

Министерство образования Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра автоматизации механосборочного производства

621.313(07)
О – 363

Огарков С.Ю., Соколов А.В.

ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Текст лекций

Челябинск
Издательство ЮУрГУ
2003

УДК 621.313/36.004.58(0758)

Огарков С.Ю., Соколов А.В. Диагностика электромеханических систем: Текст лекций. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. — 55 с.

Конспект лекций по курсу "Диагностика электромеханических систем" предназначен для студентов специальности 210200 и родственных специальностей электромеханического профиля. В нем изложены теоретические основы диагностики электромеханических систем автоматизации технологических процессов и производств.

Может использоваться студентами других специальностей электромеханического профиля при изучении вопросов подготовки производства и эксплуатации автоматизированных производств.

Ил. 5, табл. 3.

Одобрено учебно-методической комиссией
механико-технологического факультета.

Рецензенты: Юсупов Р.Х., Сиврикова С.Р.

© Издательство ЮУрГУ, 2003.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ДИАГНОСТИКИ И РЕМОНТА СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

Эксплуатация (от франц. exploitation — использование, извлечение выгоды) сложных технических систем автоматизации, а также отдельных частей, узлов и элементов — это стадия пребывания этих средств автоматизации у потребителя, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается их качество. Понятие эксплуатации может также включать в себя в общем случае использование по назначению, транспортирование, хранение, техническое обслуживание и ремонт. Любые технические объекты, и средства автоматизации в частности, после стадии проектирования проходят две основные стадии — изготовление и эксплуатацию. В свою очередь, процесс изготовления можно разбить на следующие части: производство, наладка и сдача (внедрение) потребителю.

Требования, которым должен удовлетворять новый изготовленный эксплуатируемый объект, определяются соответствующей нормативно-технической документацией. Объект, удовлетворяющий всем требованиям нормативно-технической документации, является исправным или находящимся в исправном техническом состоянии. Также используют термин «работоспособность» — способность объекта выполнять все заданные ему функции с сохранением заданных значений параметров или признаков в требуемых пределах.

Неисправное и неработоспособное техническое состояние, а также техническое состояние неправильно функционирующего объекта автоматизации, могут быть конкретно указаны путем перечисления соответствующих дефектов, нарушающих исправность, работоспособность или правильность функционирования и относящихся к одной или нескольким составным частям объекта автоматизации, либо к объекту в целом [1].

Дефект (от лат. defectus) — изъян, недостаток, недочет. Обнаружение и поиск дефектов являются процессами определения технического состояния объекта автоматизации и называются общим термином «диагностирование».

Диагноз (от греч. diagnosis) — распознавание, определение. В свою очередь, задачами диагностирования являются: проверки исправности, работоспособности и правильности функционирования объекта, поиск дефектов. Диагностирование, как процесс, осуществляется теми или иными средствами диагностирования. Эти средства могут быть аппаратными или программными. Средства и объект диагностирования, взаимодействующие между собой образуют систему диагностирования. Различают системы тестового и функционального диагностирования [6]. При тестовом диагностировании на объект подают специально подготовленные тестовые воздействия. При функциональном диагностировании, диагностирование происходит в процессе применения объекта по назначению. При этом на объект поступают только рабочие воздействия, предусмотренные самим ходом его функционирования. В обеих системах средства диагностирования воспринимают и анализируют ответные реакции объекта на входные воздействия и выдают результат диагностирования — диагноз.

Системы тестового диагностирования предназначены для проверки исправности и работоспособности, а также для поиска дефектов, нарушающих исправность и работоспособность объекта. Системы функционального диагностирования применяются для проверки правильности функционирования и для поиска дефектов, нарушающих правильное функционирование объекта.

Последовательность действий при диагностировании называется алгоритмом диагностирования и, как правило, включает в себя совокупность, так называемых, элементарных проверок объекта, а также правил, устанавливающих последовательность реализации элементарных проверок и правил анализа результатов. Каждая элементарная проверка определяется своим тестовым или рабочим воздействием, подаваемым или поступающим на объект, и составом контрольных точек, с которых снимается ответная информация с объекта. Результатом элементарных проверок являются конкретные значения ответных сигналов объекта в соответствующих контрольных точках.

Контроль — процесс сбора и обработки информации с целью определения событий. Если событием является факт достижения некоторым параметром объекта определенного заданного значения (уставки), то можно говорить о контроле параметров. В связи с этим системы тестового диагностирования являются разновидностью систем управления, так как в них реализуется выработка и осуществление специально организованных тестовых (управляющих) воздействий на объект, с целью определения технического состояния последнего. Системы функционального диагностирования можно считать системами контроля, не требующими подачи на объект целенаправленных воздействий. Дефект — отдельное несоответствие установленным требованиям.

В процессе технического обслуживания, как комплекса работ по поддержанию исправности и работоспособного состояния объекта, предусмотрены различные виды работ. В техническое обслуживание входят работы по непосредственному обеспечению работоспособности оборудования, такие как: профилактика, различные виды ремонтов, контрольные мероприятия; а также конкретные мероприятия и работы технической подготовки к эксплуатации объекта автоматизации, большая часть которых выполняется без снятия и разборки отдельных узлов и агрегатов объекта.

Профилактика — совокупность технических мероприятий, предохраняющих объект от преждевременного износа, поломки.

Ремонт (от франц. *remonte* — поправить, пополнить, снова собрать) — совокупность организационных и технических мероприятий, осуществляемых с целью восстановления исправности и работоспособности технического устройства (изделия). Ремонт разделяется на текущий, средний и капитальный. Текущий ремонт направлен на устранение отказов и неисправностей, возникающих в процессе работы объекта; средний и капитальный — на восстановление частично или полностью израсходованного ресурса средств системы автоматизации.

Ремонтопригодность — свойство средств автоматизации, заключающееся в его приспособленности к предупреждению, отысканию и устранению причин и

последствий повреждений (отказов) путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Отказ — одно из основных понятий надежности — событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта, когда один или несколько рабочих параметров выходят за допустимые пределы. Отказы возникают вследствие отказов отдельных составляющих, расстройки, разрегулирования, разрушения или изменения структуры объекта, а также при воздействии внешних помех. Различают отказы внезапные и постепенные, полные и частичные, зависимые и независимые.

2.ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ПОЯВЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ И ОТКАЗОВ В РАБОТЕ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Неисправность, неисправное состояние — состояние системы, устройства, при котором имеет место несоответствие одному или нескольким требованиям, предъявляемым как в отношении основных параметров, так и в отношении удобств эксплуатации, внешнего вида, комплектности и т.п. Неисправность — более общее понятие, чем неработоспособность (нерабочее состояние). Неисправность возникает вследствие повреждения. Повреждение — событие, заключающееся в нарушении исправности изделия. Повреждение может являться одной из причин нарушения работоспособности, т.е. отказа, причем при этом оно (повреждение) считается существенным. Несущественным повреждением считается такое повреждение, при котором работоспособность системы сохраняется [4].

Исправность — состояние системы, при котором его основные рабочие и второстепенные параметры (внешний вид, работоспособность дополнительных и обеспечивающих удобство эксплуатации устройств) соответствуют техническим требованиям и, кроме того, система не имеет отказов резервных узлов и агрегатов. Отказы элементов системы можно разделить на следующие группы:

- отказы элементов, не влияющие на отказ системы в целом;
- отказы элементов, вызывающие частичный отказ системы;
- отказы, вызывающие полный отказ системы.

Отказы также бывают полные и перемежающиеся. Полный отказ характеризуется тем, что параметры системы выходят за установленные пределы и пока он (отказ) не будет устранен, использование системы невозможно. Перемежающиеся отказы (сбои) возникают на короткий промежуток времени, после которого система вновь восстанавливает свои свойства. Отказы также могут быть предсказываемыми (закономерными) и случайными. Для предсказываемых отказов можно с некоторой степенью вероятности установить время (момент) их появления. Случайные отказы являются результатом (следствием) большого количества факторов и сложных процессов. Вместе с тем не всегда можно установить причину отказа. В зависимости от характера изменения параметра при отказе, различают постепенные и внезапные отказы. Внезапный отказ — мгновенно (скачкообразно) система не обеспечивает нормальной работы. Постепенный отказ — медленное изменение параметров системы, после которого она не обеспечивает нормальной работы. Оба этих отказа условны, т.к. время, в течение которого выходной пара-

метр выходит из допусаемых пределов, не регламентировано. Также необходимо отметить, что часто внезапный отказ системы обусловлен постепенным накоплением изменений физического состояния элементов системы или их взаимосвязей. Постепенный отказ, в свою очередь, может быть следствием накопления небольших изменений, вызываемых внезапными отказами, происходящими на более низком уровне системы. Постепенные отказы являются результатом монотонного изменения параметров от самых различных причин. Этими причинами могут быть изменения внешних самых различных физических воздействий или любое разнообразное изменение состояния элементов системы в результате внутренних физических процессов. К таким необратимым процессам можно отнести процессы естественного старения материалов или элементов, а также механический и электрохимический износ (коррозию). Большинство отказов взаимозависимо.

Интенсивность отказов элементов — статистическая оценка. Ее нельзя рассчитать, а можно найти, имея статистические данные эксплуатации или специальных экспериментов (испытаний).

Сложные системы, к которым относятся системы автоматизации, состоящие из значительного количества простых элементов испытывать на надежность трудно или невозможно.

Кроме отказов различают также сбои систем. Сбой — кратковременная самоустраняющаяся утрата системой работоспособности (кратковременный отказ).

Основными внешними физическими факторами, приводящими к неисправностям и отказам, являются:

- изменение температуры внутренней и внешней среды системы;
- наличие влажности;
- наличие агрессивных сред (газы, жидкости, пары, пыль, насекомые);
- влияние вибрации и ударов.

Все эти факторы приводят к естественному ухудшению параметров состояния элементов системы (естественному старению материалов) вследствие протекания различных физико-технических процессов.

Повышение температуры вызывает как постепенные, так и внезапные изменения в материалах [3]. При этом, как правило, ускоряются химические реакции. При периодических изменениях температуры, особенно около 0°C , происходят механические деформации элементов конструкций, вызывающие механические повреждения. При высоких рабочих температурах некоторые изоляционные материалы разлагаются, изменяют свою внутреннюю структуру, выделяют из себя различные газы. С изменением температуры нелинейно изменяются величины электрического сопротивления и магнитной проницаемости для многих материалов. При низких температурах у большинства пластиков и резин сильно снижается прочность на удар и повышается хрупкость. При длительном воздействии тепла происходят нежелательные изменения параметров материалов за счет медленно протекающих химических процессов, называемых тепловым старением, которое существенно ускоряется под действием других физических факторов, например, ионизирующих излучений, вибраций, ультрафиолетового излучения, механических воздействий, электрических полей. Также, при этом происходит изме-

нение (чаще всего уменьшение) объема материалов, что приводит к растрескиванию, отслаиванию от других элементов конструкции. При низких температурах, вода, заполняя трещины, поры и зазоры, замерзает и, расширяясь на 10% в объеме, вызывает дальнейшее увеличение дефектов.

Громадное различие температурных коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) различных материалов затрудняет конструирование и изготовление соединений и герметизации элементов систем.

ТКЛР ($\times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$) при (20...200 $^\circ\text{C}$)			
Алюминий	23,8	Текстолит	20...40
Бронза	17,6	Гетинакс	17...25
Железо	12,2	Стеклотекстолит	50...80
Золото	14,3	Керамика	6...12
Инвар	0,9...1,2	Оргстекло	80...140
Латунь	17...18	Полиэтилен	100...180
Медь	16...17	Фторопласт	50...110
Олово	23,8	Лавсан	50
Свинец	29,1	Стекло	60...120
Серебро	19,7	Кварц	0,5
Титан	7,5...8,5		

Инвар (*invariabilis* — неизменный) — ферромагнитный сплав Fe(36%) и Ni; суперинвар — 32% Ni + 4% кобальта, ТКЛР $1 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ при 80...100 $^\circ\text{C}$.

Под действием влаги меняются цвет, шероховатость, электропроводность, поверхностная прочность многих материалов.

Скорость проникновения коррозии вглубь металлов, мкм/год:

Pb — 4; Cu — 12; Zn — 50; Al — 8; Ni — 32; Fe — 200.

Также, скорость зависит от величины относительной влажности, температуры, наличия активных газов и частиц (пыли органического и минерального происхождения) как в атмосфере, так и на поверхности материала. Различают также контактную коррозию из-за различия электрохимических потенциалов различных металлов (Al — - 1,3; Cu — + 0,34).

Непроводящие окисные пленки на контактных поверхностях существенно снижают надежность коммутационных узлов.

Механические воздействия на системы автоматизации могут возникать как в процессе эксплуатации, так и при транспортировке, и подразделяются на удары и вибрации. Удар — быстрое изменение ускорений. Удары вызывают механические разрушения элементов и затухающие колебательные движения отдельных элементов конструкции. Вибрация — сложные периодические колебания, которые воздействуют продолжительное время с более низкими значениями ускорений, но в большом частотном диапазоне, что в свою очередь приводит к разрушению элементов за счет усталости и механического резонанса.

Пыль и песок интенсифицируют коррозию и ухудшают изоляционные свойства материалов, проникая в подшипники, увеличивают коэффициент трения, вызывают повышенный износ.

Старение и износ являются процессами постепенного, необратимого изменения элементов и конструкции систем, и, действуя совместно, в некоторых случаях, могут вызывать резкое изменение параметров. Старение происходит непрерывно и не зависит от того, в рабочем или нерабочем состоянии находится система. Износ наблюдается только в рабочем состоянии системы.

Искусственное или естественное старение может как улучшать, так и ухудшать отдельные свойства материала. У пластичных материалов из-за старения появляются остаточные деформации, а у упругих материалов теряются упругие свойства. Процессы старения и износа являются неизбежными. Их нельзя полностью предотвратить, можно только в некоторой степени уменьшить вызываемые ими последствия.

3. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ.

3.1. Взаимосвязь диагностики с надежностью и качеством функционирования средств автоматизации

Качество системы автоматизации есть совокупность ее свойств, обуславливающих пригодность системы удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением [5]. Одним из показателей качества является показатель надежности как безотказности, долговечности, сохраняемости, ремонтпригодности. Наиболее важными принципами, методами и средствами обеспечения надежности являются:

- выбор, совершенствование и создание новых материалов;
- поиск и реализация новых физических принципов работы систем автоматизации;
- реализация новых видов энергии и способов ее преобразования;
- создание защитных условий применения систем в условиях тяжелых внешних воздействий;
- совершенствование технологий производства;
- применение различных видов резервирования и избыточности;
- реализация мероприятий, повышающих эффективность получения, обработки и использования информации (применение защитных и помехозащищенных кодов, разработка качественного математического обеспечения).

Необходимо отметить, что мероприятия аппаратурного и информационного направления по повышению надежности имеют своей целью устранение дефектов, которые приводят к неправильной работе. Такие мероприятия «маскируют» дефекты из-за аппаратурной и информационной избыточности. Обнаружить дефекты при этом весьма трудно. По мере увеличения количества дефектов возможно проявление различного вида отказов системы. При этом безотказность системы будет ниже, чем безотказность при отсутствии избыточности. Вместе с

тем необходимо осуществлять поиск неисправностей в условиях резервирования системы с целью поддержания ее защитных свойств.

Резервирование (от лат. *reservo* — сберегаю, сохраняю) — метод повышения надежности системы путем применения структурной, функциональной, информационной и временной избыточности по отношению к минимально необходимой и достаточной для выполнения системой заданных функций.

Избыточность — наличие у системы возможностей сверх минимально необходимых для нормального функционирования. При диагностике систем должны решаться вопросы определения технического состояния объекта за счет определения исправности, работоспособности, правильности функционирования и поиска дефектов на всех этапах производства и эксплуатации систем.

Диагностическое обеспечение должно закладываться на стадии проектирования, обеспечиваться на стадии производства и поддерживаться на стадии эксплуатации. Идеальная полнота обнаружения и глубина поиска дефектов систем не всегда достижимы из-за невозможности получения необходимой информации, либо по технико-экономическим соображениям. Особенно нежелательна бесконтрольная неполнота обнаружения дефектов, когда неизвестно, какие возможные дефекты не обнаруживаются.

Современным средством проверки является моделирование поведения системы как в исправном состоянии, так и при наличии в ней дефектов. Такое моделирование называется диагностическим.

3.2. Тестовое диагностирование

Тест (англ. *test* — проба, испытание, исследование) — задание с известным решением, предназначенное для проверки качества системы. Задача построения теста состоит в том, чтобы найти такую совокупность и последовательность входных воздействий, при подаче которой на объект диагностирования получаемые ответы объекта в заданных контрольных точках позволяют делать заключение о его техническом состоянии. Проверяющие тесты предназначены для проверки исправности или работоспособности объекта, а тесты поиска дефектов — для указания места и, возможно, причин дефектов, нарушающих исправность и работоспособность объекта диагностирования. Для дискретных объектов тесты (их алгоритмы) строятся либо по структурным, либо по функциональным моделям. Тесты могут быть как строго определенными (детерминированными) так и вероятностными (псевдослучайные входные воздействия также относятся к последним). В качестве тестовых могут быть использованы входные воздействия, являющиеся рабочими при применении системы по назначению. Такие тесты называют функциональными. Однако необходимо помнить, что функциональные тесты пригодны только для проверки работоспособности объектов, так как обеспечиваемая ими полнота обнаружения и глубина поиска дефектов явно недостаточны для проверки исправности и поиска дефектов. Другой стороной тестового диагностирования являются задачи выбора и разработки средств реализации тестов. Средства тестового диагностирования содержат две основные части — генератор тестовых воздействий и анализатор ответов объекта на тестовые воздействия. Чаще

всего генератор и анализатор функционально и конструктивно выполняют отдельно друг от друга. Генератор хранит и создает (генерирует) тесты и подает их на объект диагностирования. Анализатор хранит полученные ответы, сравнивает фактические ответы с ожидаемыми и выдает результат — диагноз. Часто анализатор представляет собой совокупность эталона (исправная копия объекта) и схему сравнения. Также часто часть функций генератора и анализатора возлагается на человека.

3.3. Функциональное диагностирование

Функциональное диагностирование может осуществляться как непрерывно, так и периодически или эпизодически. При функциональном диагностировании необходимо четко определить:

- понятия исправности, работоспособности, правильности функционирования по отношению к конкретным функциям и условия применения объекта;
- типы и перечни дефектов, подлежащих обнаружению и поиску при диагностировании;
- распределение задач диагностики по периодам жизненного цикла объекта;
- алгоритм функционального диагностирования и его виды;
- глубину функционального диагностирования;
- средства (аппаратурные, программные, автоматические или ручные, специализированные или универсальные, внешние или встроенные) функциональной диагностики.

