

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

**КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА**

Институт «Автоматика и телекоммуникации»

Кафедра «Робототехники и технических средств автоматизации»



УЧЕБНО – МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ СТУДЕНТА

**По дисциплине «Методы диагностики технических систем»
Специальность 050716 – Приборостроение**

Алматы 2009

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Методы диагностики технических систем» для студентов КазНТУ имени К.И. Сатпаева по специальности 050716 - Приборостроение.
Составитель: Азелханов А.К.

Составитель: ст. препод. Азелханов Азелхан Курганбаевич

Аннотация

В учебно-методическом комплексе по дисциплине «Методы диагностики технических систем» рассматриваются основные методы контроля работоспособности систем и диагностирования неисправностей. Приведены основы моделирования состояний непрерывных и цифровых систем. Рассмотрены вопросы выбора минимального набора контролируемых параметров систем диагностики с требуемой глубиной поиска. Кроме того, рассмотрены основные структуры тестового и функционального диагностирования как микропроцессорных систем, так и правильность произведенных монтажных работ при вводе их в эксплуатацию. Учебно-методический комплекс разработан в соответствии с действующей типовой программой по курсу «Методы диагностики технических систем» для бакалавриата.

1. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ-SYLLABUS

1.1 Данные о преподавателях

Преподаватель, ведущий занятия: Азелханов Азелхан Курганбаевич.

Контактная информация: 8 (7272) -92-70-45. Время пребывания на кафедре: 418 ВК

1.2 Данные о дисциплине

Название: Методы диагностики технических систем

Количество кредитов: 3

Место проведения: аудитория, офис-кафедра 418 ВК.

Таблица 1

Курс	Семестр	Кредиты	Академических часов в неделю					Форма контроля
			Лекции	Лабораторные работы	СРС	СРСП	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	7	3	2	1	3	3	9	Экзамен

1.3 Пререквизиты

Материал дисциплины базируется на сведениях, излагаемых в дисциплинах: Физики - электричество, магнетизм; высшей математики - дифференцирование, интегрирование, ряды; электротехники - линейные и нелинейные цепи; электроники - аналоговые и цифровые элементы; теория автоматического управления - анализ и синтез линейных и нелинейных систем.

1.4 Постреквизиты

Данная дисциплина является основой для обеспечения надежности функционирования систем путем разработки и внедрения методов диагностирования и контроля в технологический процесс производства.

1.5 Краткое содержание дисциплины

Цель дисциплины состоит в изучении основных методов технической диагностики, задач тестового и функционального диагностирования систем; методов построения моделей неисправностей логических схем и алгоритмов диагностирования.

Основной задачей является ознакомление студентов с основными методами распознавания состояний технических объектов, контроля работоспособности непрерывных и цифровых систем.

При изучении дисциплины студент должен:

Знать:

- моделирование неисправностей автоматических систем;
- методы контроля работоспособного состояния непрерывных систем;
- методы диагностирования микропроцессорных систем.

Уметь:

- разрабатывать математическую модель неисправностей технических систем;
- произвести выбор оптимального набора контролируемых параметров системы диагностики;
- разрабатывать алгоритмы диагностирования непрерывных и цифровых систем.

1.6 Виды заданий и сроки их выполнения

Таблица 2

Виды контроля	Вид работы	Тема работы	Ссылки на рекомендуемую литературу с указанием страниц	Сроки сдачи
1	2	3	4	6
Текущий контроль	Самостоятельная работа 1	Метод таблицы функций неисправностей	1осн.[50-67], 1доп.(63-72]	1-нед.
	Лабораторная работа №1	Знакомство с работой пакета Digital Works	4доп.[59-67]	2-нед.
	Самостоятельная работа 2	Метод существенных путей	1осн.[108-112], 1доп.[122-132]	2-нед.
	Самостоятельная работа 3	Д-алгоритм	1осн.[120-126], 1 доп.[233-252]	3-нед.
	Лабораторная работа №2	Методы и алгоритмы поиска неисправностей электронных схем	1осн.[33-41], 4доп.[44-51]	4-нед.
	Самостоятельная работа 4	Метод эквивалентной нормальной формы	5осн.[106-115], 1доп.[114-152]	4-нед.
	Самостоятельная работа 5	Булево дифференцирование	1осн.[130-138], 1доп.[81-93]	5-нед.
	Самостоятельная работа 6	Обнаружение коротких замыканий	5осн.[121-131], 1доп.[253-280]	6-нед.
	Лабораторная работа №3	Работа электронных схем с обратными связями	1осн.[89-94], 5доп.[44-51]	6-нед.
	Самостоятельная работа 7	Вероятностное тестирование	5осн.[121-131], 1доп.[253-280]	7-нед.
	Лабораторная работа №4	Работа электронных схем с устройствами задержки	1осн.[138-147], 6доп.[57-62]	8-нед.
	Самостоятельная работа 8	Проверяющие и диагностические тесты	1осн.[94-108], 1доп.[101-117]	8-нед.
	Самостоятельная работа 9	Прогнозирование состояний технических систем	1осн.[94-193], 1доп.[167-184]	9-нед.
	Самостоятельная работа 10	Показатели качества прогнозирования	1осн.[267-209], 1доп.[211-237]	10-нед
	Лабораторная работа №5	Работа с электронными печатными платами	1осн.[147-158], 6осн.[156-168]	10-нед
	Самостоятельная работа 11	Информационные аспекты прогнозирования	1осн.[267-209], 1доп.[211-237]	11-нед
	Самостоятельная работа 12	Выбор прогнозирующих параметров	1осн.[267-209], 1доп.[211-237]	12-нед
	Лабораторная работа №6	Разработка электронных систем автоматики на базе цифровых элементов	1осн.[159-167], 7доп.(109-114)	12-нед
	Самостоятельная работа 13	Прогнозирование одномерных временных рядов	1осн.[50-89], 2доп.[94-168]	13-нед
	Самостоятельная работа 14	Вероятностное прогнозирование случайных процессов	1осн.[172-305], 2доп.[168-310]	14-нед
	Лабораторная работа №7	Работа с электронными печатными платами сложных электронных устройств	1осн.[172-181], 7доп.[188-198]	14-нед

	Самостоятельная работа 15	Прогнозирование как распознавание образов	1осн.[295-309], 1доп.[287-302]	15-нед
Рубежный контроль	Тестовый контроль 1	Модуль 1	1осн.[50-89], 2доп.[94-168]	8-нед.
	Тестовый контроль 2	Модуль 2	1осн.[172-305], 2доп.[168-310]	15-нед
Ито- говый кон- троль	Экзамен			

1.7 Список литературы

Основная литература

1. Глущенко П.В. Техническая диагностика. - М.: Вузовская книга, 2004.
2. Калявин В.П. Основы теории надежности и диагностики. - СПб.: Элмор, 1998.
3. Мироновский Л.А. Функциональное диагностирование динамических систем. - М,1 МГУ ГРИФ, 1998.
4. Сагалович Ю.Л. Алгебра, коды, диагностика. - М.: РАН, Институт проблем управления, 1993,
5. Глущенко В.В. Прогнозирование. - М.: Вузовская книга, 2006.

Дополнительная литература

1. Пархоменко П.П. Основы технической диагностики. - М.: Энергоатомиздат, 1981.
2. Согомонян Е.С. Самоуправляемые устройства и отказоустойчивые системы.- М.: Радио и связь, 1989.
3. Технические средства диагностирования: Справочник./ Под ред. В.В.Клюева - М.: Машиностроение, 1989. Герасимов В.Г. Основы промышленной электроники. - М: Высшая школа, 1986.
4. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника. - М.: Высшая школа, 1991.
5. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. - М.: Высшая школа, 1982.
6. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. - СПб.: Изд. «Лань», 2001
7. Жеребцов И.П. Основы электроники. - Л.: Энергоатомиздат, 1985.

1.8 Контроль и оценка знаний

Распределение рейтинговых % по видам контроля Таблица 3

Вид итогового контроля	Вид контроля	%
Экзамен	Экзамен	100
	Рубежный контроль	100
	Текущий контроль	100

Календарный график сдачи всех видов контроля по дисциплине

Таблица 4

Недели	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Виды контроля	С1	С2 Л1	С3	С4 Л2	С5	С6 Л3	С7	С8 Л4	С9	С10 Л5	С11	С12 Л6	С13	С14 Л7	С15 РК
Недельная кол-во контроля	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2

Л - лабораторные работы; С - самостоятельная работа, РК - рубежный контроль.

Итоговая оценка определяется по следующей шкале:

Таблица 5

Оценка	Буквенный эквивалент	в процентах %	В баллах
Отлично	А	95-100	4

	A-	90-94	3,67
Хорошо	B+	85-89	3,33
	B	80-84	3,0
	B-	75-79	2,67
	C+	70-74	2,33
Удовлетворительно	C	65-69	2,0
	C-	60-64	1,67
	D+	55-59	1,33
	D	50-54	1,0
	F	0-49	0
Неудовлетворительно			

Вопросы для проведения контроля по 1 модулю:

1. Какие существуют состояния ОД?
2. Чем отличается полный отказ от частичного?
3. Перечислите 5 задач диагностирования.
4. Чем отличается проверочный тест от диагностического?
5. Что представляет собой ТФН?
6. Что входит в систему диагностирования?
7. Чем отличается тестовое диагностирование от функционального?
8. Что понимается под достоверностью работы СД?
9. Что входит в полную группу событий работы СД?
10. Чему равен коэффициент избыточности СД?
11. Что называется путем диагностирования контактов?
12. Что называется сечением диагностирования контактов?
13. Что представляет собой инверсная схема?
14. Какие типы отказов существуют в контактах?
15. Что представляет собой ЭНФ?
16. Что понимается под ошибкой в логических элементах?
17. Что понимается под отказом в логических элементах?
18. Что понимается под неисправностью в логических элементах?
19. Какая между ними причинно-следственная связь?
20. Привести примеры глобального и местного влияния неисправностей на систему.

Вопросы для проведения контроля по 2 модулю:

1. Что понимается под сжатием информации?
2. Что такое максимальное сжатие информации?
3. Какую операцию выполняет блок М2?
4. Как выполняются операции умножения и деления с многочленами?
5. Что называется сигнатурой?
6. Что представляет собой сигнатурный анализатор?
7. Пояснить работу схемы деления на многочлен.
8. Какие существуют подходы при построении тестов МПС?
9. В чем заключается программное тестирование?
10. В чем заключается вероятностное тестирование?
11. Чем отличается компактное тестирование от сигнатурного?
12. Сколько наборов входит в тест двухместной логической операции?
13. Можно ли обнаружить кратные неисправности с помощью этих наборов?
14. Сколько наборов входит в проверку сумматора с последовательным переносом?
15. Чем отличается вероятностный метод от детерминированного?
16. Что такое априорная вероятность диагноза?
17. Что такое апостериорная вероятность диагноза?
18. Чему равно отношение двух апостериорных вероятностей?
19. Какой вид имеет обобщенная формула Байеса?

20. Что представляет собой диагностическая таблица?

