЕВ ЖЎШЌИН БОЛТАБАЕВИЧ

**Математическая модель и методы анализа диагностирования
цифровых устройств на основе многоканального сигнатурного
анализатора**

5A311301 - Устройства и системы передачи информации

Диссертация

на соискание академической степени магистра

Научный руководитель:

к.т.н., доцент Джаббаров Ш. Ю.

Ташкент - 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Введение.....	4
I главе	Методы и средства диагностики цифровых устройств систем передачи данных.....	9
1.	Пути повышения надежности и способы сервисного обслуживания систем передачи данных.....	9
2.	Особенности диагностики цифровых устройств и задачи компактного тестирования.....	15
3.	Анализ методов и технических средств компактного тестирования цифровых устройств.	19
	Выводы по главе I.....	27
II главе	Анализ достоверности контроля цифровых устройств методом сигнатурного анализа.....	28
1.	Математическая модель диагностирования цифровых устройств и формирование сигнатур.	28
2.	Методы анализа диагностирования цифровых устройств на основе многоканального сигнатурного анализатора	30
3.	Оценка достоверности одноканального и многоканального сигнатурного анализатора	34
	Выводы по главе II	45
III главе	Имитационное моделирование одноканального и многоканального сигнатурного анализатора	46
1.	Модели неисправности цифровых устройств	46
2.	Имитационная модель многоканального сигнатурного анализатора цифровых устройств и анализ результатов моделирования.....	53
3.	Разработка модуля моделирующего алгоритма диагностирования с использованием многоканального сигнатурного анализатора.....	58
	Выводы по главе III.....	91

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	92
ЛИТЕРАТУРА.....	94

Введение

В настоящее время в Узбекистане осуществляется модернизация и техническое перевооружение в сфере связи и информатизация и все большей её интеграции в мировое информационно-телекоммуникационное пространство на базе современных систем передачи данных (СПД).

Решения, принятые в Узбекистане на государственном уровне, по развитию в стране тех или иных телекоммуникационных технологий имеют долговременные последствия на уровень развития телекоммуникаций в стране. Указ Президента Республики Узбекистан от 30мая 2002 № УП-3080 “О дальнейшем развитии компьютеризации и внедрении информационно-коммуникационных технологий”, определяет основные цели и важнейшие направления в организации и совершенствования деятельности соответствующих органов в сфере связи и информатизации.

Современные СПД представляют собой сложные комплексы оборудования, а основное направление совершенствования СПД связано с бурным развитием ПКТ.

Так как СПД относятся к классу восстанавливаемых систем, то основным критерием надёжности является коэффициент готовности, составляющими которого являются среднее время наработки на отказ, характеризующее безотказность системы и среднее время восстановления, которое характеризует ремонтпригодность.

Постоянный рост сложности цифровых устройств современной СПД предопределяет повышенные требования к их надёжности. Достижение высокого уровня надёжности обеспечивается рядом технологических и эксплуатационных мероприятий.

Одной из разновидностей диагностирования является тестовое диагностирование.

Однако при разработке тестовой диагностики возникает сложность определения эталонных реакций при диагностировании многовыходных устройств, а также анализа их эталонных реакций.

Одним из решений, позволяющим значительно сократить объём хранимой информации об эталонных выходных реакциях, является получение интегральных оценок, имеющих меньшую размерность. Для этого используются алгоритмы сжатия информации.

Среди большого их многообразия выделяют методы компактного диагностирования многовыходных цифровых устройств.

Актуальность темы. При построении современных цифровых СПД актуальной задачей является исследование методов повышения качества функционирования технических средств, методами и диагностики.

Традиционные методы и диагностики требует наличия высококвалифицированного обслуживающего персонала, а поиск неисправностей в цифровых устройствах при использовании традиционных средств не даёт приемлемых результатов.

Рассмотрение процесса диагностирования многовыходных цифровых устройств позволяет сделать вывод о том, что развитие СПД идущее в направлении усложнения цифровых устройств приводит к увеличению числа ошибок при проектировании и эксплуатации и, соответственно, к усилению роли технической диагностики. В связи с этим необходимо развивать методы диагностирования многовыходных цифровых устройств.

Среди способов повышения эффективности и диагностики цифровых устройств получают широкое распространение методы компактного тестирования.

Одним из наименее исследованных остаются вопросы и диагностики многовыходных цифровых устройств СПД методами компактного тестирования, на базе многоканального сигнатурного анализатора (МСА).

В связи с этим исследование методов диагностировано многовыходных цифровых устройств, на основе МСА включая оценку их достоверности контроля представляет собой важную и актуальную задачу.

Объект исследования: многовыходные цифровые устройства систем передачи данных.

Предмет исследования: методы анализа диагностирования цифровых устройств на основе многоканального сигнатурного анализатора.

Цель и задачи работы. Целью работы является исследование многоканальных сигнатурных анализаторов для сложных цифровых устройств, позволяющих диагностировать многовыходные цифровые устройства СПД. Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

4) Анализ особенностей многовыходных цифровых устройств как объекта диагностики, методов и средств компактного тестирования;

5) Оценка достоверности контроля одноканального и многоканального сигнатурных анализаторов и их сравнительный анализ на основе аналитических методов;

6) Имитационное моделирование и оценка достоверности одноканального и многоканального сигнатурного анализа для заданной модели источника отказов.

Основные вопросы и гипотеза: диагностика многовыходных цифровых устройств, оценка достоверности, имитационное моделирование многоканального сигнатурного анализатора. Предполагаются новые решения диагностирования, позволяющие сократить временные затраты на процедуру диагностирования многовыходных цифровых устройств.

Краткий анализ литературы по тематике исследования: проблемы контроля и диагностики в СПД в целом рассматривались в работах зарубежных и отечественных авторов: Абрамовича М., Броэра М.,

Уильямса Т., Пархоменко П. П., Захарова Г.П., Щербакова Н. С., Давыдова П.С., Абдуллаева Д.А., Арипова М. Н., Камалова Ю.К., и других.

Методы исследования. При решении поставленных задач использовались методы теории вероятностей, теории надёжности, технической диагностики и имитационного моделирования.

Положения, которые выносятся на защиту:

- способы сервисного обслуживания и анализ многовыходных цифровых устройств как объекта диагностики на базе методов компактного тестирования;
- аналитическая оценка достоверности контроля методов одноканального и многоканального сигнатурных анализаторов;
- моделирующий алгоритм для построения многоканального сигнатурного анализатора;
- имитационная модель одноканального и многоканального сигнатурного анализаторов.

Научная новизна: на основе проведенных исследований получены следующие результаты:

- проанализированы современные методы многовыходных диагностики цифровых устройств на базе компактного многоканального сигнатурного анализатора;
- аналитические оценки вероятностей необнаружения ошибок методов одноканального и многоканального сигнатурных анализаторов;
- методика и моделирующий алгоритм для проектирования многоканальных сигнатурных анализаторов, с произвольным числом входов.
- разработана методика и имитационная модель для сравнения методов компактного тестирования для различных цифровых устройств. Практически реализован алгоритм оценки эффективности одноканального и многоканального сигнатурного анализа.

Структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и приложения.

В первой главе рассматриваются методы и средства диагностики цифровых устройств СПД. Проведен анализ путей повышения надежности и способов сервисного обслуживания СПД. Приведены основные особенности диагностики цифровых устройств и задачи компактного тестирования. Проведен анализ методов и технических средств компактного тестирования цифровых устройств.

Вторая глава посвящена анализу достоверности контроля цифровых устройств методом сигнатурного анализатора. Рассматривается математическая модель диагностирования цифровых устройств включая принципы сжатия двоичных последовательностей и процесса формирования сигнатур. Дан анализ методов диагностирования цифровых устройств на основе многоканального сигнатурного анализатора.

Проведен анализ достоверности одноканального и многоканального сигнатурного анализаторов аналитическими методами и получены оценки достоверности контроля.

В третьей главе проведено имитационное моделирование методов одноканального и многоканального сигнатурного анализатора. Дан краткий анализ моделей источников отказов цифровых устройств. Разработана имитационная модель функционирования одноканального и многоканального сигнатурного анализатора цифровых устройств и проведен анализ результатов моделирования. Разработан модуль моделирующего алгоритма диагностирования с использованием многоканального сигнатурного анализатора.

Глава 1. Методы и средства диагностики цифровых устройств систем передачи данных.

1. Пути повышения надежности и способы сервисного обслуживания систем передачи данных.

Современные системы передачи данных (СПД), представляют собой сложные территориально распределённые технические комплексы, выполняющие важные задачи по своевременной и качественной передаче информации.

Техническое обслуживание, обеспечение необходимых профилактических и ремонтно-восстановительных работ и организации поставок ЗИП для сложных СПД является важной проблемой.

При выборе оборудования СПД необходимо убедиться, что его разработчики и производители готовы осуществить техническую поддержку в течении не только гарантийного , но и всего срока службы, т.е. до наступления предельного состояния.

Объективно СПД присущи иерархичность структуры, связь с внешней средой, взаимосвязь элементов, из которых состоят подсистемы, наличие управляющих и исполнительных органов и т.п.

При этом все изменения СПД, начиная с момента её создания (возникновения необходимости её создания) и кончая полной утилизацией, образуют жизненный цикл (ЖЦ), характеризуемый рядом процессов и включающий различные стадии и этапы. В таблице 1.1 приведен типовой жизненный цикл СПД.

Составляющими жизненного цикла являются:

- стадия исследования и проектирования СПД, на которой осуществляются исследования и отработка замысла, формирование уровня качества, соответствующего достижениям научно-технического прогресса,

разработка проектной и рабочей документации, изготовление и испытание опытного образца, разработка рабочей конструкторской документации;

- стадия изготовления СПД, включающая: технологическую подготовку производства; становление производства; подготовку изделий к транспортировке и хранению;

- стадия обращения СПД, на которой организуется максимальное сохранение качества готовой продукции в период транспортировки и хранения;

- стадия эксплуатации, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается качество СПД, оно включает: целевое использование, в соответствии с назначением; техническое обслуживание; ремонт и восстановление после отказа.

Приведено типовое распределение стадий и этапов жизненного цикла, СПД. Мы будем рассматривать задачи, возникающие на стадии жизненного цикла, связанном эксплуатацией СПД. И так, эксплуатация СПД — стадия жизненного цикла, на которой реализуется), национальное использование), поддерживается (техническое обслуживание) и восстанавливается (техническое обслуживание и ремонт) его качество.

Часть эксплуатации, включающая транспортирование, хранение, техническое обслуживание и ремонт, называют технической эксплуатацией.

Для повышения эффективности организации всего жизненного цикла СПД необходимо решать вопросы диагностического обеспечения, начиная с самых ранних этапов проектирования.

Таким образом, проблема заключается в создании методов и средств диагностирования технического состояния радиоэлектронных устройств систем управления на протяжении всего жизненного цикла.

Так как СПД обычно состоят из большого числа элементов, каждый из которых имеет высокую степень безотказности. Поток отказов такой системы представляет сумму большого числа редких потоков отказов

элементов. Если время безотказной работы каждого элемента подчиняется экспоненциальному закону распределения, то поток отказов системы, как сумма простейших потоков, так же является простейшим и имеет суммарную интенсивность $\lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i$.

Таким образом основным критерием надежности невосстанавливаемой цифровой системы является вероятность безотказной работы:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (1.1)$$

это вероятность того, что за заданный отрезок времени t не произойдет отказа; где $\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$

λ – интенсивность отказа;

N - число элементов в телекоммуникационной системе;

λ_i - интенсивность отказа одного элемента телекоммуникационной системы.

Основным критерием надежности восстанавливаемой телекоммуникационной системы является коэффициент готовности

$$K_G = \frac{T_H}{T_H + T_B}, \quad (1.2)$$

который характеризует вероятность того, что система будет находиться в исправном состоянии в произвольно выбранный момент времени;

где T_H - средняя наработка на отказ;

Это среднее значение длительности непрерывной работы системы между двумя отказами.

$$T_H = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{H_i}, \quad (1.3)$$

где N - общее число отказов;

T_{H_i} -время работы между $(i-1)$ и i -м отказом.

$$T_H = \frac{1}{\lambda}.$$

T_B - время восстановления. Среднее время простоя системы, вызванное отысканием и устранением отказа.

$$T_B = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{B_i}, \quad (1.4)$$

где T_{B_i} - длительность $i^{\text{го}}$ отказа.

$$T_B = \frac{1}{\mu},$$

где μ - интенсивность восстановления, характеризует число восстановлений в единицу времени.

Для элементов СПД в условиях эксплуатации важнейшим свойством является ремонтпригодность. Это связано с тем, что односторонняя ориентация на достижение высокой безотказности в ущерб ремонтпригодности во многих случаях не обеспечивает повышение коэффициента готовности (K_2) СПД в целом в условиях эксплуатации, так как сложность устранения отказов приводит к существенному росту времени восстановления технических средств. Поэтому оценку надежности элементов СПД целесообразно производить комплексными показателями, которые отражали бы указанное выше свойство ремонтпригодности. Этим требованиям удовлетворяют такие показатели, как коэффициент готовности K_2 и коэффициент простоя K_n :

$$K_2 = \frac{T_n}{T_n + T_г}, \quad \text{или} \quad K_2 = \frac{1}{1 + \frac{T_г}{T_n}} \quad (1.5)$$

где T_n - время наработки на отказ;

$T_г$ - время восстановления.

$$K_n = 1 - K_2$$

Элементы СПД будут обладать максимальной готовностью в случае, если отношение $\frac{T_g}{T_n}$ будет стремиться к нулю. В этом случае коэффициент готовности K_c будет стремиться к единице, а время восстановления T_g должно стремиться к нулю.

В общем случае время восстановления определяется как

$$T_g = t_{обн} + t_{ин} + t_{ун},$$

где $t_{обн}$ - время обнаружения неисправности;

$t_{ин}$ - время поиска неисправности;

$t_{ун}$ - время устранения неисправности ($t_{ун} = t_з + t_к$);

$t_з$ - время замены неисправного элемента;

$t_к$ - время контроля работоспособности после замены.

Из вышеприведенного выражения видно, что время восстановления определяется в первую очередь временем обнаружения (контроля) и временем поиска неисправности (диагностики).

Необходимо отметить, что качество предлагаемых услуг, а также размеры затрат, которые несёт операторская компания в своей деятельности, в значительной степени зависит от подготовки и организации процесса технической эксплуатации её СПД. Поэтому задача совершенствования методов эксплуатации территориально распределённых систем и СПД приобретает всё большую актуальность.

Известно, что требования международных стандартов в области качества обязывают оператора связи как поставщика услуг включать в область системы качества – техническое обслуживание и ремонт цифрового оборудования СПД.

Поэтому поставщики СПД должны организовать центры сервисного обслуживания для осуществления гарантийного и послегарантийного обслуживания своей продукции, текущей её эксплуатации и ремонта.

Обычно структура системы сервис центров включает в себя:

- главный сервис центр, координирующий работу всех остальных сервис центров и имеющий возможность выполнять наиболее сложные виды работ;
- региональные сервис центры;
- службы технического сервиса оператора связи.

Так как уровень удобства функций технического обслуживания СПД варьируется от системы к системе, то и работа с различными системами требует разной степени подготовки обслуживающего персонала. Как показывает практика по разному строят фирмы поставщики телекоммуникационного оборудования и свою стратегию организации сервисной поддержки:

- создание главного сервис центра технической поддержки;
- создание развитой сети региональных центров поддержки;
- поддержка через сеть дистрибьюторов и своё представительство;
- поддержка силами дилерской сети.

В настоящее время существует большое разнообразие форм, методов и видов технического обслуживания. Услуги заказчикам предоставляются в четырёх различных формах:

- самообслуживание силами самих заказчиков;
- обслуживание на месте эксплуатации оборудования;
- обслуживание в центрах, производящих не ремонт, а замену;
- обслуживание в центрах ремонта.

Эффективная система технической диагностики должна обеспечивать двухступенчатую стратегию поиска неисправностей в СПД с глубиной поиска соответственно до ТЭЗа (платы) и микросхемы. С учётом расширения номенклатуры СПД возникает необходимость в снижении требований к квалификации обслуживающего персонала систем технического диагностирования, особенно для центров сервисного обслуживания и ремонта.

2. Особенности диагностики цифровых устройств и задачи компактного тестирования.

Появление СПД на микропроцессорной базе, в сочетании со специализированными БИС и СБИС привело к серьезной проблеме обеспечения эффективного обслуживания в местах их эксплуатации. Большинство специалистов, занимающихся обслуживанием сложной аппаратуры достаточно ясно осознало, что к проблеме контроля и диагностики в условиях эксплуатации нельзя относиться как к вопросу второстепенной важности. Поэтому повышение технических и эксплуатационных характеристик сложной аппаратуры на базе БИС, СБИС и МПК неразрывно связано с разработкой новых методов и средств диагностики с необходимостью всестороннего учета и анализа цифровых устройств и их составных частей, как объекта контроля и диагностики.

Можно указать на общие особенности цифровых устройств на базе БИС и МПК, определяющих сложность их контроля:

- повышенная сложность объекта контроля;
- ограниченный допуск к контролируемым узлам;
- шинная организация;
- необходимость контроля в реальном масштабе времени;
- микропрограммное управление МП;
- неполнота контроля комплектующих БИС;
- влияние на устойчивость функционирования МПС входных проводимостей БИС и элементов конструкции;
- высокая стоимость обнаружения и устранения дефектов;
- возможность использования для контроля и диагностики самих МП.

Система диагностирования ЦУ с использованием сигнатурного анализа решает в рамках комплексной системы диагностирования следующие задачи:

- Обнаружение ошибки в работе ЦУ при профилактике;

- Локализацию отказавшего элемента схемы.

Функцию обнаружения ошибки в работе ЦУ в режиме профилактики система диагностирования с использованием сигнатурного анализа выполняет в том случае, когда по тем или иным причинам в проверяемом ЦУ невозможно проведение профилактики с использованием функциональных тестовых проверок.

Таким образом, систему диагностирования ЦУ с использованием сигнатурного анализа можно определить как часть комплексной системы диагностирования ЦУ. Эта система диагностирования должна разрабатываться с учетом конкретных особенностей ЦУ.

Одним из главных условий успешного внедрения систем диагностирования ЦУ с использованием сигнатурного анализа является построение такой методики, которая существенно упростила бы эту процедуру и свела бы к минимуму затраты на создание системы диагностирования. Для этого организация, разрабатывающая микропроцессорные устройства вместе с системой диагностирования на базовую конфигурацию, должна выпустить набор алгоритмов поиска неисправности с использованием сигнатурного анализа для тех конфигураций, которые могут быть созданы на базе этих устройств. Система диагностирования на каждое устройство должна быть по возможности создана таким образом, чтобы при его реконфигурации для получения новых эталонных сигнатур (ЭС) достаточно было бы снять эти сигнатуры с реконфигурированного устройства по рекомендациям разработчика устройства.

Обобщенные схемы тестового и функционального диагностирования технических объектов приведен (рис.1.1- 1.2), где ОД- объект диагностирования; СУ - средства устранения неисправностей; K_j - схема с локализованной неисправностью; L_j -

отремонтированная схема; T_j - подаваемое в ОД I тестовое воздействие; R_j - реакция ОД на T_j , поступающая в СД.

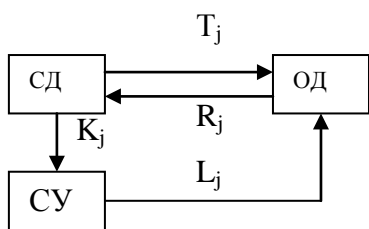


Рис. 1.1. Обобщенная схема тестового диагностирования

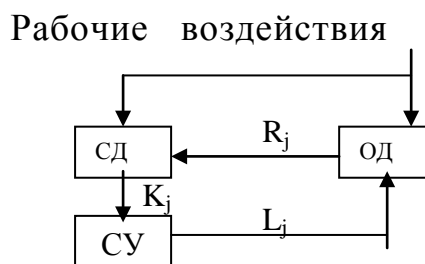


Рис.1.2. Обобщенная схема функционального тестирования

Под рациональной системой диагностирования ЦУ с использованием метода сигнатурного анализа понимается система диагностирования, позволяющая производить поиск неисправности с требуемой глубиной локализации за минимальное время при одновременном уменьшении количества дополнительного оборудования, необходимого для ее реализации, при сокращении объема документации и снижении требований к уровню квалификации обслуживающего персонала.

Система технического диагностирования включает три основных элемента: объект диагностирования, средства технического диагностирования и человека-оператора. Классификация методов диагностирования СПД представлена на рис. 1.3

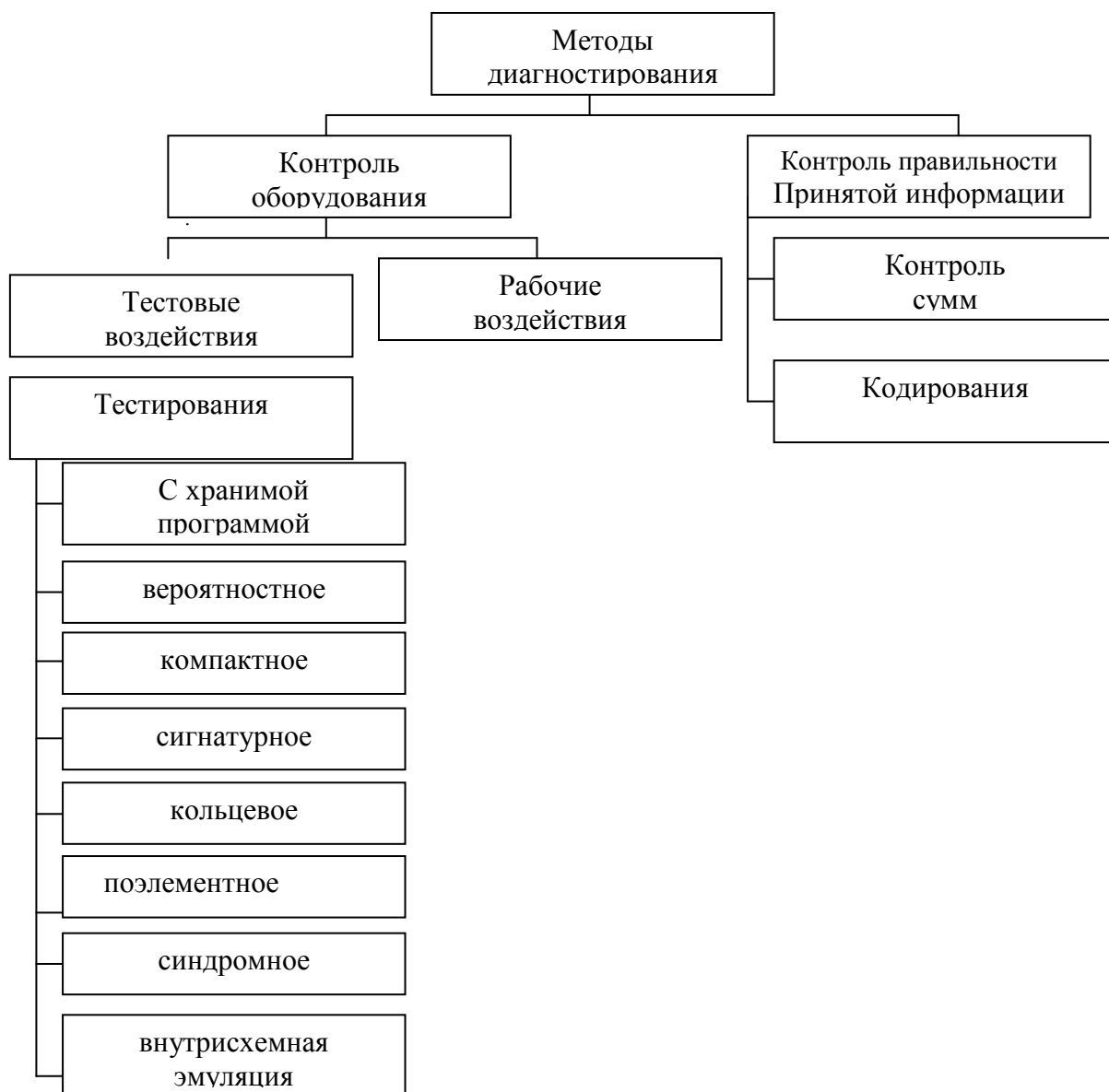


Рис. 1.3. Классификация методов диагностирования цифровых устройств.