Для формирования алгоритмов систем функционального диагностирования (СДФ) используются математические модели, как самого объекта, так и его неисправностей. Устанавливается связь между степенью развития неисправностей и дефектов и поведением измеряемых нужных параметров. Как правило математические модели (ММ) элементов системы — это совокупность дифференциальных и алгебраических уравнений, эмпирические формулы, таблицы, графики, описывающие элемент, а также связи между внутренними и внешними управляющими и возмущающими параметрами. Различают ММ с заложенной в них информацией об неисправности, так и без нее.

3.4. Технические средства диагностики

Средства, с помощью которых осуществляется диагностирование технического состояния объекта, называются техническими средствами диагностирования [7]. Средства могут быть аппаратными или программными, внешними или встроенными, ручными, автоматизированными или автоматическими, специализированными или универсальными и т.д. В качестве средств диагностирования может выступать оператор — человек, контролер, наладчик. Выбор и разработка средств тестового диагностирования должны осуществляться с учетом многих факторов: наличия серийного выпуска требуемых средств, наличия подходящих средств на заводе-изготовителе, массовости выпуска объекта и его сложности, требуемых качеств средства (точности, производительности, надежности и т.д.).

Средства функциональной диагностики являются, как правило, встроенными и создаются одновременно с объектом. Для сложных объектов существенными становятся проблемы повышения контролепригодности. Контролепригодность — свойство объекта, характеризующее его приспособленность к проведению контроля заданными средствами (ГОСТ 19919—74). Уровень контролепригодности объектов определяет степень эффективности решения задач тестового диагностирования их технического состояния, влияет на производительность процесса их производства и качество. При эксплуатации уровень контролепригодности определяет их коэффициент готовности и затраты, связанные с ремонтом. Коэффициент готовности — показатель надежности ремонтируемых объектов, характеризующий вероятность того, что объект будет работоспособен в произвольно выбранный момент времени в промежутках между выполнениями планового технического обслуживания.

$$K_g = T / (T + T_v),$$

где T — наработка на отказ; T_v — среднее время восстановления работоспособности.

Вместе с тем дополнительные технические средства диагностирования делают объект более дорогим и менее надежным и тоже должны диагностироваться. Контролепригодность обеспечивается преобразованием структуры проверяемого объекта к виду, удобному для проведения диагностирования. Для этого в объект еще на этапе его проектирования и конструирования вводят дополнительные элементы (аппаратуру) — встроенные средства тестового диагностирования. К встроенным средствам тестового диагностирования можно отнести:

- дополнительные контрольные точки;
- дополнительные входы для блокировки сигналов и задания требуемых значений сигналов;
- аппаратные средства, которые при диагностике изменяют структуру объекта;
- аппаратные средства, которые генерируют тесты и анализируют результаты.

Технические средства для диагностики сложного автоматизированного технологического оборудования в зависимости от назначения подразделяются на встроенные и внешние. Внешние системы (средства) диагностики в свою очередь могут быть мобильными и стационарными. Мобильные средства предназначены для контроля параметров и диагностирования объектов при приемосдаточных испытаниях, при эксплуатации и ремонте. Стационарные (стенды) используются в основном для исследования и испытания объектов в процессе их создания.

При разработке и использовании технических средств диагностики (ТСД) важное значение имеет метрологическая подготовка и обеспечение метрологического обслуживания средств, включающие проверки (атестацию), юстировку и ремонт этих средств. Юстировка (от нем. *justieren* — выверять, регулировать; от лат. *justus* — правильный) — совокупность операций по доведению погрешностей средств измерений, приборов, механизмов до значений, соответствующих техническим требованиям. Таким образом, основная цель применения ТСД — обеспечение качества оборудования систем автоматизации при его выпуске и эксплуата-

ции путем своевременного и достоверного контроля технического состояния, качества сборки, наладки и регулировки, качества выполнения основных функций при эксплуатации, а также обнаружение, локализация и последующее исправление дефектных состояний агрегатов, модулей, узлов и элементов изделия и установления причин их появления. Назначение ТСД — определение с заданной достоверностью, регистрация и принятие решения о соответствии или несоответствии текущего технического состояния контролируемого оборудования номинальному. Наиболее часто ТСД используются для реализации следующих методов диагностирования:

- метод временных интервалов;
- метод контрольных осциллограмм;
- метод контроля параметров.

Метод временных интервалов направлен на контроль времени цикла работы системы автоматизации, а также его отдельных составляющих. Для диагностирования сложных систем автоматизации применяют метод контрольных (эталонных) осциллограмм. Метод основан на использовании графиков функций различных параметров во времени, на основании анализа которых делается заключение о работоспособности и техническом состоянии системы и ее отдельных элементов. Метод контроля параметров сводится к определению (измерению) тех или иных параметров, нахождение которых в установленных границах определяет работоспособность системы или ее отдельных элементов.

4.МЕТОДЫ ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ.

4.1.Общие принципы

Метод (гр. *methodos*) — способ, прием, образ действий. Способ теоретического или практического исследования или осуществления. Основой эффективной деятельности по поиску неисправностей в сложных технических объектах должны являться достаточно глубокие знания об объекте, в котором осуществляется поиск дефектов и неисправностей, а также логический подход к самому процессу поиска. Такой подход к поиску неисправностей еще называют системным. Логика (гр. *logike*) — наука о законах и формах мышления. Ход рассуждений, умозаключений. Наука о формальных принципах рассуждения. Системный подход к поиску неисправностей в системах автоматизации позволяет существенно сократить время простоя систем и затраты на проведение технического обслуживания и ремонта [6]. Формально процедуру поиска неисправностей можно разбить на шесть этапов.

Первый этап — выявление признаков неисправности. Перед тем как принять решение о необходимости ремонта системы, следует проверить правильность функционирования. Для выполнения этого этапа необходимо детально знать объект, его рабочие характеристики, возможности, устройство, назначение, правильное функционирование.

Второй этап — углубленный анализ признака неисправности. На этом этапе более или менее явный признак следует подвергнуть более детальному анализу. Большинство технических систем автоматизации имеют органы регулировки, встроенные или внешние средства диагностики как дополнительные или основные средства проверки правильности функционирования. Необходимо проверить, влияют ли дополнительные воздействия на наблюдаемый признак неисправности и не могут ли предоставить дополнительную информацию, которая поможет точнее определить этот признак.

Третий этап — составление перечня возможных неисправных функций системы. Это этап оценивания, основанный на использовании сведений, полученных на двух предыдущих этапах, а также знаний о правильном функционировании обслуживаемой системы и ее функциональных узлах. Функция (лат. *functio* — исполнение) — обязанность, круг деятельности, назначение, роль.

Четвертый этап — локализация неисправной функции. На этом этапе осуществляется выбор одной из включенных в перечень неисправных функций для дальнейшего анализа. При выборе для проверки первой потенциально неисправной функции следует принимать во внимание уровень понимания функционирования проверяемого объекта, сложность выполнения необходимых проверок и возможность исключения из рассмотрения одного или нескольких других предположений в результате проверки. Большинство реальных технических объектов может быть подвергнуто разбиению на отдельные функциональные узлы (части, каждая из которых выполняет определенную функцию). Этот этап включает в себя грамотное использование и понимание показаний контрольно-измерительных средств.

Пятый этап — локализация неисправности на уровне элементов. Заключается в выработке правильных предположений и грамотного применения процедур анализа различной информации, которые позволяют определить отдельный неисправный элемент или их совокупность.

Шестой этап состоит из подтверждения правильности определения неисправности. Прежде чем заменять подозрительный элемент следует проанализировать всю совокупность показаний и измерений, чтобы убедиться, что выявленный элемент действительно является причиной признаков неисправности и отклонений от нормального режима функционирования. Также необходимо выявить на этом этапе, был ли вызван отказ элемента какой-либо другой неисправностью или сам элемент является единственной причиной нерабочего состояния системы. Локализовав неисправный элемент и убедившись в правильности определения причины неисправности, можно приступить к его замене. Этот этап включает в себя также анализ отказов. На этом этапе также осуществляется ремонт с повторной проверкой системы на восстановление нормального функционирования, что в свою очередь не относится к процессу поиска неисправностей. Необходимо также отметить особенность процедуры поиска неисправностей, которая состоит в возможности возврата к предыдущим этапам. Причиной такого возврата может служить ошибка в определении вероятной причины неисправности или некорректное выполнение проверок и т.д.

Признак неисправности — внешнее или внутреннее проявление неполадки или неисправности системы автоматизации. Задача выявления признака неисправности заключается в распознавании этого проявления при его появлении, а также в осознании наличия нежелательных изменений в работе системы. Так как признак неисправности — свидетельство того, что в работе системы произошли нежелательные изменения, необходимо иметь показатели его нормального (номинального или штатного) функционирования, служащие в качестве эталона. Сравнивая показатели текущего и нормального функционирования, можно обнаружить признак неисправности и принять решение о том, что он собой представляет. Вместе взятые признаки нормальной и ненормальной работы точнее определяют собственно признак неисправности, чем рассмотренные отдельно. Знание внешних проявлений нормальной штатной работы системы позволяет заметить нежелательные изменения с помощью как встроенных так и внешних средств диагностики. Вместе с тем необходимо собрать как можно больше предварительной информации, прежде чем приступить к необходимым проверкам.

Отказ системы полный или частичный — это наиболее распространенный, но вместе с тем и простейший вид признака неисправности. Отказ системы — это предельный случай нештатного функционирования. Когда система функционирует, но ее работа не соответствует техническим требованиям — имеет место ухудшение функционирования. Причем степень ухудшения функционирования может быть самой различной — от почти штатной работы до почти полного отказа. Вместе с тем подобные недостатки следует устранять как можно быстрее как и полный отказ системы, так как отдельные отказы могут быть причиной других более сложных и как следствие более трудоемких в устранении отказов.

Углубленный анализ — это процесс более подробного описания определения признака неисправности. Многие сходные признаки неисправности могут быть вызваны многочисленными и самое главное разнообразными повреждениями. Для успешного поиска неисправности необходимо принять правильное решение о том, какое повреждение или повреждения скорее всего вызывает наблюдаемый признак неисправности. Для этого как правило необходима дополнительная информация. Первоначальный признак неисправности, как правило не содержит достаточной информации для принятия решения о том, какова возможная причина (или причины) этого симптома, поскольку одни и те же признаки неисправности могут быть вызваны самыми различными повреждениями (причинами). Чтобы дальше исследовать обнаруженный признак неисправности, необходимо произвести дополнительные воздействия, оказывающие влияние на этот признак. Часто для этого используются органы регулировки, которые входят в состав системы. По своей сути органы регулировки вносят некоторые изменения в режим функционирования системы. Органы отображения информации (измерительные приборы, устройства индикации) позволяют визуально наблюдать изменения, происходящие в системе при использовании органов регулировки. Еще один способ поиска повреждения состоит в искусственном усугублении признака неисправности. Процесс углубленного анализа признака неисправности нельзя считать завершенным до тех пор, пока не будут всесторонне оценены наблюдае-

мые его проявления. Принимаемое решение должно быть технически обосновано. Удачное разбиение системы на функциональные узлы крайне важно для эффективного осуществления этого этапа поиска неисправностей. Функциональная схема системы представляет собой символическое представление входящих в нее функциональных узлов и соединяющих их связей. Вид представления и расположение узлов и связей зависит от сложности устройства. Каждый узел выполняет определенную функцию и подчиняется правилу преобразования вход-выход. В функциональной схеме не показано, каким образом реализован каждый функциональный узел. Функциональные схемы отражают связи между функциональными узлами системы. Они дают общее представление о функциях, которые система должна выполнять, чтобы соответствовать своему назначению.

Функциональная схема наряду с зарегистрированной информацией о признаке неисправности и знанием принципов работы системы составляют основу для технически обоснованного выбора потенциально неисправного функционального узла.

На следующем (четвертом) этапе осуществляется локализация неисправного функционального узла. На этом этапе применяются контрольно—измерительные средства. Также необходимо знание штатных рабочих характеристик и расположение контрольных точек. На этом этапе производится контроль входных и выходных сигналов функциональных узлов. Как правило, на общих функциональных схемах показаны виды сигналов информации на входах и выходах каждого функционального узла. Также на этом этапе полезным видом технической документации являются схемы различных соединений. Еще одним фактором, который следует принимать во внимание, является накопленный опыт поиска неисправностей за время эксплуатации системы и регистрируемые сведения о повторных отказах. При выборе контрольной точки следует опираться на прошлый опыт выявления похожих признаков неисправности и ремонта подобных устройств, а также принимать во внимание вероятность возникновения повторных отказов в системе. Однако выбор должен базироваться главным образом на логических умозаключениях, основанных на информации, полученной на предыдущих этапах, без излишнего доверия к прошлому опыту поиска неисправностей в подобных системах. С другой стороны, предыстория несомненно должна оказывать некоторое влияние на выбор первой контрольной точки. Если имеются два возможных источника неисправности, причем вероятность отказа в одном из них выше, то при выборе первой контрольной точки, прежде всего следует принять во внимание информацию о повторных отказах.

Факторы, которые следует принимать во внимание при выборе первой контрольной точки:

- функциональный узел, представляющий максимум информации для одновременного исключения из рассмотрения отдельных потенциально неисправных узлов, перечень которых был составлен на основании информации, полученной на первых трех этапах, если, конечно, этот узел сам исправен;

- доступность контрольных точек;

- накопленный опыт и сведения о повторных отказах.

После обнаружения неисправного функционального узла, необходимо убедиться, что он действительно является источником выявленного признака неисправности и согласуется с информацией, полученной в процессе углубленного анализа этого признака.

Чтобы выявить неисправный функциональный узел, от сбора информации о признаке неисправности переходят к ее фактическому местонахождению. Чтобы подтвердить правильность определения неисправного функционального узла, следуют в обратном направлении. В этом случае знание принципов работы системы крайне важно. Новая информация, получаемая в очередной контрольной точке позволяет сужать область поиска неисправностей, до тех пор, пока не будет обнаружен неисправный функциональный узел. На пятом этапе локализации неисправности в узле системы выполняются всесторонние проверки, целью которых является локализация конкретного элемента, содержащего неисправность. Для этого следует выделить внутри узла группу элементов, каждый из которых выполняет определенную функцию. Этот этап также базируется на общем принципе построения умозаключений, состоящем в непрерывном сужении области поиска местонахождения неисправности путем принятия логических решений и выполнения рациональных проверок. После завершения этапа 4 известно, что все воздействия на вход неисправного функционального узла правильны, а один или несколько выходных сигналов неверны или вообще отсутствуют. Для получения информации, которая может указать возможное местонахождение неисправности в функциональном узле, следует проанализировать неверные выходные сигналы, обнаруженные на этапе 4. Большую помощь при поиске неисправности может оказать метод заключения в скобки, позволяющий сузить область поиска до неисправного элемента. После проверки части схемы, произвольно заключенной в скобки, выполняется их последовательное перемещение, а затем осуществляется очередная проверка, чтобы определить, не находится ли неисправность в новой области, заключенной между скобками. Этот процесс продолжается до тех пор, пока между скобками не окажется неисправный элемент.

Наиболее важным в этом методе является определение места в схеме, куда должны быть помещены скобки при сужении области поиска неисправности. Это решение зависит от результатов анализа схемы и предыдущих проверок, типа схемных цепей, по которым проходит сигнал, а также от доступности контрольных точек. Всякие перемещения скобок должны иметь своей целью решение задачи локализации неисправности при минимальном числе проверок.

Сигналы в системах проходят по сигнальным цепям трех типов:

- последовательным;
- разветвленным;
- переключаемым.

Последовательная цепь включает в себя группу составляющих элементов, расположенных таким образом, что выход одного элемента соединен со входом другого. В результате сигнал проходит напрямую через группу элементов без возвратов в обратном направлении и без разветвлений.

Разветвленная цепь может быть двух видов:

- расходящаяся (рис.4.1);
- сходящаяся (рис.4.2).

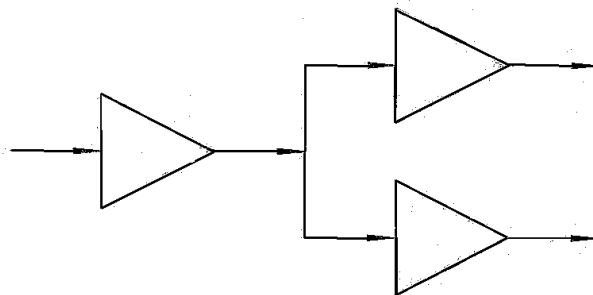


Рис.4.1.Расходящаяся сигнальная цепь

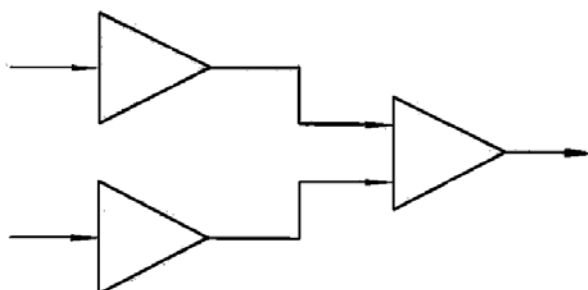


Рис.4.2.Сходящаяся сигнальная цепь

Переключаемая цепь (рис.4.3) содержит в своем составе элемент, с помощью которого для каждой конкретной ситуации образуется своя конфигурация сигнальной цепи.

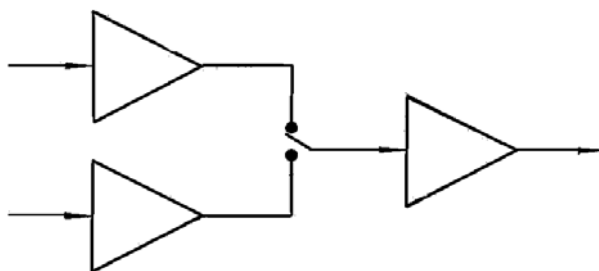


Рис.4.3.Переключаемая сигнальная цепь

Процедура заключения в скобки начинается с расположения открывающей скобки у входа (входов) с штатным сигналом и закрывающей скобки у выхода (выходов) с нештатным сигналом функционального узла. После того как опреде-

лен перечень возможных неисправных групп элементов, скобка перемещается к входу или выходу одной из групп, а затем выполняется проверка соответствующих контрольных точек. Скобки перемещаются попеременно до тех пор, пока между ними не окажется лишь одна группа элементов. Группа элементов заключается в скобки в том случае, если открывающая скобка указывает на наличие правильного сигнала на входе группы элементов, а закрывающая скобка указывает на присутствие неверного сигнала или его отсутствие на выходе. После обнаружения неисправной группы элементов определяется тип сигнальной цепи, проходящей через эту группу элементов. Эта информация чрезвычайно важна при выборе следующего места для скобок и выполнения проверки. Для последовательных цепей применяют метод деления пополам (рис.4.4).