Перечень вопросов для проведения промежуточной аттестации

1. Что понимается под технической диагностикой?
2. Что входит в задачу диагноза?
3. Что входит в задачу прогноза?
4. Что входит в задачу генезиса?
5. Что является диагностическим признаком?
6. Что понимается под самопроверяемостью системы?
7. Какие виды самопроверяемых систем существуют?
8. Чему равен коэффициент избыточного времени при тестовом диагностировании?
9. Какие три основных вида алгоритмов используются на практике?
10. Чем отличается условный алгоритм от безусловного?
11. Что описывает ОЭНФ?
12. Как включены в схеме два совместимых контакта?
13. Как включены в схеме два несовместимых контакта?
14. Что представляет собой матрица отношений?
15. Сформулируйте условия обнаружения неисправностей контакта: обрыв и КЗ.
16. Перечислите три допущения при построении модели логической константной неисправности.
17. Что понимается под покрытием неисправностей?
18. Какие неисправности характерны для резисторов?
19. Какие неисправности характерны для транзисторов?
20. Чему равна длина теста для n -входового логического элемента?

1.9 Политика и процедура курса

Требования: студент обязан посещать занятия, своевременно сдавать отчеты по всем видам контроля, В случае пропуска занятий, студент должен представить отчеты по конкретно пропущенным материалам. Своевременно сдавать отчеты по лабораторным работам, которые являются обязательным условием для получения аттестации по первому и второму модулям.

2. СОДЕРЖАНИЕ АКТИВНОГО РАЗДАТОЧНОГО МАТЕРИАЛА

2.1 Тематический план курса

Таблица 6

№	Наименование темы	Количество академических часов			
		лекции	Лаб. работы	СРС	СРСП
1	2	3	4	5	6
1	Основы теории технической диагностики	2	2	3	3
2	Основы технической тесты	2		3	3
3	Системы диагностирования	2	2	3	3
4	Построения тестов	2		3	3
5	Теория контроля контактных схем	2	2	3	3
6	Условия обнаружения одиночной неисправности контакта	2	2	3	3
7	Тестирование логических схем	2		3	3
8	Тесты логических элементов	2		3	3
9	Диагностирование БИС с памятью	2	2	3	3
10	Работа регистра	2		3	3
11	Диагностирование микропроцессорных систем	2	2	3	3
12	Тестирование программ	2		3	3
13	Диагностирование непрерывных систем	2	3	3	3

14	Логическая модель непрерывной системы	2		3	3
15	Логические функционально-диагностические модели (ФДМ)	2		3	3
16	Всего	30	15	45	45

2.2 Конспект лекционных занятий

Лекция 1. Основы технической диагностики

1.1 Основные понятия и определения

Под технической диагностикой понимается область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объекта. Техническое состояние характеризуется в определенный момент времени при заданных условиях внешней среды значениями параметров, установленных технической документацией на объект.

Процесс определения технического состояния объекта называется диагностированием. Результат диагностирования, т.е. заключение о техническом состоянии объекта, называется диагнозом. В общем случае различают три типа задач по определению состояния объекта: диагноза, прогноза и генезиса.

Задача диагноза - это определение состояния, в котором находится объект в настоящий момент времени. Она возникает при решении вопроса о работоспособности и исправности объектов, поиске в них неисправностей, при проверке устройств после их изготовления.

Задача прогноза состоит в предсказании состояния, в котором окажется технический объект в некоторый последующий момент времени. Такая задача часто решается при эксплуатации устройств автоматики, имеющих длительный срок службы. При этом определяется периодичность профилактических проверок и ремонтов с целью предсказания и недопущения выхода устройств из строя.

Задача генезиса заключается в определении состояния, в котором находился технический объект ранее. Правильное решение этой задачи важно для систем при определении причин отказов систем с целью их дальнейшего предупреждения.

На практике наиболее часто решается задача диагноза. Более того, при решении задач прогноза и генезиса всегда приходится решать и задачу диагноза.

Технический объект (система, прибор, устройство и т.п.), для которого решается задача распознавания состояния, называется объектом диагностирования (ОД).

В качестве ОД могут выступать любые технические системы, которые удовлетворяют двум условиям: могут находиться, по крайней мере, в двух взаимоисключающих и различных состояниях (например, работоспособном и неработоспособном); в них можно выделить элементы, каждый из которых также характеризуется указанными различимыми состояниями.

Главной отличительной особенностью объекта технического диагностирования является то, что его состояние в целом рассматривается как функция, зависящая от состояний входящих в него элементов. Примером ОД может служить схема управления лифта, которая предназначена для вызова кабины, задания маршрута и открытия дверей. Схема имеет работоспособное и неработоспособное состояния. Работоспособным является состояние, при котором выполняются все заданные функции. В тоже время схема имеет множество неработоспособных состояний, при которых не выполняются любая из перечисленных функций. Схему содержит блоки, которые имеют работоспособные и неработоспособные состояния. Блоки, в свою очередь, являются ОД, так как в качестве элементов они имеют различного типа реле, датчики и т.д., которые тоже имеют работоспособное и неработоспособное состояния. Поиск неисправности в блочной системе состоит из двух этапов. Сначала систему рассматривают как совокупность блоков, где находится неисправный блок. Затем последний анализируют как совокупность элементов и находят неисправный элемент. Состояние ОД оценивается по диагностическим признакам.

Диагностическим признаком называется параметр или характеристика, используемый при диагностировании. В качестве параметров могут выступать значения сигналов (физические величины) какого-либо рода на отдельных выходах системы или во внутренних кон-

трольных точках. В системах автоматики, телемеханики и связи в качестве параметров наиболее часто используются напряжение, сила тока, частота тока, сопротивление цепи, мощность и др. Характеристики, представляющие собой зависимость одной физической величины от другой, используются при диагностировании устройств связи, измерительных приборов и в других случаях.

При диагностировании сложных многофункциональных систем управления в качестве параметра специального вида можно рассматривать возможность системы выполнять те или иные отдельные заданные функции.

Диагностические признаки делятся на основные и вспомогательные. Основные характеризуют выполнение системой заданных функций, а вспомогательные - удобство эксплуатации, внешний вид и т.п. Каждому состоянию ОД соответствует определенное значение диагностического признака.

Диагностические признаки выбираются в результате анализа диагностической модели, под которой понимается формальное описание ОД в аналитической, табличной, графической и других формах, учитывающее изменение его состояний.

Различают четыре вида состояний ОД: исправные, неисправные, работоспособные и неработоспособные. Систему называют *исправной*, если она соответствует всем предъявляемым к ней требованиям (фиксируются в нормативной документации), когда все ее параметры, как основные, так и вспомогательные, находятся в пределах заданной нормы. Выход за эти пределы любого параметра означает, что система *неисправна*. Система находится в *работоспособном состоянии*, если ее основные параметры находятся в пределах заданной нормы и она правильно выполняет заданные функции. Выход хотя бы одного основного параметра за пределы заданной нормы переводит систему в множество *неработоспособных состояний*. Утрату работоспособности также называют отказом. Работоспособная система может быть как исправной, так и неисправной. Исправная система всегда работоспособна. Неисправная система может быть как работоспособной, так и неработоспособной. Неработоспособная система всегда неисправна.

Диаграмма состояний ОД показана на (рис.1.1). Полное множество возможных состояний.

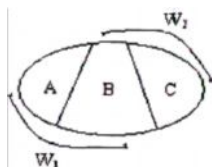


Рисунок 1.1- Диаграмма состояний ОД

Полное множество возможных состояний:

$$W = A \cup B \cup C$$

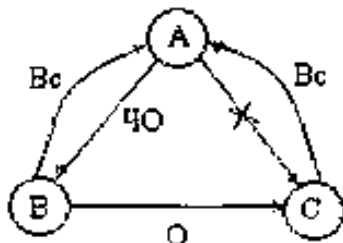
где A - множество состояний исправных систем; B - множество состояний неисправных, но работоспособных систем; C - множество состояний отказавших систем.

Множества состояний работоспособных и неисправных систем соответственно

$$W_1 = A \cup B, W_2 = B \cup C$$

При построении технических систем важнейшей задачей является синтез контролепригодных систем с повышенным уровнем надежности. Их построение связано с введением большого числа состояний S_i , принадлежащих множеству B . При этом система строится таким образом, чтобы при всех наиболее вероятных отказах ее элементов (частичных отказах) был невозможен переход системы из множества состояний A в множество C , а система оказывалась бы в множестве состояний B . В этом случае система продолжает выполнять свои основные функции (может быть с ухудшенными показателями), но имеется возможность зафиксировать возникшую неисправность и устранить ее, тем самым предупредив потерю системой работоспособности. На (рис.1.2) приведен граф переходов между состояниями системы с учетом процесса диагностирования.

Если ОД находится в работоспособном состоянии и выполняет заданные функции, то говорят, что объект *функционирует штатно*. Если объект выполняет часть функций, находясь в неработоспособном состоянии, то говорят, что *он функционирует нештатно*. Поэтому наряду с полным отказом, приводящим к полной потере работоспособности, различают частичный отказ, который приводит к потере работоспособности и нештатному функционированию. Например, полный отказ схемы управления лифтом заключается в невозможности вызова, т.е. обрыв в цепи питания приводом. Система имеет частичные отказы, когда теряется возможность установки некоторых (но не всех) маршрутов движения лифта.



Вс - восстановление; ЧО - частичный отказ; О - отказ.
Рисунок 1.2 - Граф переходов между состояниями объекта

Относительно отдельных элементов различают также третий тип отказа - перемежающийся отказ. Такой отказ попеременно исчезает, а затем снова появляется. Это затрудняет определение местоположения отказавшего элемента, так как при проверке системы, в которую входит элемент, она может оказаться работоспособной, а через некоторое время неработоспособной.

Причиной потери работоспособности является дефект (от лат. *defectus* - изъян, недочет, недостаток). В ОД, состоящем из нескольких элементов, дефектом являются отказ элемента, нарушение связи или появление связи между элементами. В электронной аппаратуре иногда дефект определяют как неисправность. Тогда под исправным ОД понимают объект, в котором нет ни одного дефекта (неисправности). Неисправный ОД содержит хотя бы один дефект.

В системах с избыточностью (структурной, временной, информационной) не всякая неисправность приводит к потере работоспособности. Для этого может потребоваться накопление неисправностей которые возникают последовательно во времени. В тех случаях, когда в системе возникла неисправность, но система не потеряла работоспособность, говорят, что запас работоспособности снизился, и следовательно, повысилась вероятность отказа системы в дальнейшем.

1.2 Задачи технической диагностики

При диагностировании решаются задачи точного определения состояния, в котором находится система, или установления множества состояний, в одном из которых она находится. Это определяется тем, какая задача ставится при исследовании ОД. Различают пять задач диагностирования.

Первая задача диагностирования - проверка исправности, при которой решается задача обнаружения в объекте любой неисправности, переводящей ОД из множества исправных состояний A в множество неисправных состояний W_2 (рис.1.1). Она возникает при изготовлении устройств на заводах, включении их после долгого хранения или ремонта. При введении в эксплуатацию устройств проверяют все элементы, узлы, цепи, источники питания и изоляцию. Часто это очень трудоемкий процесс, для упрощения которого необходимо применять методы технического диагностирования.

Вторая задача диагностирования - проверка работоспособности, при которой решается задача обнаружения тех неисправностей, которые переводят ОД из множества работоспособных систем W_1 в множество отказавших систем C . Во время проверки работоспособности можно оставлять необнаруженными неисправности, не препятствующие применению системы по назначению. Например, при наличии резервирования система может быть работоспособна, несмотря на наличие неисправностей в резервных элементах. Проверка работоспособ-

ности осуществляется при включении объекта в работу или при профилактических осмотрах, а также когда имеется ограничение на время, отведенное для проверки устройств.