Процесс контроля в общем случае представляет собой подачу на объект определенных воздействий (входных сигналов) и многократное измерение и анализ ответных реакций (выходных сигналов) объекта на эти воздействия. Воздействия на объект поступают от средств контроля либо являются внешними (по отношению к системе контроля) сигналами, определенными рабочим алгоритмом функционирования объекта.

В первом случае воздействия называются тестовыми (стимулирующими), а во втором — рабочими (контроль при этих воздействиях называют соответственно тестовым и функциональным).

Компактное тестирование (сравнение с эталоном). Тестирование заключается в том, что способ стимуляции может быть любой (ГПВ, программный), а эталонные реакции образуются в процессе тестирования с помощью дублирующего устройства (эталона). Анализатор сравнивает выходную реакцию с эталонной (рис. 1.4 а).

Сигнатурное тестирование. При этом типе тестирования (рис. 1.4 б) выходные реакции ОД, получаемые за фиксированный интервал времени, обрабатываются на регистре сдвига с обратными связями — сигнатурном анализаторе (СА) — и сжимаются в короткие коды (сигнатуры). Полученные сигнатуры сравниваются с эталонными, которые получают расчетным путем либо на предварительно отлаженном устройстве. Стимуляция осуществляется с помощью ГПВ или обычными программными методами, но только в фиксированном интервале времени, совпадающим со временем анализа.

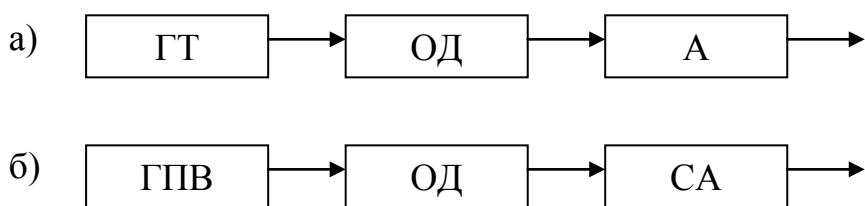


Рис. 2.4. Основные функциональные схемы организации тестового диагностирования (РД - результат диагностирования)

3. Анализ метода и технических средств компактного тестирования цифровых устройств.

Неуклонный рост сложности цифровых устройств и схем обуславливает повышенный интерес к вопросам диагностирования их технического состояния.

Под цифровым устройством обычно понимают сеть из логических элементов, соединенных между собой, и имеющих входные и выходные полюсы. В качестве логических элементов можно рассматривать более сложные элементы, такие как цифровые микросхемы или микропроцессоры.

Под диагностикой цифрового устройства понимают проверку устройства на наличие неисправностей элементов и соединений между элементами.

Одной из разновидностей методов технической диагностики цифрового устройства является тестовая диагностика, позволяющая решать основные задачи диагностики: определять правильность функционирования, осуществлять поиск неисправностей и определять тип неисправности.

Классическая стратегия тестирования цифровых устройств основана на формировании тестовых последовательностей, позволяющих обнаруживать заданные множества их неисправностей.

Основным свойством распространённых алгоритмов формирования тестовых последовательностей является то, что в результате их применения воспроизводятся последовательности очень большой длины. Поэтому на выходах проверяемого цифрового устройства формируются его реакции, имеющие ту же длину и естественно возникают проблемы их запоминания и хранения.

При этом для проведения процедуры тестирования, как правило, хранятся как сами последовательности, так и эталонные выходные реакции устройств на их воздействие.

Таким образом метод тестовой диагностики требует больших временных затрат как на формирование тестовых последовательностей, так и на процедуру тестирования и кроме того, требуется наличие сложного оборудования.

Проблема диагностики становится особенно актуальной, когда в процессе эксплуатации каждый раз перед началом работы необходимо проверить цифровое устройство. В этом случае желательно иметь тест относительно небольшого размера, по крайней мере, множество эталонных реакций на тестовые последовательности, должно быть не слишком большим. Существует несколько способов решения последней проблемы.

Простейшим решением, позволяющим значительно сократить объём хранимой информации об эталонных выходных реакциях, является получение интегральных оценок, имеющих меньшую размерность. Для этого используются алгоритмы сжатия информации.

Для того чтобы применять метод компактного тестирования, необходимо рационально выбрать алгоритм формирования тестовых последовательностей и метод сжатия информации.

Рассмотрим работу сигнатурного анализатора, структурная схема которого приведена на рис. 1.5.

Входной сигнал "Данные" формируется пробником, и после суммирования по модулю 2 с сигналами, поступающими с определенных разрядов регистра, подается на вход этого регистра. Запись в сдвиговый регистр производится в течение окна измерения, которое формируется сигналами "Пуск" и "Стоп", с синхронизацией сигналом "Такт". Селектор активного фронта предназначен для выбора полярности перехода для каждого управляющего сигнала в отдельности. При этом любые изменения данных между выбранными фронтами тактового сигнала не

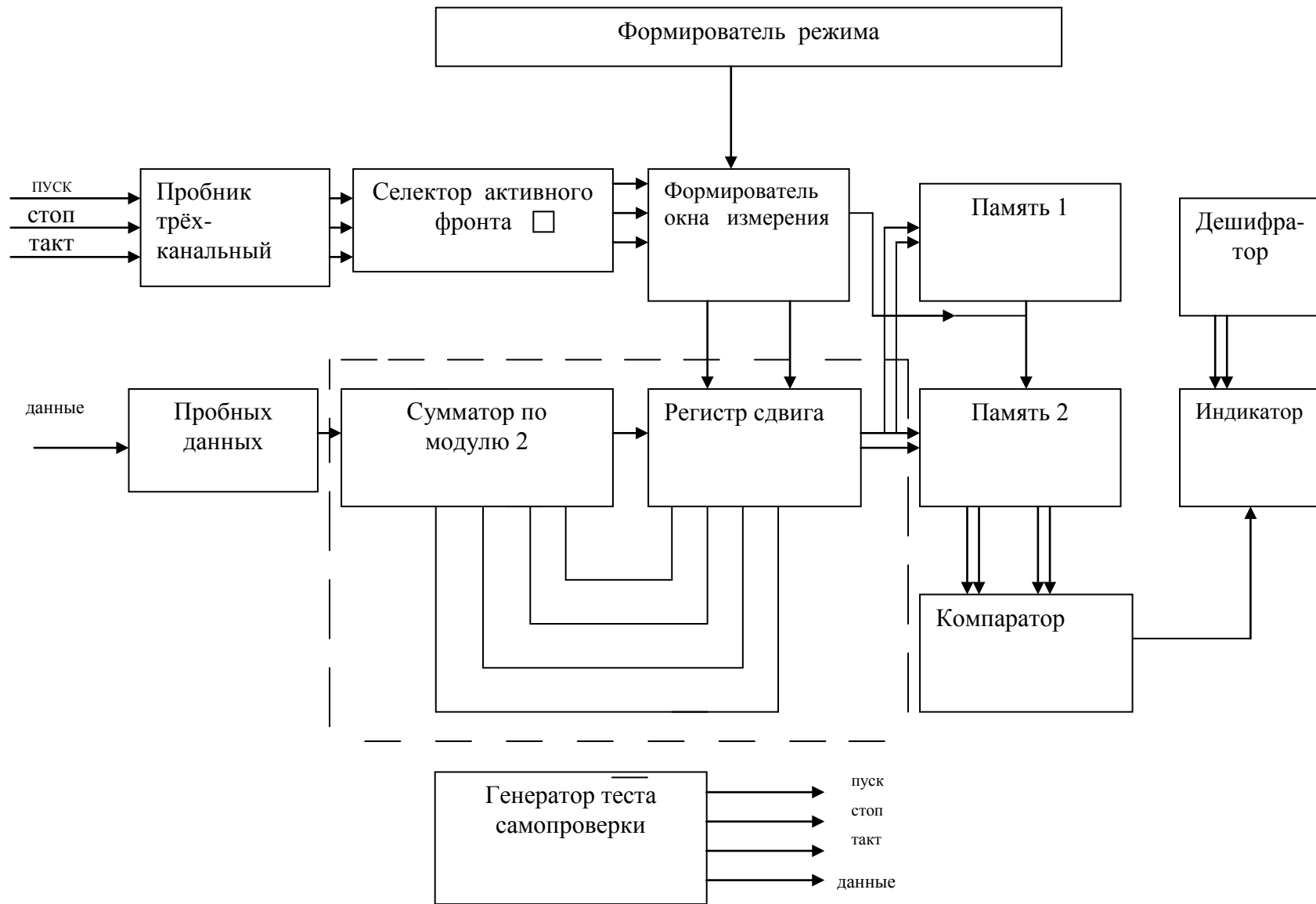


Рис. 1.5. Структурная схема сигнатурного анализатора

фиксируются. По окончании окна измерения содержимое регистра сдвига записывается в запоминающее устройство (ЗУ) 1 и ЗУ 2.

Перед началом новой записи данных по сигналу "Пуск" производится очистка регистра сдвига. ЗУ 1 хранит полученные данные в течение цикла измерений, во время которого они подаются через дешифратор на индикатор.

ЗУ 2 хранит данные обработки, полученные в течение двух соседних циклов измерения. Данные сравниваются на компараторе, и в случае их несовпадения загорается индикатор "нестабильная сигнатура". Такое сравнения позволяет обнаруживать сбои в работе проверяемой схемы. Для обеспечения удобства применения в приборе имеется однократный режим, в котором сигнатура измеряется только в самом окне измерения.

Во всех случаях при работе с сигнатурными анализаторами должны соблюдаться следующие правила:

1) окно измерения, формируемое сигналами "Пуск" "Стоп", должно иметь постоянную величину (число управляющих фронтов тактового сигнала должна быть постоянным) и синхронизировано с работой всех узлов;

2) данные должны быть синхронными и стабильными во время запускающего и останавливающего фронтов тактового сигналов. При этом должно учитываться время установления данных;

3) пуск и остановка сигнатурного анализатора могут быть связаны между собой с помощью любой из четырех допустимых комбинации фронтов сигналов, формирующих окно измерений.

Проблема анализа многовыходных цифровых схем и процесс тестирования заключается в определении возникновения неисправности схемы по её выходным реакциям. Отличительной особенностью подобного анализа является необходимость исследования достаточно большого количества выходных реакций схемы (число их может достигать нескольких сотен). Поэтому использование традиционных методов компактного тестирования, применяемых для цифровых схем с одним выходом, в данном случае не позволяет получить желаемый эффект [1,7]. Действительно,

попытка провести анализ цифровой схемы с n - выходами одноканальным СА приводит к увеличению в n раз времени, необходимого для анализа схемы, или оборудования, требуемого для реализации n сигнатурных анализаторов. При этом остаётся открытым вопрос о разрядности сигнатуры, которая также может увеличиться в n раз. Поэтому на практике чаще всего используют специальные методы и приёмы.

Кроме того, необходимо отметить большую размерность результата сжатия, которая равна длине l выходных реакций схемы. Поэтому на практике чаще всего используется компромиссное решение, заключающееся в двухступенчатом преобразовании выходных реакций n - выходной цифровой схемы. Первоначально n выходных последовательностей $\{Y_i(k)\}$ длиной l преобразуются в последовательность $\{Y_0(k)\}$ по выражению (1.6). Далее сформированная таким образом последовательность $\{Y_0(k)\}$ снимается в m - разрядную сигнатуру (рис.1.6.)

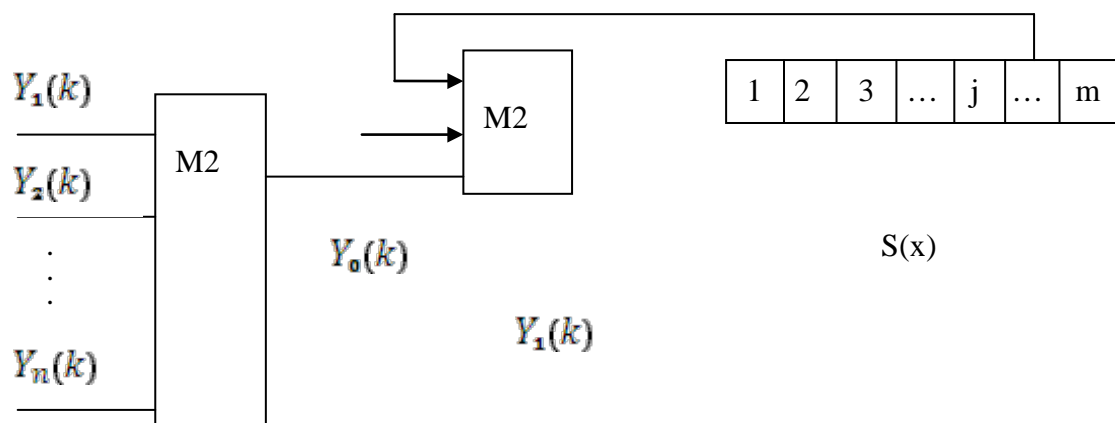


Рис -1.6. Принцип сжатия многоканального сигнатурного анализатора.

Эффективность данного преобразования согласно [12], при $\mu = 4$ определится как
$$P_n^4 = \frac{3(n-1)^2}{2^{2m}} + \frac{1}{2^m} - \frac{3(n-1)^2}{2^{2m}} \quad (1.6)$$

где m - старшая степень порождающего полинома. Эта формула справедлива, когда $nl \approx 2^m$ наиболее распространенная структура многоканального сигнатурного анализатора, для исследования многовыходных цифровых схем, которая построена на базе порождающего полинома $\varphi(x) = 1 \oplus x^2 \oplus x^4$,

приведена на рис. 1.6. Она используется для анализа выходных реакций четырёхвыходных Цифровых схем. При этом, конечное значение кода

(\bar{a})

$a_1(k)a_2(k)a_3(k)a_4(k)$ является результирующим значением сигнатуры S , представляющей собой компактную оценку сжатия четырех последовательностей $\{y_i(k)\}, i = \overline{1,4}$.

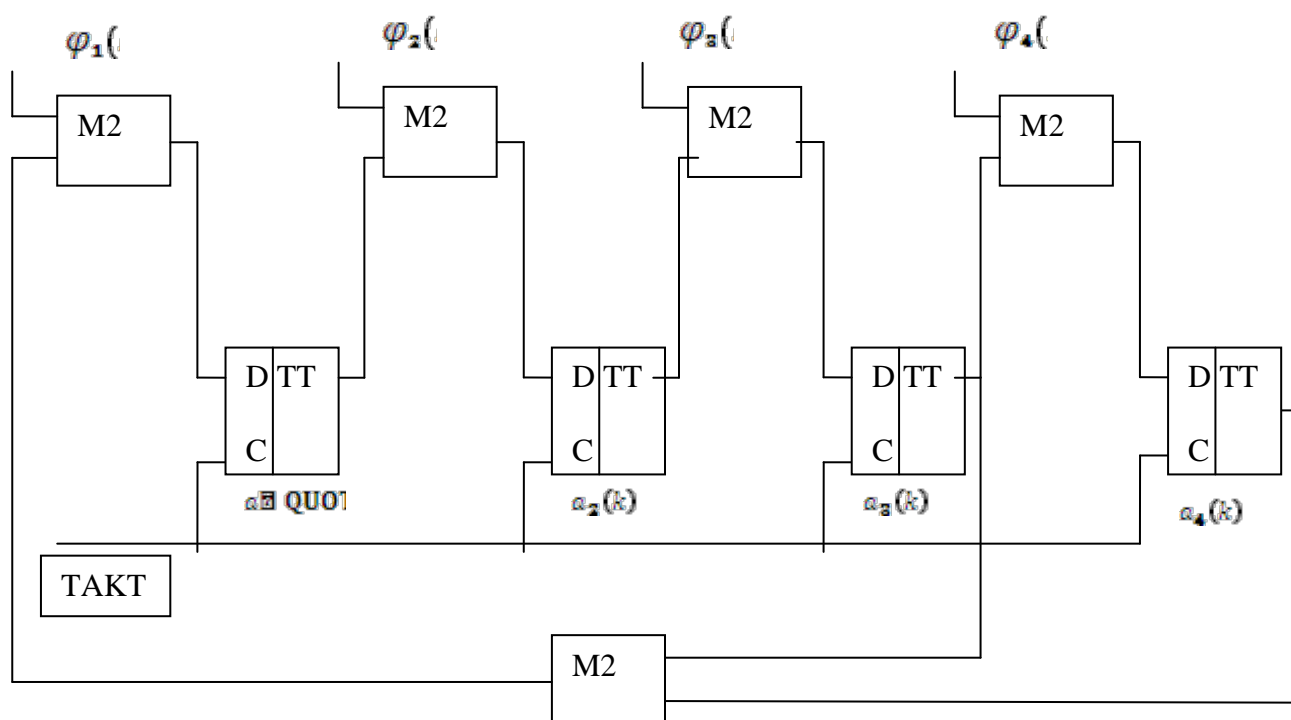


Рис. 1.7. Структурная схема многоканального сигнатурного анализатора на базе порождающего полинома.

Можно показать, что схема, приведённая на рис. 1.7. эквивалентна относительно конечного результата простейшей сигнатуре двухступенчатого сжатия информации (рис. 1.6). А это значит, что в обоих случаях для оценки эффективности можно применять формулу (1.6). Оба подхода получения сигнатур отличаются неравномерностью закона распределения вероятностей P_n^μ необнаружения ошибки кратности μ , а, следовательно, невысокой эффективностью. Кроме того, сигнатура многоканального сигнатурного анализатора (МСА), а также размерность сигнатуры $S(y)$, однозначно

определяется количеством выходов п исследуемой схемы. Поэтому с увеличением¹⁷ сложность устройства сжатия и количество бит, используемых для представления сигнатуры $S(y)$, принимает практически недопустимые размеры. Попытка использовать идею каскадирования многоканальных сигнатурных анализаторов позволяет уменьшить размерность результирующей сигнатуры, однако в этом случае оказывается сложным оценить достоверность такого анализатора [12], которая будет зависеть от организации взаимосвязи МСА и их конкретной реализации.

Результаты сравнительного анализа характеристик существующих средств диагностики и их применяемости, представленные в таблице. 1.1, показывают, что практически единственными наиболее простыми в применении для условий эксплуатации средством диагностики цифровых устройств с точностью до элемента является сигнатурный анализатор.

Таблица 1.1.

Применяемость средств диагностики

Средства диагностик и	Применение			Уровень диагностики			Вид диагностируемы х устройств	
	Лабора тория	Проис водст во	Техничес кое обслужив ание	Прибор	Узел	Компо -нент	Цифро -вые	Микро - процес сорные
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Логичес- кий анализ	+	+		++	+		+	+
Одноканаль ный и многоканал ьный сигнатурны й анализ.	+	+	++	+	+	+	+	++

Условные обозначения: + применяется;

++ применение оптимально.

Выводы

1. Одним из эффективных путей улучшения эксплуатационно - технических характеристик СПД является повышение интенсивности ремонтно-восстановительных работ на базе использования перспективных методов и технических средств контроля и диагностики цифровых устройств.

2. Проведен анализ принципов технической эксплуатации и пути повышения надежности СПД методами контроля и диагностики.

3. Рассмотрены способы сервисного обслуживания и особенности технических данных цифровых устройств и их диагностики.

4. Анализ современных принципов технического обслуживания СПД показывает, что в большинстве случаев используется двухступенчатая стратегия: а) диагностика неисправностей телекоммуникационных систем с точностью до цифрового устройства встроенной системой контроля; б) диагностика неисправностей цифрового устройства в сервисном центре ремонта с помощью современных диагностических средств.

Глава 2. Анализ достоверности контроля цифровых устройств методом сигнатурного анализа.

1. Математическая модель компактного тестирования цифровых устройств и формирование сигнатур.

Применение СА для диагностирования цифрового устройства основано на том принципе, что исправное цифровое устройство, при периодическом возбуждении одного и того же входа, будет всегда выдавать одинаковый выходной сигнал, преобразуемый в сигнатуру. Если же этот периодически выходной сигнал отличается от эталонного, то устройство неисправно. Сравнивая сигнатуру проверяемого узла с эталонной, имеющейся в документации по обслуживанию, можно быстро проверить всё устройство. При этом любое двоичное число описывается многочленом, содержащим фиктивную переменную X , в котором каждая двоичная цифра является коэффициентом фиктивной переменной X [4,9]. Например, двоичной последовательности 1100101 (младший разряд справа) соответствует многочлен $x^6 + x^5 + x^2 + 1$. Выходной двоичной последовательности с определенного узла цифрового устройства соответствует полином $G(x)$ степени $n-1$, где n - число разрядов двоичного кода. В процессе формирования сигнатуры, полином $G(x)$ делится на порождающий полином $P(x)$, значение которого определяется структурой регистра сдвига с обратными связями в сигнатурном анализаторе. Для формирования четырехразрядной шестнадцатеричной сигнатуры из всего множества возможных полиномов выбирают $P(x) = x^{16} + x^{12} + x^9 + x^7 + 1$ что соответствует обратным связям от 16, 12, 9 и 7 разрядов. При делении $G(x)$ на $P(x)$ получаем частное $\theta(x)$ и остаток $R(x)$.