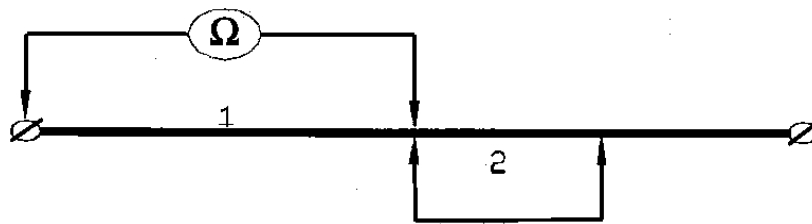


Рис.4.4.Метод деления пополам

При выполнении процедуры заключения в скобки разветвляющихся цепей следует локализовать неисправность до одной сигнальной цепи. Необходимо проверять разветвленные цепи до тех пор, пока неисправность не будет локализована в одной из сигнальных цепей. Затем в последовательной цепи может быть применен метод деления пополам. Для локализации неисправных элементов в переключаемой цепи вначале необходимо проверить сигнал на выходе разветвленной цепи после переключающего элемента. Если переключающий элемент является многоконтактным устройством, то каждый контакт может быть соединен со своей цепью. В этом случае необходима установка переключателя во все положения и проверка сигнала на выходе разветвленной цепи, соединенной с каждым из контактов. Если признаки неисправности и собранная информация указывают на вполне определенную цепь, то далее не проверяют каждое положение переключателя. После выполнения этой проверки и локализации неисправности в одной или нескольких разветвленных цепях, следует проверить последовательные цепи и выявить неисправность методом деления пополам.

На последнем 6 этапе — этапе анализа отказа компонентов, для выявления местонахождения неисправного компонента понадобится проверить определенные ветви неисправной схемы. После выполнения этого этапа будет получена вся необходимая информация для замены или ремонта неисправных компонентов, что позволяет восстановить нормальное функционирование устройства.

Вместе с тем важно выяснить и причину неисправности. Также, вполне возможно, что в системе остались другие невыявленные неисправности, и если их не устранить, то система вновь выйдет из строя. На этом этапе применяются прин-

ципиальные схемы узлов и блоков систем. После того как неисправный элемент системы локализован, необходимо измерить параметры состояния в различных ветвях системы, чтобы выявить неисправные компоненты. Измеренные значения должны быть оценены путем сравнения со штатными заранее известными значениями контролируемых параметров. Эти значения параметров приводятся в соответствующих таблицах на принципиальных схемах или отдельных листах технической документации. Например, в таблицах напряжений и сопротивлений приводятся рабочие значения и сопротивлений относительно общего провода (или другой точки электрической схемы). Независимо от типа признака неисправности причина отказа в конце концов будет локализована в одном или нескольких компонентах устройства. Отказ компонента можно классифицировать по степени ухудшения его работы. Различают полный отказ, нештатное функционирование компонентов и перемежающийся (попеременно прекращается, то снова начинается). Последняя неисправность легко себя обнаруживает, однако местонахождение конкретного неисправного компонента определить трудно. Во время проверки схемы, содержащей компонент с подобным типом неисправности, он может функционировать нормально, а через некоторое время неисправность снова даст о себе знать.

Локализация неисправных компонентов: для локализации неисправных компонентов или ветвей чаще всего необходимо проанализировать выходной сигнал [2]. Отклонения параметров выходного сигнала по напряжению, длительности и форме могут быть признаками обрывов или коротких замыканий в компонентах, а также выхода их номиналов за пределы допусков. На этом этапе обнаружения неисправностей решается две задачи: сокращения до минимума количества необходимых проверок и определение, в случае обнаружения неисправного элемента, является ли он единственной причиной неисправной системы. Затем приступают к визуальному контролю доступных компонентов и элементов связи и соединений. Внешний осмотр довольно часто позволяет обнаружить неисправность, а также ознакомиться с расположением элементов системы.

Проверка питающих напряжений: часто много времени тратится на поиски несуществующих повреждений и отказов в одних частях системы, в то время как неисправность находится в других частях, чаще всего в источниках питания. Поэтому первой электрической проверкой чаще всего бывает контроль уровней напряжения от всех источников питания под номинальной рабочей нагрузкой. При проверке аналогового оборудования нужно начинать проверку питающих напряжений без подачи входных сигналов. Такой режим проверки называется статическим режимом. Дискретное (цифровое оборудование) проверяют на правильность при начальных условиях без изменения состояний на входах.

Метод «от конца к началу»: при этом методе первоначально динамические измерения проводят на выходной части системы, а затем постепенно перемещаются по схеме в сторону входа, пока не будет обнаружен нормальный сигнал (правильный код).

Метод имитации промежуточных сигналов: метод заключается в подаче на схему после неисправного каскада или узла с помощью специального дополни-

тельного устройства, как правило, не входящего в систему — имитатора (генератора) сигналов, имитирующего отсутствующие сигналы с неисправного узла. Если нормальная работа схемы системы при этом восстанавливается, делают вывод о неисправности узла, блока или компонента, сигнал которого имитируется.

Метод размыкания цепи обратной связи: отыскать неисправность в системах с обратными связями очень трудно. Поэтому производят размыкание цепи обратной связи. В точку, где разомкнута обратная связь, нужно подать соответствующее постоянное напряжение или необходимый сигнал. Затем по всей схеме проверяются уровни параметров и их форма. Параметры сигнала, подаваемого в точку разрыва, можно изменять для проверки изменения реакции всей системы.

Метод замены блоков, элементов и компонентов: метод основан на элементарной замене отдельных подозреваемых блоков, элементов и компонентов системы на аналогичные. Если при такой замене восстанавливается штатная работоспособность системы, делают заключение о неисправности замененного блока, элемента или компонента. Применение этого метода требует разработки специальных типовых элементов замены (ТЭЗ), что приводит к усложнению, удорожанию аппаратуры и снижению ее надежности, в первую очередь за счет большого числа разъемных соединений.

Метод исключения: основан на временном исключении неисправного узла (компонента) из системы посредством отсоединения при утечках и электрическом пробое или переключении (соединении входа с выходом) при возможном обрыве (разрушении связей) в неисправном узле или компоненте.

Все методы можно условно разделить на активные и пассивные.

4.2. Методы поиска неисправностей в аналоговых системах

Поиск неисправностей в гидравлических и пневматических системах: на первом этапе поиска неисправностей в таких системах обращают внимание на сопряжение электрических частей с исполнительными гидро и пневмо элементами. При наличии необходимых электрических сигналов считают этот этап законченным и приступают к следующему этапу. На втором этапе анализируют состояние рабочей среды (жидкости или воздуха). В гидравлическую систему может попасть воздух, что приводит к потерям мощности и «жесткости» исполнительной системы, т.к. газ сжимается и, в свою очередь, к снижению точности позиционирования систем. Вода (конденсат) в гидросистемах обычно вызывает коррозию отдельных элементов. Особенно вредное влияние конденсата имеет место в пневматических системах, когда ржавчина попадает в золотниковые соединения. На третьем этапе проверяют наличие и степень утечек рабочих тел.

Поиск неисправностей в контактных сопряжениях: большинство отказов контактных сопряжений происходит в результате загрязнения или повреждения контактов [8]. Единственным способом устранения любых неисправностей в герметизированной коммутационной аппаратуре является только замена аппарата. Контакты, доступ к которым возможен, очищаются механическим воздействием с обычными органическими растворителями (спирт, ацетон). Вместе с тем, необходимо исключить использование волокнистых материалов. Волокна могут загряз-

нять контакты и препятствовать протеканию электрического тока. Некоторые электрические аппараты имеют сменные контакты.

Поиск неисправностей в электронных компонентах:

– резисторы: наиболее часто встречаемая неисправность — сгорание токопроводящего резистивного слоя, вследствие чрезмерно большого тока, протекающего через резистор. При этом в резисторе возникает обрыв, но иногда может иметь место и короткое замыкание из-за расплавления и создания из расплавленного материала перемычки. У резисторов в высоковольтных цепях возможно разрушение резистивного слоя без особых внешних признаков, что приводит к резкому изменению сопротивления, как в сторону его уменьшения, так и в сторону его увеличения.

– конденсаторы: с помощью омметра можно определить наличие или отсутствие короткого замыкания в конденсаторе (рис.4.5).

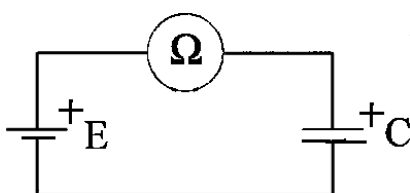


Рис.4.5.Схема проверки конденсатора

Для этого омметр на самом высокоомном пределе измерений подключают к выводам конденсатора. Если конденсатор электролитический, соблюдают полярность включения. Измеряемое сопротивление конденсатора должно постепенно увеличиваться до очень большого значения и затем должно оставаться постоянным. Емкость конденсаторов проверяют специальными приборами LC-метрами.

– индуктивности и трансформаторы: с помощью омметра определяют наличие обрывов и коротких замыканий в цепях первичных и вторичных обмоток и между ними и сердечником. Если сопротивление катушки равно бесконечности, то в катушке имеет место обрыв. Если сопротивление катушки индуктивности меньше значения, указанного изготовителем, возможно, что часть витков короткозамкнута. Сопротивление между выводами обмоток должно быть пропорционально числу витков. Наиболее полно трансформатор проверяется при работе на номинальном входном напряжении при рабочей нагрузке.

– диоды: наиболее часто встречающиеся неисправности: короткое замыкание и обрыв. При коротком замыкании имеет место резкое уменьшение сопротивления в обратном направлении. При обрыве сопротивление диода в обоих направлениях включения велико. Необходимо также учитывать наличие явления фотоэффекта у диодов с стеклянным корпусом, а также существенную нелинейную зависимость тока через диод от прикладываемого напряжения при измерениях.

– транзисторы: p-n переходы транзистора эмиттер-база и база-коллектор проверяются также как и диоды. Общее отношение обратного сопротивления к прямому должно быть не менее 30:1. Для проверки транзистора, включенного в схе-

му и работающего в линейной области, необходимо измерить постоянные напряжения коллектор-эмиттер $U_{кэ}$ и база-эмиттер $U_{бэ}$ (рис.4.6). Напряжение $U_{кэ}$ должно находиться в интервале между 0 и $U_{ип}$ — напряжением источника питания. Напряжение $U_{бэ}$ примерно $+0,65\text{В}$ для n-p-n и $-0,65\text{В}$ для p-n-p транзисторов (для германиевых $\pm 0,3\text{В}$). Если это напряжение равно нулю, переход закорочен (пробой), если он выше указанного значения, то имеет место обрыв.

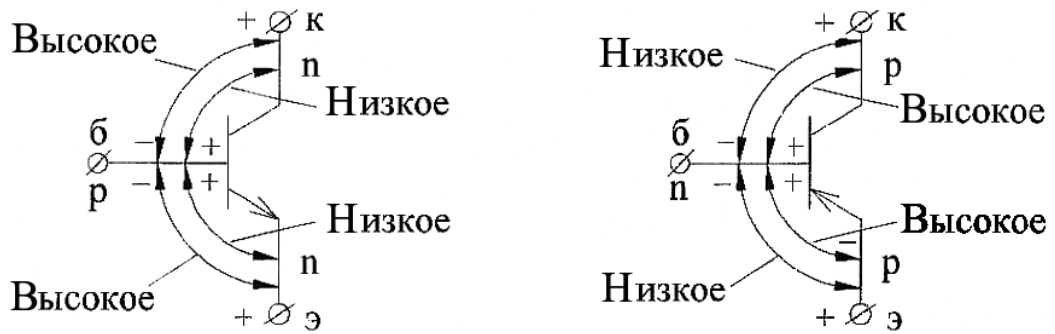


Рис.4.6.Схема проверки транзисторов

Кроме того, в ряде транзисторов, имеющих распределенную структуру p-n переходов имеет место частичная потеря усилительных свойств. Для этого проверяют коэффициент усиления (β) (рис4.7).

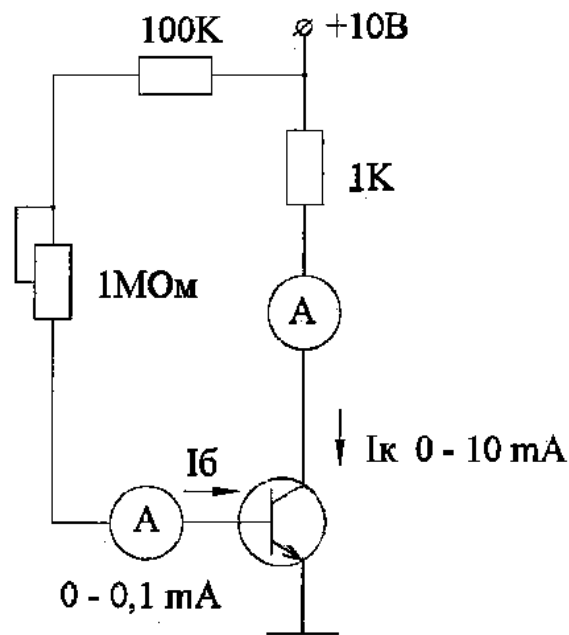


Рис.4.7. Схема для проверки коэффициента усиления

– полевые транзисторы: пробой статическим электричеством между стоком и истоком. Замеряют сопротивление на пределах порядка 1 МОм, напряжение на щупах тестера при этом должно быть 3...5 В (максимум 15 В). Проверку на функционирование осуществляют путем нахождения коэффициента усиления по току.

Он может существенно различаться: для высоковольтных ключевых — около 10, для кремниевых — 10...150, для составных — 1000...1200.

– стабилитроны: сопротивление прямосмещенного стабилитрона должно быть мало и проверяется также, как у диода. Неисправности те же, что и у диодов.

– тиристоры: если тиристор не подключен к схеме, сопротивление между любой парой электродов (анодом, катодом и управляющим электродом) должно быть велико независимо от полярности, за исключением сопротивления управляющий электрод – катод, при включении положительного зажима омметра к управляющему электроду, а отрицательного к катоду. Для проверки обратного напряжения меняют полярность анода и катода и, увеличивая сопротивление R2 в 10 раз, проводят повторные испытания (рис.4.8).

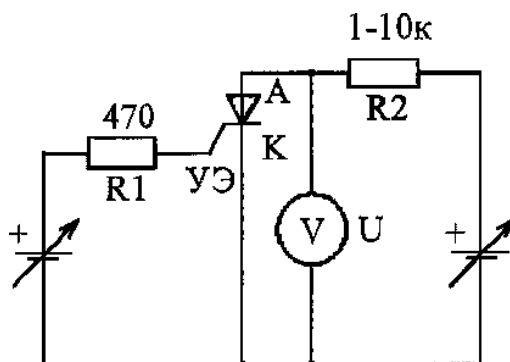


Рис.4.8.Схема проверки тиристора

– электровакуумные устройства: конструкция электронно-лучевой трубки приведена на рис.4.9.

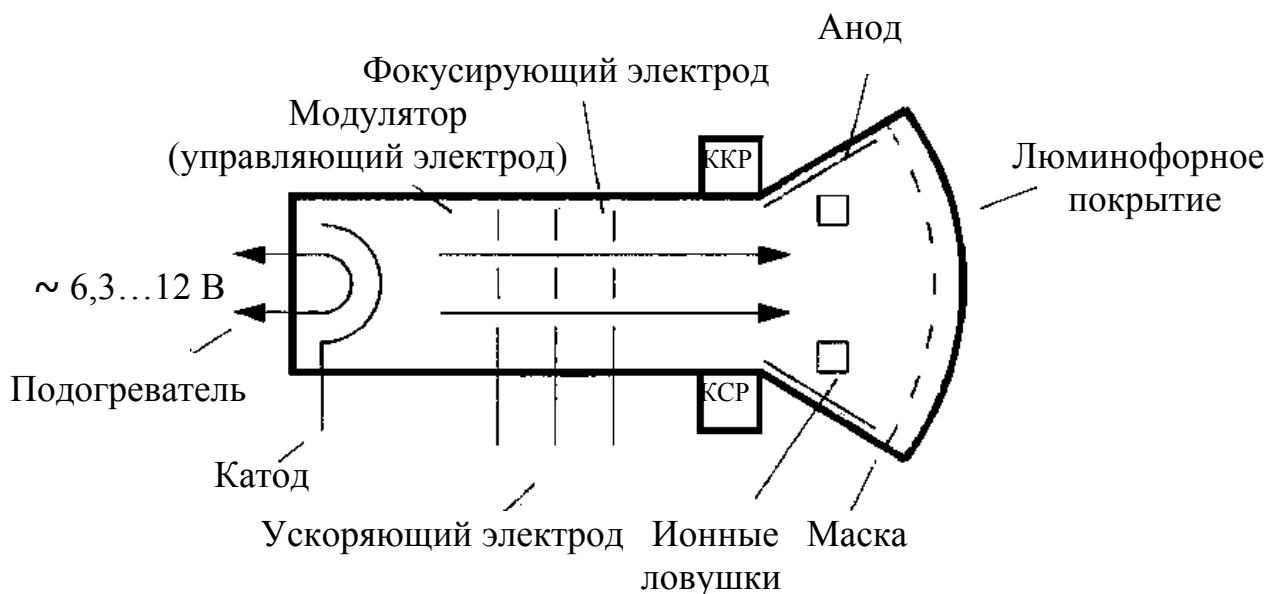


Рис.4.9.Конструкция ЭЛТ: ККР — катушка кадровой развертки, КСР — катушка строчной развертки

Люминофор (от лат. *lumen* — свет и греч. *phoros* — несущий) — вещества, способные преобразовывать поглощаемую ими энергию в световое излучение. Для того, чтобы каждый луч попадал на свои люминофорные зерна во всех участках экрана, лучи должны пересекаться (сводиться) в плоскости теневой маски. Наиболее просто это достигается в центре экрана, для этого каждой из пушек придается небольшой угол наклона (примерно 1 градус) по отношению к оси. Вместе с тем в процессе производства возможны неточности в юстировке ЭОП. Для устранения этих неточностей в конструкцию электронно-лучевых трубок вводят, так называемые, элементы статического и динамического сведения. Одним из таких элементов конструкции является цилиндр сведения (рис.4.10).