Третья задача диагностирования - проверка правильности функционирования - решается во время работы ОД. При этом достаточно следить за тем, чтобы в объекте не появились неисправности, нарушающие ее нормальную работу в настоящий момент времени, и исключить недопустимое для нормальной работы влияние неисправностей. Проверка правильности функционирования позволяет делать вывод о правильной работе ОД только в *данном режиме* и в данный момент времени. В них надо следить за тем, чтобы искажение алгоритма функционирования не приводило к опасным последствиям в поведении объекта управления.

Четвертая задача диагностирования - поиск неисправностей (дефектов), при котором решается проблема точного указания в объекте неисправного элемента или множества элементов, среди которых находится неисправный элемент. Поиск дефектов может осуществляться в неисправных, неработоспособных и в неправильно функционирующих устройствах во время наладки при производстве и во время ремонта при эксплуатации и хранении. Результатом процесса поиска неисправностей является разбиение множества состояний W_2 (если исследуется неисправный объект) или множества состояний C (если исследуется неработоспособный объект) на классы неразличимых между собой (эквивалентных) состояний, а также соответствующих им неисправностей. Эквивалентными неисправностями называются такие, которые нельзя отличить друг от друга при принятом способе диагностирования. При этом решается вопрос - в каком из классов эквивалентных состояний находится ОД. Число классов определяет ту степень детализации, которая достигается при поиске неисправностей. Ее называют глубиной диагноза (поиска).

Например, в любой блочной системе дефекты всех элементов, входящих в один блок, образуют в большинстве случаев один класс эквивалентных неисправностей. Поиск неисправностей в этом случае ведется до неисправного блока, замена которого на исправный обеспечивает восстановление работоспособности системы.

Пятая задача диагностирования - прогнозирование состояния ОД, для решения которой изучается характер изменения диагностических параметров и на основе сформировавшихся тенденций предсказываются значения параметров в будущий момент времени.

Эффективность диагностирования ОД достигается в том случае, когда задачи диагностирования учитываются на всех этапах жизни технического объекта (рис.1.5). При проектировании решаются общие вопросы организации системы диагностирования. На основе анализа ОД составляется его диагностическая модель, проектируются технические средства диагностирования (СД), а также оценивается эффективность диагностирования.

При изготовлении объекта целесообразно одновременно изготавливать и СД. При этом главной задачей является обеспечение всех требований, предъявляемых к ОД и СД. При сборке и наладке ОД может возникать задача поиска дефектов. На заключительной стадии осуществляется выходной контроль и производится проверка исправности объекта.

В процессе эксплуатации диагностирование ведется непрерывно или периодически с целью контроля правильности функционирования или работоспособности объекта.

Основная литература: 1[6-24] Дополнительная литература: 1[5-18]

Контрольные вопросы.

1. Что понимается под технической диагностикой?
2. Что входит в задачу диагноза?
3. Что входит в задачу прогноза?
4. Что входит в задачу генезиса?
5. Что является диагностическим признаком?
6. Какие существуют состояния ОД?

Лекция 2. Основы технической тесты

2.1 Тесты диагностирования

Объект диагноза ОД представляют в виде устройства, имеющего входы и доступные для наблюдения выходы. Процесс диагностирования представляет собой последовательность операций, каждая из которых предусматривает подачу на входы объекта некоторого воздействия и определения на выходах реакции на это воздействие. Такую элементарную операцию называют проверкой π . В качестве выходов наблюдения могут служить основные или рабочие выходы системы, а также и дополнительные (контрольные) выходы.

Совокупность проверок, позволяющую решать какую-либо из задач диагноза, называют тестом: $T = \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$. Под длиной теста L понимают число входящих в него проверок.

По назначению тесты делят на проверяющие и диагностические. Проверяющий тест T_{π} - это совокупность проверок, позволяющая обнаружить в системе любую неисправность из заданного списка (множества). Проверяющий тест решает задачи проверки исправности системы (в этом случае в список неисправностей включают все возможные в системе неисправности) и проверки работоспособности (в список включают только те неисправности, которые приводят к отказу системы). Диагностический тест T_d - это совокупность проверок, позволяющая указать место неисправности с точностью до классов эквивалентных неисправностей. Он позволяет решать задачу *поиска* неисправностей. Важной характеристикой процедур диагностирования является полнота обнаружения неисправностей, задающая долю гарантированно обнаруживаемых неисправностей относительно всех заданных или рассматриваемых неисправностей объекта диагноза. Это фактически определяет ограничение, накладываемое на процесс обнаружения неисправностей, и в конечном итоге определяет *глубину* диагностирования.

По полноте обнаружения неисправностей различают одиночный, кратный и полный тесты. Одиночный тест обнаруживает в устройстве все одиночные повреждения входящих в него элементов. Кратный тест обнаруживает все возможные совокупности из k одиночных неисправностей элементов, причем тест кратности k должен фиксировать не только все совокупности из k одиночных неисправностей, но и все неисправности меньшей кратности, в том числе все одиночные неисправности. Полный тест обнаруживает неисправности любой кратности. Использование того или иного теста определяется решаемой задачей диагноза. Так, при исследовании устройства, в котором неисправность возникла в процессе функционирования, как правило, используют одиночные тесты, так как вероятность возникновения одновременно нескольких неисправностей невелика. По сравнению с одиночными полные тесты имеют гораздо большую длину и поэтому требуют для испытания устройства больше времени. Их применяют при контроле устройств в процессе изготовления, когда вероятность одновременного существования нескольких повреждений повышается из-за дефектов комплектующих изделий и ошибок в монтаже и настройке.

В зависимости от длины различают тривиальный, минимальный и минимизированный тесты. Тривиальный тест, содержащий все возможные для данной системы проверки, имеет максимальную длину. Применение тривиального теста предусматривает полное моделирование работы устройства. Наименьшее число проверок имеет минимальный тест T_{min} . Он обеспечивает решение заданной задачи диагноза, при этом для данного устройства не существует другого теста с меньшим числом проверок.

Построение T_{min} требует больших вычислений, поэтому на практике чаще строят минимизированные тесты, имеющие длину, близкую к длине минимальных тестов. С помощью теста строится процедура диагностирования, в основе которой лежат *алгоритм диагностирования*, представляющий собой последовательность элементарных проверок, составляющих тест, и правила анализа результатов этих проверок. Алгоритм диагностирования реализуется средствами диагностики.

2.2 Математические модели объектов диагноза

Объекты диагноза подразделяют на два класса; непрерывные и дискретные. Непрерывные (аналоговые) объекты имеют такие входные, внутренние и выходные сигналы, которые могут принимать значения из некоторых непрерывных множеств значений, а время, в котором дается описание объекта, отсчитывается непрерывно. Дискретные объекты имеют такие сиг-

налы, значения которых задаются на конечных множествах, а время отсчитывается дискретно. Возможны также гибридные системы, в которых одни сигналы являются непрерывными, а другие - дискретными.

Кроме того, объекты диагноза делят на комбинационные и последовательные. Комбинационные, или объекты без памяти, характеризуются взаимно однозначным соответствием между входными и выходными сигналами. Последовательные, или объекты с памятью, имеют выходные сигналы, значения которых зависят не только от значений входных сигналов, но и от времени. Для построения тестов и алгоритмов диагноза необходимо иметь формальное описание объекта и его поведения в исправном и неисправном состояниях. Такое формальное описание называют математической моделью объекта диагноза. Различают модели с явным и неявным описанием неисправностей. Явная модель объекта диагноза состоит из описаний его исправной и всех неисправных модификаций. Неявная модель содержит описание исправного объекта, математические модели его физических неисправностей и правила получения по ним всех неисправных модификаций объекта. Выбор модели является важным элементом процесса организации процедуры диагноза. Наиболее общий характер имеет модель ОД в виде *таблицы функций неисправностей* (ТФН)

Таблица 2.1

Проверка	Результат проверки R в состоянии S_i				
	S_0	...	S_i	...	S_k
π_i	R_0^1		R_i^1	...	R_k^1
...
π_n	R_0^n		R_i^n	...	R_k^n

Эта таблица является явной моделью и может быть построена для объекта любой физической природы. В строках таблицы указывают все возможные проверки π_i которые могут быть использованы в процедуре диагностирования, и следовательно, включены в тест. Графы таблицы соответствуют исправному S_0 и всем возможным, неисправным состояниям: $S_1, S_2 \dots S_k$. Каждое не исправное состояние соответствует одной неисправности (одиночной или кратной) из заданного класса неисправностей, относительно которого строится тест. На пересечении i -й графы и j -й строки проставляется результат R_i^j j -й проверки для системы, находящейся в i -м состоянии. Если значение проверки R_i^j в объекте с i -й неисправностью совпадает с ее значением в исправном объекте, то в таблице записывается $R_i^j=1$; в противном случае $R_i^j=0$.

Таким образом, информация в ТФН записывается в двоичном коде (табл. 2.2). В (табл. 2.2) приведен ТФН для ОД с пятью состояниями. Графа S_0 всегда заполняется единицами - исправное состояние. Если две графы заполнены одинаково, то они соответствуют эквивалентным неисправностям и могут быть объединены - графы S_2 и S_3 . Если во всех элементах графы проставлены единицы (например, графа S_4), то она соответствует неисправности, которая не может быть обнаружена принятым методом диагностирования. Такая графа исключается из ТФН. На основании указанных свойств строится преобразованная ТФН, из которой также исключается графа S_0 .

Таблица 2.2

Проверка	Результат проверки R в состоянии S_i				
	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4
π_1	1	1	0	0	1
π_2	1	0	1	1	1
π_3	1	0	1	1	1

ТФН содержит всю необходимую информацию для получения тестов, которые находят с помощью специально математической обработки таблицы. Недостатком ТФН являются ее большие размеры, так как число столбцов таблицы определяется общим числом возможных неисправностей в ОД. Кроме того, если результат проверки в ТФН записывается в двоичной форме, то она является логической моделью ОД. В ряде случаев логическая модель существенно упрощает объект и сокращает круг задач технического диагностирования. Однако ТФН очень наглядна и удобна для анализа любого устройства и ее часто используют как непосредственно, так и в сочетании с другими моделями.

Для непрерывных систем используют модели в виде графов причинно-следственных связей или диаграмм прохождения сигналов, а также топологические модели. Для дискретных систем применяют таблицы истинности, логические сети, альтернативные графы, эквивалентную нормальную форму представления булевых функций, таблицы переходов-выходов многотактных схем и интерактивные модели. Выбор модели влияет на глубину и трудоемкость процесса диагностирования.

Основная литература: 1[6-24] Дополнительная литература: 1[5-18]

Контрольные вопросы

1. Что является диагностическим признаком?
2. Какие существуют состояния ОД?
3. Чем отличается полный отказ от частичного?
4. Перечислите 5 задач диагностирования.
5. Чем отличается проверочный тест от диагностического?
6. Что представляет собой ТФН?