Исходный полином при этом $G(x) = P(x)Q(x) \oplus R(x)$,

где \oplus - знак суммирования по модулю 2.

Если в двоичном коде, соответствующем полиному $G(x)$, возникли ошибки, то они вызывают преобразование исходного полинома $G(x)$ в $G'(x)$. При этом полином ошибок $E_0(x)$ определяется, как $E_0(x) = G(x) \oplus G'(x)$ и $G'(x) = P(x)\theta'(x) \oplus R'(x) = G(x) \oplus E_0(x)$. Ошибки в выходном двоичном наборе не обнаруживаются, если остатки $R(x)$ и $R'(x)$ совпадают, $R(x) = R'(x)$.

При этом полином $E_0(x)$ делится на $R(x)$ без остатка, и в регистре сдвига сигнатуры совпадают для правильной и ошибочной двоичных последовательностей.

Для описания процедуры сжатия информации, основанной на применении порождающих полиномов, используются различные математические модели и алгоритмы. Одной из наиболее часто применяемых является модель, реализующая идею представления процедуры сжатия информации, как операции деления полиномов над полем $GF(2)$ [10]. При этом в качестве делимого используется поток сжимаемых данных, а делителем служит порождающий полином $P(x)$, в результате деления на который получается частное $\theta(x)$ и остаток $R(x)$.

Рассмотрим пример формирования сигнатуры для потока данных 11110101, описываемого полиномом $G(x) = x^7 \oplus x^6 \oplus x^5 \oplus x^4 \oplus x^2 \oplus 1$, для сжатия которого используется СА на базе полинома $P(x) = x^3 \oplus x^2 \oplus 1$. Исходное состояние элементов памяти СА принимается равным нулевому. Поток сжимаемых данных 11110101 последовательно подается на вход анализатора, в результате чего элементы памяти меняют свое состояние согласно правилу формирования сигнатуры $R(x)$, приведенному на рис. 2.2.1.

Остаток $R(x)$ от деления

$$G(x) = x^7 \oplus x^6 \oplus x^5 \oplus x^4 \oplus x^2 \oplus 1$$

полинома

на

полином $P(x) = x^3 \oplus x^2 \oplus 1$ фиксируется в элементах памяти анализатора и принимает значение $R(x)$ в виде полинома или двоичного кода ($R(x) = 110$).

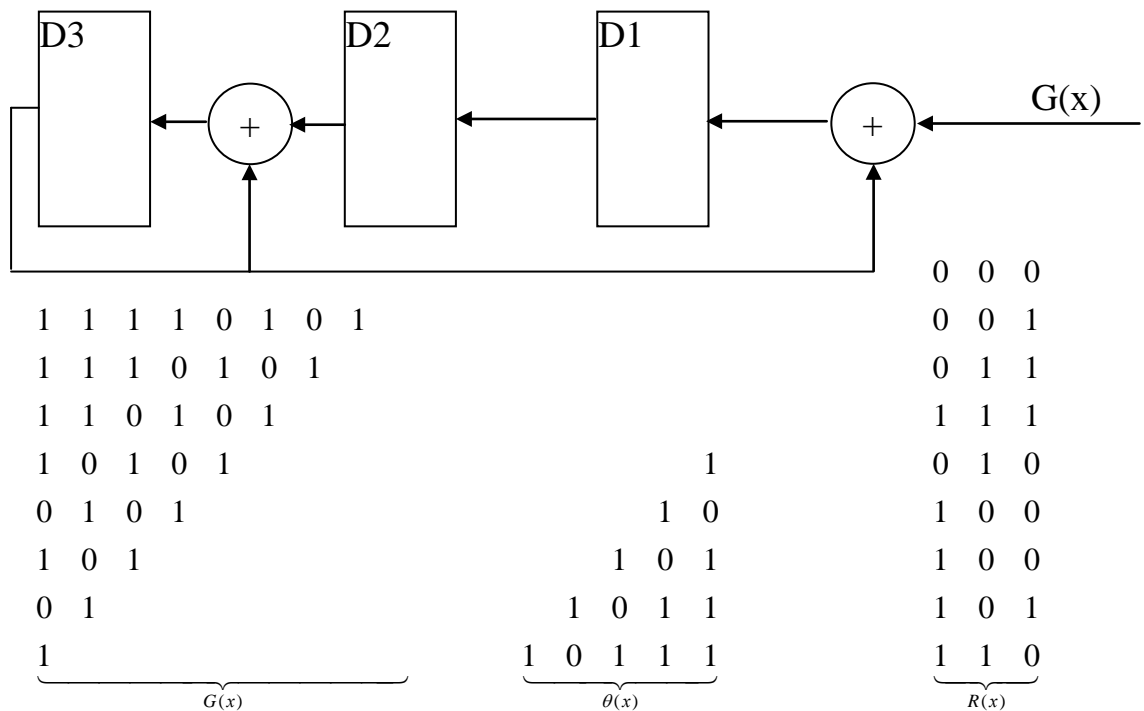


Рис.2.1. Формирование сигнатуры $R(x)$ для потока данных

$$G(x) = x^7 \oplus x^6 \oplus x^5 \oplus x^4 \oplus x^2 \oplus 1 \text{ и делителя } P(x) = x^3 \oplus x^2 \oplus 1$$

2. Методы анализа диагностирования цифровых устройств на основе многоканального сигнатурного анализатора.

Методы анализа схем можно разделить на прямые и косвенные. Прямые методы анализа опираются на различные алгебраические или иные формы, отражающие в том или ином виде структуру схемы. Они позволяют непосредственно синтезировать входные последовательности, необходимые

для получения заданной реакции схемы. Например, синтезировать входные наборы, обеспечивающие появление на выходе схемы нулевого сигнала.

К косвенным методам анализа относятся различные виды моделирования, позволяющие воспроизводить поведение схемы или отдельных её элементов при подаче на схему набора входных воздействий, например, оценить правильность работы спроектированной схемы [3,8]. Моделируя работу схемы, содержащей неисправный элемент, на наборах, составляющих контролирующий тест, можно оценить полноту этого теста.

Отметим преимущества и недостатки этих методов. Для прямых методов требуются построения алгебро-структурных описаний схем на основе схемных списков; как правило, эти методы ориентированы на определённый класс схем, например синхронные и асинхронные. Для косвенных методов не требуется построения иных описаний схем, кроме схемного списка, кроме того, они не зависят от класса анализируемых схем. Однако для косвенных методов, по сравнению с прямыми, может потребоваться значительно больше времени для определения нужного входного воздействия. Косвенные методы анализа носят универсальный характер и применяются в том случае, когда прямые методы не разработаны или слишком сложны для какого-либо класса схем. Прямые и косвенные методы анализа дополняют друг друга. Если, например, тест для схемы был составлен "вручную" с использованием прямых методов, то моделирование может быть применено для анализа теста на полноту.

Предположим, что рассмотренный одноканальный анализатор используется для анализа цифрового узла, имеющего n каналов, причём n выходных последовательностей в данном случае преобразуются в одну последовательность вида

значение двоичного символа на $i - m$ выходе цифрового узла в $k - i$ такт его работы, а тактовая частота работы анализатора в l раз выше частоты

синхронизации исследуемого узла. При этом в каждый такт работы анализатора на его вход последовательно, начиная с первого выхода, поступают значения $y_i(k)$. Функционирование одноканального анализатора в многоканальном режиме, когда количество каналов равняется n , описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} a_1(k+n) = \sum_{i=1}^n \oplus \beta_i(n) y_i(k) \oplus \sum_{i=1}^m \oplus \delta_i(n) a_i(k), \\ a_j(k+n) = a_1(k+n+1-j), & j < i+1, \\ a_j(k+n) = a_{j-1}(k), & j \geq n+1 (k = 0, 1, 2, \dots), \end{cases}$$

где численное значение коэффициентов $\delta_i(n) \in \{0, 1\}$ определяется на основании следующей системы уравнений:

$$\delta_i(n) = \alpha_1(n+i+1) \oplus \sum_{d=2}^i (d-1) \delta_i(n-d), \quad i = (1, m-n+1), \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Коэффициенты $\beta_i(n) \in \{0, 1\}$ определяются следующим образом:

$$\beta_i(n) = 0, \quad i > 1, \quad \beta_1(n) = 1, \quad i = n$$

С помощью многоканальных сигнатурных анализаторов можно существенно ускорить процедуру контроля цифровых схем, которая практически увеличивается в n раз, где n — количество входов применяемого анализатора. В случае совпадения реально полученной сигнатуры с её эталонным значением считается, что с достаточно высокой вероятностью проверяемая цифровая схема находится в исправном состоянии. На этом процедура её исследования оканчивается. В противном случае, когда схема содержит неисправности, реальная сигнатура, как правило, отличается от эталонной, что служит основным аргументом для принятия гипотезы о неисправном состоянии схемы. В то же время вид полученной сигнатуры не несёт никакой дополнительной информации о характере возникшей неисправности. Более того, остаётся открытым вопрос о том, какие из n анализируемых последовательностей, инициирующих реальную сигнатуру, содержат ошибки, т.е. возникает задача локализации неисправности с точностью до последовательности, несущей информацию о её присутствии.

Рассмотрим возможные варианты решения данной задачи для случая применения n - канальных анализаторов.

Рассмотрим процедуру контроля цифровой устройства сигнатурным анализатором. При этом входными последовательностями $\{y_v(k)\}, v = \overline{1, n}, k = \overline{1, l}$ этого анализатора в общем случае могут быть последовательности, формируемые на входных, промежуточных и выходных полюсах схемы, для которых в результате предварительных исследований определены значения эталонных сигнатур $S_v(x), v = \overline{1, n}$. Не нарушая общности, предположим, что $n = 2^d$, и представим процедуру контроля в виде следующего алгоритма

Алгоритм контроля цифровой схемы локализацией неисправности до первой последовательности, содержащей вызванные ею ошибки.

1. В результате анализа $n = 2^d$ реальных последовательностей $\{y_v^*(k)\}, v = \overline{1, n}$, на n - канальном анализаторе определяется значение сигнатуры, которое соответствует соотношению:

$$\sum_{v=1}^n \oplus \sum_{k=1}^l \oplus y_v(k)x^{(k-1)n+v-1} = \sum_{v=1}^n \oplus g_v(x)\varphi^{-1}(x) \oplus \sum_{v=1}^n \oplus S_v(x)$$

2. По выражению $S(x) = \sum_{v=1}^n \oplus S_v(x)$ вычисляется эталонное значение сигнатуры.

3. Реальное значение сигнатуры сравнивается с эталонной сигнатурой. В случае выполнения равенства и считается процедура диагностики оконченной. В противном случае, когда . выполняется следующий этап алгоритма.

4. Все множество входных последовательностей разбивается на две группы, причём номера последовательностей

$\{y_1(k)\}, \{y_2(k)\}, \dots, \{y_{n/2}(k)\}$, составляют множество $=\{ 1, 2, 3, \dots, n/2\}$, а номера последовательностей $\{y_{n/2+1}(k)\}, \{y_{n/2+2}(k)\}, \dots, \{y_n(k)\}$, составляют множество

Значению i присваивается значение 1.

5. В результате анализа реальных последовательностей, номера которых

A_1

задаются множеством на n - канальном сигнатурном анализаторе при

A_2

условии, что последовательности, номера которых определяет множество ,
являются нулевыми, определяется значение реальной сигнатуры.

6. На основании выражения

$$S(x) = \sum_{j \in A_1} S_j(x)$$

определяем .

7. Проверяется справедливость равенства $S^*(x) =$, в случае выполнения

A_2

множество заменяется элементами множества .

8. Значение переменной i увеличивается на 1 и сравнивается с
величиной n , если $i < n$, то совершают вышеприведённые действия с

элементами множества

A_1

9. Единственный элемент множества представляет собой номер
ошибочной последовательности.

10. Процедура контроля цифровой схемы считается законченной.

3. Оценка достоверности одноканального и многоканального
сигнатурного анализатора.

Изначальной причиной нарушений нормальной работы цифрового устройства являются физические дефекты интегральных микросхем (ИМС) и электроэлементов отдельных устройств, а также связей между ними.

Под неисправностью понимается формализованное представление факта проявления дефекта на входах и выходах элементов (компонентов) цифрового устройства. Дефекты и неисправности могут быть устойчивыми (постоянными) или неустойчивыми (кратковременными, перемежающимися). Дефекты, связанные с необратимым нарушением характеристик отдельных элементов устройства или схемы соединений, принято называть отказами. Под сбоем принято понимать дефект, заключающийся в том, что в результате временного изменения параметров отдельных элементов устройства либо схемы его соединений в течение некоторого периода времени оно будет функционировать неправильно, причем его работоспособность восстанавливается самопроизвольно без вмешательства извне.

Ошибкой называется неправильное значение сигналов на внешних выходах устройства или его отдельных узлов, вызванное неисправностями, воздействующими на устройство, например, по цепям питания. Ошибки могут быть одиночными и кратными. Кратность ошибки определяется не только кратностью неисправности, вследствие которой она возникла, но и структурой устройства, так как в результате имеющихся разветвлений в схеме однократная неисправность может вызвать многократную ошибку в последующих цепях.

Истинным результатом работы цифрового устройства является результат, когда устройство действительно работает правильно, сигналы ошибок при этом отсутствуют, либо результат, когда устройство действительно работает неправильно, о чем свидетельствует сигнал ошибки. Помимо истинных результатов работы, фиксируемых средствами контроля, последние могут фиксировать также результаты работы устройства, не отражающие его действительного состояния, а именно устройство работает неправильно, но сигнал ошибки отсутствует, либо устройство работает

правильно, а средство контроля сигнализирует о наличии ошибки (ложный сигнал ошибки). В первом случае это означает пропуск ошибки средствами контроля, во втором случае - что средства контроля контролируются не полностью или вообще не контролируются.

Все перечисленные события (когда средства контроля фиксируют истинный результат работы устройства и когда средствами контроля истинный результат работы устройства не отражается) образуют полную группу событий, описываемую следующим выражением:

$$P_{\text{пр}}(t) + P_{0,0}(t) + P_{\text{н.о}}(t) + P_{\text{о.н}}(t) \approx 1 \quad (2.1)$$

где $P_{\text{пр}}(t)$ - вероятность правильной (безошибочной) работы устройства; $P_{0,0}(t)$ - вероятность неправильной работы устройства, о чем свидетельствует сигнал ошибки; $P_{\text{н.о}}(t)$ - вероятность, что устройство работает неправильно, но сигнал ошибки отсутствует (вероятность пропуска ошибки средствами контроля); $P_{\text{о.н}}(t)$ - вероятность, что устройство работает правильно, но при этом есть сигнал ошибки (вероятность принятия правильного выходного результата за неправильный, т.е. появления ложного сигнала ошибки); t - период работы устройства, за который оценивается достоверность работы

При применении компактных методов диагностики основной задачей является выбор определённого метода компактного тестирования для каждого конкретного применения. Доминирующей мерой эффективности является достоверность. Функцией достоверности является вероятность необнаружения ошибок в диагностируемой схеме [6,5]. В качестве характеристики, позволяющей оценить метод компактного тестирования целесообразно использовать распределение вероятностей не обнаружения ошибки в зависимости от её кратности μ [11]:

$$P^{\mu} = P_{\text{в}}^{\mu} \cdot P_{\text{н}}^{\mu} \quad (2.2)$$

где μ - кратность ошибки, $P_{\text{в}}^{\mu}$ - вероятность возникновения ошибки кратности μ ; $P_{\text{н}}^{\mu}$ - вероятность необнаружения возникшей ошибки кратности μ , которая определяется как отношение количества необнаруживаемых ошибок

кратности μ к общему количеству возможных ошибок из μ неверных символов в последовательности длиной l .

Значение P_V^μ определяется видом проверяемой цифровой схемы, множеством возможных её неисправностей, а также типом тестовых последовательностей, причём распределение вероятностей P_V^μ может иметь совершенно произвольный вид и значительно изменяться в зависимости от возникшей неисправности, вида схемы и тестовой последовательности.

Значение P_V^μ характеризуется только методом компактного тестирования и позволяет провести его сопоставительную оценку в сравнении с другими методами. Поэтому для различных методов в зависимости от их распределения вероятностей P_V^μ могут быть получены оценки эффективности контроля ЦС в

$$P_\mu$$

виде распределения . Анализ этого вида распределения позволяет принять решение о целесообразности применения того или иного метода компактного тестирования. Причём для упрощения алгоритма принятия решения следует использовать более компактную характеристику, например

суммарную вероятность не обнаружения ошибки , вычисляемую как:

$$P_n = \sum_{\mu=1}^l P^\mu = \sum P_V^\mu \cdot P_n^\mu \quad (2.3)$$

$$P_n$$

В данном случае величина будет характеризовать тот или иной метод компактного тестирования для вполне конкретного распределения вероятностей P_V^μ возникновения неисправностей в зависимости от её кратности.

Одним из главных критериев, определяющих широкое применение СА, является его высокая достоверность.

Достоверность сигнатурного анализа рассчитывается по формуле:

$$D = 1 - P_{но} = 1 - \frac{1}{2^r} \quad (2)$$

и является общей оценкой достоверности, то есть учитывает все кратности ошибок. Важной характеристикой СА является оценка достоверности сигнатурного анализа для определенной кратности ошибок в двоичной последовательности.

Определение достоверности, в зависимости от кратности ошибок, точными способами очень затруднено для больших длин ($n \gg r$) входной последовательности.

Для упрощения расчетов можно использовать приближенный способ расчета. Из теории кодирования известно, что из 2^n кодовых комбинаций, для передачи информации используются $2^n / 2^r = 2^{n-r}$ кодовых комбинаций (n -длина кодовой комбинации, r - число проверочных разрядов).

В соответствии с этим для линейных и циклических кодов при $n \gg r$ можно рассчитать количество необнаруженных ошибок по формул:

$$B_n^i = \frac{C_n^i}{2^r} \quad (2.5)$$

Соответственно можно рассчитать достоверность СА в зависимости от кратности ошибок и длины входной последовательности по формуле:

$$D_i = 1 - P_{ноi} = 1 - \frac{C_n^i}{2^r 2^n} \quad (2.6)$$

В соответствии с вышеприведенным выражением были произведены расчеты вероятности необнаружения ошибки $P_{но}$ для полиномов степени $r = 8, 12, 16$ разрядов и длин анализируемых последовательностей (“окна измерений”) n , равных 40, 80, 100 бит в зависимости от кратности ошибки i . Из приведенных рисунков 2.1 ÷ 2.5 видно, что для увеличения достоверности сигнатурного анализа необходимо увеличить степень образующего полинома r , что приводит к увеличению разрядности сигнатур. Как следует из графиков, приведенных в этих рисунков зависимость $P_{но}$ от кратности ошибки для разных r графически изображается не прямой, а выпуклой вверх

кривой. Вершина выпуклого графика $P_{но} = f(t)$, его пиковая точка, соответствует максимальной величине $P_{но}$ для кратностей ошибок, равных половине длины последовательности. Последняя делит кривую на две неравноценные части восходящую (левую) и ниспадающую (правую) ветви. На левой ветви $P_{но}$ растет, а на правой ветви $P_{но}$ уменьшается.

Необходимо отметить, что в рассматриваемых случаях оценка достоверности осуществляется без учета вида образующего полинома $P(x)$, который определяет векторы необнаруживаемых сочетаний ошибки.