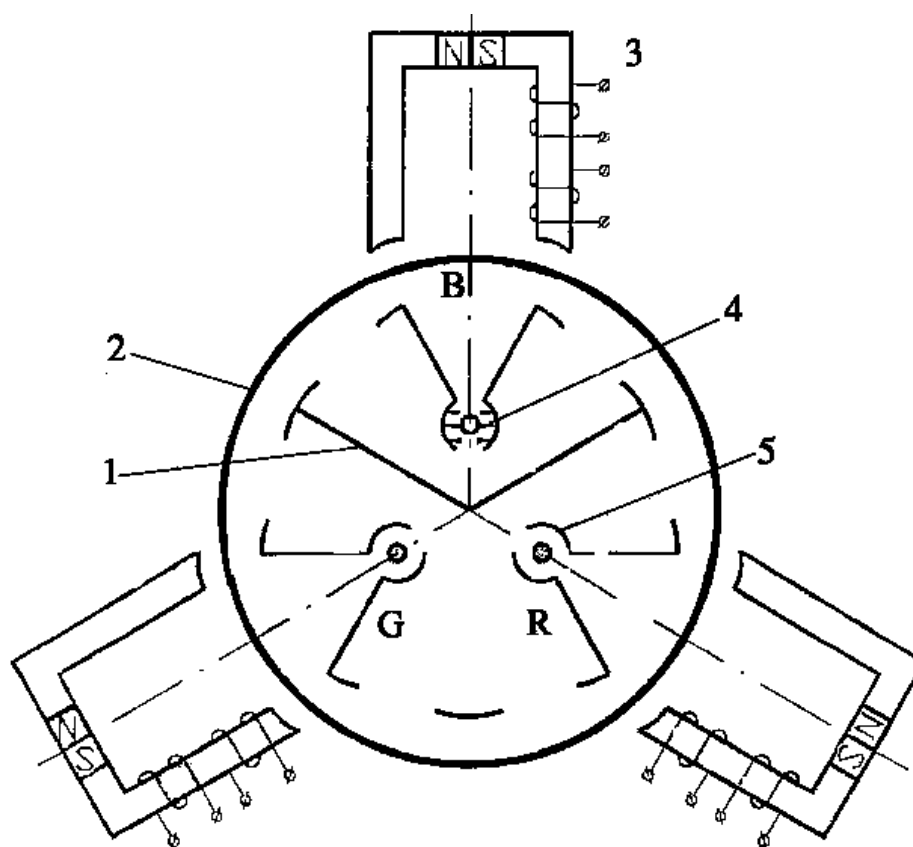


Рис.4.10.Цилиндр сведения

Он состоит из внутренних экранов 1 и полюсных наконечников 5, каждая пара которых охватывает один из электронных лучей 4. Экраны устраняют взаимное влияние магнитов сведения. Напротив полюсных наконечников на горловине кинескопа 2 закреплены сердечники магнитопроводов регулятора сведения П-образной формы. Силовые линии этих магнитопроводов проходят через стекло кинескопа и создают в пространстве между полюсными наконечниками магнитное поле. В плоской части каждого сердечника имеется выемка, в которой закреплен цилиндрический постоянный магнит 3, намагниченный по диаметру. Поворот этого магнита изменяет одновременно значение и направление магнитного потока между внутренними наконечниками. С помощью этих магнитов осуществляют,

так называемое, статическое сведение, так как оно осуществляется в центре экрана и связано с совмещением неотклоненных от центра лучей. Обычно на горловине кинескопа между цоколем и цилиндром сведения и отклоняющей системой располагаются, так называемые, магниты чистоты цвета. Эти магниты имеют эллипсоидную форму и намагничены вдоль малой оси эллипса. Обычно эти магниты объединены в пары. Магнитное поле, создаваемое парой таких магнитов, будет минимальным, когда их магнитные поля направлены встречно друг другу. Помимо ассиметричного расположения электронных пушек относительно оси кинескопа причиной разведения лучей по мере их отклонения от центра экрана является несовпадение центра кривизны сферической поверхности экрана с центром отклонения. Пересечение лучей происходит раньше, чем они достигают плоскости теневой маски из-за чего лучи попадают на люминофорные точки, достаточно удаленные друг от друга. Для сохранения условий сходимости необходимо, чтобы углы, под которыми лучи выходили из электронных пушек по отношению к горизонтали и вертикали, не оставались постоянными, а изменялись по мере отклонения лучей от центра экрана. Эту задачу обычно выполняют при помощи строчных и кадровых дополнительных катушек (по 3 пары), размещенных на магнитопроводах цилиндра сведения. Токи, протекающие через катушки, формируются из напряжений строчной и кадровой частоты, и позволяют осуществить, так называемое, динамическое сведение.

Основными причинами преждевременного старения и выхода из строя кинескопов является потеря эмиссии катодов и нарушение вакуума.

Эмиссия (лат. *emissio* — испускание, излучение) — испускание электрических частиц нагретыми телами. Как правило, в кинескопах применяют оксидные катоды, в которых источником электронов служит эмиссионное покрытие, нанесенное на никелевый колпачок с расположенной внутри него нитью накала с температурой порядка 850...880°С. Повышение напряжения накала свыше $6,3\text{В} \pm 10\%$ увеличивает скорость испарения вещества эмиссионного покрытия, в первую очередь, металлического бария. Испарившиеся с катода вещества осаждаются на изоляторах ЭОП, что приводит к увеличению токов утечки и пробоям между электродами. Понижение напряжения накала приводит к, так называемому, «отравлению» катода. Причем интенсивность этого процесса тем больше, чем ниже напряжение накала. Вызывается «отравление» катода взаимодействием остаточных газов, которые имеются в вакууме баллона кинескопа, с чистыми металлами и оксидами, входящими в состав эмиссионного покрытия. При проверке нельзя снимать напряжение накала при наличии напряжения на других электродах. Увеличение тока лучей может производить разогрев и необратимая деформация теневой маски, которая приводит к необратимым нарушениям чистоты цвета. Уменьшение тока эмиссии катодов приводит к понижению яркости и нарушению правильного цветовоспроизведения. Чаще всего износ катодов в цветных масочных кинескопах происходит неравномерно. Примерное ориентировочное представление об эмиссионной способности катодов дает измерение их сопротивления по отношению к модулятору в каждом ЭОП при соблюдении следующих условий. Без подачи всех напряжений, кроме напряжения подогревателя, производят измерения сопротив-

ления на пределе $1 \dots 10 \text{ кОм}$ (не более $1,5 \text{ В}$) при подключении вывода " + " омметра к катоду, а вывода " – " — к модулятору. Сопротивление катод – модулятор не должно превышать $3,5 \pm 1 \text{ кОм}$. Обычно при ухудшении эмиссии это сопротивление возрастает до $10 \dots 20 \text{ кОм}$. Частично эмиссию катодов можно восстановить путем их тренировки повышением напряжения на подогревателе и подачей кратковременных импульсных напряжений между модулятором и катодом, что приводит к кратковременному токоотбору эмиссии с катода и разрушению запорного слоя на его поверхности.

– поиск неисправностей в дисплеях на полупроводниковых, жидкокристаллических и газоразрядных знаковосинтезирующих индикаторах: многозарядные дисплеи обычно работают в режиме динамической индикации со сканированием для уменьшения числа коммутационных элементов. Как правило при этом средний импульсный ток увеличен приблизительно во столько раз, во сколько увеличена разрядность по сравнению со статическим режимом работы. Если по каким-либо причинам сканирование прекращается, светодиодные сегменты могут выйти из строя. Газоразрядные устройства обычно требуют высоковольтных источников питания (от 24 В до 120 В). Для проверки таких устройств предусматривают одновременное включение всех элементов. Жидкокристаллические и газоразрядные устройства чувствительны к понижению температуры. Также эти устройства весьма чувствительны к повышению влажности. Поэтому нельзя производить очистки лицевых поверхностей различными жидкостями. В результате быстрого охлаждения при испарении жидкости, индикатор может дать трещину и привести к ухудшению электроизоляции.

– неисправности печатных плат: обрывы дорожек (трещины и сгорание дорожек), замыкания дорожек, большое сопротивление дорожек за счет подтравки по толщине при изготовлении. Для многослойных плат эти неисправности усугубляются недоступностью этих неисправностей. При покрытии печатных плат защитными лаками приходится при поиске неисправностей прилагать дополнительные усилия для обеспечения надежного контакта щупов измерительных устройств. Кроме перечисленных неисправностей существует резкое уменьшение сопротивления диэлектрика основы, за счет наличия в нем микротрещин заполненных продуктами коррозии, солями растворов электролитов, применяемых для изготовления печатных плат (травление, промывка, нанесение электролита). Для диагностики неисправностей печатных плат используют в промышленных условиях достаточно сложные измерительно-испытательные комплексы, которые осуществляют комплексную проверку печатных плат без доустановки на них электронных компонентов. В процессе поиска неисправностей на печатных платах желательно пользоваться для коммутации цепей специально предусмотренными в схеме сервисными коммутационными элементами. Основными видами элементарных неисправностей паяных соединений является явный и скрытый непропай и нарушение контакта в паяном соединении за счет электрохимической коррозии, которая особенно интенсивно протекает при неправильном подборе материалов покрытий (например, серебро – олово) при повышенных влажности и температуре, а также протекающих токах.

4.3. Методы поиска неисправностей в цифровых системах автоматизации.

4.3.1. Логический и сигнатурный анализ

При поиске неисправностей с непериодическими сигналами осциллографы находят весьма ограниченное применение. Напряжения в цифровых системах могут произвольно менять свои значения во времени, что не позволяет использовать их для запуска и синхронизации развертки. За исключением синхроимпульсов системы, единственными периодическими сигналами являются сигналы, полученные путем программирования микропроцессора на продолжительное время короткой циклической стандартной программы. Анализ цифровых данных в значительной степени облегчается применением логического и сигнатурного анализа [8].

Логические анализаторы (ЛА) представляют собой диагностические и контрольно-измерительные устройства для сбора и анализа данных о реальных условиях работы дискретных устройств. Они относятся к классу устройств осуществляющих динамическое диагностирование. ЛА выполняют функции многоканальной регистрации, запоминания и отображения информации о поведении устройств в моменты времени, предшествующие какому либо событию или следующему за ним. ЛА являются эквивалентом многоканального осциллографа специально приспособленным для работы с логическими устройствами. ЛА используют для отладки и диагностирования аппаратуры и программного обеспечения отдельных блоков. Разрядность, объем и быстродействие запоминающего устройства (ЗУ) блока регистра определяют главные технические характеристики ЛА — число информационных каналов (порядка 32), длину последовательности логических состояний (1024 байт) и максимальную тактовую частоту (порядка 52 МГц). Если тактовые сигналы вырабатываются внутренним генератором, то тогда ЛА работает в асинхронном режиме. Если ЛА тактируется контролируемой схемой — тогда это синхронный режим. Режим регистрации продолжается до появления заданного оператором события, вызывающего запуск режима индикации. В качестве такого события может выступать: внешний сигнал, комбинация логических состояний на информационных и дополнительных входах (эти состояния называют квалификаторами запуска) или заданная последовательность таких комбинаций. При появлении сигнала запуска индикации, ЛА прекращает регистрацию данных в разные моменты в зависимости от выбранного оператором положения данных относительно запуска. Это положение определяется следующими режимами:

- данные предшествуют моменту запуска;
- данные симметричны относительно момента запуска;
- данные следуют за моментом запуска;
- данные следуют за моментом запуска с заданной задержкой.

В первом режиме регистрация прекращается через несколько тактов записи после появления условий запуска. При этом в ЗУ сохраняется последовательность слов логических состояний, предшествующих выбранному событию, слово, соответствующее самому моменту появления события и несколько слов после этого момента. В режиме индикации собранная информация выводится на индикатор в

выбранном оператором формате. В режиме асинхронной регистрации для анализа временных соотношений между фронтами логических сигналов регистрируемого процесса, частота тактов записи должна превосходить максимальную регистрируемую частоту по меньшей мере на порядок. Погрешность в определении положения фронта импульса при асинхронной регистрации составляет период тактовых импульсов записи. Результаты синхронного анализа удобнее анализировать в табличной форме, а результаты асинхронного анализа в виде временных логических диаграмм.

По признаку максимального быстродействия ЗУ регистрации, ЛА делятся на два класса: анализаторы временных логических последовательностей (АВЛП) и анализаторы логических состояний (АЛС). АЛС фиксируют состояния контрольных точек проверяемой схемы во время тактовых сигналов, задаваемых проверяемым устройством, и записывают процесс изменения состояний синхронно с его работой (рис.4.11).

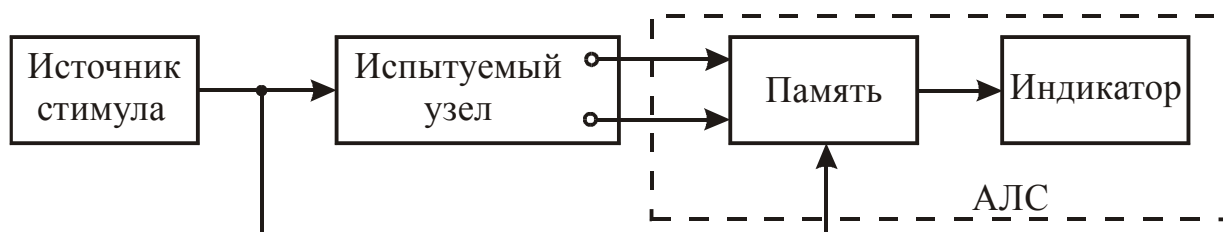


Рис.4.11.Схема применения АЛС

АВЛП фиксируют состояния контрольных точек проверяемой схемы в моменты времени, которые задаются независимо работающим внутренним тактовым генератором анализатора (рис.4.12).

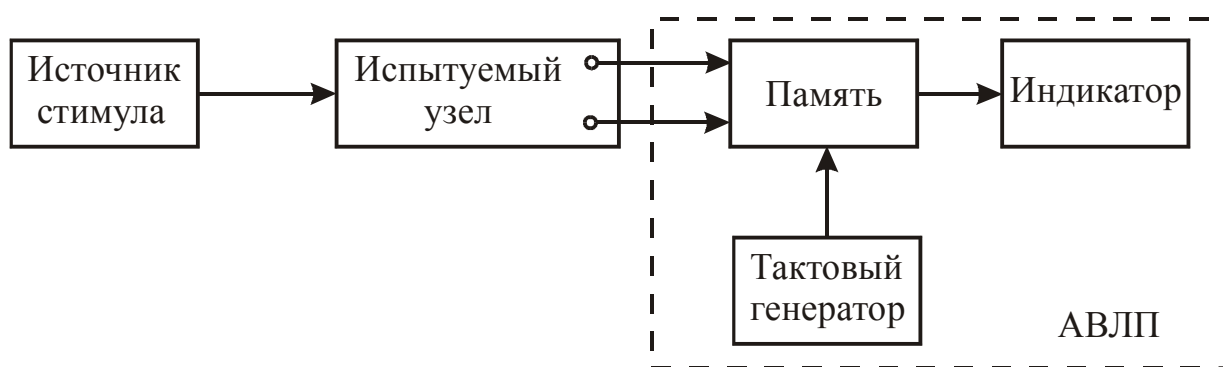


Рис.4.12.Схема применения АВЛП

Частота АВЛП, как правило, превышает 50 МГц, что на порядок выше частоты большинства цифровых микросхем. Среди возможных режимов индикации АВЛП имеется режим отображения логических временных диаграмм. Кроме того АВЛП могут работать в синхронном режиме и представлять результаты измерений в виде таблиц, что позволяет их использовать в качестве АЛС. АЛС имеют максимальную частоту регистрации от 2 до 20 МГц. Преобладающий режим индикации — таблицы логических состояний. АЛС ориентированы в первую очередь на

отладку программного обеспечения. При отладке аппаратуры они могут помочь в отыскании только наиболее простых логических неисправностей, обрыв связей, короткие замыкания на «ноль», на «единицу», межразрядные замыкания в шинах. АВЛП позволяют обнаруживать сложные неисправности, аналоговые по своей природе: сбои аппаратуры, вызванные перекрестными помехами, ошибками синхронизации, шумами, недоброкачественными компонентами и т.п. У большинства АВЛП существует режим поиска кратковременных импульсных помех, длительность которых меньше максимального тактового интервала записи. Этот режим реализуется специальными схемами — «ловушками», которые обнаруживают не-однократные изменения логического уровня сигнала внутри тактового интервала и воспроизводят импульс помехи в следующем такте. В режиме синхронной регистрации часто используется стробирование тактов записи с помощью комбинаций логических состояний информационных сигналов (ассоциативная регистрация) или дополнительных внешних сигналов — квалификаторов (условная регистрация). Эти режимы позволяют более рационально использовать память ЛА и выделять нужную информацию. Так, с помощью ассоциативной регистрации можно регистрировать состояния шины данных только при наличии конкретного адреса на шине адресов и таким образом, контролировать все обращения к конкретной ячейке ОЗУ. Примером использования условной регистрации с помощью сигналов-квалификаторов такта записи является разделение информации, передаваемой различными устройствами по шине с тремя состояниями. Если выбрать в качестве квалификатора записи активный уровень сигнала разрешения выдачи информации на шину некоторым устройством, то ЛА зарегистрирует на шине только данные, переданные этим устройством и игнорирует все другие данные.

Входной информационный сигнал, стробированный синхроимпульсами, записывается в память и сравнивается в компараторе с заранее установленным запускающим словом (ЗС), которое хранится в устройстве распознавания слов. По мере записи каждого слова, счетчик адресов памяти получает приращение. Когда поступающие данные совпадают с записанными в устройстве распознавания запускающим словом, в соответствии с предварительным выбором положения переключателя решается вопрос, будет ли этот адрес запоминающего устройства с произвольной выборкой (ОЗУ) отображен первым или последним. Часть ЛА, осуществляющая ввод данных, содержит компаратор уровней входных сигналов и преобразует в случае необходимости входные сигналы в ТТЛ уровни. Полное сопротивление входа по постоянному току велико (больше 1 МОм, емкость 5...10пФ). При этом вход не оказывает заметного влияния на цифровые системы с частотой синхронизации ниже 5 МГц. Информация стробируется при помощи внутреннего генератора с частотой не ниже 20МГц. Эта частота должна не менее чем в три раза превышать частоту сигналов анализируемой системы. Запускающее слово поступает с коммутационной панели на схему распознавания слов. Во время дискретизации входных данных синхроимпульсами внутреннего генератора, информация запоминается в последовательных ячейках памяти.

Существуют три наиболее часто используемые формы представления данных на экране дисплея логических анализаторов в виде:

- временных диаграмм;
- карт;
- индикации состояния в двоичном, восьмеричном и шестнадцатеричном формате.