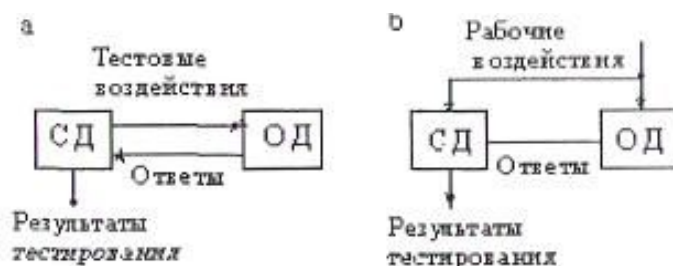
Лекция 3. Системы диагностирования

3.1 Основные виды систем диагностирования

При решении какой-либо задачи диагностирования исследуемый объект подвергается некоторым испытаниям. В общем случае процесс диагностирования представляет собой многократную подачу НИ объект определенных входных воздействий, многократное измерение и анализ ответов (выходных сигналов или реакций) на эти воздействия, которые могут поступать на входы объекта от средств диагностирования (СД) или являться внешними (рабочими) сигналами, определяемыми алгоритмом функционирования устройства. Измерение и анализ ответов объекта всегда осуществляется средствами диагностирования. Взаимодействующие между собой ОД и СД образуют *систему диагностирования*. Различают два вида систем диагностирования: тестового и функционального (рис. 3.1).

Система *тестового диагностирования* (рис.3.1.а) предусматривает подачу воздействий на ОД СО стороны СД, т.е. ОД не принимает участие в рабочем функционировании. При этом каждое очередное воздействие можно назначать в зависимости от ответов объекта на предыдущие воздействия. Воздействия в такой системе называют *тестовыми*.

В системе *функционального диагностирования* (рис. 3.1, б) СД не формирует воздействий на ОД. На ОД и СД поступают рабочие воздействия, предусмотренные алгоритмом функционирования объекта. Система диагностирования действует в процессе рабочего функционирования ОД и решает задачи правильности функционирования и поиска неисправностей, нарушающих нормальное функционирование.



а - тестовое диагностирование; б -функциональное диагностирование

Рисунок 3.1 - Системы диагностирования технического состояния ОД

Функциональные схемы этих систем диагностирования содержат одинаковые блоки: блок управления для хранения алгоритма диагностирования и управления работой средств диагностирования; блок модели объекта диагноза (МОД), вырабатывающий информацию о возможных технических состояниях ОД в виде результатов элементарных проверок, входящих в тест; измерительное устройство; интерфейс для связи ОД и СД; блок обработки результатов. В отличие от функционального в тестовом предусмотрен дополнительный блок источника воздействий, который вырабатывает элементарные проверки теста и через интерфейс подает их на ОД и МОД. В обоих случаях в блоке обработки результатов сравниваются результаты элементарных проверок, снимаемых с выходов ОД и формируемых МОД.

В конечном итоге процедура диагностирования сводится к сравнению работы идеально-го устройства (задается моделью ОД) и реального исследуемого устройства. Число неисправностей в реальном устройстве, как правило, велико, поэтому процедура диагностирования сложна и требует большого числа измерительных и вычислительных операций. Для проведения процедуры диагностирования требуется решение следующих основных задач: выбор и построение модели ОД, синтез теста, построение алгоритма диагностирования, синтез и реализация средств диагностирования.

3.2 Функциональное диагностирование

Представим схему системы функционального диагностирования в виде схемы из двух блоков (рис.3.2). В ней вся дополнительная аппаратура объединена в едином блоке - схеме контроля (СК). Результатом диагностирования является *сигнал ошибки*, который формируется при возникновении дефекта в ОД, а также, может быть, и в самой СК.

Для оценки эффективности функционального диагностирования используется специальная характеристика - *достоверность результата работы D*. Это вероятность, с которой оценивается истинность результата, получаемого на выходе ОД. Достоверность D отражает как надежностные характеристики ОД и СК, так и информационные возможности используемого метода контроля.

В общем случае могут иметь место три возможных события: ОД с контролем работает правильно; ОД с контролем показывает наличие ошибки (ошибки могут обнаруживаться либо только в ОД, либо как в ОД, так и в СК); о работе ОД с контролем нельзя сказать ничего определенного (неопределенный результат).

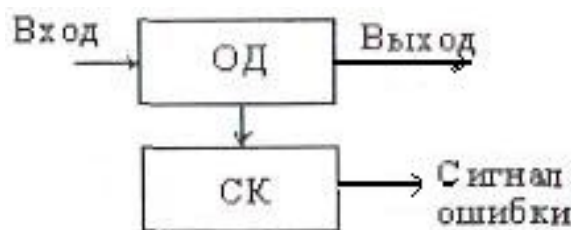


Рисунок 3.2 - Блок-схема функционального диагностирования

В самом деле, если объект работает правильно или используемый метод контроля позволяет обнаружить ошибку, то такой результат правильно отражает истинное состояние ОД. Если ошибка произошла, а используемый метод контроля не смог ее обнаружить, или если ошибки нет, а схема контроля показывает наличие ошибки, то об истинном состоянии ОД с контролем ничего сказать невозможно. В этом случае имеет место неопределенность.

Указанные три события образуют полную группу событий. Обозначим вероятности их появления соответственно: $P_{пр}(t)$ - вероятность правильной работы ОД; $P_{оо}(t)$ - вероятность обнаружения ошибки в работе ОД или СК; $P_{нр}(t)$ - вероятность неопределенного результата, тогда:

$$P_{пр}(t) = P_{оо}(t) + P_{нр}(t) = 0 \quad (3.1)$$

Из данной формулы следует, что достоверность:

$$D(t) = P_{\text{пр}}(t) + P_{\text{оо}}(t) = 1 - P_{\text{нр}}(t) \quad (3.2)$$

Для нахождения вероятности появления каждого из событий необходимо учитывать обнаруживающую способность выбранного метода контроля и вид его реализации. Под методом контроля понимают *математический метод*, обеспечивающий проверку правильности функционирования ОД. Под видом контроля понимают *способ* аппаратной или программной реализации выбранного метода контроля.

Обозначим через $P_{\text{обн}}$, вероятность, характеризующую способность применяемого метода контроля обнаруживать ошибки. Она зависит от глубины охвата контролем заданного ОД и самой схемы контроля, а также кратности обнаруживаемых дефектов. Способ вычисления $P_{\text{обн}}$ определяется используемым методом контроля.

Обозначим через $P_{\text{исх}}$ вероятность безотказной работы исходного объекта диагноза, а через $P_{\text{к}}$ - вероятность безотказной работы схемы контроля.

Для нахождения величин $P_{\text{пр}}$, $P_{\text{оо}}$ и $P_{\text{нр}}$ будем использовать таблицу истинности булевых функций (табл.3.1), соответствующих событиям, отвечающим указанным вероятностям. Булевы функции определим следующим образом. Если ОД работает правильно, то придадим этому событию значение $p=1$; в противном случае значение $p=0$. Событию, когда выбранный метод контроля позволяет обнаруживать дефекты, присвоим значение $p=1$, а событию, когда выбранным методом контроля дефекты не обнаруживаются - значение $p=0$.

Таблица 3.1

№ п/п	$P_{\text{исх}}$	$P_{\text{к}}$	$P_{\text{обн}}$	$P_{\text{пр}}$	$P_{\text{оо}}$	$P_{\text{нр}}$
1	0	0	0	0	0	1
2	0	0	1	0	1	0
3	0	1	0	0	0	1
4	0	1	1	0	1	0
5	1	0	0	0	0	1
6	1	0	1	0	1	п
7	1	1	0	1	0	0
8	1	1	1	1	0	0

В таблице отражены восемь возможных случаев сочетаний независимых событий, отражаемых вероятностями $P_{\text{исх}}$, $P_{\text{к}}$ и $P_{\text{обн}}$. Например, в шестой строке таблицы указаны значения $p_{\text{исх}}=1$, $p_{\text{к}}=0$ и $p_{\text{оо}}=1$. Эта строка соответствует случаю, когда исходный ОД работает правильно ($P_{\text{исх}}=1$), схема контроля отказала ($p_{\text{к}}=0$), а метод контроля обнаружил этот отказ ($P_{\text{обн}}=1$). Данное событие означает появление на выходе СК сигнала ошибки (рис.3.2). Поэтому в графе $p_{\text{оо}}$, который соответствует событию обнаружения ошибок, в шестой строке проставляется единичное значение функции. Такое же значение записывается в строках 2 и 4, где $P_{\text{обн}}=1$ и имеют место дефекты в ОД или СК. В столбце $P_{\text{пр}}$ единичное значение функции проставляется только в строках 7 и 8, которые соответствуют случаю, когда и ОД, и СК работают правильно. В столбце $P_{\text{нр}}$ единичное значение функции заносится в строки, где $P_{\text{обн}}=0$, кроме седьмой строки, в которой $P_{\text{исх}}=1$ и $P_{\text{к}}=1$.

Из таблицы следует, что:

$$\begin{aligned} P_{\text{пр}} &= \overline{p_{\text{исх}}} \overline{p_{\text{к}}} \overline{p_{\text{обн}}} \vee p_{\text{исх}} \overline{p_{\text{к}}} \overline{p_{\text{обн}}} ; \\ P_{\text{оо}} &= \overline{p_{\text{исх}}} \overline{p_{\text{обн}}} \overline{p_{\text{к}}} \vee p_{\text{исх}} \overline{p_{\text{к}}} \overline{p_{\text{обн}}} ; \\ P_{\text{нр}} &= \overline{p_{\text{исх}}} \overline{p_{\text{к}}} \overline{p_{\text{обн}}} \vee p_{\text{исх}} \overline{p_{\text{к}}} \overline{p_{\text{обн}}} \vee p_{\text{исх}} \overline{p_{\text{к}}} p_{\text{обн}} . \end{aligned} \quad (3.3)$$

По законам алгебры логики производится упрощение выражений (3.3). Соответствующие преобразования дают следующие выражения:

$$\begin{aligned}
P_{\text{пр}} &= p_{\text{исх}} p_k; \\
P_{\text{оо}} &= \overline{p_{\text{исх}}} \overline{p_{\text{обн}}} \vee p_{\text{исх}} \overline{p_k} p_{\text{обн}}; \\
P_{\text{пр}} &= \overline{p_{\text{обн}}} (\overline{p_{\text{исх}}} \vee p_{\text{исх}} \overline{p_k}).
\end{aligned}
\tag{3.4}$$

При переходе к вероятностным выражениям знак дизъюнкции заменяется знаком сложения, а переменная p заменяется выражением $(1-p)$. В результате получаем:

$$\begin{aligned}
P_{\text{пр}} &= p_{\text{исх}} p_k; \\
P_{\text{оо}} &= p_{\text{обн}} (1 - p_{\text{исх}}) + p_{\text{исх}} p_{\text{обн}} (1 - p_k); \\
P_{\text{пр}} &= (1 - p_{\text{обн}}) * (1 - p_{\text{исх}} p_k).
\end{aligned}
\tag{3.5}$$

Из (3.5) следует, что достоверность ОД с аппаратным контролем:

$$D_k = 1 - P_{\text{нр}} = p_{\text{обн}} + p_{\text{исх}} p_k - p_{\text{исх}} p_k p_{\text{обн}} \tag{3.6}$$

Если контроль отсутствует (в этом случае $p_k=1$ и $p_{\text{обн}}=0$), то достоверность ОД без контроля:

$$D = p_{\text{исх}} \tag{3.7}$$

Выигрыш в достоверности при использовании контроля:

$$\Delta D = D_k - D = p_{\text{обн}} - p_{\text{исх}} (1 - p_k) - p_{\text{исх}} p_k p_{\text{обн}} \tag{3.8}$$

Однако выигрыш в достоверности сопровождается проигрышем в надежности и увеличением сложности устройства. Введение контроля снижает вероятность безотказной работы ОД с контролем. Действительно, вероятность правильной работы ОД со схемой контроля $P_{\text{пр}}$ равна вероятности безотказной работы ОД со схемой контроля:

$$P_{\text{ОДК}} = P_{\text{пр}} = p_{\text{исх}} p_k \tag{3.9}$$

Тогда проигрыш в безотказности:

$$\Delta P = p_{\text{исх}} - p_{\text{исх}} p_k \tag{3.10}$$

Усложнение объекта характеризуется коэффициентом избыточности:

$$\sigma = \frac{n_{\text{исх}}}{n_k} \tag{3.11}$$

где $n_{\text{исх}}$ и n_k - число элементов соответственно в исходном устройстве и схеме контроля.