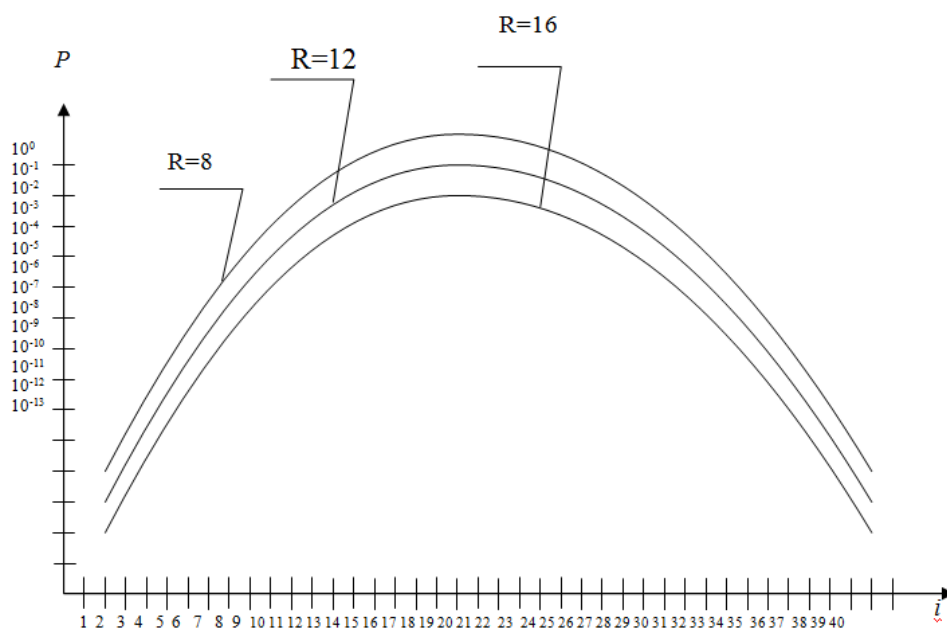


Рис. 2.1. Графики зависимости вероятности необнаружения ошибок от кратности ошибок с окном измерений $N=40$ для образующих полиномов степени $R=8,12,16$

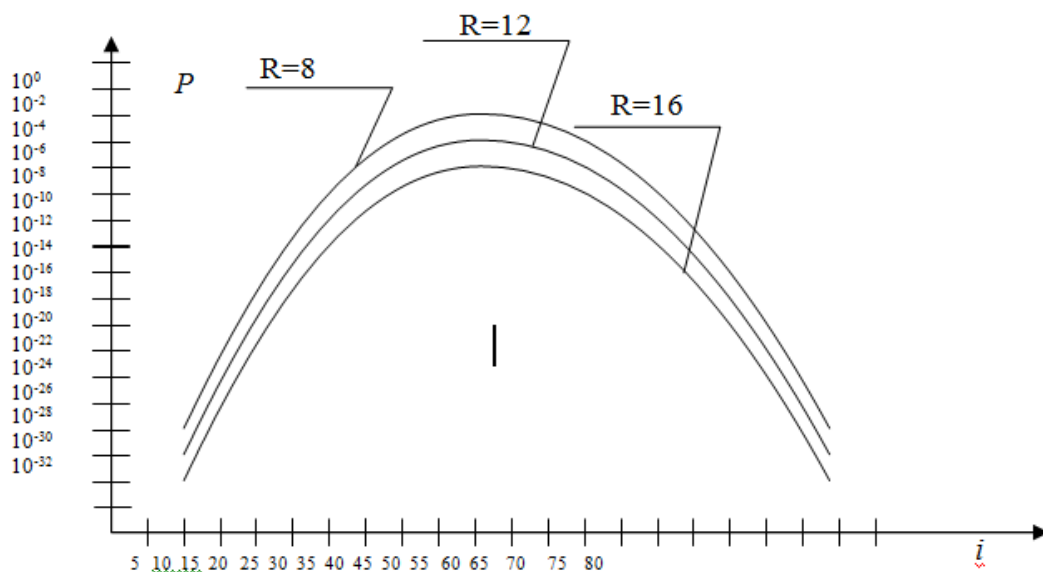


Рис. 2.2. Графики зависимости вероятности необнаружения ошибок от кратности ошибок с окном измерений $N=80$ для образующих полиномов степени $R=8,12,16$

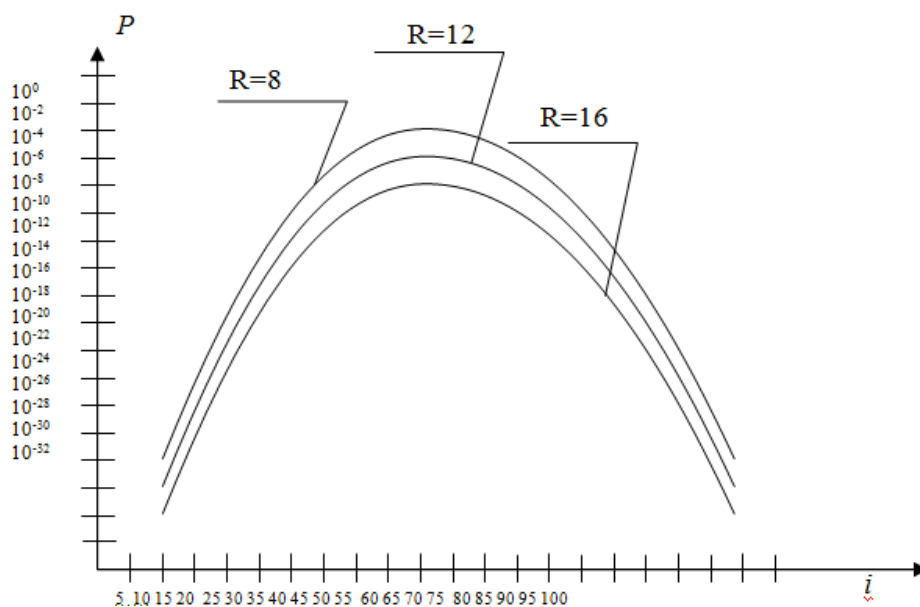


Рис. 2.3 . Графики зависимости вероятности необнаружения ошибок от кратности ошибок с окном измерений $N=100$ для образующих полиномов степени $R=8,12,16$

Точную оценку числа обнаруживаемых ошибок теория кодирования не дает, поэтому обнаруживающую способность сигнатурного анализатора принято оценивать долей необнаруживаемых ошибок.

Сигнатурный анализатор не обнаруживает те и только те ошибки, которые являются кодовыми векторами циклического кода, порожденного многочленом $g(x)$. Число таких векторов равно $2^{n-r} - 1$. Общее число возможных ошибок 2^n . Поэтому доля необнаруживаемых ошибок

$$\eta = \frac{2^{n-1} - 1}{2^n} \approx \frac{1}{2^r} \quad (2.7)$$

сравнения отметим, что доля необнаруживаемых ошибок при использовании свертки, выполняемой на двоичных счетчиках, путем подсчета логических переключений

$$\eta = \frac{1}{2^n(2^n - 1)} \sum_{r=0}^n \frac{n!}{(n-1)!r!} \left[\frac{n!}{(n-r)!r!} - 1 \right] \quad (2.8)$$

т. е. существенно выше, чем при сжатии на регистре сдвига с обратными связями, причем доля необнаруживаемых однократных ошибок равна $n-1/(2n)$.

Уменьшить долю необнаруживаемых ошибок при сигнатурном анализе, помимо очевидного способа увеличения разрядов регистра сдвига r можно, если на вход сигнатурного анализатора w раз подать одну и ту же тестовую последовательность $f(x)$, а сигнатурный анализатор при каждом повторном цикле подачи $f(x)$ реализовать различными неприводимыми примитивными многочленами $g_1(x), g_2(x), \dots, g_w(x)$ одной и той же степени.

Доля необнаруженных ошибок в этом случае будет ниже:

$$\eta = \frac{2^{wn-wr} - 1}{2^{wn}} \approx \frac{1}{2^{wr}} \quad (2.9)$$

Определим долю необнаруженных ошибок в многоканальном сигнатурном анализаторе. Будем предполагать, что распределение ошибок во всех s входных каналах равновероятно. Общее число различных последовательностей в многоканальном сигнатурном анализаторе, как и в одноканальном анализаторе, равно $2^r - 1$. Общее число возможных входных последовательностей есть 2^{ns} . Следовательно, число неразличимых последовательностей равно 2^{ns-r} . Тогда доля неразличимых последовательностей в многоканальном сигнатурном анализаторе

$$\eta = \frac{2^{ns-r} - 1}{2^{ns}} \approx \frac{1}{2^r}, \quad (2.10)$$

т. е. равна доле неразличимых последовательностей в одноканальном сигнатурном анализаторе. Этот результат объясняется тем, что с увеличением s наряду с увеличением числа выходных последовательностей в то же число раз увеличивается число неразличимых последовательностей, а число различных последовательностей остается тем же самым $2^r - 1$.

Полнота обнаружения неисправностей цифровой схемы в первую очередь зависит от качества тестовых воздействий. Если определённая неисправность не проявляется в виде искажения их символов, то она не может быть обнаружена в результате применения сигнатурного анализа, который является не более чем эффективным методом сжатия потока данных. Поэтому если этот поток не несёт информации о неисправности, то она и не появится после его сжатия.

Таким образом, под достоверностью сигнатурного анализа будем понимать эффективность обнаружения ошибки в потоке сжимаемых данных [2,13]. Для оценки этой характеристики сигнатурного анализа могут использоваться разные подходы и методы. Наиболее широко применяемым является вероятностный подход, сущность которого заключается в

определении вероятности необнаружения ошибок в анализируемой последовательности данных. Причём в рассматриваемом случае оценивается

вероятность, зависящая только от метода сжатия, и не учитываются другие факторы.

Р

Величина P рассчитывается для достаточно общего случая, приближённо соответствующего реальным примерам. Предполагается, что эталонная последовательность данных может равновероятно принимать разное значение, а любая конфигурация ошибочных бит может быть равновероятным событием. Далее, используя алгоритм деления полиномов, как математический аппарат формирования сигнатуры, показываем, что для n -разрядного делимого вычисляются $n-m$ -разрядное частное и m - разрядный остаток (сигнатура). При этом соответствие реальной последовательности, состоящей из n бит, эталонной оценивается только по равенству их m -разрядных сигнатур. Для

различных частных будет формироваться одинаковая сигнатура. Это свидетельствует о том, что ошибочных n -разрядных последовательностей будут считаться соответствующими одной эталонной. Учитывая равновероятность ошибочных последовательностей данных, можно заключить, что ошибочных последовательностей, иницирующих эталонную сигнатуру, не

обнаруживаемы. Таким образом, вероятность необнаружения ошибок в анализируемой последовательности данных будет вычисляться как отношение:

$$(2.11)$$

$$2^{-1}$$

где N равняется общему числу ошибочных последовательностей.

Выражение (3.3) для условия $l \gg m$ преобразуется к более простому виду:

$$P_n \cong \frac{1}{2^m}, \quad (2.12)$$

которое может служить основным аргументом для обоснования высокой эффективности сигнатурного анализа. В сигнатурных анализаторах, выпускаемых различными фирмами, обычно $m = 16$.

В качестве более точной меры оценки достоинств сигнатурного анализатора рассмотрим распределение вероятности необнаружения ошибки

в зависимости от её кратности μ , т.е. определим значения P_n^μ ,

где $\mu = 1, 2, \dots, 2^m - 1$ [14].

Можно показать, что количество V_n^μ не обнаруживаемых ошибок определяется следующим образом:

$$V_n^1 = 0; \quad V_n^2 = 0; \quad V_n^\mu = \frac{|V_n^\mu - V_n^{\mu-1} - V_n^{\mu-2}(2^m + 1 - \mu)|}{\mu}, \quad (2.13)$$

а количество возможных ошибок из μ бит определяется как $P_n^\mu = P_v^\mu \cdot P_n^\mu$.

И тогда выражение для вероятности необнаружения ошибки принимает вид:

$$P_n^1 = 0, \quad P_n^2 = 0, \quad P_n^\mu = \left[\frac{1}{(2^m - \mu)} \right] \cdot [1 - P_n^{\mu-1} - (\mu - 1)P_n^{\mu-2}],$$

Анализ показывает, что для достаточно больших m $P_n^\mu \cong \frac{1}{2^m}, \mu = 3, 4, \dots, 2^{m-2}$,

т.е. при $m > 7$ вероятность обнаружения ошибки $P_d^\mu = 1 - P_n^\mu$ практически равняется единице [15].

Рассмотрим оценку достоверности многоканального сигнатурного анализатора.

Учитывая эквивалентность функционирования n -канального сигнатурного анализатора и соответствующего ему одноканального анализатора относительно результата сжатия n входных последовательностей $y_v(k) \in \{0, 1\}, v = \overline{1, n}$, логично оценить достоверность МСА, используя результаты, полученные для одноканального сигнатурного анализатора. Действительно, в случае применения примитивного полинома вероятность

необнаружения ошибок в последовательностях $y_v(k) \in \{0,1\}, v = \overline{1, n}$, многоканальным сигнатурным анализатором для $nl = 2^m - 1$, где m - старшая степень порождающего полинома, будет определяться соотношением:

$$P_n = \frac{2^{nl-m} - 1}{2^{nl} - 1} \approx \frac{1}{2^m} \quad (2.15)$$

Это соотношение справедливо для любого соотношения n и l , произведение которых равно $2^m - 1$ [1]. Приведённая интегральная характеристика эффективности МСА, также как и характеристика одноканального сигнатурного анализатора, является достаточно, как и в случае одноканального анализатора, приближённой оценкой, справедливой для общих допущений. Более полной характеристикой МСА будет распределение вероятностей P_n^μ обнаружения возникшей ошибки кратности μ в анализируемых последовательностях $\{y_v(k)\}$. При этом численное значение указанных вероятностей, как и в случае одноканального анализатора, определяется выражениями:

$$P_n^1 = P_n^2 = 0 \quad P_n^\mu = \frac{1}{2^m - \mu} [1 - P_n^{\mu-1} - (\mu - 1)P_n^{\mu-2}], \quad \mu = \overline{3, 2^m - 1}$$

Попытка применить это выражение для оценки значений P_n^μ при анализе последовательности $\{y_1(k)\}, k = \overline{1, l}$ когда $l = 2^m - 1$ на n -канальном анализаторе не всегда позволяет получить верные результаты.

Выводы

1. Рассмотрены методы и средства компактного тестирования на основе метода сигнатурного анализа, счета единиц и логических переходов.
2. Для точной оценки достоверности методов компактного тестирования рассмотрены аналитические выражения, позволяющие определить вероятность необнаружения ошибок в зависимости от их кратности в двоичных последовательностях различной длины.
3. Приведена математическая основа компактного тестирования и формирования сигнатур.
4. Рассмотрена математическая модель сигнатурного анализа, в которой процедура сжатия двоичных последовательностей реализуется как операция деления полиномов над полем $GF(2)$.

Глава 3. Имитационное моделирование одноканального и многоканального сигнатурного анализатора.

1. Модели неисправности цифровых устройств.

Отказы, дефекты, неисправности вызывают нарушения в работе СПД, которые становятся неработоспособными. Без анализа статистики и природы появления этих нарушений невозможно обеспечить безотказность функционирования таких систем.

Основным состоянием любого цифрового устройства является исправное – такое состояние устройства, при котором оно удовлетворяет всем требованиям технической документации. В противном случае устройство находится в одном из неисправных состояний.

Если установлено, что цифровое устройство неисправно, то решается вторая задача: осуществляется поиск неисправности схемы, цель которого – определение места и вида неисправности.

Первоисточником нарушения функционирования цифровых устройств являются физические дефекты его компонентов. Неисправность же является проявлением дефекта в виде неправильных значений сигналов на входах и выходах элементов, а ошибка - неправильных значений сигналов на внешних выходах элементов.

О неисправности схемы судят по наличию в её выходной реакции искаженных бит. Искажение разрядов выходной реакции неисправной схемы удобно представить результатом действия на реакцию вектора ошибки при передаче её по некоторому эквивалентному каналу связи, а сам процесс контроля можно описать, используя модель неисправной схемы, приведенную на рис. 3.1

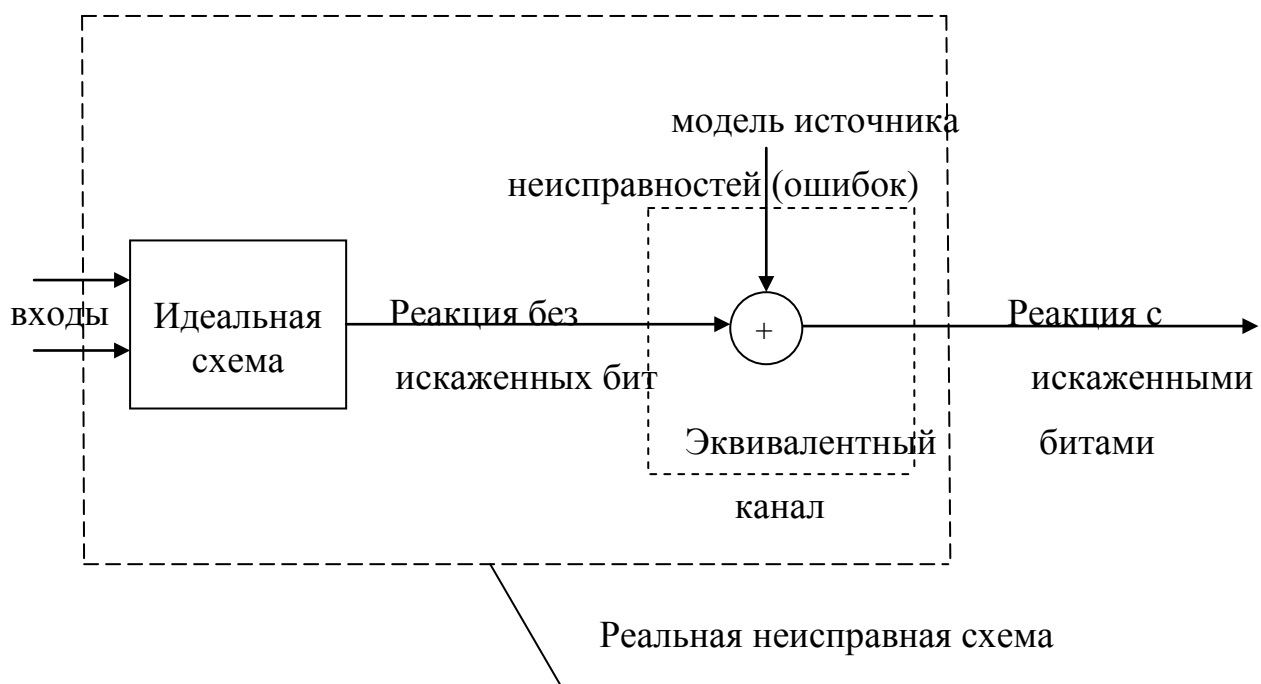


Рис 3.1. Модель неисправной схемы.

Идеальная схема, то есть схема свободная от неисправностей, вырабатывает в ответ на входную последовательность выходную реакцию, не содержащую искаженных бит. Реакция подается в эквивалентный канал последовательно бит за битом. В канале на реакцию действует вектор ошибки, вырабатываемый источником ошибок. Под источником ошибок понимается случайный процесс $\{E_i\}$, результатом действия которого является вектор ошибки. Единица в i -м разряде вектора ошибки ($1 \leq i \leq n$) меняет на противоположный i -й разряд выходной реакции. Несовпадение выходных реакций до и после передачи по каналу свидетельствует об ошибочной передаче, то есть о наличии в схеме неисправности.

Совершенно очевидно, что разные методы контроля гарантируют и разную величину вероятности пропуска ошибочной последовательности, другими словами разную вероятность того, что неисправная схема будет принята за исправную. Для того, чтобы оценить и сравнить эффективность

различных методов контроля, сформулировать требования к методу, позволяющему достичь минимальной вероятности пропуска ошибки, необходимо иметь математическую модель источника ошибок в эквивалентном канале связи.

Одним из важных аспектов проблемы контроля и диагностики цифровых устройств является изучение и классификация неисправностей, а также анализ их возможных моделей. Поэтому для научно обоснованного выбора методов и средств диагностики необходимо определение неисправностей, на устранение которых должен быть направлен процесс диагностирования. Это связано с тем, что любой метод диагностики цифрового устройства базируется на той или иной модели неисправности, и в соответствии с этой моделью неисправности ориентирован на обнаружение той или иной неисправности. Поэтому метод диагностики будет адекватен диагностируемому цифровому устройству в той мере, в какой адекватна принятая за основу модель неисправности.

В большинстве случаев рассматриваются следующие типы неисправностей:

1. Константные неисправности: константный ноль и константная единица, что означает наличие постоянного уровня логического нуля или логической единицы на входах и выходе неисправного логического элемента.

2. Неисправности типа «короткое замыкание» (мостиковые неисправности) появляются при коротком замыкании входов и выходов логических элементов и подразделяются на два вида: неисправности, вызванные коротким замыканием входов логического элемента, и неисправности типа обратной связи.

3. Инверсные неисправности описывают физические дефекты цифровых схем, приводящие к появлению фиктивного инвертора по входу или выходу логического элемента, входящего в данную схему.

4. Неисправности типа «перепутывание» заключаются в перепутывании связей цифровой схемы и вызываются ошибками, возникающими при

проектировании и производстве цифровых схем, которые изменяют функции, выполняемые схемой.

Классическая стратегия тестирования цифровых схем основана на формировании тестовых последовательностей, позволяющих обнаруживать заданные множества их неисправностей. При этом для проведения процедуры тестирования хранятся как сами тестовые последовательности, так и эталонные выходные реакции схем на их воздействие. В процессе тестирования при соответствии полученных реакций схемы эталонным она считается исправной, в противном случае схема содержит неисправность и находится в неисправном состоянии.

Известно, что жизненный цикл СПД в период их технической эксплуатации можно характеризовать через λ - характеристику надёжности систем.

В первый период предэксплуатационных испытаний выявляются в основном большинство производственных дефектов и неисправностей. Они составляют до 70 – 80% отказов системы в целом.

Во второй период система проходит нормальную эксплуатацию, поэтому наблюдаются отказы и неисправности с минимальной интенсивностью - λ .

В третьем периоде λ резко возрастает в виду деградиционных процессов, и система нуждается в капитальном ремонте или в утилизации.

Характер и вид отказов в эти три периода технической эксплуатации систем в основном разнотипные: если в первый период преобладают производственные ошибки, то в третьем – наблюдается резкое отклонение численных значений основных параметров элементов, обусловленное процессами деградации и устраняемое в определённой мере способом регулировок и подстроек.

Существуют различные математические модели отказов, которые с разной степенью точности описывают этот процесс.

В виду редкости появления событий в виде отказов, ординарный поток отказов во времени без последействия описывается законом Пуассона:

$$P_m = \left(\frac{(\lambda \Delta t)^m}{m!} \right) \cdot e^{-\lambda \Delta t}, \quad (3.1)$$

где m – число появляющихся отказов за отрезок времени Δt с интенсивностью λ .

Вероятность отсутствия отказа за время Δt равна :

$$P_{m=0} = e^{-\lambda \Delta t}. \quad (3.2)$$

Время безотказной работы в случае внезапных отказов элементов распределяется по экспоненциальному закону с плотностью вероятности:

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t),$$

где λ - интенсивность внезапных отказов.

Распределения времени безотказной работы по постепенным отказам:

$$f(t) = C_1 \cdot \left(\frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \right) \cdot e^{-\frac{(t-T_0)^2}{(2\sigma^2)}}, \quad (3.3)$$

где T_0 – среднее время безотказной работы.

Распределение времени безотказной работы по двум видам системы:

$$f(t) = C_1 \cdot \left(\frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \right) \exp \left[\frac{-(t-T_0^2)}{(2\sigma^2)} \right] + C_2 \lambda \exp(-\lambda t), \quad (3.4)$$

где C_1 и C_2 – нормирующие коэффициенты.

Время безотказной работы для некоторых элементов подчиняется закону распределения Вейбулла:

$$f(t) = \left(\frac{K}{t_0} \right) \cdot t^{K-1} \exp \left(\frac{-t^K}{t_0} \right), \quad (3.5)$$

где K и t_0 – параметры распределения.

Для экспоненциального закона безотказной работы среднее время безотказной работы равно:

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T_0}}$$

$$T_{cp} = T_0 [1 - P(t)]. \quad (3.6)$$

Среднее время восстановления для экспоненциального закона:

$$T_B = \frac{1}{\mu}, \quad (3.7)$$

где μ - интенсивность восстановления системы.

Если отказы появляются в соответствии с требованиями стационарности случайных процессов, то все указанные модели представляют собой поток одиночных отказов во времени. В случаях множественных отказов или же их группирования необходимо рассматривать поток пакетов отказов (ошибок, сбоев) во времени, тогда надо применять другую модель.