ЛА различают по объектам, для которых они используются: для микропроцессорных систем (МПС), для программного обеспечения. Основные требования, которые предъявляются к микропроцессорным анализаторам (МА), — это обеспечение возможности отладки не только аппаратных средств, но и возможности отладки программных средств. При отладке программных средств необходим одновременный контроль состояний на шинах адресов и данных. Следует учесть, что для проверки правильности работы системы может возникнуть необходимость контроля линий управления. В зависимости от целевого назначения МА можно разделить на специализированные и специальные. Специализированные анализаторы применяют для диагностики шин адресов и данных, соединяющих процессор с другими узлами системы. Поэтому для специализируемых анализаторов наиболее удобен способ подключения посредством разъемов – клипс. Для реализации возможности контролирования других точек системы в специализированных МА предусмотрены несколько дополнительных каналов. Универсальные анализаторы предназначены для отладки различных узлов микропроцессорных систем. Они должны обеспечивать возможность подключения к различным точкам системы. Поэтому в них используют соединительные кабели с переходными головками.

Аппаратные средства МПС действуют под управлением программных средств. Выбор нужного участка программы в потоке адресов и данных, и регистрация в памяти анализатора возможны по появлению определенной пользователем комбинации входных сигналов - кодовому слову. В последнее время для расширения возможностей запуска используют задержку начала регистрации или на определенное пользователем число тактов регистрации, или на число появлений запускаемого слова. Развязность кодового слова может быть увеличена с помощью квалификатора запуска. Под квалификатором подразумевают дополнительный сигнал, который не регистрируется в памяти анализатора, но адекватность его заданному пользователем необходима для начала регистрации.

Для нормальной работы анализатора необходимо ввести следующие начальные данные: вид индикации, код запускающего слова, режим работы, величину цифровой задержки, величину задержки запуска, код входа признаков, величину уровня компарирования и т.д. В последних моделях анализаторов, где применяются встроенные алфавитно-цифровые дисплеи, используют ввод начальных данных с клавиатуры.

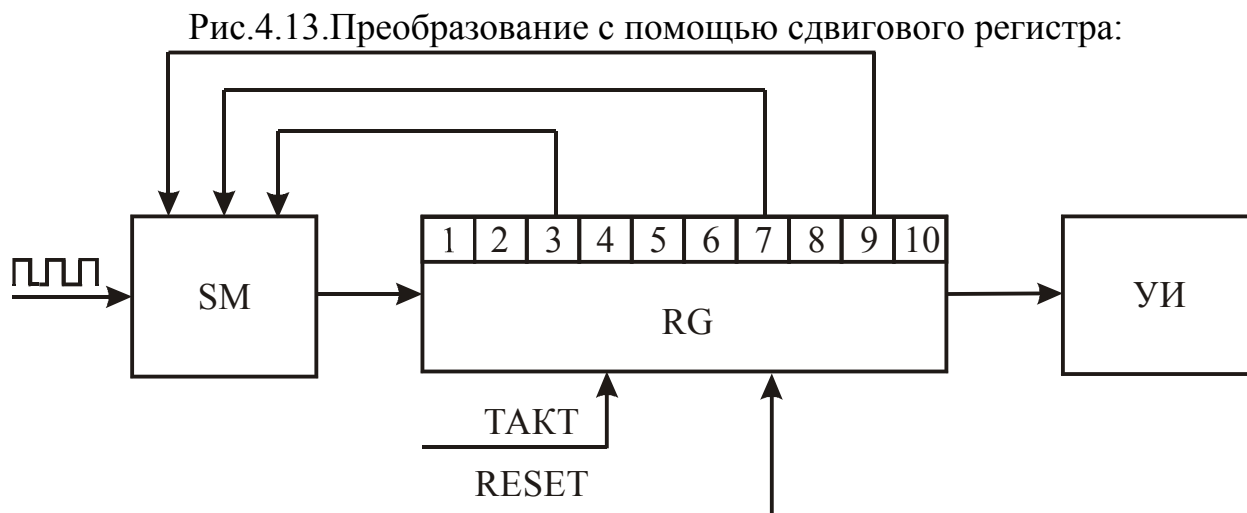
Варьируя выбором запускающего слова, цифровой задержкой и особенно выбором тактового импульса, можно всегда найти прием, которым будет возможно проверить правильность работы как части, так и всей схемы в целом.

Сигнатурный анализ основан на преобразовании длинных последовательностей двоичных сигналов в двоичное число, которое называется сигнатурой. Измеряемые двоичные последовательности возбуждаются в контрольных точках циф-

ровых систем под действием специальных аппаратных и программных средств. Сигнатуры контрольных точек измеряются на заведомо работоспособной системе и указываются на принципиальной схеме подобно тому, как на схемах аналоговых устройств указываются осциллограммы. При поиске неисправностей в цифровой системе достаточно установить режим задания тестовых воздействий и, прослеживая сигнатуры в контрольных точках схемы от выходов к входам, найти элемент, у которого входные сигнатуры верны, а выходные нет. В этом элементе или его выходной цепи и заключена неисправность. Для удобства двоичная сигнатура представляется, как правило, в виде нескольких шестнадцатиричных цифр. Существуют следующие способы сжатия двоичных последовательностей в сигнатуры:

- подсчет числа логических переключений;
- подсчет числа единиц;
- определение контрольных сумм по различным модулям.

Однако наиболее эффективным является метод, основанный на преобразовании с помощью сдвигового регистра с линейными обратными связями (рис.4.13).



УИ — устройство индикации, RG — сдвиговый регистр,
SM — сумматор по модулю 2

Сдвиговый регистр с сумматором по модулю 2 является линейной системой и для него справедлив принцип суперпозиции: реакция регистра на сумму двух входных воздействий равна сумме реакций на каждое из этих воздействий. Если входной сигнал регистра рассматривать как сумму по модулю 2 двух двоичных последовательностей (исходной и ошибок), то полученная сигнатура будет равна сумме по модулю 2 сигнатур каждой из этих последовательностей. Чтобы по окончательной сигнатуре можно было выявить наличие ошибок, необходимо, чтобы сигнатура последовательности ошибок была отлична от нулевой. При использовании 16-разрядного регистра сигнатура последовательности ошибок не может быть нулевой для последовательности длиной $m < 16$, содержащей хотя бы одну 1, потому что первая 1, попавшая в регистр, не успеет выйти из него до

окончания формирования сигнатуры и не может быть уничтожена из-за сложения с битом обратной связи. При длине входной последовательности $m = 17$ одна из возможных последовательностей может быть упущена, а именно последовательность, начинающаяся с 1 и содержащая 1 во всех разрядах, соответствующих отводам обратной связи в сдвиговом регистре. Сигнатура такой последовательности будет равна 0.

Среди последовательностей длиной $m=18$ таких «невидимых» последовательностей может быть 3. В общем случае вероятность обнаружения ошибки в последовательности длиной m при использовании регистра длиной n выражается формулой:

$$P=1-(2^{(m-n)}-1)/(2^m-1)$$

для всех $m > n$.

При $m < n$ вероятность обнаружения ошибки $P = 1$. Как правило, в цифровые системы, в процессе их разработки вносят определенные средства, позволяющие производить сигнатурный анализ наиболее простыми и дешевыми приборами и повышать эффективность контроля. Прежде всего, это средства, позволяющие разрывать в режиме контроля цепи обратной связи в контролируемой схеме. Когда выходит из строя один из элементов, входящих в контур с обратной связью, локализовать неисправность внутри этого контура с помощью СА не удастся. Важным условием пригодности схемы для СА является наличие схем, вырабатывающих сигналы «пуск» и «стоп», которые необходимы сигнатурному анализатору для выработки интервала времени, в течении которого осуществляется подача сигнатуры. Также необходимо иметь аппаратные и программные средства, обеспечивающие тестовые воздействия. Вместе с тем необходимо отметить, что сигнатурный анализ разработан на основе двух применяемых ранее способов контроля ошибок:

- способ проверки логических узлов в цифровой системе (счет ошибок);
- способ контроля ошибок (циклический избыточный контроль).

Сигнатурный анализ моделирует первый способ, но действует аналогично второму способу. Счет переходов и СА предназначены для контроля аппаратных средств и поэтому необходимо рассмотреть виды сигналов в цифровых системах. Периодический сигнал синхронизации синхронных и асинхронных цифровых схем характеризуется такими параметрами как частота повторения и коэффициент заполнения. Коэффициент заполнения показывает, сколько времени сигнал находится в состоянии логической «1» по сравнению со временем нахождения его в состоянии «0». Частота повторения импульсов цифрового сигнала обратна интервалу времени между соседними положительными фронтами (или отрицательными) и характеризует только периодические сигналы. Нестационарность сигналов цифровых систем приводит к невозможности использования для их идентификации статистические методы. Причинами нерегулярной природы цифровых сигналов в сложных цифровых системах являются следующие факторы. Любой отдельный узел в логической схеме, оперирующий данными в параллельном формате, содержит только часть информации, находящейся в системе в каждый момент

времени. Эта часть изменяется почти случайным образом при изменении передаваемых внутри системы совокупностей сигналов. В обычных рабочих условиях охарактеризовать сигнал в отдельном узле невозможно из-за воздействия неожиданных событий. Если узел стимулировать известным периодическим тест-набором, то сигнал в узле можно считать псевдослучайной двоичной последовательностью, которая на коротких интервалах выглядит случайной, но повторяется на большем масштабе времени. Широко применяется простой способ контроля, который заключается в том, чтобы подсчитать переходы сигнала из одного состояния в другое и использовать полученное число в качестве идентификатора узла.

В циклическом избыточном контроле входной двоичный набор подается в линейную последовательную схему, которая осуществляет деление двоичного потока на некоторые характеристический полином, и в регистре сдвига образуется остаток от деления. Обычно остаток добавляется к передаваемому двоичному потоку в качестве кода, обнаруживающего ошибки. Если вместо добавления остатка к двоичному потоку вывести его на индикацию, это значение будет уникальным для входного двоичного набора. Имея запоминающие элементы, схема учитывает все прошлые и текущие события и может обрабатывать очень длинные потоки данных. Уникальный остаток для конкретного входа может служить для данного набора его идентификатором. Зависимость остатка от входного двоичного потока привела к термину «сигнатура» (подпись). Для получения наилучших результатов при применении способа регистра сдвига требуется последовательность максимальной длины, что приводит к широкому классу схем, называемых генераторами псевдослучайных последовательностей.

Сигнатурный анализатор регистрирует только те события, которые синхронны с сигналом синхронизации, используемым для получения сигнатур от узлов системы. Однако некоторые события происходят асинхронно с системной синхронизацией и их нельзя проанализировать с помощью СА. Когда много микросхем осуществляют вывод на общую шину и появляется неправильная сигнатура, СА не может указать в какой именно микросхеме возник отказ. Усовершенствованной формой сигнатурного анализа является так называемый трассовый анализ, который локализует отказ в окне пуска – останова. Сигнатурный трассовый анализатор программируется (обычно вручную) на последовательность промежуточных сигнатур и их моменты появления во временном окне. При работе прибора первое несоответствие измеренных данных с хранимой информацией заставляет СА останавливаться и индицировать момент появления ошибки. После этого отказ можно подозревать в той микросхеме, которая работала в момент его появления. Правильные данные для сигнатурного трассового анализа, как и сигнатуры, необходимо получить от заведомо исправной системы и задокументировать их. При этом сигнатуры разделяются на короткие секции с соответствующим увеличением объема документируемой информации. Основным достоинством сигнатурного анализа является то, что он доступен даже неопытным специалистам и позволяет выявить дефект до узла. В то же время СА — это довольно длительный процесс обнаружения неисправности. Другим недостатком является необходи-

мость иметь в наличии все тестовые программы и сигнатуры перед процедурой проведения СА.

Сигнатурный анализ (СА) используется для поиска дефектов в дискретных устройствах методом последовательного контроля отдельных точек схемы по принципу «годен – не годен». Измеряя одну сигнатуру, можно проверить работу некоторой логической структуры, содержащей большое количество микросхем и эквипотенциальных точек. При неправильной сигнатуре в определенном узле схемы поиск неисправной микросхемы зависит от логической структуры устройства и его тестируемости. Для комбинационной логики без обратных связей локализация неисправностей заключается в простом сравнении измеряемых и заранее известных для данной платы эталонных сигнатур. Если обнаружена сигнатура, отличная от эталонной, то проверяются сигнатуры узлов более низкого порядка до тех пор, пока не будет обнаружена компонента с правильной сигнатурой на входе, но с неправильной на выходе. Для автоматизированных систем тестирования, средствами доступа для которых является зонд или управляемый щуп, алгоритм прослеживания можно построить на основе таблиц поиска, отражающих топологию схемы. Прослеживание может быть также основано на последовательном разделении схемы пополам, проверка всех сигнатур при прямом проходе от входа к выходу и при обратном прослеживании от выхода к входу. Локализация неисправностей на уровне компонент схемных плат с обратными связями зависит от аппаратных и подпрограммных возможностей разрыва линий обратных связей. Эти соображения относятся к системе тестирования и к проверяемой плате. Например, часто используемая петля на микропроцессорных платах, связывающая процессор, адресную шину, элементы памяти и шину данных, может быть разорвана установкой на шину данных перемычки, являющейся принадлежностью схемы. Проверку платы при сборке можно вести до установки этой перемычки. После того как ядро схемы проверено при автономном стимулировании, система тестирования обеспечивает дополнительную проверку с установленной перемычкой. Обратные связи могут быть также разорваны электрически, если при разработке схемы предусмотреть наличие на тристабильных шинах специальных буферов, управляемых по командам от системы тестирования. Но это вызывает некоторое увеличение стоимости платы и изделия в целом и обуславливает необходимость проверки состояний этих буферов. Измеряя сигнатуры в момент нахождения на линиях обратной связи константных значений 0 и 1, обнаруживают неисправности в цепях обратных связей. Этого достигают разработкой программного обеспечения моделирования таким образом, чтобы подаваемые на схему последовательности обеспечивали постоянные значения на линиях обратных связей. В некоторых случаях интегральные схемы могут допускать закорачивание отдельных цепей на землю на период измерения сигнатур для установки на линиях обратных связей нулевых величин.

Объектом диагностирования полупроводниковых запоминающих устройств (ЗУ) методом СА являются одно- и многоразрядные микросхемы. В них проверяются следующие классы неисправностей: разорванные и закороченные связи, неверная дешифрация и адресация, кратная запись, чувствительность к наборам,

медленный выбор и восстановление записи, утечка тока, паразитные межразрядные связи. Для диагностирования формируют стимулирующие воздействия, в качестве которых используют полный перебор входных данных, линейные тесты маршевого типа, диагональный перебор, а также другие типы тестов для ЗУ. При аппаратной реализации стимулятора используют различные типы счетчиков в сочетании с дешифраторами. В качестве анализатора применяются параллельные (для многоразрядных БИС) и последовательные СА. Применение параллельного СА уменьшает длительность прохождения теста в k раз (k — число разрядов БИС).

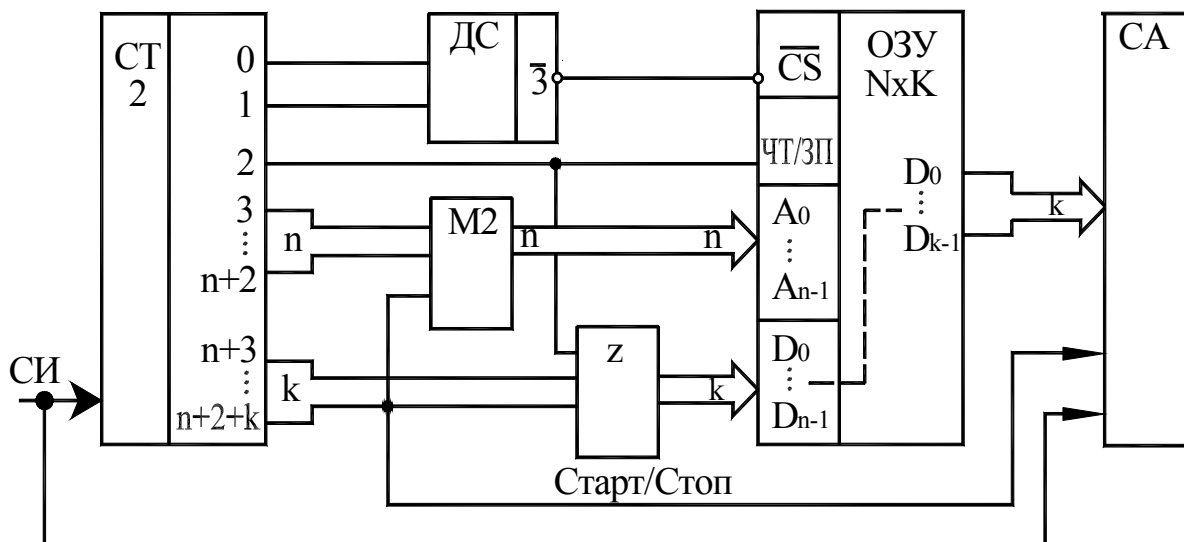


Рис.4.14.Схема аппаратной реализации проверки БИС ОЗУ

На рис.4.14 изображена схема аппаратной реализации проверки БИС ОЗУ, где СА — сигнатурный анализатор; СТ — стимулятор; ДС — дешифратор.

В схеме учитывается то обстоятельство, что для многоразрядных БИС ОЗУ, как правило, характерно наличие общих мультиплексных выводов корпуса, являющихся входами при записи и выходами при чтении. Поэтому эти входы постоянно соединены со входами СА, а соответствующие схемы по сигналу «запись – чтение» обеспечивают подключение к этим выходам счетчика – стимулятора, либо их отключение.

Организация диагностирования микропроцессорных комплексов (МПК) методом СА требует:

- устройства для сигнатурного анализа;
- дополнительной аппаратуры, вводимой в МПК, которая необходима для организации поиска неисправностей методом СА;
- системы контрольных точек для подключения СА;
- системы тестовых последовательностей СА;
- системы документации, необходимой для проверки.

Для МПК используют стратегию расширяющихся областей, при которой выделяют и проверяют часть оборудования (ядро). Затем стимуляцию оставшихся частей МПК производят с помощью ядра, либо отдельным генератором, или комбинированно. Анализ выходных реакций производят с помощью СА сравнением с заранее рассчитанными эталонными сигнатурами. Современные БИС характеризуются наличием на их выходе трех состояний: логического 0, логической 1 и состояния высокого импеданса, которое является промежуточным между 0 и 1. Для обеспечения возможности работы с третьим состоянием используют специальные компараторы, которые выделяют эти состояния, преобразуют в логический уровень, равный единице, а для последующего анализа применяют либо отдельную схему СА, либо от компаратора вводят соответствующее управление с последующей корректировкой состояния основного СА.

Устройства с многими выводами можно проверять несколькими способами:

- перекоммутацией выходных реакций на вход анализатора и повторением процедуры тестирования;
- использованием нескольких одноканальных анализаторов;
- использованием многоканальных анализаторов.