Наилучшими считаются варианты систем с $\sigma > 10$ (контрольное оборудование не превышает 10 %), достаточно хорошими - с $\sigma > 4$ (не более 25 %). Увеличение выигрыша в достоверности, как правило, требует усложнения контрольного оборудования.

При организации функционального диагностирования возникает задача контроля исправности СК (проблема «сторожа над сторожем»).

При синтезе дискретных устройств (ДУ) с контролем задача контроля СК решается за счет придания ДУ свойства самопроверяемости. Под *самопроверяемостью* понимается способность системы обнаруживать отказы как в основном устройстве, так и в схеме контроля, в процессе нормального функционирования без дополнительной подачи на входы устройства специальных проверочных тестов или других способов его испытания.

Самопроверяемость достигается в том случае, когда по значению сигнала ошибки на выходе СК можно судить об исправности не только основного ДУ, но и схемы контроля. Существуют две возможные структуры самопроверяемых ДУ: с усложнением СК или с усложнением ДУ. В первом случае (рис.3.3) в качестве СК применяется самопроверяемая схема встроенного контроля (ССВК), имеющая два контрольных выхода z_1 и z_2 . Особенность схемы - на входы ССВК подаются входные и выходные сигналы ДУ.

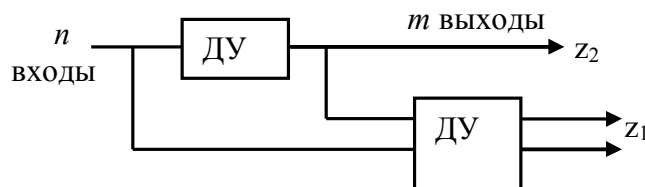


Рисунок 3.3 - Первая структура самопроверяемого ДУ

Для всех возможных входных воздействий на выходах z_1 и z_2 формируются парафазные сигналы 01 или 10 при исправных ДУ и ССВК; а при возникновении неисправностей в ДУ или ССВК - непарафазные сигналы 00 или 11. В данной структуре исходное ДУ не подвергается изменениям, а вся избыточность вносится во внутреннюю структуру ССВК.

Характерной особенностью второй структуры самопроверяемого ДУ (рис.3.4) является то, что избыточность вносится во внутреннюю структуру самого ДУ. Для этого либо модифицируется структура исходного устройства, либо по заданным условиям работы непосредственно синтезируется избыточное ДУ.

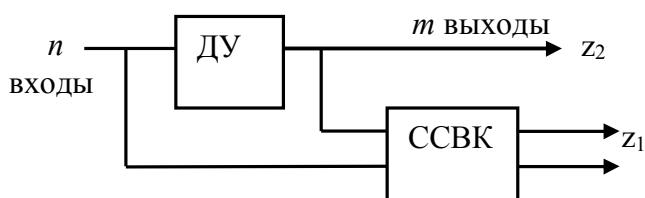


Рисунок 3.4 - Вторая структура самопроверяемого ДУ

При этом улучшается контролепригодность ДУ - легко фиксировать неисправности только по значениям основных или специальных контрольных выходов. Как правило, на этих выходах формируются двоичные вектора, принадлежащие какому-либо коду с обнаружением ошибок. Тогда ССВК реализуется в виде тестера, задача которого состоит в определении факта принадлежности кодового вектора заданному коду.

Основная литература: 1[26-50]. Дополнительная литература: 1[36-52].

Контрольные вопросы:

1. Что входит в систему диагностирования?
2. Чем отличается тестовое диагностирование от функционального?
3. Что понимается под достоверностью работы СД?
4. Что входит в полную группу событий работы СД?
5. Чему равен коэффициент избыточности СД?
6. Что понимается под самопроверяемостью системы?

Лекция 4. Построения тестов

4.1 Тестовое диагностирование

При организации тестового диагностирования основной является задача построения тестов. Для дискретных объектов можно выделить три этапа в развитии теории построения тестов.

В настоящее время широко применяют тесты, представляющие собой псевдослучайные последовательности входных воздействий.

Такие псевдослучайные тесты генерируются регистром (Р) сдвига с обратными связями (рис.4.1,а), что существенно сокращает затраты на аппаратуру для реализации генератора тестов, так как не требуется память для хранения последних.

Однако анализатор (А) ответов ОД в системе вероятностного диагностирования имеет такую же сложность, что и в системе детерминированного диагностирования. С целью его упрощения осуществляется сжатие длинных выходных последовательностей, формируемых на выходах ОД, при помощи специальных сигнатурных анализаторов СА (рис.4.1,б), которые представляют собой также регистры сдвига с обратными связями или счетчики.

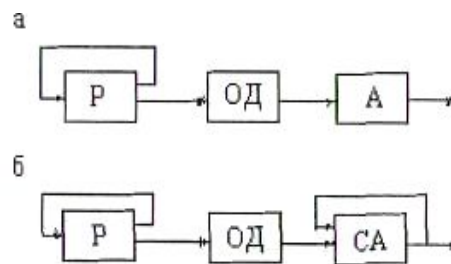


Рисунок 4.1 - Схема систем вероятностного диагностирования

Применение СА позволяет эффективно тестировать сложные вычислительные системы.

Системы тестового диагностирования, представленные на (рис.4.1), используются в те промежутки времени, когда ОД не выполняет своих основных функций.

При этом решаются задачи контроля исправности и поиска дефектов. Такая структурная схема тестового диагностирования приведена на (рис.4.2).

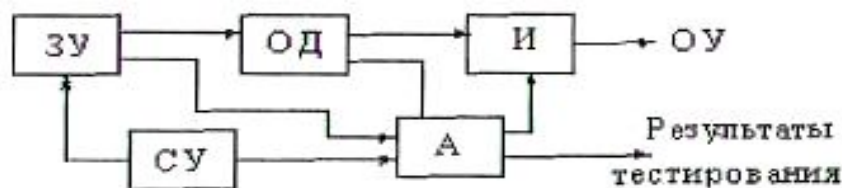


Рисунок 4.2 - Структурная схема тестового диагностирования

Запоминающее устройство (ЗУ) хранит тесты и эталонные реакции, которые поступают на входы ОД и анализатора по командам со стороны схемы управления (СУ).

Результаты тестирования используются для организации взаимосвязи между ОД и объектом управления (ОУ) с помощью интерфейса (И).

Возможны два варианта организации тестового диагностирования, которые проиллюстрированы временными диаграммами на (рис.4.3).

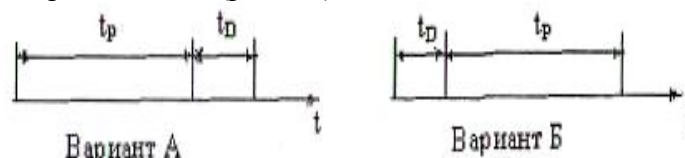


Рисунок 4.3 - Временные диаграммы включения тестового контроля

Вариант А предусматривает первоначальное включение основного рабочего режима (время t_p), после чего подается проверяющий тест (время t_d). Полученный при выполнении рабочего режима результат запоминается до окончания процесса прохождения теста. Если тест не фиксирует наличие неисправности, то дается разрешение на дальнейшее использование указанного результата. При применении варианта Б сначала осуществляется подача теста (время t_d), а затем реализуется рабочий режим (время t_p). Выходной результат работы ОД оценивается по результату тестирования. Для анализа режимов тестирования используется коэффициент избыточного времени:

$$k_b = \frac{t_p}{t_d} \quad (4.1)$$

При $k_b=1$ достоверность функционирования ОД с тестовым контролем для вариантов А и Б одинакова; при $k_b>1$ выше достоверность варианта А, а при $k_b<1$ - выше достоверность варианта Б. Как правило, $k_b>1$, но вариант А часто не может быть использован, так как не всегда есть возможность задерживать выходную информацию после прохождения рабочего режима. Наиболее часто используется вариант Б, когда ОД тестируется перед его использованием.

В современных системах широко используются тестирование и функциональное диагностирование.

4.2 Алгоритмы диагностирования

Любая задача диагноза решается при помощи реализации соответствующей процедуры, в основе которой лежит алгоритм диагностирования, который представляет собой совокупность предписаний в виде последовательности проверок и правил обработки их результатов для получения общего результата диагностирования.

Различают алгоритмы проверки исправности, работоспособности и поиска неисправности. Их строят на основе соответствующих тестов и словарей неисправностей.

На (рис.4.4) приведена классификация алгоритмов диагностирования, в соответствии с которой можно выделить три вида алгоритмов: безусловный с безусловной остановкой, безусловный с условной остановкой и условный с условной остановкой.

Безусловный алгоритм задает одну фиксированную последовательность проведения проверок, при этом информация о техническом состоянии объекта фиксируется и обрабатывается последовательно независимо от результатов предыдущих проверок.

В *условном алгоритме* предусматривается назначение каждой последующей проверки в зависимости от результата анализа предыдущих проверок.

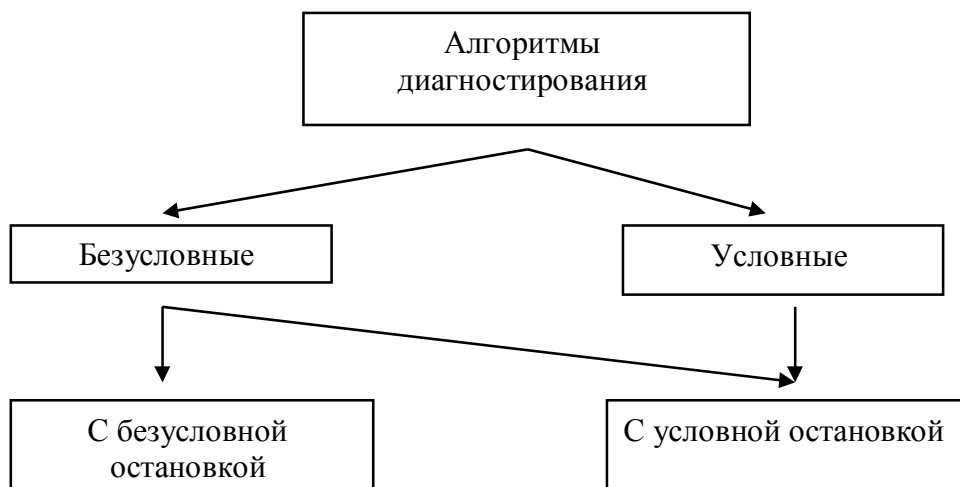


Рисунок 4.4 - Классификация алгоритмов диагностирования

Если заключение о техническом состоянии объекта может быть сделано только после проведения всех проверок, предусмотренных алгоритмом, то такой алгоритм называют *алгоритмом с безусловной остановкой*. Если выдача результата диагностирования возможна после выполнения каждого или некоторых промежуточных шагов алгоритма, то последний называют алгоритмом с условной остановкой.