Такая модель может быть отображена на основе процессов восстановления, с дискретным временем.

Процесс восстановления с дискретным временем есть двоичная последовательность \bar{D}_j (рис 3.1 а), которая однозначно определяется заданием распределений $P(\Lambda_j)$ - длин серий нулей Λ_j и $P(l_j)$ - длин серий единиц L_j .

Случайная величина Λ_j представляет собой длину серии нулей λ_j , $j = \dots, -1, 0, 1, 2, \dots$ есть порядковый номер в серии (рис 3.1 б); случайная величина L_j представляет собой длину серии единиц λ_j , $j = \dots, -1, 0, 1, 2, \dots$ есть порядковый номер в серии (3.1в). Двоичной последовательности \bar{D}_i соответствуют свои порядковые номера $i = \dots, -1, 0, 1, 2, \dots$

Если случайные величины Λ_j статистически независимы в совокупности, то последовательность \bar{D}_i называется потоком единиц с ограниченным последствием, который определяется заданием одномерных распределений $P(\lambda_j)$. Если независимы в совокупности случайные величины L_j , то последовательность \bar{D}_i называется потоком нулей с ограниченным последствием. Он определяется заданием одномерных распределений $P(l_j)$

Поток единиц с ограниченным последствием, у которого все серии нулей имеют одинаковые распределение $P(\lambda_j) = P(\lambda)$ для всех, j и λ , называется процессом восстановления с мгновенным восстановлением. Поток нулей с ограниченным последствием, у которого $P(l_j) = P(l)$ для всех j и l , называется процессом с мгновенным отказом.

Рассмотрим общую схему модели (рис.3.1). Последовательность \bar{D}_i по рассматриваемой модели может быть разбита на отрезки из единичных элементов двух видов – пакетов ошибок и интервалы между пакетами. В каждом отрезке возникает независимые ошибки с условными вероятностями ε_1 и ε_0 . Длины промежутков λ и длины пакетов l независимы в совокупности. Поэтому последовательность \bar{D}_i полностью определяется одномерными распределениями $P(\lambda)$, $P(l)$ и вероятностями ε_1 , ε_0 . Это означает, что канал имеет два состояния «хорошее» и «плохое». Очевидно, что $\varepsilon_1 \geq \varepsilon_0$. Последовательность состояний \bar{D}_i является процессом восстановления с дискретным временем.

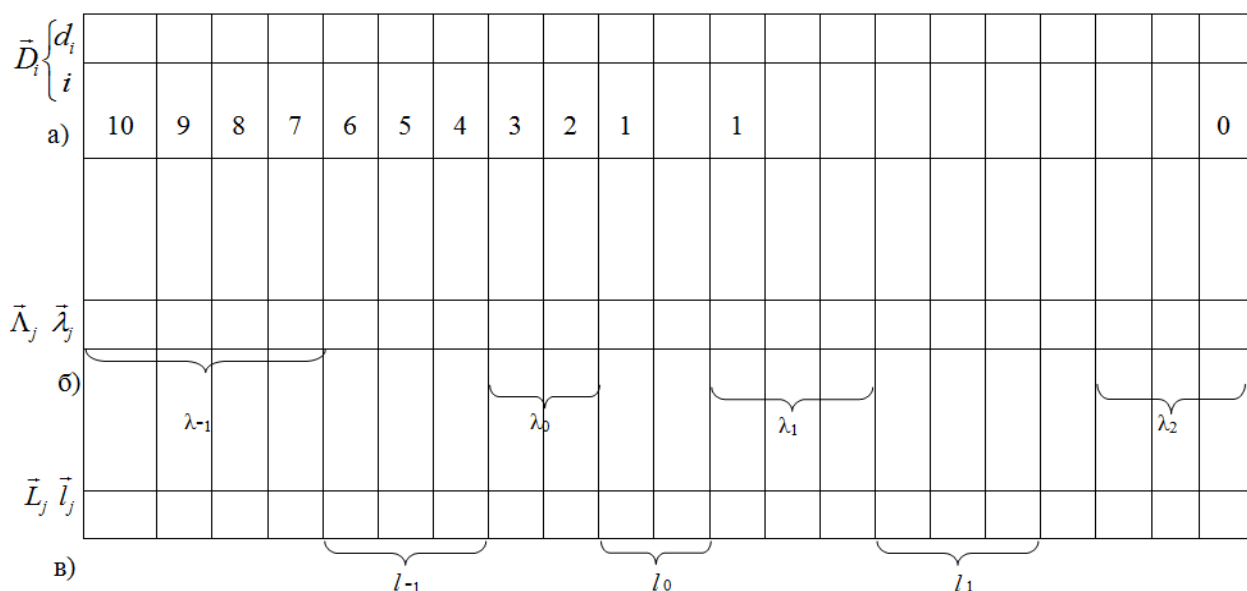


Рис. 3.1. Двоичные последовательности.

а – состояний \bar{D}_i ; б – серий нулей \bar{L}_j ; в – серий единиц \bar{L}_j

При $\varepsilon_1=1$ и $\varepsilon_0=0$ последовательность \bar{D}_i совпадает с последовательностью ошибок \bar{E}_i . В этом случае в «хорошем» состоянии канала ошибки отсутствуют, а в «плохом» все символы принимаются неправильно. При $\varepsilon_1 = \varepsilon_0$ ошибки независимы и нельзя различить «хорошего» и «плохого» состояния канала.

Вероятность попадания элемента в пакет ошибок равна:

$$P_d = \frac{\bar{l}}{(\bar{\lambda} + \bar{l})}, \quad (3.8)$$

где \bar{l} , $\bar{\lambda}$ - средние длины пакета и промежутка. Вероятность того, что данная позиция (данный элемент) является началом пакета ошибок,

$$P_n = \frac{1}{(\bar{\lambda} + \bar{l})}. \quad (3.9)$$

Вероятность P_n может означать также, что данная позиция (данный элемент) является началом промежутка между пакетами ошибок.

Вероятность ошибки в единичном элементе

$$P_{oui} = \varepsilon_0(1 - P_d) + \varepsilon_1 P_d = P_n(\bar{\lambda} \varepsilon_0 + \bar{l} \varepsilon_1). \quad (3.10)$$

2. Разработка модуля моделирующего алгоритма диагностики с использованием одноканального сигнатурного анализатора.

Программа моделирования одноканального сигнатурного метода диагностики цифровых устройств SIGNATURA предназначена для наглядного отображения процесса формирования цифровой сигнатуры при диагностике устройства [5]. Программа моделирует процесс прохождения цифровой последовательности через логическую схему, состоящую из регистра сдвига и сумматора по модулю 2. После окончания процесса моделирования программа выдает результат – цифровую сигнатуру в виде кода для отображения на семисегментном индикаторе. Программа работает в операционных системах Microsoft Windows 98/Me/NT/2000/XP/2003.

Программа не требует установки и запускается путем запуска приложения signatura.exe. При запуске появляется окно программы (рис. 3.2).

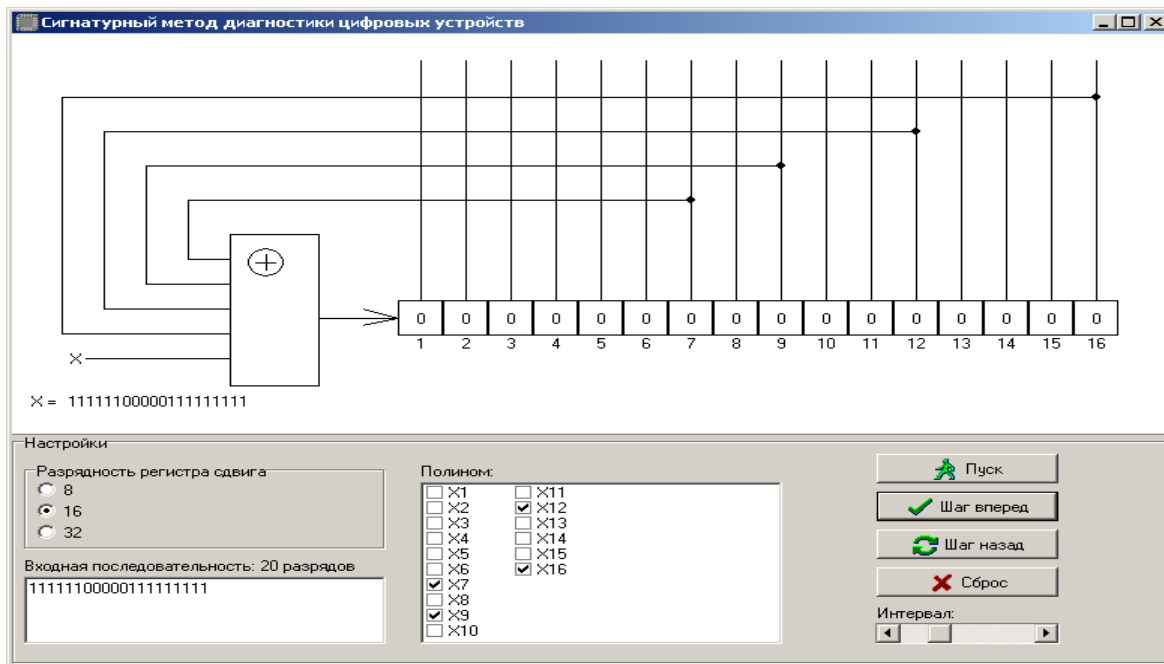


Рис. 3.2. Окно программы SIGNATURA

Окно программы содержит в верхней части изображение моделируемой схемы, в нижней части - элементы управления. Элементы управления выполняют следующие функции:

1) Переключатель «Разрядность регистра сдвига» позволяет устанавливать число разрядов в сдвиговом регистре. Регистр может быть 8, 16 и 32 разрядным.

2) Редактор «Входная последовательность» позволяет ввести произвольную входную последовательность любой длины.

3) Список выключателей «Полином» позволяет ввести любой полином для работы логической схемы. Число выключателей зависит от разрядности регистра сдвига. На рис. 3.2 настройка соответствует полиному $X^{16}+X^{12}+X^9+X^7$.

4) Полоса прокрутки «Интервал» устанавливает скорость процесса моделирования: крайнее левое положение – самая высокая скорость.

5) Кнопка «Пуск» запускает/останавливает процесс моделирования.

6) Кнопка «Шаг вперед» производит один шаг в процессе моделирования.

7) Кнопка «Шаг назад» производит шаг назад в процессе моделирования.

8) Кнопка «Сброс» возвращает систему в исходное состояние.

Последовательность работы с программой следующая:

- установить разрядность регистра сдвига;
- установить разряды полинома;
- ввести входную последовательность;
- при необходимости установить интервал для ускорения/замедления процесса;
- нажать кнопку «Пуск».

При нажатии кнопки «Пуск» на вход сумматора по модулю 2 начинает подаваться входная последовательность. Разряды входной последовательности проходят через логическую схему и записываются в регистр сдвига. Разряды, уже прошедшие в схеме, обозначаются красным цветом (рис. 3.3).

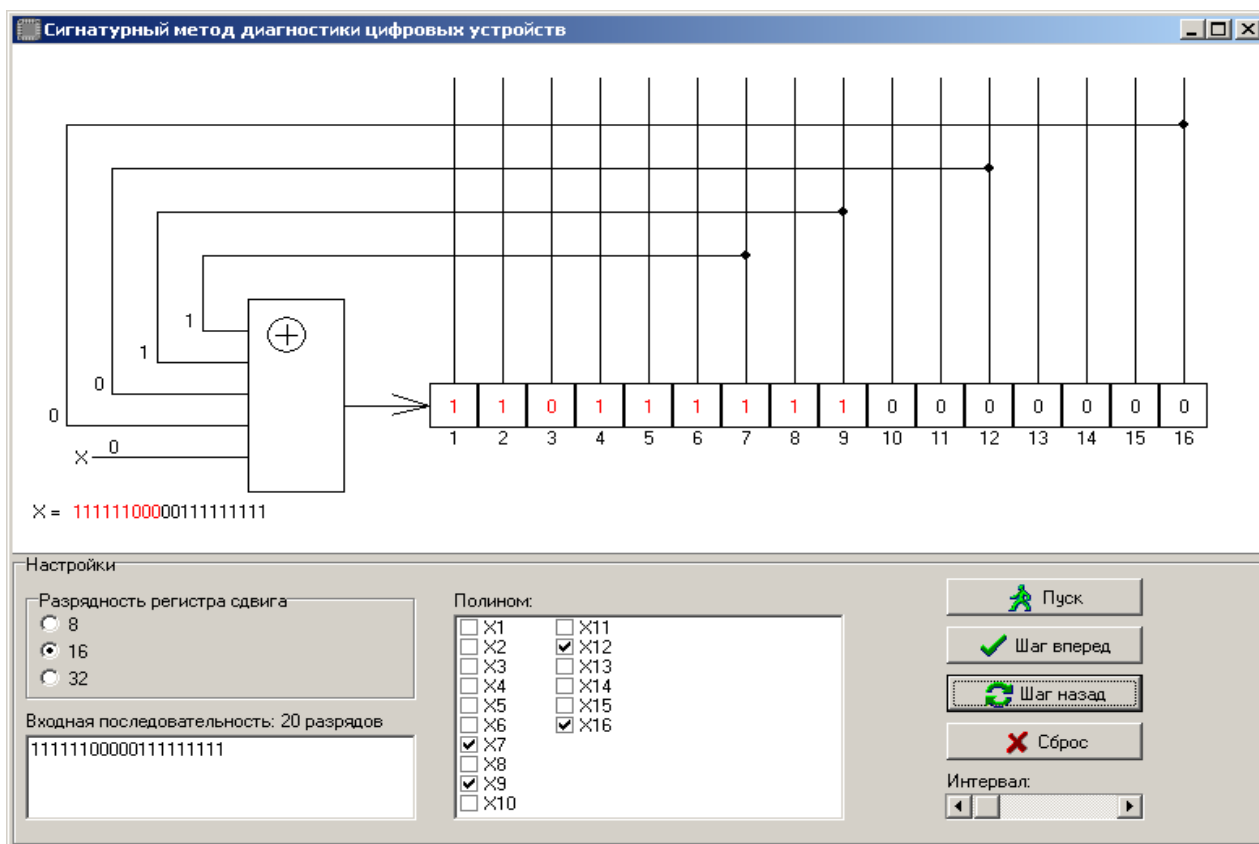
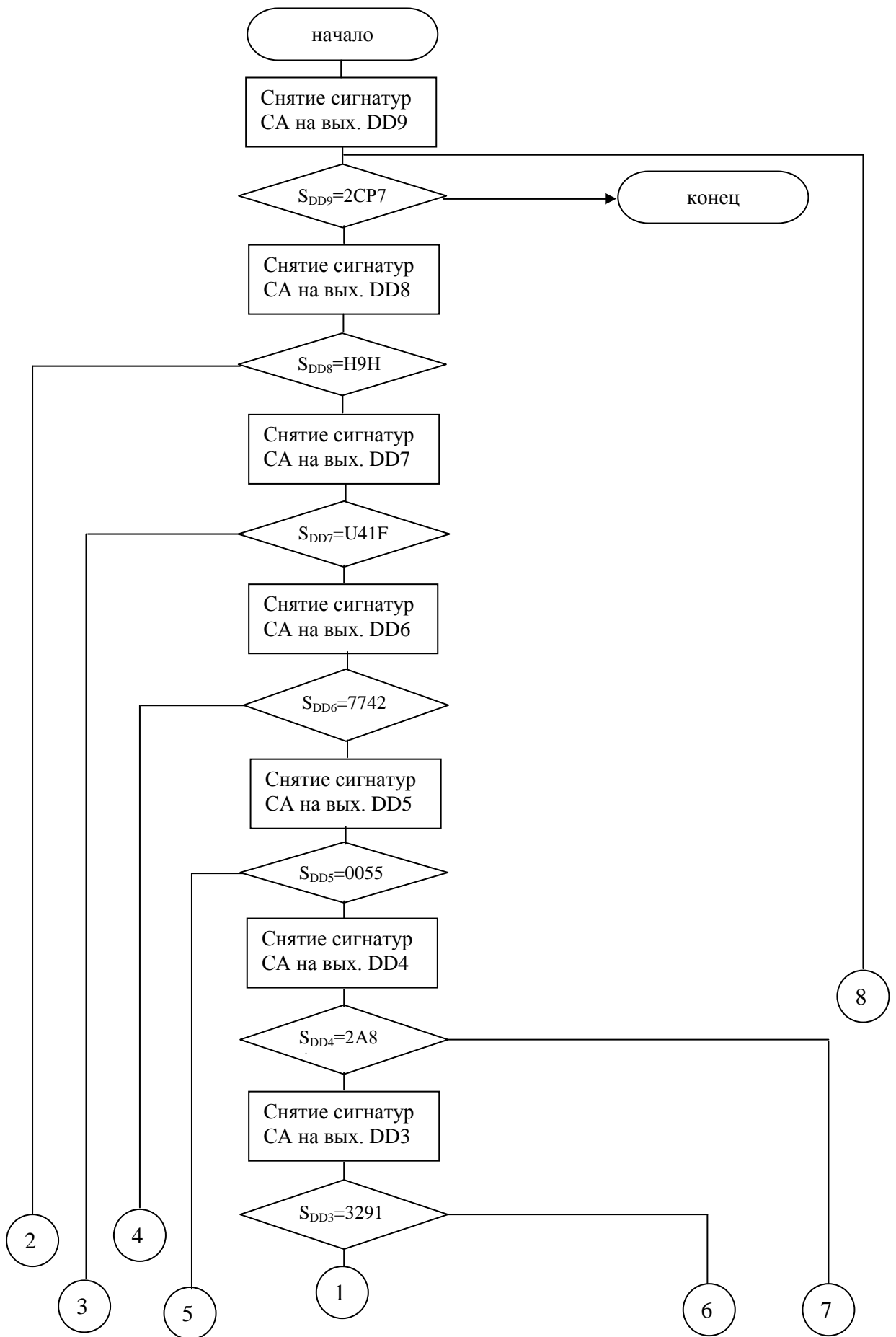


Рис. 3.3. Прохождение последовательности через логическую схему



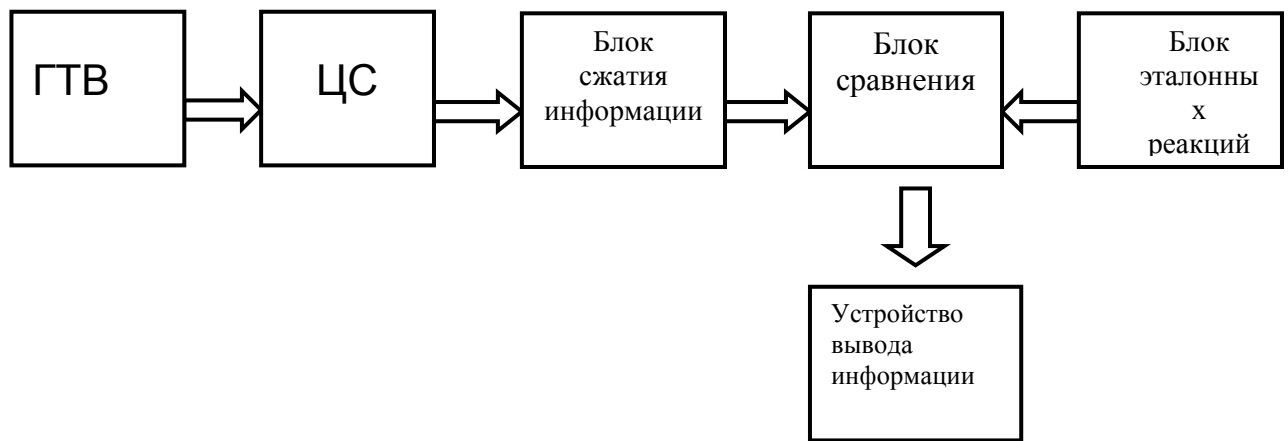


Рис. 3.6. Основные функциональные блоки, используемые при тестировании цифровой схемы.

ГТВ – генератор тестовых воздействий (генератор M-последовательности)

ЦС – цифровая схема

МСА – многоканальный сигнатурный анализатор

Блок эталонных реакций - блок, хранящий сжатые выходные реакции

Логическая взаимосвязь функциональных блоков построена следующим образом: с генератора тестовых воздействий через цифровую схему сигналы поступают на схему сжатия информации (сигнатурный анализатор). Сжатые выходные реакции (сигнатуры) попадают на схему сравнения, где они сравниваются с эталонными сигнатурами, которые хранятся в блоке эталонных реакций. Далее информация попадает в устройство вывода информации о состоянии схемы.

Для моделирования цифровых схем, прежде всего, необходимо описать схему, для этого была смоделирована математическая модель описывающая цифровые схемы под данную систему.

Каждый элемент схемы это объект, который имеет порядковый номер на схеме, тип, списки входов и выходов. Каждый вход элемента хранит информацию о предыдущем элементе. Вследствие этого каждый элемент

может определить логическое состояние предыдущего, его тип, порядковый номер на схеме, выход с которым он соединён.

Линии, соединяющие входы и выходы элементов являются такими же объектами, как и элементы цифровой схемы, за исключением того, что линия имеет только один вход и один выход, и не выполняет логических функций.

Классическая стратегия тестирования цифровых схем основана на формировании тестовых последовательностей, позволяющих обнаруживать заданные множества их неисправностей. Для реализации генератора тестовой последовательности желательно использовать простейшие методы, позволяющие избежать сложной процедуры их синтеза. К ним относятся следующие алгоритмы:

- формирование всевозможных тестовых наборов, то есть полного перебора двоичных комбинаций. В результате применения подобного алгоритма генерируются счётчиковые последовательности;

- формирование псевдослучайных тестовых последовательностей;

- формирование случайных тестовых наборов, с требуемыми вероятностями единичного и нулевого символов по каждому входу цифровой схемы.

Основным свойством вышеперечисленных алгоритмов является то, что в результате их применения воспроизводятся последовательности очень большой длины.

Для процесса моделирования были выбраны два первых алгоритма построения генераторов тестовых последовательностей. И разработаны два модуля для эмуляции работы генераторов:

- модуль эмуляция генератора счётчиковой последовательности.

На схеме генератор счётчиковой последовательности отображается как:

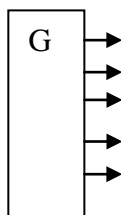


Рис. 3.7. Генератор счётчиковой последовательности.