При первом способе увеличивается время контроля, при втором — объем оборудования. Наиболее рациональным является применение многоканальных сигнатурных анализаторов.

4.3.2. Поиск неисправностей в микропроцессорных системах

Центральную часть микропроцессорной системы, в которую входит центральный процессор, ПЗУ, ОЗУ, системный генератор синхронизации, шина управления, шины данных и адресов и которая окружена периферийными устройствами, называют системным ядром. Если в МПС предусмотрены конструктивные особенности, которые позволяют разорвать шины данных и адресов и вводить в ЦП последовательности и отдельные команды, то возможно проведение тестирования МПС в режиме «свободного счета» [7]. Обычно в ЦП вводят, так называемые, «холостые» команды, например NOP (нет операции) или MOV A, A. При просмотре сигналов в каждой линии шины адреса можно установить факт ее отказа, проявляющийся в замыкании на общий провод или на питание, в обрыве линии или в замыкании на другую линию шины адреса. Отказ в системном генераторе синхронизации или неисправность линии шины управления почти всегда не дадут правильной работы системы в режиме свободного счета, т.е. работы МПС с разорванной шиной данных. При проведении любого теста с применением сигнатурного анализа необходимо решить, какие сигналы от проверяемой МПС следует использовать в качестве сигналов пуска, останова и синхронизации. Предположим, что исследуется система с 8-битным МП, который имеет 16-битную шину адреса. В цикле свободного счета на шине адреса возникают все двоичные наборы, которые циклически повторяются. На старшей линии шины адреса A15 действует низкий уровень для одной половины всех адресов и высокий уровень — для другой половины. Поэтому, между соседними нарастающими фронтами сигнала на линии A15 находится один полный цикл шины адреса. Сигнал с этой ли-

нии можно поэтому использовать как сигналы пуска и останова сигнатурного анализатора. Первый из них осуществляет запуск, а второй — останов. Остаток, образованный в регистре сдвига между этими событиями, подается на индикатор в качестве сигнатуры проверяемого узла. В режиме «свободного счета» все команды осуществляют считывание из памяти и сигналы для анализатора можно взять с линии READ. Анализатор настраивается на нарастающие фронты входов пуска, останова и синхронизации, поэтому данные синхронно проходят через регистр сдвига по заднему фронту сигнала READ в течении одного полного цикла шины адреса. Вместе с тем, в режиме свободного счета, при сканировании всего адресного пространства, будут проанализированы не все микросхемы, входящие в МПС, т.к. МП выполняет только операции считывания из памяти. Например, входные порты не разрешаются, и получить от них значения сигнатур невозможно. Шина данных отключена от процессора и также не дает значимых сигнатур.

Тестирование ПЗУ в режиме свободного счета: несмотря на то, что режим свободного счета чаще всего применяется для проверки системного ядра, он может быть применен и для контроля ПЗУ. Подаваемая в ЦП холостая команда заставляет его выполнять операции считывания по каждому адресу. ПЗУ содержит только фиксированные команды, которые в режиме свободного счета последовательно выдаются на шину данных. Используя линию разрешения кристалла (CE) ПЗУ как сигнал пуска и останова, а управляющую линию READ для сигнала синхронизации SA можно проверить любые системные ПЗУ. Анализатор регистрирует только данные, относящиеся к проверяемому ПЗУ, хотя процессор сканирует все адресное пространство. Аналогичный тест для ЗУПВ применять нельзя, так как их содержимое не зафиксировано. Поскольку ЦП выполняет только операции считывания из памяти, невозможно проверить каналы ВВ, информация на которых непостоянна, особенно в том случае, если ВВ отображен на адресное пространство. Входные порты в системе с ВВ, отображенные на адресное пространство памяти, в режиме «свободного счета» проверить можно, так как ЦП считает обращения к ним операциями считывания из памяти. При этом необходимо управлять входами в порты, для чего обычно применяется тестовый прибор с возможностью задания известных двоичных наборов. Для проверки выходных портов потребуется операция записи, которой в режиме «свободного счета» нет. Для проверки тех частей МПС, которые недоступны режиму свободного счета, необходимо написать и выполнять специальные программы. Каждая из них предназначена для проверки одной части системы, и обычно состоит из нескольких строк ассемблерного кода. Также тест-программы сигнатурного анализа обычно помещаются в ПЗУ, которое находится в системе, но при нормальной работе не используется. Тест ПЗУ приводится в действие либо переключением линии CE от первого системного ПЗУ с последующим сбросом системы, либо вводом в процессор команды RESTART и размещением тест ПЗУ по адресу рестарта. Тест-программа обычно организует цикл работы МПС, который периодически выполняется при включении тест ПЗУ в работу. Если микросхема ПЗУ находится на сокетe, можно заменить системное ПЗУ на тест ПЗУ. Тест программы сигнатурного анализа МПС выполняются как последовательность коротких фрагментов, сле-

дующих друг за другом. По окончании последовательности ЦП переходит к началу, образуя полный тест-цикл. Для локализации отказов в МПС при проверке отдельных компонентов обычно требуются свои сигналы пуска и останова.

Большинство сигналов уже имеются в МПС. Например, каждое ПЗУ можно проверить, подключив к управляющим линиям пуска и останова конкретный сигнал выбора кристалла от дешифратора адреса. ЗУПВ обычно проверяется путем выполнения первоначальной последовательности операций записи в результате чего во всех ячейках ЗУПВ будет храниться известный двоичный набор (например, все «1», затем «0»). Операции записи контролируют линии шины адреса, подключенные к ЗУПВ, и линии шины управления, разрешающие работу микросхемы. Убедившись в функционировании этих линий, можно выполнить последовательность операций записи, которые контролируют линии подключения шины данных и проверяемого ЗУПВ. Любые сигналы, используемые в качестве сигналов пуска и останова СА, должны быть проверены предыдущими фрагментами тест-программы. В идеальном случае все тесты должны опираться на результаты предыдущих тестов, контролирующих систему по частям. Режим свободного счета проверяет системное ядро, а работоспособное ядро обеспечивает работу подлежащих дальнейшей проверке частей МПС. МПС с шинной структурой можно считать замкнутой системой с обратной связью, в которой по шине адреса осуществляется запрос данных, а реакция вводится с шины данных. Проблема в такой структуре заключается в том, что отказ распространяется по всей петле, вызывая появление кажущихся плохих сигнатур в тех местах, где отказ отсутствует. Сигнатурный анализ не показывает, в каком месте временного окна впервые возникает отказ, что можно было бы использовать для локализации неисправного элемента. Плохая сигнатура по истечении временного окна не показывает «историю» появления отказа. Поэтому, когда много микросхем, осуществляют вывод на общую шину и появляется неправильная сигнатура, невозможно определить неисправную микросхему.

Усовершенствованной формой СА является трассовый анализ, который локализует отказ в окне пуска-останова. Сигнатурный трассовый анализатор программируется (обычно вручную) на последовательность промежуточных сигнатур и их моменты появления во временном окне. При работе прибора первое несоответствие измеренных данных с хранимой информацией заставляет СТА остановиться и индцировать момент появления ошибки. После этого отказ можно подозревать в той микросхеме, которая работала в момент появления ошибки.

Эмуляция — процесс, в котором одна система используется для копирования (замены) действия другой системы. Имеется несколько уровней эмуляции:

- моделирование — низкий уровень эмуляции (упрощенная модель);
- полное копирование (замена) (полная модель).

На практике предпочли использовать некоторую систему, которая находится между рассмотренными уровнями. Моделирование удобно для разработки программного обеспечения. Возможность управлять действиями тестируемой системы из рабочей среды другой системы называют внутрисхемной эмуляцией. Этот термин введен фирмой INTEL, которая применила этот метод как средство проек-

тирования МС. Приборы, в которых реализованы некоторые возможности систем проектирования для диагностики аппаратных отказов, называются автономными эмуляторами.

Внутрисхемная эмуляция как средство поиска неисправностей: с точки зрения специалиста, занимающегося обслуживанием цифровых систем, внутрисхемная эмуляция представляет собой метод принятия управления тестируемым устройством и подачи тестовых или стимулирующих запрограммированных воздействий на испытываемое устройство. Это имеет важное значение в ситуациях, когда тестируемое устройство не реагирует на обычные воздействия, которые имеют место при штатной работе.

Тестирование — регистрация программных событий в хронологическом порядке. Конструктивно внутрисхемные эмуляторы могут быть выполнены различным образом. Обычно различают внутрисхемные эмуляторы по емкости и объему ЗУПВ и реализуемым видам трассировки, среди которых наиболее информативной является трассировка в реальном времени. Управление современными эмуляторами осуществляется через интерфейс RS-232 с использованием либо дисплея, либо в микроЭВМ, снабженной соответствующим портом. Желательно иметь в программном обеспечении эмулятора строковый ассемблер, который удобно применять для небольших программ и для осуществления вставок в более крупные программы. Метод внутрисхемной эмуляции был впервые применен фирмой INTEL в ее системах проектирования микропроцессорных систем (СПМС) в качестве средства отладки аппаратуры и программ в ходе их проектирования. Введение в состав системы проектирования внутрисхемных эмуляторов позволило уменьшить затраты времени на устранение неисправностей. Обычно аппаратные средства автономных эмуляторов используются в составе систем проектирования МПС, которые представляют собой микроЭВМ, оснащенную средствами разработки как аппаратных, так и программных средств. Для разработки программных средств предусматривается совокупность программ, называемых инструментальной операционной системой. Типовая такая система должна иметь в своем составе как минимум: редактор текстов, менеджер файлов, редактор связей/загрузчик, ассемблер, компилятор, менеджер памяти, отладчик, драйверы работы устройств ввода-вывода, анализатор реального времени, программатор ППЗУ. В реальных системах некоторые из этих программ могут быть названы по-другому, а также могут быть объединены. Чтобы осуществить эмуляцию проверяемой системы ее нужно подключить к внутрисхемному эмулятору с помощью переходника эмулятора. Микропроцессор проверяемой системы вынимается из сокета и помещается в переходник. Все сигналы микропроцессора через буферы подаются в систему проектирования, которая может также управлять микропроцессором с помощью задания сигналов на его шине управления. Информация воспринимается с шин проверяемой системы и запоминается в памяти внутрисхемного эмулятора. Одной из главных задач любого эмулятора является согласование быстродействия проверяемой системы с ВСЭ. Переходник как относительно длинная линия связи увеличивает индуктивность и емкость сигнальных трактов, что может привести к временным перекосам сигналов в обеих системах.

По мере усложнения цифровых систем автоматизации первостепенное значение приобретает необходимость разработки как аппаратных так и программных средств встроенного самоконтроля. Правильно разработанная МПС при включении должна осуществлять самоконтроль и не продолжать свою работу по управлению оборудованием при обнаружении отказа. Она должна также указать подозрительную секцию системы, чтобы ее можно было оперативно (быстро) заменить и минимизировать время простоя. В больших цифровых системах (МПС ЧПУ, управляющие миниЭВМ) самоконтроль необходимо проводить только до уровня подсистем с проверкой общих функций по принципу «проходит – не проходит» функциональный сигнал. Для каждой элементарной функции (функционального сигнала) необходимо предусмотреть какой-либо простой индикатор, например светодиод, показывающий ее состояние. Однако подсистемы ввода-вывода, особенно те, которые постоянно подключены к другому оборудованию, проверить без испытаний линий ВВ почти невозможно. Осуществление тестирования может привести к выходу из строя управляемого оборудования. Такие системы обычно проверяются с применением имитаторов управляемого оборудования. К программам самоконтроля относятся те программы, которые иницируются при включении электропитания системы и контролируют ее в естественной рабочей среде. В них обычно не входят тесты функционирования ВВ, т.к. сами тесты ВВ могут быть причинами опасных для управляемого оборудования ситуаций. В программах самоконтроля при включении питания обычно предполагается работоспособность системного ядра, в противном случае, они не работоспособны. В основном программы самоконтроля проверяют микросхемы памяти ПЗУ, ОЗУ и ЗУПВ. Если эти тесты проходят, также считаются работоспособными схемы дешифрации адресов и шины данных. ПЗУ, которое содержит программы самоконтроля, также должно функционировать правильно. Все тест-программы должны быть короткими и предельно простыми.

Вместо попытки охватить сразу несколько микросхем следует написать короткую отдельную программу для отдельной проверяемой микросхемы. Основная причина такого подхода заключается в том, что в короткой программе больше гарантий отсутствия ошибки и на нее можно более уверенно полагаться во время тестирования.

Тестирование ПЗУ: простейшим тестом микросхем ПЗУ является вычисление контрольной суммы, т.е. суммирование содержимого всех ячеек ПЗУ. Последняя ячейка ПЗУ не участвует в сложении и предназначена для хранения результата сложения. В конце теста контрольной суммы, полученная сумма сравнивается с содержимым последней ячейки. Если они совпадают, предполагают, что ПЗУ полностью исправно, в случае расхождения, имеет место отказ.

Имеются разновидности этого способа тестирования, когда контрольные суммы хранятся в отдельной микросхеме ПЗУ. В системе с большим числом микросхем ПЗУ такой вариант предпочтителен, так как при этом не нужно предусматривать для каждой микросхемы ПЗУ команду перехода, для «обхода» ячейки контрольной суммы.

Пример программы теста ПЗУ

START: LD A,00	;ЗАПИСАТЬ В А 00
LD B, A	;ЗАПИСАТЬ В В 00
LD HL, ROMTOP	;ЗАПИСАТЬ В HL И DE НАЧАЛЬНЫЙ
LD DE, ROMBOT	;И КОНЕЧНЫЙ АДРЕС ПЗУ
ROMLOOP:DEC HL	;СЧИТАТЬ СОДЕРЖИМОЕ ПЗУ
LD A, (HL);	
ADD B	;ПРИБАВИТЬ СУММУ ИЗ РЕГИСТРА В
LD B, A	;ПЕРЕДАТЬ СУММУ В РЕГИСТР В
XOR A, A	;СБРОСИТЬ ФЛАГ ПЕРЕНОСА
SBC HL, DE	;СРАВНИТЬ АДРЕСА
JP NZ, ROMLOOP	;ЗАЦИКЛИТЬ
LD HL, ROMTOP	;ЗАПИСАТЬ АДРЕС КОНТРОЛЬНОЙ СУММЫ В
	;HL
LD A, B	;ЗАПИСАТЬ ПОЛУЧЕННУЮСУММУ В А
CP (HL)	;СРАВНИТЬ ИТОГ С КОНТРОЛЬНОЙ СУММОЙ
JP NZ, ROMFAULT	;ЕСЛИ РАЗЛИЧАЕТСЯ, ПЕРЕЙТИ К
	;ПОДПРОГРАММЕ ОБРАБОТКИ ДЕЙСТВИЯ ПО
	;ОШИБКЕ

Тестирование ЗУПВ: основной тест ЗУПВ заключается в записи двоичного кода 55(16) или AA(16) («тяжелый» код) в каждую ячейку и последующего считывания. Если содержимое какой либо ячейки отличается от записанного кода, считается, что возник отказ. Иногда вместо «тяжелых» кодов записывается код 00(16).

Считается, что содержимое ЗУПВ при включении питания произвольно, поэтому вероятность установки ячеек в состояние 55(16) и AA(16) и 00(16) одинакова.

Простейшие виды тестирования ввода-вывода (ВВ): функционирование микросхем ВВ и соответствующих частей МПС проверяют путем подсоединения переключателей ко входному порту и соответствующих регистрирующих устройств (светодиодов, осциллографов, анализаторов) к выходному порту.

Программа для проверки ВВ имеет вид:

I/OTEST XOR A	;СБРОСИТЬ РЕГИСТР А
OUT(OUTPORT), A	;ВЫКЛЮЧИТЬ ВСЕ ПОРТЫ
I/OLOOP IN A, (INPORT)	;ВВЕСТИ СОСТОЯНИЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ
OUT(OUTPORT), A	;ВЫВЕСТИ НА ПОРТЫ
CP 81H	;УСТАНОВЛЕННЫ МЛАДШИЙ И СТАРШИЕ
	;БИТЫ?
JP NZ, I/OLOOP	;ЕСЛИ НЕТ, ВВЕСТИ НОВЫЙ ВХОДНОЙ НАБОР

Каждый входной и соответствующий выходной бит нужно проверить для обоих логических состояний путем инвертирования состояния каждого бита. Чтобы обеспечить окончание программы, введена проверка, что переключатели в младшем и старшем битах установлены одинаково. При удовлетворении этого условия осуществляется завершение программы. Иногда проверку можно автоматизировать, если имеется возможность подсоединить выходной порт к входному и вы-

полнить программу, которая проверяет каждый бит. Программа контролирует, что выданный двоичный набор совпадает с принятым и индицирует отказ при рассогласовании.

Тестирование периферийных устройств: в общем случае МПС является только частью более большой системы, которая имеет в своем составе различные периферийные устройства. Если сама МПС функционирует нормально, то ее можно использовать для генерации тестов для периферийных устройств. В большинстве устройств периферии имеет место применение простых средств индикации прохождения управляющих сигналов и воздействий по методу «проходит – не проходит». Интерфейсы, обеспечивающие взаимодействие МПС с периферийными устройствами или другой МПС проверять довольно затруднительно. В ряде случаев в МПС автоматизации входят подсистемы аналого-цифрового преобразования. При считывании электрических аналогов параметров процесса, измеряемых с помощью разнообразных датчиков, сигналы обычно через входной мультиплексор подаются в схему АЦП. Для управления пропорциональными исполнительными устройствами необходимы ЦАП. АЦП в отдельности проверяются путем подачи на их входы известного эталонного напряжения и выполнения программы, которая каким-либо образом индицирует его цифровой эквивалент. ЦАП можно проверить с помощью программы, которая посылает в ЦАП определенные двоичные коды, а получившееся выходное напряжение измеряется цифровым вольтметром. Для оценки динамических характеристик ЦАП программа проверки должна синтезировать на выходе пилообразный сигнал, форма которого обычно проверяется осциллографом. Самоконтроль любых периферийных устройств или подсистем почти всегда требует наличия дополнительных схем, которые необходимо предусмотреть при проектировании. С одной стороны, данный избыточный подход оказывается неудовлетворительным, так как дополнительные схемы сами подвержены отказам, а лишние соединения ухудшают надежность всей системы. С другой стороны, тестирование на функциональном уровне связано с незначительным усложнением схем, но позволяет упростить эксплуатацию системы, в которой главной целью является минимизация простоев.