Условный алгоритм всегда является алгоритмом с условной остановкой.

Наиболее распространенными формами представления алгоритмов диагностирования являются таблицы и древовидные графы.

Безусловные алгоритмы с безусловной остановкой представляются в виде таблиц неисправностей. В этом случае поиск неисправного элемента требует выполнения всего множества проверок, включенных в тест, с фиксацией их результатов. На основе анализа полной совокупности этих результатов делается вывод о месте неисправности. Безусловный алгоритм с условной остановкой и условный представляются в виде графа.

Построение условного алгоритма начинается с выбора первой проверки. В зависимости от исхода первой проверки множество возможных состояний делится на два подмножества, после чего выбираются проверки (они могут быть разными), разделяющие эти подмножества. Выбор проверок продолжается до тех пор, пока множество не будет разделено на отдельные подмножества эквивалентных состояний.

Для одного и того же словаря неисправностей может быть построено значительное количество безусловных и условных алгоритмов диагностирования. Каждый из них будет обладать определенными особенностями.

Например, условный алгоритм имеет преимущество по сравнению с безусловным алгоритмом, которое состоит в том, что в первом любая неисправность может быть обнаружена не более чем за три шага алгоритма, в то время как во втором может потребоваться выполнение и четырех шагов алгоритма. Но, с другой стороны, безусловный алгоритм дает возможность обнаружить неисправность уже при выполнении первого шага, а в условном алгоритме такой возможности нет.

При решении практических задач возникает проблема выбора оптимального алгоритма диагностирования. При этом формулируются либо ограничения на алгоритм, либо критерий оптимальности, в которых отражаются конкретные практические условия применения алгоритма. В качестве ограничения на алгоритм могут выступать: заданное время, в течение которого должна быть обнаружена любая неисправность; максимально допустимое число шагов алгоритма; ограничения, определяющие необходимость обнаружения на первых шагах алгоритма некоторых указанных неисправностей и т.п.

В качестве критерия оптимальности может рассматриваться средняя стоимость обнаружения отказавшего элемента, вероятность обнаружения при ограниченной стоимости или стоимость с заданной вероятностью и т.д.

В этом случае каждый алгоритм, заданный соответствующим графом, характеризуется определенным значением критерия оптимальности.

При оптимизации алгоритма, как правило, учитывают три фактора: вероятности отказов элементов модели объекта; стоимость каждой проверки, под которой понимается некоторое относительное число, отражающее в условных единицах затраты труда, времени, сложность действий, необходимую аппаратуру и т.п., требующиеся для проведения проверки; объем информации, который дает каждая проверка. Вероятности отказов элементов задаются при проектировании ОД на этапе выбора элементной базы. Стоимости проверок определяются на основе специального анализа объекта диагноза. При этом выбирается самая сложная проверка и ее стоимость оценивается в 100 условных единиц. Все остальные проверки ранжируются относительно самой сложной проверки и им сопоставляются соответствующие оценочные стоимости. Информация о состоянии объекта, которую можно получить при выполнении той или другой проверки, содержится в таблицах, соответствующих словарям неисправностей.

Наиболее общим критерием оптимальности является средняя стоимость выполнения алгоритма.

При построении алгоритмов диагностирования существенное значение имеет количество информации, содержащееся в проверках. Более полный учет позволяет получить метод, основанный на теории информации. Диагностирование - это, по сути, процесс получения информации о состоянии объекта.

Основная литература: 1[26-50]. Дополнительная литература: 1[36-52].

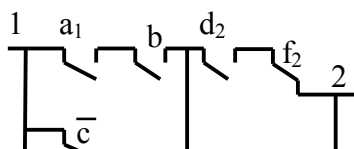
Контрольные вопросы:

1. Чему равен коэффициент избыточности СД?
2. Что понимается под самопроверяемостью системы?
3. Какие виды самопроверяемых систем существуют?
4. Чему равен коэффициент избыточного времени при тестовом диагностировании?
5. Какие три основных вида алгоритмов используются на практике?
6. Чем отличается условный алгоритм от безусловного?

Лекция 5. Теория контроля контактных схем

5.1. Представление контактных схем

Будем рассматривать схемы, построенные на замыкающих (фронтных) и размыкающих (тыловых) контактах нейтральных реле. Известно, что любая функция алгебры логики, записанная в базисе $\{И, ИЛИ, НЕ\}$, может быть реализована с помощью контактной схемы. При этом функция $И$ реализуется за счет последовательного соединения контактных двухполюсников, функция $ИЛИ$ - за счет их параллельного соединения, а функция $НЕ$ - за счет использо-



вания размыкающего контакта реле. На (рис.5.1) представлена контактная схема, вычисляющая функцию:

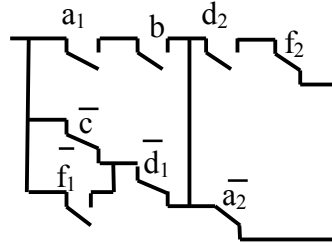


Рисунок 5.1 - Параллельно-последовательная схема

Схемы, построенные по указанным правилам, называются параллельно-последовательными. В них любые два контактных двухполюсника соединены параллельно или последовательно.

$$F = (\bar{a} \vee \bar{b})(c\bar{f} \vee d) \vee (\bar{d} \vee f)a \quad (5.1)$$

Путь P в схеме есть минимальное множество контактов, замыкание которых образует путь проводимости между внешними полюсами схемы. На (рис.5.1) внешними полюсами являются точки 1 и 2 и схема имеет шесть путей:

$$P_1 = \bar{a}_1 c \bar{f}_1; P_2 = \bar{a}_1 d_1; P_3 = \bar{b} c \bar{f}_1; P_4 = \bar{b} d_1; P_5 = \bar{d}_2 a_2; P_6 = f_2 a_2.$$

Сечение S в схеме есть минимальное множество контактов, размыкание которых обеспечивает обрыв проводимости между внешними полюсами схемы. Схема на (рис.5.1) имеет шесть сечений (переменные соответствующие контактам сечения, записываются с инверсией, так как контакты должны быть разомкнуты):

$$S_1 = a_1 b d_2; S_2 = a_1 b a_2; S_3 = c d_2 d_2 f_2; S_4 = c d_1 a_2; S_5 = f_1 d_1 d_2 f_2; S_6 = f_1 d_1 a_2.$$

Следует заметить, что не всякий путь и не всякое сечение реализуются, так как они могут содержать противоречие. Так, для реализации сечения S_2 необходимо, чтобы одновременно были разомкнуты размыкающий и замыкающий контакты реле A , что невозможно.

Для каждой контактной схемы существует инверсная ей схема, реализующая инверсную функцию. Она получается из исходной схемы заменой замыкающих контактов на размыкающие и наоборот, а также заменой последовательного соединения контактных двухполюсников на параллельное и наоборот. На (рис.5.2) представлена схема, инверсная схеме на (рис.5.1), вычисляющая функцию:

$$\bar{F} = abdf \vee acd \vee adf. \quad (5.2)$$

Очевидно, в инверсных друг другу схемах пути одной схемы соответствуют сечениям другой и наоборот.

Структура контактной схемы полностью задается дизъюнкцией путей. Эта формула называется эквивалентной нормальной формой (ЭНФ). Для схемы (рис. 5.1) она имеет вид:

$$F_{\text{ЭНФ}} = \bar{a}_1 c \bar{f}_1 \vee \bar{a}_1 d_1 \vee \bar{b} c \bar{f}_1 \vee \bar{b} d_1 \vee a_2 \bar{d}_2 \vee a_2 f_2. \quad (5.3)$$

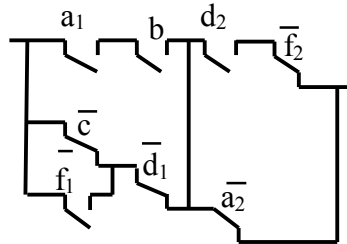


Рисунок 5.2 - Инверсная контактная схема

Буквы ЭНФ соответствуют контактам, а конъюнкции ЭНФ - путям схемы. Обратная эквивалентная нормальная форма (ОЭНФ) описывает структуру инверсной контактной схемы (рис.5.2):

$$F_{\text{ОЭНФ}} = a_2 b d_2 \bar{f}_2 \vee a_1 b a_2 \vee c d_1 d_2 \bar{f}_2 \vee c d_1 a_2 \vee f_1 d_1 d_2 \bar{f}_2 \vee f_1 d_1 a_2. \quad (5.4)$$

Если в формулах ЭНФ и ОЭНФ (3.3) и (3.4) исключить индексы букв, то получим формулы, эквивалентные функциям (5.1) и (5.2).

ЭНФ и ОЭНФ содержат всю необходимую информацию для решения любой задачи тестирования контактной схемы. Их недостатком является громоздкость при большом числе путей. Например, на (рис.5.3) приведена контактная структура, сложность ЭНФ (число путей) которой растет по закону 2^m . Существует представление релейно-контактных схем (РКС), сложность которого растет лишь линейно.

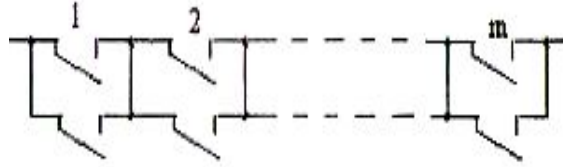


Рисунок 5.3 - Пример контактной структуры

Введем отношение *совместимости* между буквами ЭНФ (контактами). Две буквы a и b называются совместимыми, если они вместе входят хотя бы в одну конъюнкцию ЭНФ. Отношение совместимости обозначим знаком «*». Это отношение является рефлексивным ($a*a$) и симметричным ($a*b \Rightarrow b*a$) и задается двоичной матрицей совместимости (МС). Строки и столбцы МС соответствуют буквам ЭНФ (контактам). На пересечении строки a и столбца b ставится 1, если буквы a и b совместимы. В таблице 5.1 приведена МС для схемы (рис.5.1). Аналогично строится обратная МС (ОМС) для инверсной контактной схемы. МС в неявном виде задает ЭНФ.

Таблица 5.1

Буква ЭНФ	$\overline{a_1}$	a_2	\overline{b}	c	d_1	$\overline{d_2}$	$\overline{f_1}$	f_2
$\overline{a_1}$	1			1	1		1	
a_2		1				1		1
\overline{b}			1	1	1		1	
c	1		1	1			1	
d_1	1		1		1			
$\overline{d_2}$		1				1		
$\overline{f_1}$	1		1	1			1	
f_2		1						1

Таким образом, задача построения ЭНФ по МС сводится к известной задаче нахождения всех максимально совместимых подмножеств (МАКСОПОД). Каждой конъюнкции ЭНФ в МС соответствует максимально полная (заполненная единицами) подматрица. Например, конъюнкции $\overline{a_1}c\overline{f_1}$ в таблице 5.1 соответствует максимально полная подматрица, показанная в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Буква ЭНФ	$\overline{a_1}$	c	$\overline{f_1}$
$\overline{a_1}$	1	1	1
c	1	1	1
$\overline{f_1}$	1	1	1

Чтобы найти такую подматрицу, надо включить в множество M строку a , и затем последовательно включать в это множество строки, которые совместимы со всеми отроками, уже включенными в M . Процесс нахождения конъюнкции ЭНФ завершается, когда число строк в

множестве M окажется равным числу столбцов в этих строках, заполненных единицами. В таблице 5.3 отражен процесс нахождения конъюнкции $\overline{a_1}c\overline{f_1}$.