-модуль эмуляции работы многоканального генератора М-последовательности (Рис. 3.7), позволяющий генерировать псевдослучайную последовательность и сравнительно просто регулировать ее максимальную длину и число каналов в зависимости от числа входов цифровой схемы.

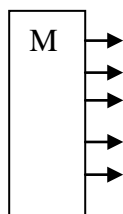


Рис. 3.8. Генератор М- последовательности.

Генератор М-последовательности может быть построен двумя методами, отличающимися способом включения сумматоров по модулю два: они могут включаться как в цепь обратной связи генератора, так и в межразрядные связи элементов памяти регистров сдвига.

Структурная схема генератора М - последовательности, построенного по способу включения сумматоров в межразрядные связи регистра сдвига представлена на рис. 3.9.

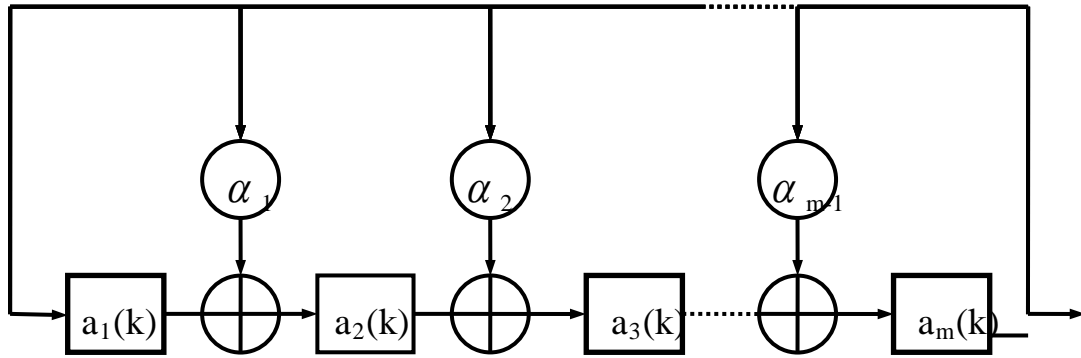


Рис. 3.9. Генератор M - последовательности с сумматорами по модулю два, стоящими в межразрядных связях регистра сдвига:

Генератор M -последовательности с сумматорами по модулю два, стоящими в цепи обратной связи: $a_i, a_{i-1}, a_{i-2}, \dots, a_{i-m}$ – символы последовательности; α_i – коэффициенты, определяющие вид обратной связи.

Для того, чтобы обеспечить различные режимы испытаний, генераторы испытываемых сигналов должны удовлетворять ряду требований (многоканальность, быстродействие, достаточная длина периода и т.д.). В основе наиболее перспективного метода построения быстродействующего параллельного генератора псевдослучайных последовательностей испытательных сигналов лежит идея использования (в качестве независимых последовательностей для формирования разрядов очередного кода) участков одной и той же последовательности. В данном случае генерирование различных участков осуществляется с помощью η -входных сумматоров по модулю два, т.е. $\eta \in \{2, m\}$, где m - разрядность регистра сдвига. Соединения сумматоров по модулю два с разрядами регистра сдвига определяются набором коэффициентов $\delta_i(1) \in \{0, 1\} (i=1, 2, 3, \dots, m)$, значения которых зависят от величины сдвига $l (l=1, 2, 3, \dots)$ и вида порождающего полинома.

Методика выбора коэффициентов $\delta_i(1)$, однозначно определяющих связи многовходового сумматора по модулю два, описывается на итерационном

подходе, когда на основании $\delta_i(h)$, по расчётным соединениям находятся $\delta_i(1)(h=1,2,\dots,h<l)$.

Предположим, что коэффициенты $\delta_i(1)$ и $\delta_i(S)$, позволяющие получить сдвинутые копии M -последовательности на 1 и S тактов, известны; тогда содержимое $a_1(k+1)$ первого разряда регистра сдвига в $(k+1)$ -м такте работы определяется следующим образом:

$$a_1(k+1) = \sum_{i=1}^m \oplus \delta_i(1)a_i(k) (k=0,1,2\dots) \quad (3.11)$$

где $a_i(k)$ содержимое i -того разряда регистра сдвига в k -м такте его работы, а символ $\sum \oplus$ означает операцию суммирования по модулю два. Содержимое первого разряда регистра сдвига в $(k+s)$ -м такте работы имеет вид

$$a_1(k+s) = \sum_{i=1}^m \oplus \delta_i(s)a_i(k) \quad (3.12)$$

для определения содержимого первого разряда регистра сдвига в $(k+1+s)$ -м такте, аналогично как и для (3.11) и (3.12), необходимо предварительно выбрать численное значение коэффициентов $\delta_i(1+s)$. С другой стороны, $a_1(k+1+s)$ можно найти на основании (3.11) следующим образом:

$$a_1(k+1+s) = \sum_{i=1}^m \oplus \delta_i(s)a_i(k+1),$$

где $a_i(k+1)$ с учётом (3.3.1) принимает вид

$$a_1(k+1) = \sum_{i=1}^m \oplus \delta_i(1)a_i(1), \quad (3.13)$$

$$a_{1+p}(k+1) = \sum_{n=1}^{m-p} \oplus \delta_n(1)a_{n+p}(k) \oplus \sum_{n=1}^p \oplus \delta_{m-p+n}(1)a_m(k-n) (p=1, m-1)$$

значения $a_m(k-p)$ вычисляются по формуле

$$a_m(k-p) = \sum_{i=1}^m \oplus \beta_{i,p} a_i(k), \quad (3.14)$$

где $\beta_{i,p} \in \{0,1\} (i=1,2,\dots,m, p=1,2,\dots,m-1)$ - постоянные коэффициенты, определяемые как:

$$\beta_{i,g} = \sum_{n=1}^{g-1} \oplus \alpha_{m-n} \beta_{1,g-n} (g = 2, m-1);$$

$$\beta_{y,1} = \alpha_{y-1};$$

$$\beta_{y,c} = \alpha_{y-c} \oplus \sum_{n=1}^{c-1} \oplus \alpha_{m-n} \beta_{y,c-n} (c = 2, y-1);$$

$$\beta_{y,y} = 1 \oplus \sum_{n=1}^{y-1} \oplus \alpha_{m-n} \beta_{y,y-n},$$

$$\beta_{y,c} = \sum_{n=1}^{c-1} \oplus \alpha_{m-n} \beta_{y,c-n}, (c = y+1, m-1, y = 2, m-1),$$

$$\beta_{m,1} = \alpha_{m-1},$$

$$\beta_{m,g} = \alpha_{m-g} \oplus \sum_{n=1}^{g-1} \oplus \alpha_{m-n} \beta_{g-n} (g = 2, m-1).$$

Окончательно для $\delta_i(1+s)$ получаем:

$$\delta_i(1+s) = \sum_{n=1}^{c-1} \oplus \delta_n(s) \delta_{i+1-n}(1) \oplus \sum_{n=1}^{m-1} \beta_{i,n} \sum_{c=n+1}^m \delta_c(s) \delta_{m+n+1-c}(1) (i = 1, m). \quad (3.15)$$

Разработка и реализация модуля моделирующего алгоритм диагностики с использованием компактных методов тестирования.

Для диагностики цифровых схем особый интерес представляют сигнатурный анализ, в частности, многоканальный, в основе построения которого лежит алгоритм сжатия информации, и метод компактного тестирования, использующий алгоритм счета единиц и счета логических переходов, который находит широкое применение при реализации встроенного тестирования. Поэтому для моделировании процесса диагностики цифровых схем были выбраны три вышеуказанных метода компактного тестирования.

Для описания процедуры сжатия информации, основанной на применении сигнатурного анализа, используются различные математические модели и алгоритмы. Наиболее широко используются два алгоритма:

- 1) метод деления полиномов;
- 2) метод свёртки.

Главная идея сигнатурного анализа при использовании метода деления полинома на полином основывается на выполнении операции деления многочленов. В качестве делимого используется поток данных, формируемых на выходе анализируемого цифрового узла, который может быть представлен как многочлен $p(x)$ степени $l-1$, где l - длина потока. Делителем служит примитивный неприводимый полином $\varphi(x)$, в результате деления на который получается частное $q(x)$ и остаток $S(x)$, связанные соотношением

$$p(x) = q(x) \varphi(x) + S(x),$$

где остаток $S(x)$, представляющий собой полином степени, меньшей чем $m = \deg \varphi(x)$, называется сигнатурой.

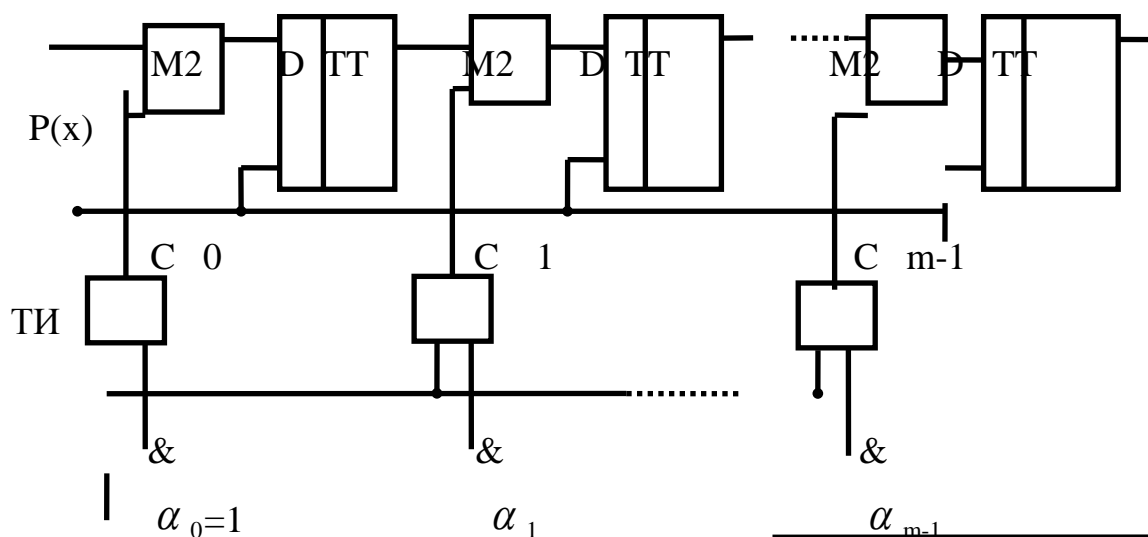


Рис. 3.10. Функциональная схема сигнатурного анализатора, построенного по методу деления полиномов.

Для описания процедуры сжатия информации, основанной на применении метода счета единиц, будет использоваться соотношение

$$R_5 = \sum_{k=1}^l y(k) \quad (3.19)$$

где R_5 представляет собой количество единиц в последовательности $\{y(k)\}$.

А для метода счета логических переходов будет использоваться соотношение

$$R_1 = \sum_{k=2}^l [y(k-1) \oplus y(k)] \quad (3.20)$$

где R_1 количество изменений значений символов в последовательности $\{y(k)\}$.

Так, например, для $y(1) y(2) y(3) y(4) y(5) = 10110$

$$R_1 = (1 \oplus 0) + (0 \oplus 1) + (1 \oplus 1) + (1 \oplus 0) = 3.$$

Для получения контрольного кода (сигнатуры) используется сигнатурный анализатор (СА), основу которого составляет сдвиговой регистр с обратными связями через сумматоры по модулю два. Двоичная последовательности X поступает с выхода проверяемого узла на сдвиговой регистр и делится в виде полинома $x^{n_c} \cdot G(x)^{n_c}$

(n_c -число разрядов сдвигового регистра) порождающий полином $P(x)$ степени n_c . Это деление реализуется с помощью (СА). Результатом деления является остаток $R(x)$, сформированный после приема входной последовательности.

Математически процесс сжатия можно описать формулой

$$x^{n_c} * G(x) = Q(x)P(x) \oplus R(x)$$

где $Q(x)$ - частное от деления.

При прохождении последовательности X через сдвиговой регистр $R(x)$ изменяется до тех пор, пока не закончится вся последовательность. Конечное значение остатка $R(x)$ является сигнатурой. Для проверки устройства вход сигнатурного анализатора подсоединяется к контролируемому выходу узла. На входы этого узла поступает последовательность параллельных кодов

тестовых воздействий . каждому коду соответствует один бит в выходной последовательности , снимаемой с контролируемого выхода .

Подача последовательности тестовых воздействий, снятие с контролируемой точки последовательности сигналов на вход сумматора по модулю два и работа сдвигового регистра синхронизируются одной и той же серией тактовых сигналов . Процесс получения сигнатуры предполагает задание некоторого фиксированного интервала времени – (окна) . Он соответствует определенному числу синхросигналов , а следовательно , и такому же числу тестовых воздействий и последовательности сигналов выходных реакции на них , поступающих на вход СА . После закрытия “окна “ остановки СА в регистре фиксируется остаток (сигнатура). Полученная сигнатура сравнивается с эталонной, указанной в документации для контролируемого выхода. Эталонные сигнатуры могут быть получены путем проверки с помощью СА заведомо исправных узлов или расчетным путем на ЭВМ .

Метод сигнатурного анализа разработан в предположении , что проверяемый узел формирует на своих выходах однозначные заранее определенные последовательности сигналов . следовательно , для обеспечения проверки узла с помощью СА необходимо вводить дополнительно программно – аппаратные средства формирования входных тестовых воздействий .

Собственно сигнатурный анализатор требует относительно небольшого (около 3 ...4 %) дополнительного оборудования.

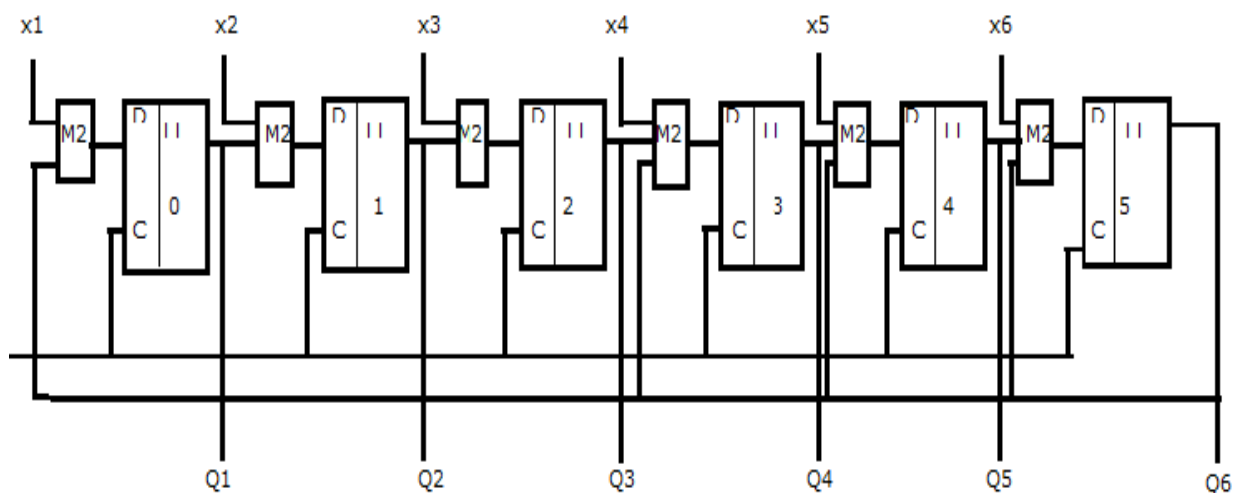


Рис.3.12. Функциональная схема параллельного сигнатурного анализатора с порождающим полиномом $P(x)=X^6+X^5+X^4+X^3+1$

При использовании СА нет необходимости хранить длинные двоичные коды эталонных реакции проверяемого узла. Достоверность способа определяется вероятностью того, что различающиеся двоичные последовательности имеют одинаковые сигнатуры. причем с вероятностью, равной $1/2^m$, обнаруживается любая одиночная ошибка. При достаточно длинной выходной последовательности m_B ($m_B \gg n_C$) вероятность обнаружения ошибки любой кратности будет не ниже значения $1-1/2^m$. Не обнаружение ошибок возможно только в том случае, когда при формировании сигнатуры последующие ошибки в выходной последовательности компенсируют влияние предыдущих.

Однако при большом числе достоинств рассмотренный СА имеет один существенный недостаток: он позволяет контролировать узел только по одному выходу. Для тестирования всего узла с k_0 выходами необходимо либо иметь k_0 СА, либо повторить тест k_0 раз, формируя при каждом повторе сигнатуру с одного из выходов. От этого недостатка свободен параллельный сигнатурный анализатор (ПСА), схема которого представлена на рисунке 2.

Принцип сжатия информации в ПСА остается прежним. Однако здесь каждый i – й выход x_{ij} диагностируемого узла j -м такте подключается к входу i -го сумматора по модулю два. Обратные связи регистра сдвига определяются

структурой порождающего полинома $P(x)$. Состояние Q_{ij} и i -го триггера регистра сдвига j -й момент времени определяется по формуле

$$Q_{ij} = Q_{(i-1)(j-1)} \oplus q_i Q_{nc(i-1)} x_{ij} \quad (i = 1, \dots, n_c)$$

где x_{ij} - значение i -го выходного сигнала тестируемого узла j -м такте ; q_i - множитель определяемый следующим образом:

$$q_i = \begin{cases} 1, & \text{если выход } nc\text{-го разряда регистра сдвига соединен со входом } i\text{-го} \\ & \text{сумматора по модулю два} \\ \cdot & \\ \cdot & \\ \cdot & \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Основным достоинством ПСА является параллельное сжатие двоичных последовательностей выходных реакций что существенно увеличивает скорость тестирования.

Модно показать, что достоверность контроля с использованием ПСА не ниже той, которая определена для СА.

Если узел n_c выходов, с которых снимается его реакции на выходе тестовые воздействия , то совокупность l_v векторов выходных реакций устройства будет определять общую длину свертываемой двоичной последовательности $m_v = n_c l_v$. Такую последовательность двоичных сигналов можно представить в виде поразрядной суммы по модулю два входной последовательности без ошибок X и последовательности ошибок E $:= X \oplus E$, где

$$\begin{aligned} X &= \\ X_j &= \{x_{1j}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{n_c j}\}; \\ E &= \{\}; \\ E_j &= \{e_{1j}, e_{2j}, \dots, e_{ij}, \dots, e_{n_c j}\}; \end{aligned}$$

Значения переменной E_{ij} для j -го вектора E_j (или для j -го) определяется следующим образом:

$$E_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если значение } x_{ij} \text{ является ошибочным;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Так как сигнатурный анализатор является узлом линейного преобразования последовательности значений X_0 , то правомерно проводить отдельный анализ сигнатур для последовательностей X и E . Для определения достоверности обнаружения ошибок достаточно рассмотреть свертку последовательности ошибок E . Под сверткой j -векторов двоичных сигналов S_j понимается совокупность значений разрядов регистра сдвига Q_{ij} в j -м такте после приема в ПСА очередного j -го вектора:

$$S_j = \{ Q_{1j}, Q_{2j}, \dots, Q_{ij}, \dots, Q_{n_cj} \}.$$

Пусть свертки безошибочной последовательности данных и последовательности ошибок обозначаются соответственно S_{xj} , тогда свертка $S_{x_1 l_B}$ после l_B тактов тестирования $S_{x_1 l_B} = S_{x l_E} \oplus S_{E l_B}$.

Если последовательность X_0 не содержит ошибок ($E = \emptyset$), то $S_{Ej} = \emptyset$ ($j=1, \dots$). Однако $S_{Ej} = \emptyset$ и в очередном случае, когда происходит компенсация свертки $S_{E(j-1)}$ очередным вектором ошибок $E_j \neq \emptyset$ ($E_j \in E$).

Утверждение: Любое значение вектора S_{Ej} свертки ошибок, полученного в j -м такте, может быть скомпенсировано одним и только одним входным вектором ошибок E_{j+1} на очередном $(j+1)$ -такте так, что $S_{E(j+1)} = \emptyset$. Справедливость данного утверждения доказывается следующим образом. Значение компонент вектора свертки S_{Ej} определяется по выражению

$$Q_{i(j+1)} = Q_{(i+1)j} \oplus q_i Q_{n_c i} \oplus e_{i(j+1)} = z_{ij} \oplus e_{i(j+1)} \quad (i = 1, \dots),$$

$$\text{где } z_{ij} = Q_{(i-1)j} \oplus q_i Q_{n_c i}$$

Тогда существует единственный вектор ошибок $E_{(i+1)}$, значение компонент которого $e_{ij(i+1)} = z_{ij}$ ($i=1, \dots$) и следовательно $S_{E(i+1)} = \emptyset$.

Наиболее распространенная структура многоканального сигнатурного анализатора, для исследования многовыходных цифровых схем, которая построена на базе порождающего полинома $\varphi(x) = 1 \oplus x^{2^i}$, приведена на рис. 3.13. Она используется для анализа выходных реакций четырёхвыходных Цифровых схем. При этом, конечное значение кода $a_1(k)a_2(k)a_3(k)a_4(k)$ является результирующим значением сигнатуры $S(x)$, представляющей собой компактную оценку сжатия четырех последовательностей $\{y_i(k)\}, i = \overline{1,4}$.