4.3.3. Диагностика интерфейсов микропроцессорных систем

Тестирование последовательных линий связи: обычно информация передается между отдельными частями современной системы автоматизации из-за экономии материалов линий связи и простоты конструкторских решений в последовательном формате. В упрощенной форме последовательная передача требует наличия всего двух физических проводников — сигнального провода и обратного общего, что, безусловно, уменьшает расходы на создание каналов связи. Данные обрабатываются и хранятся в МПС в параллельной форме и для передач и должны быть преобразованы в последовательную форму.

Принятые после передачи из линии связи данные до обработки обратно преобразуются в параллельную форму. Основой схем преобразования служит регистр сдвига, в который данные загружаются в параллельном коде, а выдаются синхронно с импульсами синхронизации. Регистр сдвига осуществляет и обратное

преобразование — данные вводятся из линии связи в последовательном коде, а считываются параллельно. Наиболее распространен стандарт последовательной связи RS232 [8].

Первоначально он был разработан для передачи данных по телефонным линиям с модемами (модуляторами-демодуляторами). В дальнейшем его адаптировали к использованию в МПС управления как средство последовательной связи отдельных периферийных терминалов. Стандарт RS232 и его разновидности предполагает использование 25-контактного разъема, в котором каждый контакт предназначен для сигнала, функции и направления передачи которого полностью определены стандартом. Также стандартом определяются электрические характеристики сигналов — уровни напряжения, максимальная длина линии связи и скорость передачи данных.

Максимальная длина линии, м 30

Максимальная скорость передачи, бит/с . . . 20000

Уровень «1», В +1,5...+36

Уровень «0», В -1,5... -36

На практике уровень напряжений обычно равен ± 12 В.

Модему должна соответствовать ответная часть разъема («мама»), а терминалу — штырьковая. «Пустой» модем состоит из сводного кабеля с одинаковыми разъемами на обоих концах: в данном случае штырьковые части.

Для обеспечения передачи данных подключение сигнальных линий к контактам на одном конце кабеля изменено так, что с другой стороны они воспринимаются как сигнальные линии от оборудования. Применяются следующие мнемоники сигналов:

AB — сигнальный общий провод (сигнальная земля);

CE — индикатор звонка (из модема);

CD — готовность терминала DTR (в модем);

CC — готовность модема DSR (из модема);

BA — передаваемые данные (в модем);

BB — принимаемые данные (из модема);

DA — синхронизация передатчика (в модем);

DB — синхронизация передатчика (из модема);

DD — синхронизация приемника (из модема);

CA — запрос передачи RTS (в модем);

CB — сброс передачи CTS (из модема);

CF — детектор сигнала приемной линии (из модема);

CG — детектор качества сигнала (из модема);

CH — селектор скорости передачи данных (в модем);

CI — селектор скорости передачи данных (из модема);

SBA — вторичные передаваемые данные;

SBB — вторичные принимаемые данные;

SCA — вторичный запрос передачи;

SCB — вторичный сброс передачи;

SCF — детектор сигнала вторичной приемной линии.

Часто в связном канале между МПС и терминалом для управления передачей информации применяются только 4 линии квитирования — RTS, CTS, DTR и DSR. Периферийное оборудование на одном конце линии может требовать управляющего сигнала CTS, который разрешает передавать ему данные. Если этот сигнал не формируется системой на противоположном конце кабеля, то его необходимо аппаратно встроить в устройство, чтобы устройство как бы принимало сигнал квитирования с другого конца. Такое подключение осуществляется в обоих концах кабеля и называется автоответом (рис.4.15). Соединения автоответа можно реализовать и в «пустом» модеме. Они отличаются от приведенных на рисунке тем, что линии, подключенные к контактам 2 и 3 меняются местами на одном конце кабеля, при этом оба разъема одинаковы (оба либо «папа», либо «мама»).

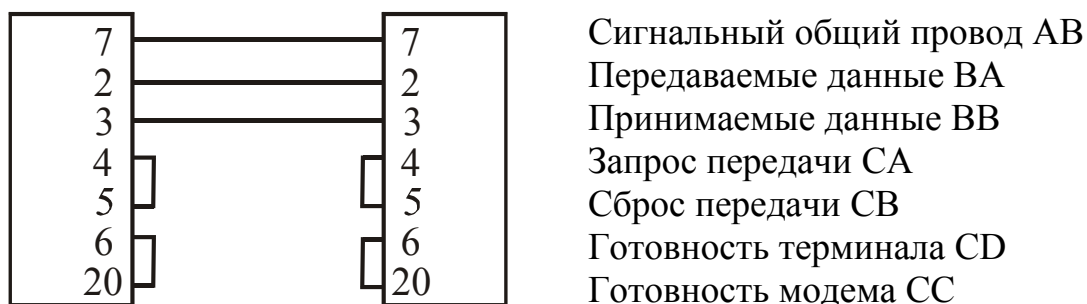


Рис.4.15.Реализация сигналов автоответа

Прежде чем передавать информацию между двумя системами, обе должны быть запрограммированы на одинаковые формат и скорость передачи данных. Одним из распространенных способов кодирования, который обеспечивает передачу символьных и управляющих кодов между системами, является 7-битный код ASCII (американский стандартный код для обмена информацией). Порядок передачи данных называется протоколом обмена и определяет не только порядок передачи кодов символов, но и порядок работы с управляющими битами, которые необходимы для синхронизации взаимодействующих систем. Приемнику необходимо сообщить о начале и конце передачи символа, кроме того, требуется передать контрольные биты для обнаружения ошибок при передаче. На практике применяются два основных способа передачи: синхронная и асинхронная передачи. Протоколы синхронной передачи намного сложнее протоколов асинхронной передачи и не определяются стандартом RS-232C. При асинхронной передаче требуется, чтобы от передатчика в приемник первым был послан стартовый бит, информирующий о начале передачи символа (рис.4.16). После него передается 7-битный код символа, причем первым передается младший бит, а последним — старший бит. Затем передается контрольный бит или бит паритета.

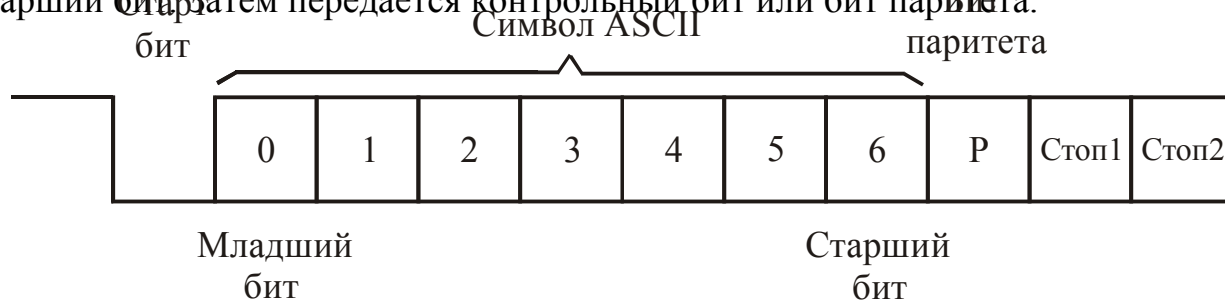


Рис.4.16.Протокол последовательной передачи данных

Протокол (от греч. *protos* — первый + *kollao* — клею) — первый лист с обозначением даты и фамилии чтеца. Способ реализации бита паритета в разных системах варьируется. Бит паритета может отсутствовать, может применяться четный и нечетный паритет. При четном паритете передатчик подсчитывает количество единиц в передаваемом коде символа и при четном числе устанавливает в бите паритета уровень логического «0». При нечетной сумме бит паритета устанавливается в логическую «1». При этом общее количество единиц между стартовым и стоповым битами всегда является четным. Нечетный паритет используется аналогичным образом. Единственный контрольный бит паритета позволяет обнаруживать все однобитные ошибки передачи, но может не зафиксировать многобитные ошибки. Приемник подсчитывает число принятых «1» и фиксирует ошибку, если результат не совпадает с используемым типом паритета. После передачи бита паритета до начала передачи следующего символа, линия передачи остается незадействованной в течении одного, полутора или двух периодов синхронизации. Эти стоповые биты сохранились с того времени, когда периферийные устройства в своем большинстве были электромеханического типа и не могли быть готовыми сразу к приему следующего символа из-за своей инерционности.

Контроль приборной шины IEEE-488: скорость передачи данных между системами резко увеличивается при переходе от последовательного формата к параллельному [7]. Однако по мере увеличения линий в шине быстро растут сложность схем интерфейса и расходы на соединительные кабели. Компромиссный вариант заключается в том, чтобы зарезервировать для шины данных, например, 8 линий и ввести несколько линий для управления передачами по шине. Такой подход был предпочтен фирмой Hewlett-Packard для соединения испытательного оборудования. Шина получила широкое распространение и имеет несколько разных названий: универсальная интерфейсная шина (GPIB); стандарт IEEE-488 (1975г) (1978г); шина ANSI (стандарт MC1.1 — 1975г Американского национального института стандартов); шина IEC 625-1 (стандарт международной электротехнической комиссии). Этот стандарт на параллельную передачу данных устанавливает спецификации на электрические и механические параметры шины; уровни сигналов TTL совместимы, но требования по току превышают возможности стандартных TTL микросхем. Скорость передачи данных составляет до 1 Мбит/сек и к шине одновременно можно подключить до 15 основных устройств. Внутри каждого основного устройства возможны обращения еще к 32 вторичным адресам. Физически подключенные к шине устройства должны размещаться на удалении не более 4 м при максимальном удалении (длине шины) равном 20 м. Длина шины передачи определяется как удвоенное число устройств на шине, представленное в метрах. 24-х контактные разъемы позволяют реализовать звездную или радиальную конфигурацию системы связи устройств. Евростандарт имеет 25-контактный разъем.

Шина предназначена для программируемых приборов и функционирует под управлением контроллера шины, который управляет всеми передачами данных. Передаваемые данные не проходят через контроллер, но могут быть выданы на шину одним прибором и восприняты несколькими другими под общим управлением контроллера. В шину входят 16 линий: 8 для передаваемых данных и еще 8 для сигналов управления. 16 линий можно объединить в три группы: линии ввода-вывода данных (8 линий), линии управления передачами (3 линии) и линии управления интерфейсом (5 линий).

DI/O(1) – DI/O(8)	— линии передачи данных;	
DAV	— данные действительны;	\ линии
NRFD	— неготовность данных;	управления
NDAC	— данные не восприняты;	передачами
EOI	— конец или идентификация;	
IFC	— сброс интерфейса;	/
SRQ	— запрос обслуживания;	\ линии
ATN	— внимание;	управления
REN	— дистанционное разрешение.	/

Система может иметь только один контроллер, который управляет передачей данных из одного в один или в несколько других приборов. Любой прибор в каждый момент времени может быть только передатчиком или только приемником, но контроллер может перепрограммировать прибор и изменить его функцию. Линии данных используются также для передачи адресной информации. Скоростью передачи данных от передатчика к приемнику управляют три линии квитирования DAV, NRFD и NDAC. Линии управления интерфейсом осуществляют передачу управляющей информации, которая может быть инициирована контроллером или передатчиком путем выдачи сообщения на шину данных.

EOI — конец или идентификация. На этой линии контроллер или передатчик формирует истинный низкий уровень, когда по шине передан последний байт сообщения, т.е. этот сигнал означает конец передачи. Совместно с линией ATN применяется для инициирования последовательности опроса с целью определения наличия запроса на обслуживание от устройств, подключенных к шине.

IFC — сброс интерфейса. При логическом «0», который может сформировать только контроллер, все устройства переводятся в нерабочее состояние. Сигнал общего сброса.

SRQ — запрос обслуживания от контроллера любого устройства. Фактически действует как сигнал прерывания программы контроллера. По сигналу SRQ контроллер с помощью сигналов на линиях EOI и ATN переходит в режим опроса, чтобы определить, какое устройство запрашивает обслуживание.

ATN — внимание. Выдается на линию только контроллером. «0» информирует все устройства о том, что на шине DI/O находится адресная или управляющая информация. Когда сигнал на линии ATN «1», взаимодействие с шиной разрешается только тем устройствам, которые ранее были определены как передатчики или приемники. REN - дистанционное разрешение, «0» выдает только контроллер.

Если на линии «1», то все устройства переводятся в режим локального управления.

Во всех передачах данных участвуют три линии управления передачами DAV, NRFD и NDAC. Реализуемый ими протокол квитирования обеспечивает режим передачи, при котором данные не снимаются с шины до тех пор, пока их не воспримут и не запомнят все устройства, запрограммированные на получение этих данных. Все передачи данных осуществляются со скоростью, определяемой самым медленным устройством, подключенным к шине. Линией DAV управляет передатчик, а линиями NRFD и NDAC — активизированные приемники на шине.

Сигнал DAV показывает наличие на шине действительных сигналов данных, сигнал NRFD указывает на готовность приемников к приему данных и сигнал NDAC идентифицирует окончание приема данных приемниками. Анализ неисправностей универсальной интерфейсной шины можно проводить с помощью логического анализатора по заднему или переднему фронту сигнала на линии DAV; по заднему фронту NRFD или переднему NDAC. Синхронизация данных по заднему фронту сигналов DAV или NRFD вызывает регистрацию данных до их передачи, а передний фронт сигналов DAV и NDAC обеспечивает фиксацию и прослеживание данных только после того, как они восприняты всеми приемниками.

Параллельный интерфейс МПС представляет собой специальные аппаратные средства, в которые или из которых можно осуществлять пересылку данных с помощью команд чтения/записи ввода-вывода. Также для задания режима работы интерфейсного устройства используются команды, задающие направление передачи данных и другие параметры пересылки.

Наиболее простое параллельное устройство ввода-вывода состоит из управляющего регистра и единственного порта (рис.4.17).

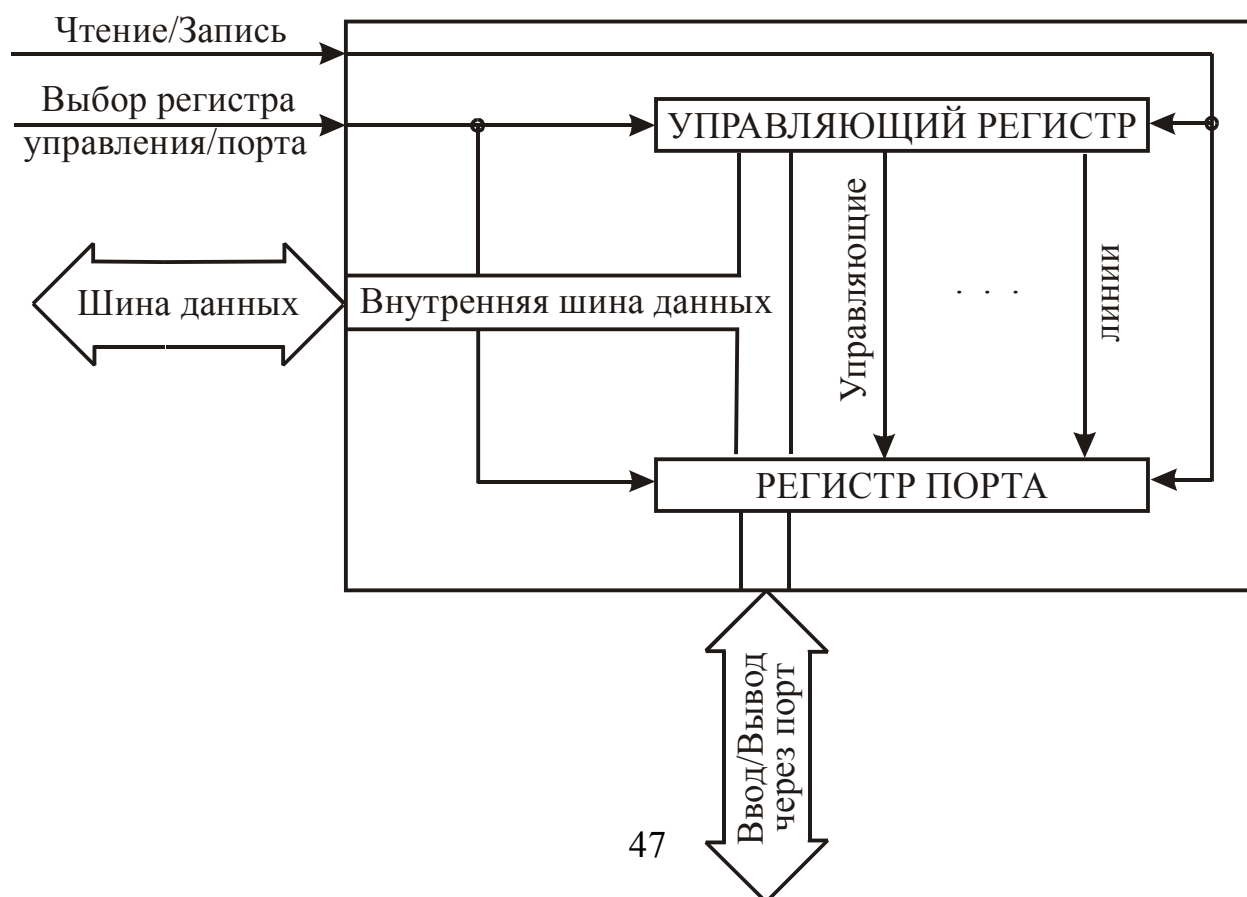


Рис.4.17.Схема устройства параллельного ввода-вывода

Данные, загруженные в управляющий регистр, определяют для каждого внешнего контакта порта, используется этот контакт для ввода или для вывода. С помощью специального входного сигнала указывается, будет ли передача осуществляться между микропроцессором и портом или между процессором и управляющим регистром. Выбор устройства передачи осуществляется выходными сигналами дешифратора, подключенного к адресной шине или к шине адресов ввода-вывода, причем одновременно не может быть выбрано более одного устройства. При более сложных вариантах пересылки данных в схеме ввода-вывода обычно используются сигналы, характерные для режимов обмена с квитированием: сигнал готовности данных (ДГ) и сигнал — квитанция (КВ), служащий для подтверждения приема (рис.4.18)

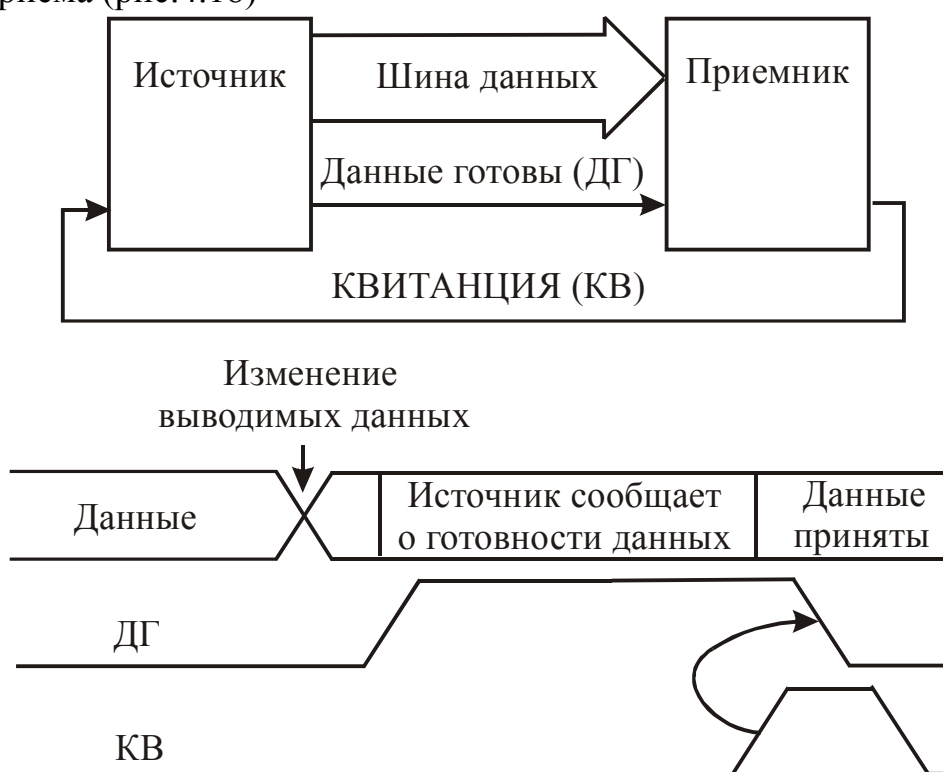


Рис.4.18.Сигналы параллельного интерфейса

Источник передачи изменяет значение данных на выходных линиях и после небольшой задержки, в течении которой происходит установка этих значений, информирует приемник с помощью сигнала ДГ о том, что данные для пересылки готовы. Приемник воспринимает данные и сообщает об этом посредством короткого сигнала положительной полярности КВ. Этот сигнал может быть использован в источнике передачи для сброса сигнала ДГ, а в некоторых случаях и для выработки сигнала прерывания, сообщающего процессору о возможности ввода очередного элемента данных.