Таблица 5.3

Буква ЭНФ	$\overline{a_1}$	a_2	\overline{b}	c	d_1	$\overline{d_2}$	$\overline{f_1}$	f_2
$\overline{a_1}$	1			1	1		1	
c	1		1	1			1	
$\overline{f_1}$	1		1	1			1	

Для построения ЭНФ по МС может быть использован любой из известных алгоритмов МАКСОПОД, который упорядочивает процесс формирования конъюнкций.

Обозначим через A и B множества букв ЭНФ, совместимых соответственно с буквами a и b . Введем четыре вида отношений между буквами ЭНФ (контактами):

- 1) эквивалентности $a=b$, если $A=B$;
- 2) замены $a \leftrightarrow b$, если $A=B$;
- 3) включения по эквивалентности $a \subset b$, если $A \subset B$;
- 4) включения по замене $a \rightarrow b$, если $A \setminus a \subset B \setminus b$.

Указанные отношения определяются по МС путем сравнения строк a и b . Для таблицы 5.1 имеем:

$$c = \overline{f_2}; \overline{a_1} \leftrightarrow b; \overline{d_2} \leftrightarrow \overline{f_2}; \overline{d_2} \subset a_2; f_2 \subset a_2; d_1 \rightarrow c; d_1 \rightarrow \overline{f_1}$$

Если $a=b$, то буквы a и b совместимы и всегда входят вместе в одну и ту же конъюнкцию ЭНФ, а контакты a и b включены последовательно и всегда вместе входят в один и тот же путь проводимости схемы.

Если $a \leftrightarrow b$, то буквы a и b несовместимы и для всякой конъюнкции ЭНФ, содержащей букву a , найдется конъюнкция, которую можно получить из первой путем замены a на b , а контакты a и b включены параллельно и всегда вместе входят в одно и то же сечение схемы.

Если $a \subset b$, то буквы a и b совместимы и во всех конъюнкциях, которые содержат букву b , присутствует и буква a .

Если $a \rightarrow b$, то буквы a и b несовместимы и для всякой конъюнкции ЭНФ, содержащей букву a , найдется конъюнкция, содержащая букву b и все буквы, составляющие первую конъюнкцию (кроме a), а также некоторое множество других букв.

С помощью данных отношений вводится самая компактная форма представления параллельно-последовательных контактных схем в виде *матрицы отношений* (МО).

Матрица отношений представляет собой таблицу, содержащую три столбца и $(n-1)$ строку, где n - число контактов (табл. 5.4).

Таблица 5.4

$\overline{a_1}$	\leftrightarrow	\overline{b}
$\overline{d_2}$	\leftrightarrow	$\overline{f_2}$
c	$=$	$\overline{f_1}$
a_2	$=$	$\overline{d_2}$
c	\leftrightarrow	d_1
$\overline{a_1}$	$=$	c
$\overline{a_1}$	\leftrightarrow	a_2

В крайних столбцах записываются обозначения контактов, а в среднем столбце - отношение между ними. Заполнение матрицы начинается с верхней строки.

Для этого в исходной схеме находится пара контактов (любая), включенная последовательно или параллельно, т.е. находящихся в отношении эквивалентности или замены. Это отношение записывается в первой строке матрицы. В рассматриваемой схеме (рис.5.1) существует отношение $\bar{a}_1 \leftrightarrow \bar{b}$, которое записано в первой строке таблицы 5.4.

В последующих строках сверху вниз в любом порядке записываются все другие отношения эквивалентности и замены, существующие в исходной схеме. В схеме (рис.5.1) имеются еще два отношения: $\bar{d}_2 \leftrightarrow f_2$ $c = \bar{f}_1$.

Расположение обозначений контактов в левой или правой крайней графе таблицы безразлично. Затем из исходной схемы исключаются контакты, обозначения которых расположены в правом столбце, в результате чего получают упрощенную схему (рис.5.4,а). В ней возникают новые отношения эквивалентности и замены, которые аналогичным образом записываются в таблицу. В схеме (рис.5.4,а) имеются отношения $a_2 = \bar{d}_2$, $c \leftrightarrow d$, которые записаны в четвертой и пятой строках таблицы 5.4. Далее аналогично исключаются контакты d_1 и \bar{d}_2 (рис.5.4,б). Процесс построения МО завершается, когда в результате сокращений получают схему, содержащую два контакта (рис.5.4,в). Отношение между ними записывается в последней строке.

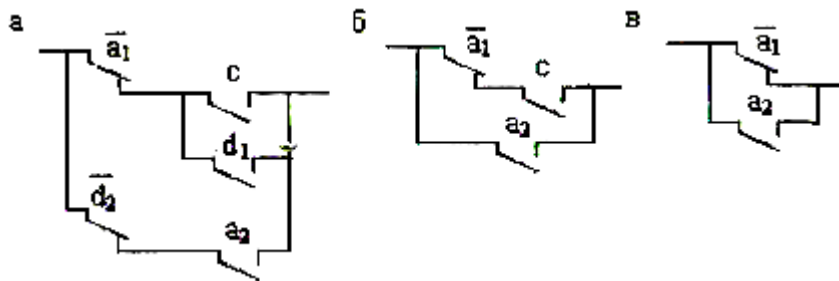


Рисунок 5.4 - Этапы сокращения контактной схемы

МО полностью задает структуру контактной схемы, так как по ней однозначно можно построить данную схему и ее ЭНФ с помощью процесса, обратного описанному выше. Построение ЭНФ начинается с нижней строки и при переходе вверх в новую строку в формулу добавляется буква, находящаяся в правом столбце. Для таблицы 5.4 имеем:

$$\begin{aligned} F_{\text{ЭНФ}} \bar{a}_1 \vee a_2 &= \bar{a}_1 c \vee a_2 = \bar{a}_1 (c \vee d_1) \vee a_2 = \bar{a}_1 (c \vee d_1) \vee a_2 \bar{d}_2 = \bar{a}_1 (c \bar{f}_1 \vee d_1) \vee \\ &\vee a_2 \bar{d}_2 = \bar{a}_1 (c \bar{f}_1 \vee d_1) \vee a_2 (\bar{d}_2 \vee f_2) = (\bar{a}_1 \vee b)(c \bar{f}_1 \vee d_1) \vee a_2 (\bar{d}_2 \vee f_2) = \\ &= \bar{a}_1 c \bar{f}_1 \vee \bar{a}_1 d_1 \vee b c \bar{f}_1 \vee b d_1 \vee a_2 \bar{d}_2 \vee a_2 f_2 \end{aligned} \quad (5.5)$$

Формулы (5.5) и (5.3) совпадают.

Достоинством МО является то, что размеры ее лишь линейно растут с увеличением числа контактов схемы. Сравним сложность ЭНФ, МС и МО для контактной структуры на рис. 5.4 для $m=10$ ($n=20$). Будем оценивать сложность числом клеток соответствующих таблиц. ЭНФ задается троичной таблицей с числом столбцов n и числом строк, равным числу конъюнкций. Тогда для схемы (рис. 5.3) сложность ЭНФ равна $n2^m=20*2^{10}=20480$. Число клеток МС равно n^2 , но поскольку МС симметрична относительно левой главной диагонали (табл. 5.1), в памяти ЭВМ достаточно хранить половину матрицы. Тогда сложность МС равна $0.5(n^2-n)=0.5n(n-1)=0.5*20*19=190$. Сложность МО равна $3(n-1)=3(20-1)=57$. Сложность МС и МО в данном случае примерно в 100 и 400 раз меньше, чем сложность ЭНФ.

Основная литература: 1[50-67]. Дополнительная литература: 1[63-72].

Контрольные вопросы:

1. Что называется путем диагностирования контактов?
2. Что называется сечением диагностирования контактов?
3. Что представляет собой инверсная схема?
4. Какие типы отказов существуют в контактах?
5. Что представляет собой ЭНФ?

6. Что является достоинством МО?

Лекция 6. Условия обнаружения одиночной неисправности контакта

6.1 Неисправности в контактных схемах

В контактных схемах наиболее вероятным является появление в процессе эксплуатации неисправностей следующих видов: обрыв контакта, короткое замыкание контакта, ложное несрабатывание или срабатывание реле, обрыв соединительного провода, дребезг контакта, отклонение временных параметров. В процессе монтажа могут возникнуть также случаи лишних соединений между проводами и перепутывания проводов.

Неисправности контакта a типа «короткое замыкание» и «обрыв» обозначим соответственно как a^1 и a^0 . Кратную неисправность нескольких контактов будем обозначать через N_i , причем $N_i = \{G_i \text{ и } H_i\}$, где G_i - множество контактов с неисправностью «обрыв»; H_i - множество контактов с неисправностью «короткое замыкание»; i - порядковый номер неисправности.

Поскольку каждый контакт может иметь три состояния (исправное и два неисправных), то общее число кратных неисправностей в схеме с n контактами:

$$W_n = 3^n - 1 \quad (6.1)$$

а общее число неисправностей кратности k подсчитывается по формуле:

$$W_k = C_n^k 2^k \quad (6.2)$$

где C_n^k - число сочетаний из n и k .

Например, для схемы (рис. 5.1) общее число неисправностей равно $3^8 - 1 = 5660$, число одиночных неисправностей - 16, двойных - 112 и т.д.

Рассмотрим влияние неисправностей на работу контактных схем. Как известно, замыкающий контакт реле реализует логическую функцию «повторение», а размыкающий контакт - функцию «отрицание». Поэтому возникновение физических неисправностей типа «обрыв» или «короткое замыкание» можно интерпретировать как изменение логической функции, реализуемой контактом. Неисправный контакт реализует функцию «константа 0» (при обрыве) и «константа 1» (при коротком замыкании). По этой причине указанные неисправности называют константными логическими неисправностями.

Их возникновение, в свою очередь, приводит к тому, что функция алгебры логики (ФАЛ) F^* , вычисляемая схемой с неисправностью N_i - отличается от ФАЛ F исправной схемы. Например, найдем функции F^* для неисправностей $N_1 = \{\bar{a}_1^0\}$ и $N_2 = \{f_2^1\}$ в схеме (рис. 5.1). Из формулы (5.1) получаем:

$$F_1^* = (0 \vee \bar{b})(c\bar{f} \vee d) \vee (\bar{d} \vee f)a = \bar{b}(c\bar{f} \vee d) \vee (\bar{d} \vee f)a;$$

$$F_2^* = (\bar{a} \vee \bar{b})(c\bar{f} \vee d) \vee (\bar{d} \vee 1)a = (\bar{a} \vee \bar{b})(c\bar{f} \vee d) \vee a$$

Нетрудно видеть, что $F_1^* \rightarrow F$ и $F \rightarrow F_2^*$. Это означает, что неисправность типа «обрыв» уменьшает число двоичных наборов, на которых функция равна 1, а неисправность типа «короткое замыкание», наоборот, увеличивает их число.

Из рассмотренного примера виден смысл введения понятия константной логической неисправности. Она является математической моделью физической неисправности. Моделирование заключается в поиске «проекции» неисправности на логическую формулу путем фиксации ее букв в 0 или 1.