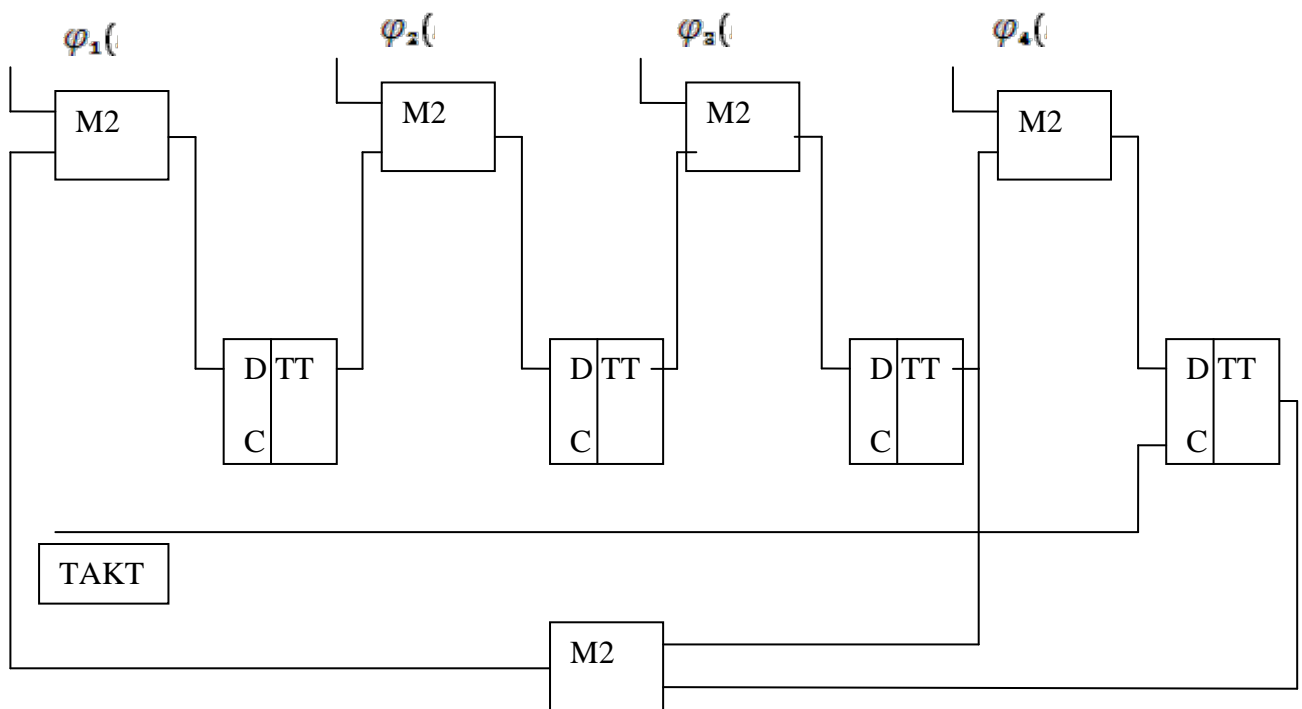


Рис. 3.13. Структурная схема многоканального сигнатурного анализатора на базе порождающего полинома.

Можно показать, что схема, приведённая на рис. 3.13, эквивалентна относительно конечного результата простейшей сигнатуре двухступенчатого сжатия информации (рис. 3.13). А это значит, что в обоих случаях для оценки эффективности можно применять формулу (3.17). Оба подхода получения сигнатур отличаются неравномерностью закона

распределения вероятностей P_n^{μ} необнаружения ошибки кратности μ , а, следовательно, невысокой эффективностью. Кроме того, сигнатура многоканального сигнатурного анализатора (МСА), а также размерность сигнатуры $S(y)$, однозначно определяется количеством выходов n исследуемой схемы. Поэтому с увеличением n сложность устройства сжатия и количество бит, используемых для представления сигнатуры $S(y)$, принимает практически недопустимые размеры. Попытка использовать идею каскадирования многоканальных сигнатурных анализаторов позволяет уменьшить размерность результирующей сигнатуры, однако в этом случае оказывается сложным оценить достоверность такого анализатора [7], которая будет зависеть от организации взаимосвязи МСА и их конкретной реализации.

Описание виртуального макета многоканального сигнатурного анализатора.

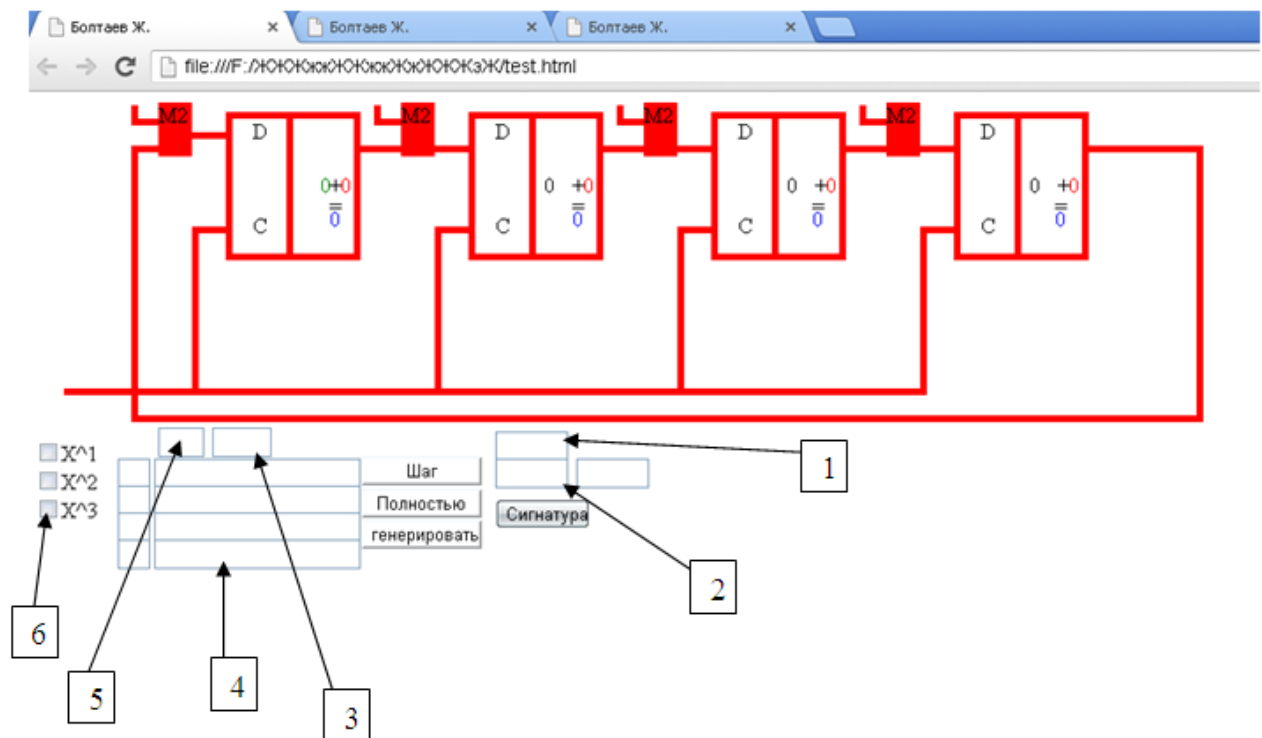


Рис. 3.14. Многоканального сигнатурного анализатора.

- 1-состояние триггеров в последний такт работы .
- 2- свертка(сигнатура).

3-входящий вектор.

4-поле для отображения последовательностей.

5-поля для ввода длинны последовательности.

6-поле для установление обратных связей регистра.

Символы красного цвета – очередной входящий вектор бит.

Символы черного цвета -состояние предыдущего триггера в предыдущий такт.

Символы зеленого цвета – состояние последнего триггера в предыдущий такт(появляется при наличии обратной связи) .

Символы синего цвета – состояния триггеров в текущем такте.

Для того что бы получить свертку необходимо в начале ввести длину потока (поле №5) затем нажать на кнопку “генерировать” и затем на кнопку “просчитать” во время последнего такта работы анализатора, в поле №1(состояние триггеров в последний такт работы) появится двоичная последовательность которая является еще не свернутой сигнатурой, затем при нажатии на кнопку “сигнатура” в поле №2 появится готовая свертка. Также можно установить обратные связи в поле № 6.

Кроме того можно самим вводит желаемые последовательности , для этого необходимо в поле для указания длинны (поле №5) указываем длину последовательности а в поле отображения последовательностей (поле №4) вводим последовательности.

Данная программа работает на всех операциоонных системах поддерживающих браузеры такие как Opera , Mazilla firefox , Explorer .

На рисунке представлен интерфейс программы для моделирования работы многоканального сигнатурного анализатора на 4 , 8 , 16 разрядов (каналы).

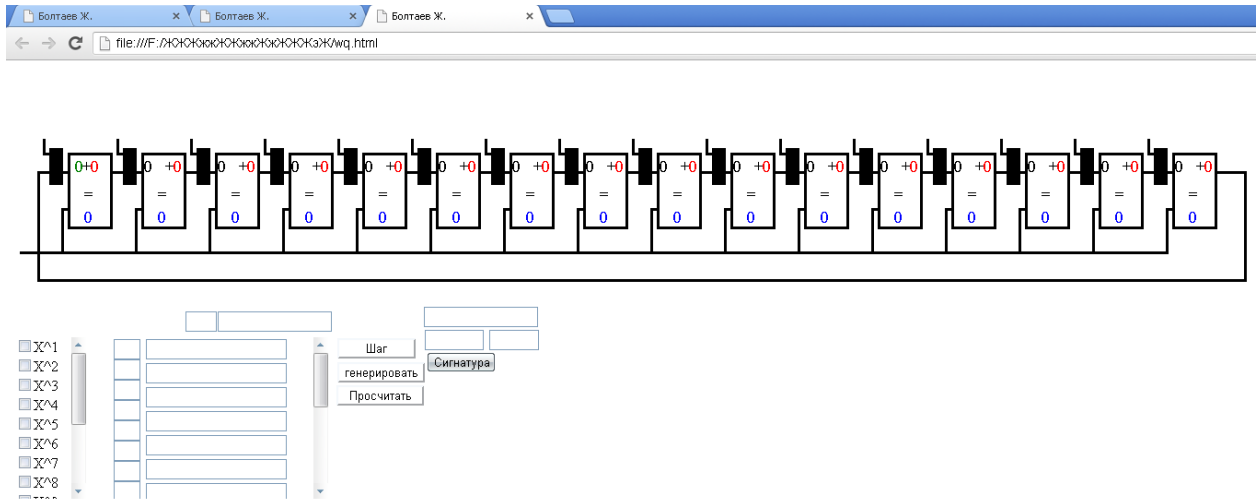


Рис. 3.16. 16-каналов

На данных рисунках представлен момент работы модели в определенный такт.

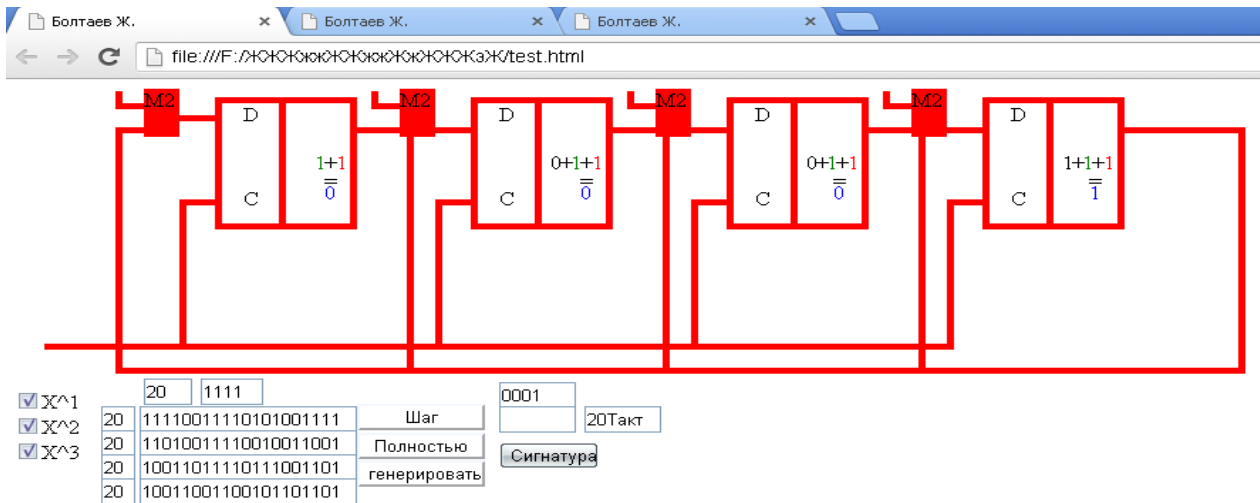


Рис. 3.17. 4-канала

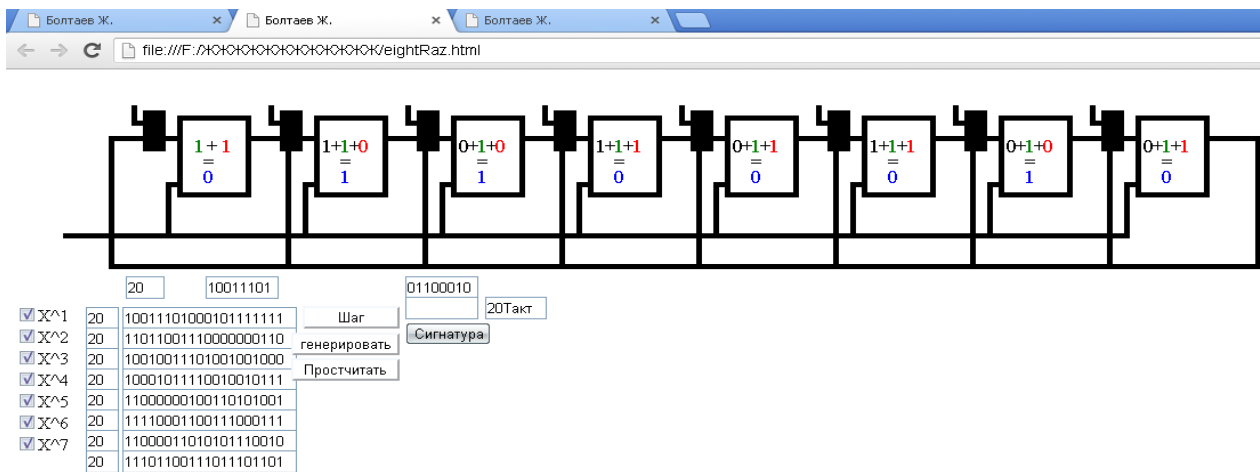


Рис. 3.18. 8-каналов

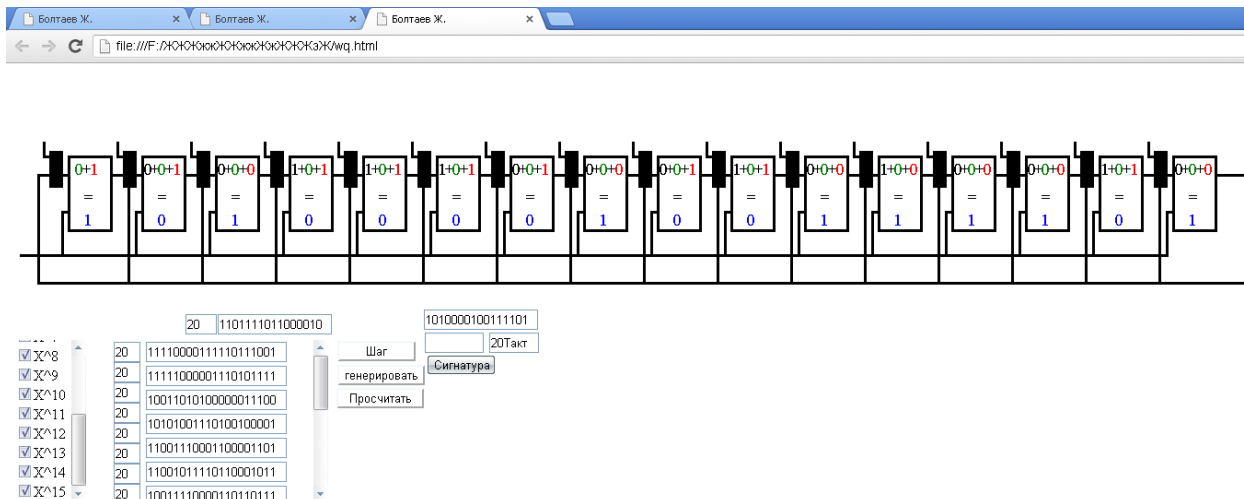


Рис. 3.19. 16-каналов

На данной иллюстрации показан результат работы модели.

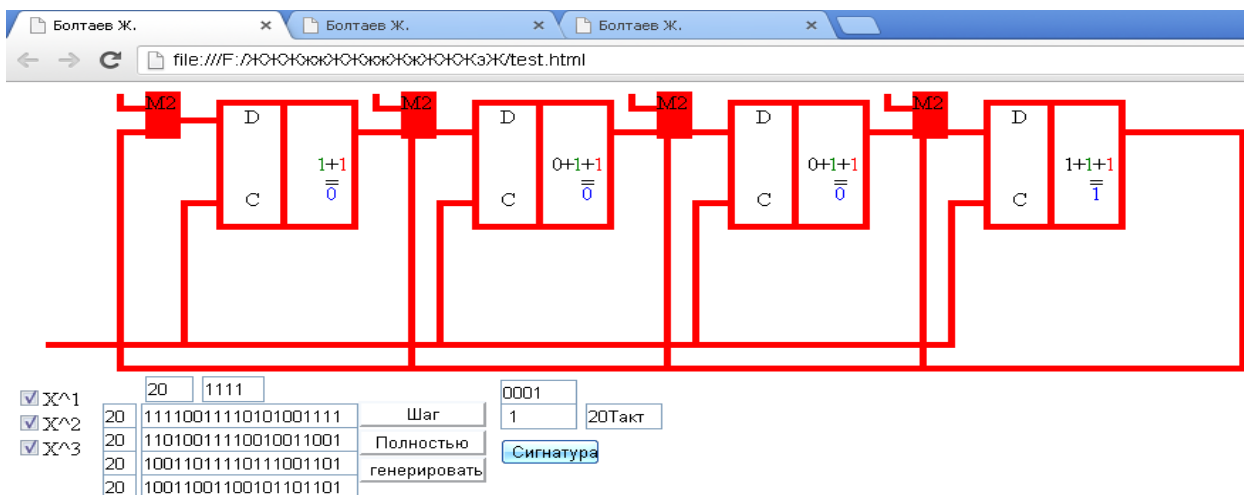


Рис. 3.20. 4-канала

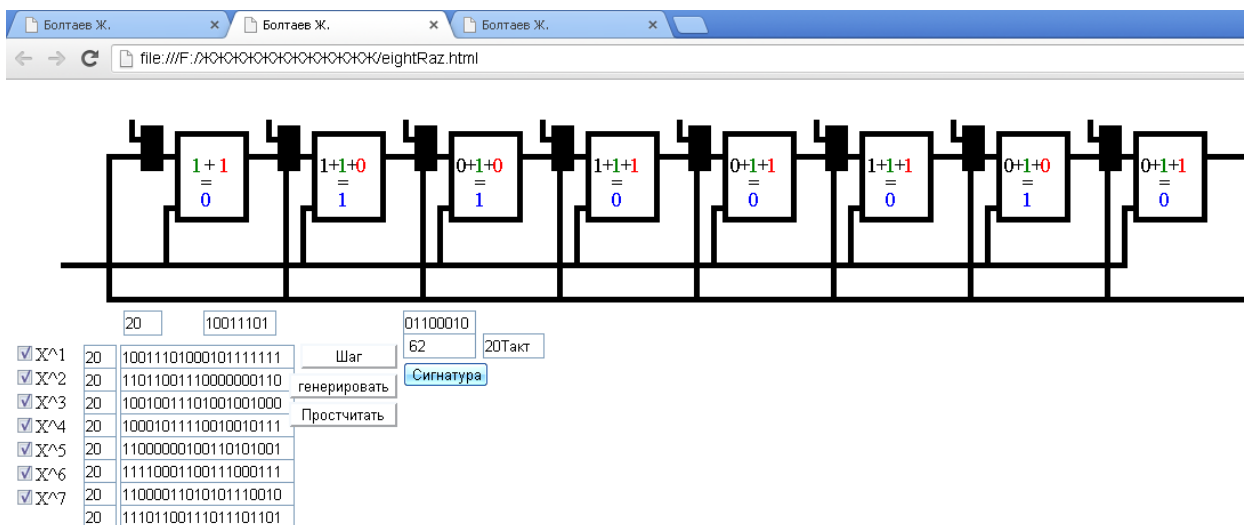


Рис. 3.21. 8-каналов


```

var nomer=0;
var x1=false;X1,X2,X3=false потому что вначале программы связи не
установдлены
var x2=false;
var x3=false;
function rand2(min,max){           return Math.floor(Math.random()*(max-
min+1))+min;
}
function proverka(chB){//данная функция визуализирует связи в регистре в
триггерами
    if(chB==1){
        if(x1){
            $('#hide1,#summ3,#plusnext2').hide();
            x1=false;
        }
        else{
            $('#hide1,#summ3,#plusnext2').show();
            x1=true;
        }
    }
    else if(chB==2){
        if(x2){
            ("#hide2,#summ2,#plusnext1").hide();
            x2=false;
        }
        else{
            ("#hide2,#summ2,#plusnext1").show();
            x2=true;
        }
    }
}

```

```

else if(chB==3){
    if(x3){
        $("#hide3,#summ1,#plusnext3").hide();
        x3=false;
    }
    else{
        $("#hide3,#summ1,#plusnext3").show();
        x3=true;
    }
}
}

```

```

function asd(){//эта функция отвечает за промежуток времени между тактами
    var t=document.getElementById("vvod");
    $("#kolvo").val(t.value.length);
    var t=document.getElementById("vvod1");
    $("#kolvo1").val(t.value.length);
    var t=document.getElementById("vvod2");
    $("#kolvo2").val(t.value.length);
    var t=document.getElementById("vvod3");
    $("#kolvo3").val(t.value.length);
    ech();
}

```

```

function ech(){//данная функция отображает число битов последовательности
    var one=$("#kolvo").val();
    var two=$("#kolvo1").val();
    var three=$("#kolvo2").val();
    var four=$("#kolvo3").val();
    if(one==two&&two==three&&three==four&&four==one){//если длины
равны то программа

```

```
$("#activity").attr("disabled", false);
```

```
//разрешает
```

ВЫПОЛНЕНИЕ

```
    }  
    else{  
        $("#activity").attr("disabled","disabled");  
    }  
}
```

```
}
```

function createArray(maxLength, aString){//при случайной генерации данная функция генерирует

```
    var arr=[]; //массив случайных бит заданной
```

последовательности

```
    for(i=0; i<=maxLength; i++){  
        arr[i]=aString.slice(i,i+1);  
    }  
    return arr;
```

```
}
```

function add(){//эта функция берет с каждого массива по 1 му элементу формируя входящий

```
    var one=$("#vvod").val();//вектор и подает на функцию свертки  
    var two=$("#vvod1").val();  
    var three=$("#vvod2").val();  
    var four=$("#vvod3").val();  
    var kolvo=$("#kolvo").val();  
    var kolvo1=$("#kolvo1").val();  
    var kolvo2=$("#kolvo2").val();  
    var kolvo3=$("#kolvo3").val();  
    var a=createArray(kolvo, one);  
    var b=createArray(kolvo1, two);  
    var c=createArray(kolvo2, three);  
    var d=createArray(kolvo3, four);
```

```

$("#element").val(a[nomer]+b[nomer]+c[nomer]+d[nomer]);
if(nomer==$("#kolvo").val()){
    nomer=0;
}
$("#zero1").html(a[nomer]);
$("#zero2").html(b[nomer]);
$("#zero3").html(c[nomer]);
$("#zero4").html(d[nomer]);
changePlace();//вызывается функция светрки
nomer++;
}
function summ(arg1,arg2){//эта функция реализует деление по модулю два
    if(arg1==arg2){
        result=0;
    }
    else {
        result=1;
    }
    return result;
}
//эта функция реализует один цикл работы программы для пошагового
ВЫПОЛНЕНИЯ
function changePlace(){
    var a=$("#summ4").html();
    var s=$("#rez1").html();
    var l=$("#rez2").html();
    var i=$("#rez3").html();
    var d=$("#rez4").html();
    var n=$("#summnext1").html();
    var m=$("#summnext2").html();