Простейшая разновидность параллельного интерфейса «Centronics» (ИРПР-М) содержит восемь линий данных и две линии квитирования: стробирования (STR)

и подтверждения приема (ACK). Каждая сигнальная линия имеет собственный обратный провод и подключается к определенному контакту стандартного разъема, обычно с помощью скрученных пар для повышения помехоустойчивости. Сигналам D0 – D7 соответствуют обратные провода 20-27, а сигналам STR и ACK соответствуют номера 19 и 28.

Последовательность передачи данных следующая (рис.4.19):

- 1) источник устанавливает данные на линиях D0...D7;
- 2) после установки стабильных значений данных выдается сигнал STR;
- 3) положительный фронт сигнала STR инициирует передачу данных в приемник (через логические схемы приемника);
- 4) когда приемник готов к получению новых данных, он выдает сигнал ACK, после положительного фронта которого может быть подан новый сигнал STR.

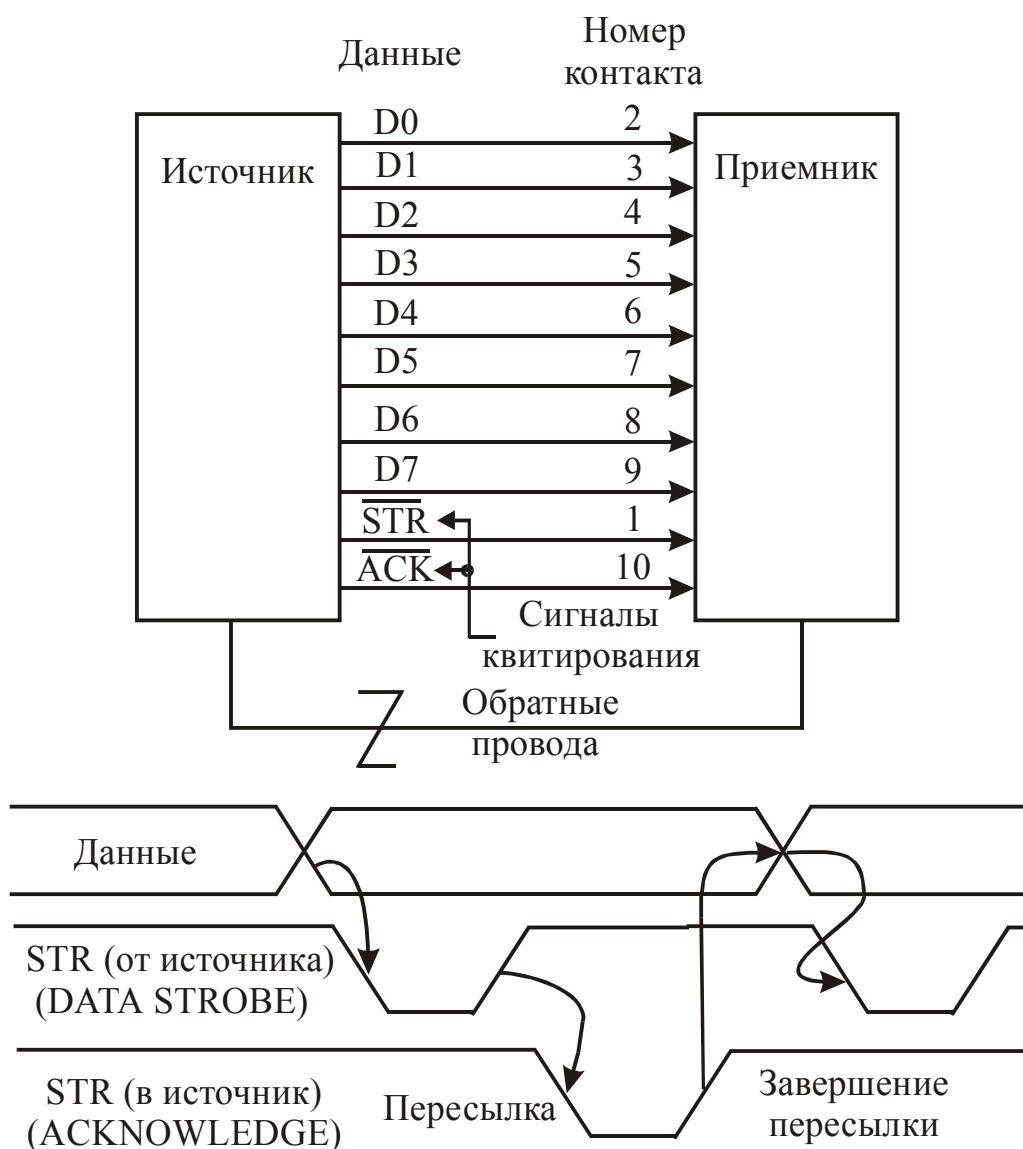


Рис.4.19. Сигналы интерфейса «Centronics»

Также в интерфейсе «Centronics» могут быть дополнительно следующие сигналы:

1. BUSY (занятость) — сигнал (активная «1»), указывающий, что данные не могут быть приняты. Обычно сигнал указывает на заполнение буфера. Контакт N11.

2. PRIME (начало) — сигнал (активный «0»), служащий для инициализации логических схем приемника. Контакт N31.

3. PAPER END (конец бумаги) — сигнал (активная «1»), информирующий, что кончилась бумага или выключатель принтера находится в положении «OFF» (выключено). Контакт N12.

4. SELECT (DESEL) (готовность приемника) — сигнал (активная «1»), указывающий, что разомкнуты аварийные выключатели. Контакт N13.

5. FAULT (неисправность) — сигнал (активный «0») указывающий, что разомкнуты аварийные выключатели. Контакт N22. Обратные провода сигналов принтера обычно присоединены к контактам 14, 16 и 33, а напряжение питания +5В на 18. Выводы 34, 35 и 36 обычно не задействованы но могут быть использованы для передачи нетиповых сигналов.

6. INIT (сброс) — логическая «1» не вызывает установку приемника в исходное состояние. «0» вызывает установку в исходное состояние. Продолжительность не менее 2,5мкс. Контакт N16.

7. ERROR (ошибка) — логические «1»/«0», означает, что в приемнике нет/есть состояние ошибки. Этот сигнал ошибки является асинхронным. Контакт N15.

8. SLCTIN (выбор) — логические «1»/«0» означает, что приемник не выбран/выбран и не будет/будет принимать информацию с линии данных. Контакт N17.

9. AVTOFD (автоматический перевод строки) — логические «1»/«0» означают, что приемник не выполняет/выполняет самостоятельный перевод бумаги на одну строку по окончании печати. Сигнал асинхронный.

Последовательные интерфейсы с токовой петлей: при этом способе передачи линия связи представляет собой пару проводов, которые образуют цепь, содержащую переключаемый источник тока и приемник (рис.4.20).

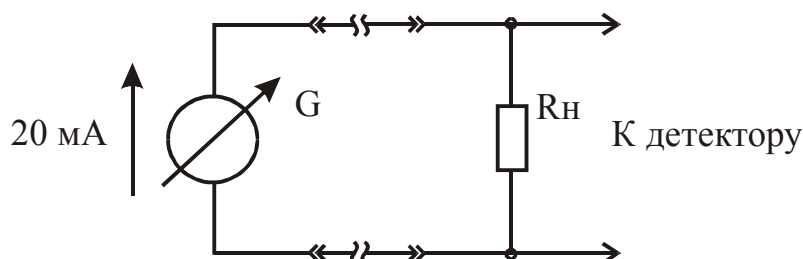


Рис.4.20.Последовательный интерфейс с токовой петлей

Токи, превышающие 17 мА служат в такой схеме представлением логической 1, а токи меньше 2 мА — 0. Такие интерфейсы стандартизированы в меньшей степени, чем интерфейсы,, соответствующие RS-232, но они более широко рас-

пространены в промышленности, так как более помехозащищены и позволяют осуществлять связь на большие расстояния без применения модемов. Системы с токовой петлей могут быть построены так, что линия передачи в них оказывается развязанной как с источниками питания, так и, за счет применения оптронов, с передатчиком и приемником (рис.4.21). Передатчики и приемники могут быть активными и пассивными.

Дифференциальные системы передачи (RS-422 и RS-485): использование дифференциального принципа передачи (рис.4.22) повышает помехоустойчивость и позволяет существенно увеличить длину линий связи и скорость передачи. Стандарт RS-485 ориентирован на совместную работу нескольких источников и нескольких приемников.

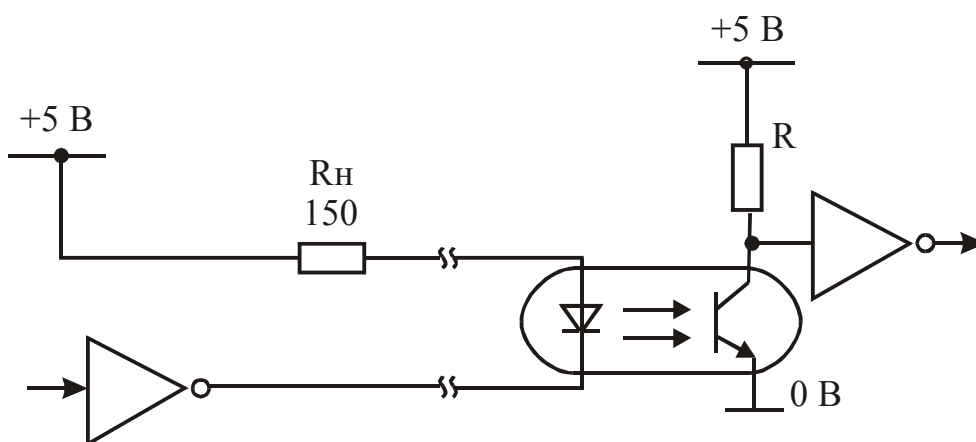


Рис.4.21. Последовательный интерфейс с токовой петлей с источником тока в передатчике

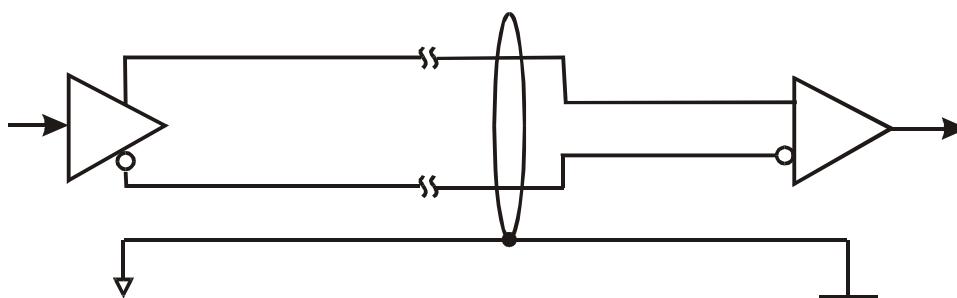


Рис.4.22. Последовательный интерфейс RS-422 и RS-485

Поиск неисправностей в последовательных интерфейсах осложнен тем обстоятельством, что имеет место мультиплексирование данных и команд и использование уровней напряжения, которые отличаются от стандартных логических уровней. Внешнее проявление обычно фиксируется в приемной части, хотя может быть вызвано нарушениями в последовательно-параллельном или параллельно-последовательном преобразовании. Источником ошибок при передаче данных мо-

гут быть помехи, влияющие на работу линий передачи и источников питания интерфейсных схем. Обычно в процессе поиска неисправностей в таких системах первоначально проверяют:

- 1) скорость передачи;
- 2) число битов данных;
- 3) вид контроля на четность;
- 4) количество стоповых битов.

Эти четыре характеристики в общем случае должны быть заданы одинаковыми на обоих концах линии связи. В системах передачи с односторонним размещением источника питания линия должна иметь отрицательный потенциал по отношению к земле во время отсутствия передачи данных. Это напряжение проверяется с помощью вольтметра или осциллографа и если оно не соответствует норме, значит, имеют место неисправности либо заземления, либо в интерфейсной схеме передатчика или в его схеме питания. В системах с токовой петлей неисправность определяют с помощью миллиамперметра, включенного в петлю (в отсутствие передачи в ней течет ток 20 мА). Для быстрой упрощенной проверки достаточно несколько раз замкнуть и разомкнуть цепь линии, при этом произойдет генерация случайных произвольных (символов) кодов [3]. В более сложных случаях используют анализаторы последовательных данных АПД, специализированные генераторы данных и программы контроля с возвратом данных. АПД по принципам работы аналогичны логическим анализаторам. АПД обычно снабжены пробником, обеспечивающим возможность работы с самыми разнообразными уровнями сигналов и с различными способами кодирования сигналов (положительная или отрицательная логики и т.д.). Последовательные данные обычно преобразуются в параллельную форму и заносятся в память, причем сигнал окончания преобразования каждого полученного блока данных используется в качестве синхросигнала для анализирующей части прибора. Данные обычно непрерывно заносятся в память до тех пор, пока не появится заданное запускающее слово, после чего, происходит запоминание еще некоторого определенного количества данных и запись прекращается. Специализированные генераторы данных (СГД) служат для снижения доли определенности и генерируют известные потоки данных с управляемой скоростью и форматом передачи. Такие генераторы символов удобно использовать для проверки связей с периферийными устройствами, так как они позволяют установить, где имеет место неисправность; либо в канале связи, либо в самом периферийном устройстве, либо в МПС. С помощью генератора можно подать на вход системы определенные последовательности данных и проверить ее реакцию на заранее известные входные воздействия. К числу типовых тестов относятся:

1. Передача и отображение известной таблицы кодов ASCII.

2. Тест типа UU. Эти два символа кода ASCII имеют дополнительные коды, причем значения соседних битов в этих кодах чередуется. При попеременной последовательной передаче двух этих символов образуется последовательный набор данных, в котором количество изменений значений передаваемых битов больше, чем при использовании любых других печатных символов. Такой набор символов

позволяет хорошо проверять работу как аппаратных, так и программных средств, в которых имеют место неисправности, связанные с синхронизацией. Аналогично применяются тесты из слов АА(16) 55(16).

3. Циклическая передача конкретных символов или двоичных наборов. Удобна для работы с осциллографом.

4. В системах передачи с входными буферами и линией квитирования, по которой передают сообщение о заполнении буфера применяют специально подобранные тесты для быстрого заполнения буфера без существенного увеличения времени на отработку управляющего символа (кода). Например, код перевода строки принтера.

При поиске неисправностей с помощью программных средств тестирования с возвратом данных различные наборы данных сначала выводятся, а затем принимаются и проверяются с помощью одних и тех же аппаратных средств. Этот метод применим лишь для контроля систем, в которых возможна одновременная передача-прием информации; и не применим для систем с программной реализацией последовательно-параллельных преобразований. Основной целью тестов этого типа является пересылка таких последовательностей данных, которые либо с наибольшей вероятностью приводят к возникновению ошибок передачи и приема, либо позволяют локализовать неисправность с точностью до конкретного участка ввода вывода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Верзаков Г.Ф. Введение в техническую диагностику. — М.: 1968. — 101 с.
2. Джейкокс Дж. Руководство по поиску неисправностей в электронной аппаратуре. — М.: Мир, 1989. — 197 с.
3. Испытания аппаратуры и средств измерения на воздействие внешних факторов: Справочник / Под ред. В.Д. Малинского. — М.: Машиностроение, 1993. — 367 с.
4. Линц В.П. Техническая диагностика машин. — М.: 1971. — 259 с.
5. Надежность и эффективность в технике: Справочник. Т. 9. Техническая диагностика / Под ред В.В. Клюева, П.П. Пархоменко. — М.: Машиностроение, 1987. — 352 с.
6. Пархоменко П.П. О технической диагностике. — М.: 1969. — 119 с.
7. Технические средства диагностирования: Справочник / Под ред. В.В. Клюева. — М.: Машиностроение, 1989. — 349 с.
8. Фолкенберри Л.М. Справочное пособие по ремонту электрических и электронных систем. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 284 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1.ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ДИАГНОСТИКИ И РЕМОНТА СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ .	3
2.ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ПОЯВЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ И ОТКАЗОВ В РАБОТЕ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	5
3.ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ	
3.1.Взаимосвязь диагностики с надежностью и качеством функционирования средств автоматизации.....	8
3.2.Тестовое диагностирование.....	9
3.3.Функциональное диагностирование.....	10
3.4.Технические средства диагностики.....	10
4.МЕТОДЫ ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ.	
4.1.Общие принципы.....	12
4.2.Методы поиска неисправностей в аналоговых системах.....	20
4.3.Методы поиска неисправностей в цифровых системах автоматизации.	
4.3.1.Логический и сигнатурный анализ.....	27
4.3.2.Поиск неисправностей в микропроцессорных системах.....	36
4.3.3.Диагностика интерфейсов микропроцессорных систем.....	43
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	55