```

```

var t=$("#summnext3").html();

$("#summ4").html(s);
$("#summnext2").html(d);
$("#summnext1").html(i);
$("#summnext3").html(l);
$("#summ1").html(s);
$("#summ2").html(s);
$("#summ3").html(s);
start();
    var s=$("#rez1").html();
    var l=$("#rez2").html();
    var i=$("#rez3").html();
    var d=$("#rez4").html();
$("#sostoyanieTriggerov").val(d+i+l+s);
$("#NomerTakta").val(nomer+1+"Такт");
}
function start(){
    var a=$("#summ4").html();
    var d=$("#zero4").html();
    var c=$("#summnext2").html();//для второго
    var e=$("#zero3").html();//красный
    var f=$("#zero2").html();//красный (третий триггер)
    var g=$("#summnext1").html();//черный

    var rn=$("#zero1").html();//для 4го (красный)
    var o=$("#summnext3").html();//черный
    var r=summ(a,d);
    if(x1){
        var r1=summ(c,a);

```

```

        var rezultat1=summ(r1,e);
        $("#rez3").html(rezultat1);
    }
    else{
        var r1=summ(c,e)
        $("#rez3").html(r1);
    }
    if(x2){
        var r2=summ(a,g);
        var rezultat2=summ(r2,f)
        $("#rez2").html(rezultat2);
    }
    else{
        var r2=summ(f,g);
        $("#rez2").html(r2);
    }
    if(x3){
        var r3=summ(a,o);
        var rezultat3=summ(r3,rn);
        $("#rez1").html(rezultat3);
    }
    else{
        var r3=summ(rn,o);
        $("#rez1").html(r3);
    }
    $("#rez4").html(r);
}
function generator(){//берет из генератора и визуализирует входящие
последовательности
    $("#vvod").val(generator2());

```

```

$("#vvod1").val(generator2());
$("#vvod2").val(generator2());
$("#vvod3").val(generator2());
asd();
}
function generator2(){
    var cols=Number($("#number").val());
    var r=rand2(cols-1,cols-1);
    var str="1";
    for(i=1;i<=r;i++){
        str=str+rand2(0,1);
    }
    return str;
}
function count(){
    var cols1=Number($("#number").val());
    for(i2=1;i2<=cols1;i2++){
        setTimeout(function(){
            add();
        },i2*300);
    }
}
function initArray(){//данная функция переводит из двоичной системы в
свертку
    this.length = initArray.arguments.length;
    for (var i = 0; i < this.length; i++)
        this[i] = initArray.arguments[i];
}
function from10toradix(value,radix){

```

```

var retval = "";
var ConvArray = new initArray(0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,'A','B','C','D','H','P');
var i = 0;
intnum = parseInt(value,10);
while (intnum > 0.9){
    i++;
    tmpnum = intnum;
    // СВЯЗЬ ВОЗВРАЩАЕМОЙ СТРОКИ С НОВЫМ ЗНАЧЕНИЕМ:
    retval = ConvArray[tmpnum % radix] + retval;
    intnum = Math.floor(tmpnum / radix);
}
return retval;
}
function compute(cform){// b2h Перевод из двоичной в шестнадцатиричную
    tmpvar = parseInt(cform.sostoyanieTriggerov.value,2);
    cform.signatura.value = " " + from10toradix(tmpvar,16);
}

```

Графический интерфейс построен таким образом, чтобы пользователю было, как можно удобнее и понятней работать с программой. Все необходимые команды расположены на панели инструментов, которая находится в верхней части экрана, и содержит такие меню, как: Сохранить, Открыть, Справка, Редактировать, а также расположены кнопки логических элементов, генераторов, индикаторов.

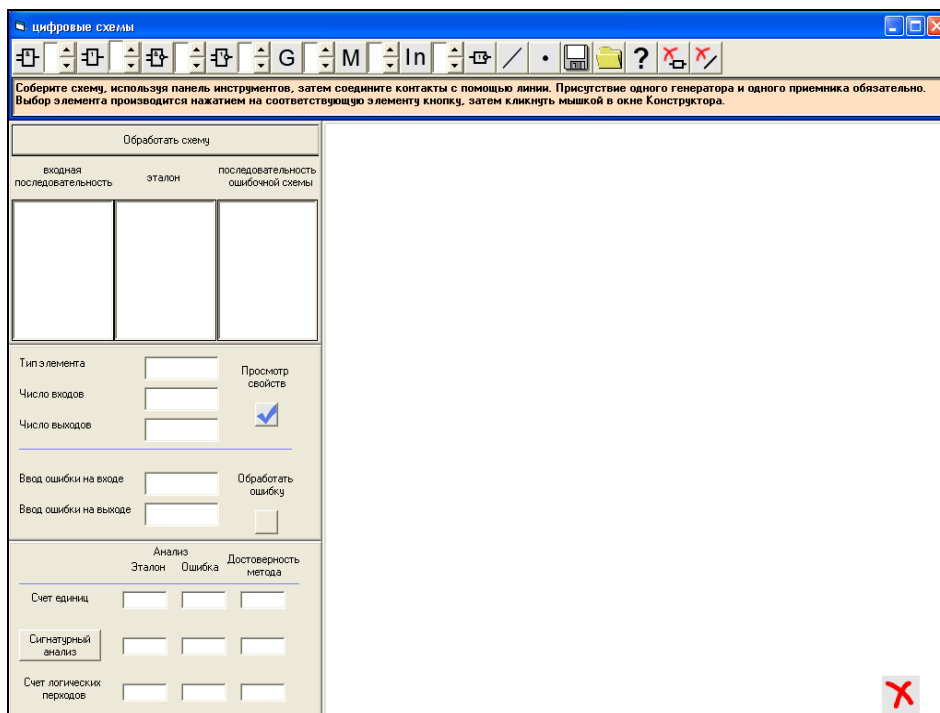


Рис. Рис. 3.23. Графический интерфейс.

Интерфейс программы состоит из 5 форм:

1. Главной формы, на которой расположены меню и все элементы необходимые для работы цифровых схем.
2. Форма «Конструктор» - на ней строятся цифровые схемы
3. Форма свойств элементов. Отображает свойства элемента при его выделении.
4. Форма «Анализ»
5. Форма «Индикатора состояния»

1.Используя панель инструментов выбрать нужные элементы и разместить их в окне конструктора.

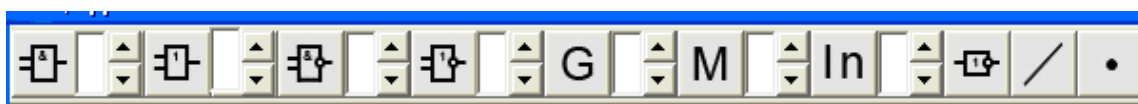


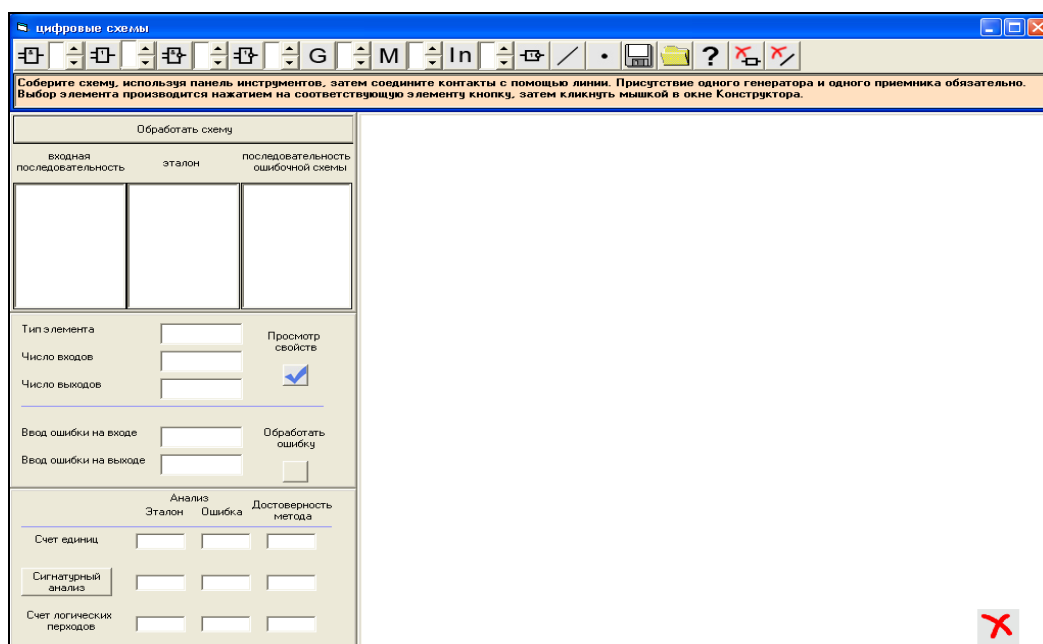
Рис. 3.24. Панель инструментов


Ограничение за один сеанс работы - 200 элементов, включая удаленные. Обязательно присутствие в схеме одного генератора и одного приемника. Выбор элементов производится так:


1) если элемент не имеет дополнительного списка с указанием количества входов (такие как элемент "или" и соединительная точка), тогда нажимаем соответствующую кнопку, а затем кликаем в окне конструктора.

2) если элемент снабжен дополнительным списком, сначала в этом списке выбрать количество входов (например, у элемента «и») или выводов (только у элемента «приемник»). Затем нажимаем кнопку элемента выбранного типа и кликаем в окне Конструктора.

Элемент появляется в верхнем левом углу Конструктора, после чего его можно перемещать в любое место окна.




При необходимости элемент из окна Конструктор можно удалить. Для этого захватить элемент и не отпуская левую клавишу мыши перетянуть его на значок – .

После размещения элементов схемы, выбираем кнопку «Соединительная линия»  на панели инструментов. При этом, перемещение объектов блокируется и появляются маркеры соединения. Для осуществления связи между двумя контактами поднести указатель мыши к

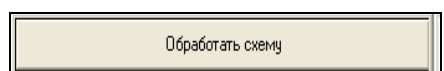
одному из них. Когда маркер соединения станет красным, удерживая нажатой левую клавишу мыши, переместить указатель к нужному контакту. Если маркер, находящийся на этом контакте станет красным, отпускаем клавишу мыши. В результате два контакта соединятся линией.


Если схема построена неправильно, для ее корректировки можно воспользоваться кнопкой на панели инструментов «Очистка соединительных

линий» . В этом случае произведется разблокировка элементов в окне «Конструктора», их можно будет перемещать, удалять и добавлять новые

объекты. Также доступна кнопка «очистка схемы» .

2.Обработка схемы. После построения схемы и выбора параметров для сигнатурного анализа (пункт4), нажать кнопку «Обработка схемы»




1) Если был выбран генератор , в текстовом окне «Входная последовательность» формируется последовательность, размер которой зависит от количества контактов генератора. Количество членов последовательности определяется по формуле:


$$S=n*2^n$$

где, n – количество выводов генератора.


В схему поступает входная последовательность, обрабатывается и принимается элементом приемник. В текстовом окне «Эталон» будет выведена обработанная последовательность, принятая приемником.

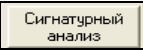
2) Если был выбран генератор , надо выбрать количество выходов, степень образующего полинома

3.Ввод ошибки на вход/выход элемента. В окне Конструктора кликнуть на элемент схемы, в котором будет вводиться ошибка. В окне Свойства

кликнуть на кнопку «Просмотр свойств» , после чего отобразится тип выделенного элемента и количество его вводов/выводов.

В одном из текстовых окон для ввода ошибки ввести или «0» или «1».

Нажать кнопку «Обработать ошибку» . В окне «Последовательность ошибочной схемы» появится результат работы схемы с ошибкой.

4. Анализ. В окне «Анализ» по трем методам произведется расчет эталонной и ошибочной последовательности. Для сигнатурного анализа кликнуть на кнопку «Сигнатурный анализ» . В меню выбрать образующий полином ($X1 \dots X16$) и разрядность регистра сдвига(8,16,32).

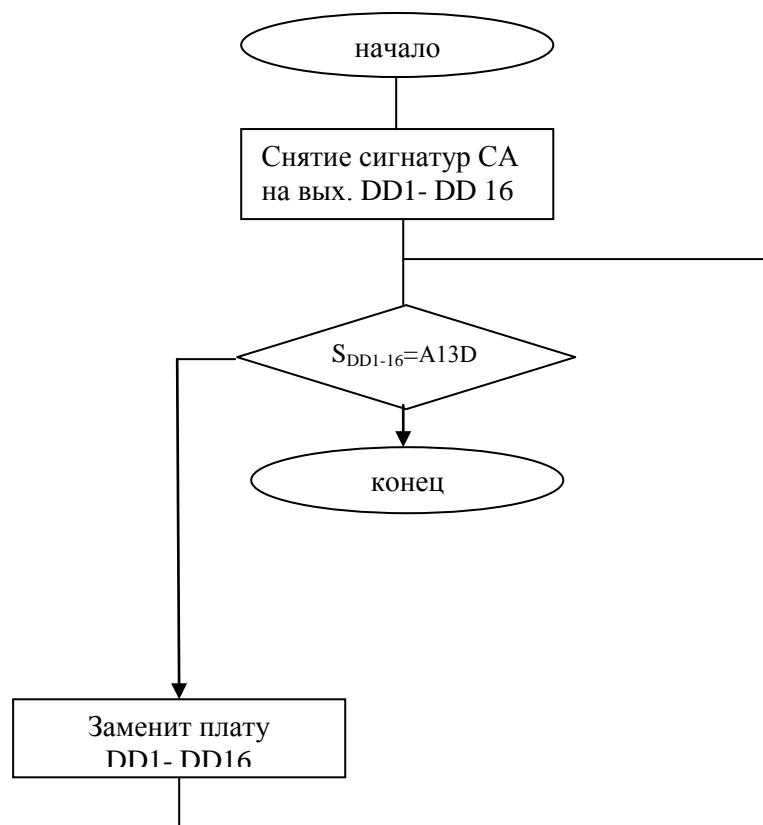


Рис. 3.25. Алгоритм проверки работоспособности ЦУ МСА с выхода на вход.

Выводы

1. Рассмотрен алгоритм, позволяющий осуществлять поиск неисправностей в многовыходных цифровых устройствах с помощью многоканальных сигнатурных анализаторов.

2. Предложена методика сравнения методов компактного тестирования для различных цифровых устройств, позволяющая в максимальной степени учитывать свойства анализируемых последовательностей. На основе этой методики разработан моделирующий алгоритм оценки эффективности многоканального сигнатурного анализа.

3. Разработаны алгоритмы имитационного моделирования методов одноканального и многоканального сигнатурных анализаторов и программы их реализации. Разработанное программное обеспечение работает в описании программы.

Программа моделирования написана на языке java-script.

Программа состоит из 3-х частей файла формата html ,css ,js.

Html- это файлы оболочки программы которые открываются через браузер.

Css- файл отвечает за установление стилей.

Js- основной файл выполняющий обработку данных (скрипт).

При запуске программы запускается скрипт .

Проведены исследования на моделях, разработанных с помощью системы проектирования МСА, для сигнатурных анализаторов на 4, 6, 8 и 16 каналов которые подтверждают возможность диагностики цифрового устройства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с поставленными задачами в магистерской диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. Одним из эффективных путей улучшения эксплуатационных - технических характеристик СПД является повышение интенсивности ремонтно-восстановительных работ на базе использования перспективных методов и технических средств контроля и диагностики цифровых устройств.

2. Проведен анализ путей повышения надежности СПД методами контроля и диагностики.

3. Рассмотрены методы и средства компактного тестирования на основе одноканального и многоканального сигнатурного анализаторов.

4. Для оценки достоверности методов компактного тестирования рассмотрены аналитические выражения, позволяющие определить вероятность необнаружения ошибок в зависимости от их кратности в двоичных последовательностях различной длины.

5. Рассмотрена математическая модель сигнатурного анализа, в которой процедура сжатия двоичных последовательностей реализуется как операция деления полиномов над полем $GF(2)$.

6. Рассмотрен алгоритм, позволяющий осуществлять поиск неисправностей в многовыходных цифровых устройствах с помощью многоканальных сигнатурных анализаторов.

7. Предложена методика сравнения методов компактного тестирования для различных цифровых устройств, позволяющая в максимальной степени учитывать свойства анализируемых последовательностей. На основе этой методики разработан моделирующий алгоритм оценки эффективности многоканального сигнатурного анализа.

8. Разработаны алгоритмы имитационного моделирования методов одноканального и многоканального сигнатурных анализаторов и программы

их реализации. Разработанное программное обеспечение работает в описание программы. Программа моделирования написана на языке java-script.

9. Проведены исследования на моделях, разработанных с помощью системы проектирования МСА, для сигнатурных анализаторов на 4, 6, 8 и 16 каналов которые подтверждают возможность диагностики цифрового устройства.

Список использованной литературы

I. Книга Президента Республики Узбекистан Каримова И. А.

1. Каримов И.А. По пути преодоления последствий мирового кризиса, модернизации страны и достижения уровня развитых государств/ Ислам Абдуганиевич Каримов/ Ред. Х. Кутлуков. -Ташкент: Узбекистан, 2010.-248 с.

II. Основная литература

1. Арипов М.Н., Присяжнюк С.П., Шарифов Р.А. Контроль и управление в сетях передачи данных с коммутацией пакетов. Ташкент.: Фан, 1988. – 160с.

2. Арипов М.Н. Джураев Р.Х., Джаббаров Ш.Ю. Техническая диагностика цифровых систем. Учебное пособие Ташкент 2006

3. А. Р. Бестугин, А. Ф. Богданова, Г. В. Стогов. Контроль и диагностирование телекоммуникационных сетей - СПб: Политехника, 2003. 174 с.: ил.

4. А.В.Засецкий, А.В.Иванов, С.Д.Постников, И.В.Соколов Контроль качества В телекоммуникациях И связи. Часть II, под редакцией А.Б.Иванова — М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001.

5. Байда Н.П, И.В.Кузмин, В.Т.Шпилевой. Микропроцессорные системы поэлементного диагностирования РЭА. – М.: Радио и связь, 1987. - 256с.

6. Джаббаров. Ш.Ю ТошДТУ хабарлари “Принципы диагностики цифровых устройств средствами сигнатурного анализа” №2. 2006.

7. Джалилов М.И, Джураев Р.Х, Джаббаров Ш.Ю, Джураев О.Р Исследование модели неисправности и диагностики цифровых устройств АПД. Труды академии вооруженных сил Республики Узбекистан №2 2005. Ташкент 2005. с 109-113.

8. ГОСТ 20417-75. Техническая диагностика. Общие требования к объектам диагностирования.

9. Гнедов Г.М. Контроль аппаратуры передачи данных. -М.: Радио и связь, 1983.-152с.

10. Гуляев В.А., Кудряшов В.И. Автоматизация наладки и диагностирования микроУВК.-М.: Энергоатомиздат, 1992.-256с.

11. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств систем. -М.: Радио и связь, 1988. -256с.

12. Джейкокс Дж. Руководство по поиску неисправностей в электронной аппаратуре. Перевод с англ. – М.: Мир, 1989. - 176с.

13. Казьмина С.К. Компактное тестирование// Автоматика и телемеханика, 1982, №3, с.173-187.

14. Львович Г.А., Самощенко А.В., Хавкин В.Е. Диагностирование микропроцессорных систем. -Обзоры по электронной технике. Сер.3.Микроэлектроника, вып.7. -М.: ЦНИИ "Электроника", 1987. -84с.

15. Хаханов В.И. Техническая диагностика цифровых микропроцессорных устройств. Учебник. К.:ИЗМН, 1995. - 252с

III. Дополнительная литература

1. Уильямс Г.Б. Отладка микропроцессорных систем: Пер. с англ.- М.: Энергоатомиздат, 1988. -253с.

2. Хаханов В.И. Техническая диагностика элементов и узлов персональных компьютеров. К.: ИЗМН, 1997. - 308с.

3. Хаханов В.И. Техническая диагностика цифровых микропроцессорных устройств. Учебник. К.:ИЗМН, 1995. - 252с

4. Щербаков Н.С. Достоверность работы цифровых устройств. М.: Машиностроение, 1989.

5. Ярмольник В.Н. Контроль и диагностика цифровых узлов ЭВМ. - Мн.: Наука и техника, 1988.-240с.

6. Львович Г.А, Самощенко А. В, Хавкин В.Е. Диагностирование микропроцессорных систем, – Обзоры по электронной технике. Сер.3.

7. Столов Е.Л. Методы компактного тестирования цифровых устройств. Казань, Издательство Казанского Университета. 1993. 115с.

IV. Публикации в научно-технических журналах

1. Джаббаров Ш.Ю. «Принципы диагностики цифровых устройств средствами сигнатурного анализа» «ТошДТУ Хабарлари» 2006г 2т

2. Джураев Р.Х., Джаббаров Ш.Ю., Балтаев Ж.Б «Анализ модели неисправности и диагностики многовыходных цифровых устройств многоканальным сигнатурным анализатором» «ТошДТУ Хабарлари» 2013г

3. Джураев Р.Х., Джаббаров Ш.Ю., Балтаев Ж.Б «Методы оценки информационной безопасности сетей телекоммуникаций» «ТАТУ Хабарлари» 2013г

4. Балтаев Ж.Б., «ТАТУ Ахборот технологиялари ва телекоммуникация муоммолари» илмий йиғилишда «Метода диагностики цифровых устройств с использованием многоканального сигнатурного анализатора» маъруза қилинган.

V. Интернет сайты

2. www.intuit.ru (ИНТУИТ национальный Открытый Университет)
3. www.niits.ru (НИИ Телекоммуникационных систем)
4. www.elsv.ru (журнал "Электросвязь")