6.2 Проверяющие функции для неисправности контактов

Сформулируем условия обнаружения одиночной неисправности контакта. Чтобы обнаружить обрыв некоторого контакта a_i необходимо и достаточно обеспечить выполнение двух условий:

- 1) создать хотя бы один путь проводимости схемы, проходящий через контакт a_i ;

2) создать хотя бы одно урезанное сечение схемы, проходящее через контакт a_i (т.е. сечение, в котором исключено состояние контакта a_i). Тогда при отсутствии неисправности схема будет замкнута, а при наличии неисправности - разомкнута.

На (рис. 6.1) показаны условия обнаружения обрыва контакта $\overline{a_1}$ в схеме (рис 5.1). При подаче на вход схемы двоичного набора $abcdf - 01100$ существует пути $P_1 = a_1cf_1$ и урезанное сечение $\frac{S_2}{a_1} = \overline{ba_2}$.

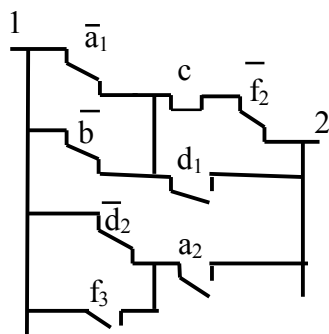


Рисунок 6.1- Условия обнаружения обрыва контакта $\overline{a_1}$

Набор 01100 является разрешенным ($F=1$), а при наличии обрыва становится запрещенным ($F^*=0$). Такой набор называется *тестовым* относительно данной неисправности. Все множество тестовых наборов образует *проверяющую функцию* неисправности $\varphi = a_i^0$.

Алгоритм 6.1 - Вычисление проверяющей функции неисправности типа «обрыв» контакта a_i^0 .

1. Выписывается дизъюнкция всех конъюнкций ЭНФ (путей схемы) Pa_i , содержащих букву a_i . Для контакта $\overline{a_i}$ в схеме (5.1) имеем (по формуле 5.3): $P_{a_i} = \overline{a_1}cf_1 \vee \overline{a_1}d$.

2. Выписывается дизъюнкция всех урезанных конъюнкций ОЭНФ (сечений), содержащих букву a_i .

Для контакта $\overline{a_i}$ имеем (формула 3.4): $S_{a_i}^* = bd_2\overline{f_2} \vee \overline{ba_2}$.

3. Исключаются индексы букв ЭНФ и находится проверяющая функция как произведение: $\varphi(a_i^0) = P_{a_i} S_{a_i}^*$

Для неисправности $\overline{a_{11}}^0$ имеем:

$$\varphi(\overline{a_1^0}) = (\overline{acf} \vee \overline{ad})(bdf \vee \overline{ba}) = \overline{abcdf} \vee \overline{abcf} \vee \overline{abdf} \vee \overline{abd} = \{10,11,12,14,15\}$$

Таким образом, обрыв контакта a_i , обнаруживается на пяти тестовых наборах. Указаны десятичные эквиваленты этих наборов (a - старший разряд).

Чтобы обнаружить короткое замыкание некоторого контакта a_i , необходимо и достаточно обеспечить выполнение двух условий:

1) создать хотя бы одно сечение схемы, проходящее через контакт a_i ;

2) создать хотя бы один урезанный путь, проходящий через контакт a_i (т. е. путь, в котором исключено состояние контакта a_i). Тогда при отсутствии неисправности схема будет разомкнута, а при наличии неисправности - замкнута.

На (рис.6.2) приведены условия короткого замыкания контакта $\overline{a_1}$, в рис.5.1.

При подаче на вход схемы двоичного набора $abcdf = 11010$ существует сечение $S_1 = a_1bd_2\overline{f_2}$ и урезанный путь $\frac{P_2}{a_1} = d_1$. Набор 11010 является запрещенным ($F=0$), а при наличии неисправности становится разрешенным ($F^*=1$).

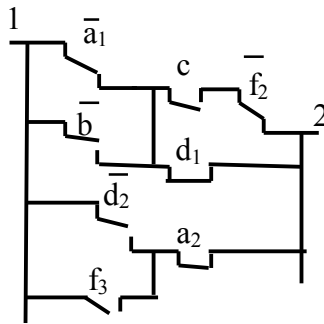


Рисунок 6.2 - Условия обнаружения короткого замыкания контакта \bar{a}_i ,

Алгоритм 6.2. (Вычисление проверяющей функции неисправности типа «короткое замыкание» контакта a_i).

1. Выписывается дизъюнкция всех конъюнкций ОЭНФ (сечений) S_{a_i} , содержащих букву a_i .
2. Выписывается дизъюнкция всех урезанных конъюнкций ЭНФ (путей) $P_{a_i}^*$, содержащих букв a_i .

3. Исключаются индексы букв ЭНФ и находится проверяющая функция $\phi(a_i^1) = S_{a_i} P_{a_i}^*$

Для исправности \bar{a}_i^1 (рис. 5.1) имеем: $S_{a_i} = a_i b d_2 \bar{f}_2 \vee a_i b a_2$; $P_{a_i}^* = c \bar{f}_1 \vee d_1$.

$$\phi(a_i^1) = (a b d \bar{f} \vee a b a) (c \bar{f} \vee d) = a b d \bar{f} = \{26, 30\}$$

Таким образом, короткое замыкание контакта обнаруживается на двух тестовых наборах.

Как видно из алгоритмов 6.1 и 6.2, для вычисления проверяющих функций неисправностей контактов не требуется знать всю ЭНФ, которая может иметь слишком большие размеры. Достаточно знать только те конъюнкции, на которые «проектируется» данная неисправность. Эти конъюнкции могут быть рассчитаны по МС и ОМС (без расчета всей ЭНФ).

Основная литература: 1[50-67]. Дополнительная литература: 1[63-72].

Контрольные вопросы:

1. Что описывает ОЭНФ?
2. Как включены в схеме два совместимых контакта?
3. Как включены в схеме два несовместимых контакта?
4. Что представляет собой матрица отношений?
5. Сформулируйте условия обнаружения неисправностей контакта: обрыв и КЗ.
6. Чтобы обнаружить короткое замыкание некоторого контакта a_i , необходимо и достаточно обеспечить выполнение какие двух условий?

Лекция 7. Тестирование логических схем

7.1 Модели неисправностей логических схем

Методы и процедуры контроля исправности логических схем, построенных на функциональных элементах, более сложны по сравнению с контактными схемами, хотя идеи их контроля общие. Это определяется большим разнообразием элементной базы в микроэлектронной технике и большим разнообразием видов неисправностей.

Для логических схем различают три понятия: *неисправность*, *ошибка* и *отказ*.

Неисправность есть физический дефект, который происходит внутри аппаратуры, или брак программной компоненты. Примерами являются обрывы проводников, короткие замыкания между ними, повреждения полупроводниковых приборов, временные задержки элементов и др. В программном обеспечении - это неправильное написание символов программ программистом, заикливание программ и т.п.

Ошибка есть проявление неисправности на каких-либо линиях схемы, в шинах или регистрах микропроцессорной системы. Примером ошибки является ложная замена логического

сигнала 0 на сигнал 1 (или наоборот) на некоторой линии схемы, которая непосредственно не связана с выходом неисправного элемента.

Отказ происходит при нарушении некоторой функции, которую должна выполнять схема. Отказ возникает вследствие ошибки на выходе схемы. Например, это может быть невключение или ложное включение какого-либо объекта.

Таким образом, неисправности возникают в физической (аппаратной) и программной средах, ошибки касаются информационной среды, а отказы связаны с внешней средой, с которой работает данная система.

Принципиальное значение при построении алгоритмов диагностирования имеют модели неисправностей. *Модель неисправностей* есть абстрактное представление некоторого множества физических дефектов и повреждений, которые могут иметь место в аппаратуре. Модели должны покрывать в идеале 100% неисправностей, чего, конечно, на практике не бывает. Свойства моделей зависят от пяти основных характеристик: причина, природа, длительность, влияние, значение.

Существует четыре главных причины возникновения неисправностей: *ошибки спецификаций, допущенные при проектировании; ошибки производства; дефекты компонентов и внешние возмущения*. По природе неисправности бывают в аппаратных средствах (аналоговых и цифровых) и в программных средствах. Длительность характеризует время действия. Постоянные неисправности сохраняют свое действие неограниченное время. Временные - могут появляться и исчезать на короткие промежутки времени. Сбои (перемежающиеся неисправности) появляются, исчезают и снова появляются периодически.

Влияние неисправностей может быть местное и глобальное. Например, отказы питающей установки имеют глобальное влияние на всю систему. Неисправности могут сохранять определенное значение в течение всего времени своего существования. Но существуют неисправности с неопределенным значением, которое изменяется в течение некоторого времени. В этом случае на линиях схемы логический сигнал может изменяться периодически между значениями 0 и 1.

Рассмотрим основные распространенные модели неисправностей. Наиболее эффективной и простой является *модель логической константной неисправности*.

Ее определяют три допущения:

1) повреждение логического модуля эквивалентно по своему действию постоянной фиксации на его входах и выходах логических сигналов 0 или 1; такие фиксации называются соответственно «константа 0» и «константа 1»;

2) логическая функция, реализуемая модулем, не изменяется в результате возникновения неисправности;

3) неисправность является постоянной.

Первое допущение поясним на примере элемента ИЛИ-НЕ, показанного на (рис.7.1). Обрыв резистора R_1 в его схеме эквивалентен по своему действию постоянному соединению входа a с логическим 0 (землей).

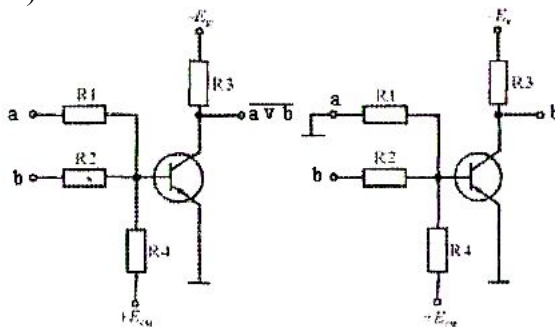


Рисунок 7.1 - Пример логической константной неисправности

Это допущение упрощает процессы анализа схем и генерации тестов, так как позволяет ограничиться рассмотрением только неисправностей линий схемы. При применении данной

модели предполагается также наличие не более одной неисправности. Тогда в схеме, которая имеет n линий, возможно $2n$ одиночных неисправностей. Такое число неисправностей практически может быть исследовано, хотя для больших схем и эта оценка велика.

Второе допущение также очень важно для константных неисправностей. Для нашего примера (рис.4.3) оно говорит о том, что неисправный элемент продолжает работать как элемент ИЛИ-НЕ, а не превращается, например, в схему «Сложение по модулю 2» или в схему с памятью (триггер).

Если же в результате повреждения логика элемента изменяется, то, как правило, не выполняется и первое допущение, а задача обнаружения неисправностей существенно усложняется.

Третье допущение существенно упрощает модель, снимая трудности, которые возникают при обнаружении временных и перемежающихся отказов.

Эффективность модели определяется *покрытием неисправностей*. Говорят, что данная модель покрывает данную физическую неисправность, если последняя обнаруживается тестом, построенным для данной модели. Покрытие тестов для константных моделей логических схем составляет 80-95%. Однако в микросхемах с высокой степенью интеграции существуют классы неисправностей, которые не описываются константными моделями.

Установлено, что вход-выходное поведение неисправных логических схем, выполненных по МОП- и КМОП-технологиям, не может быть всегда точно описано моделью константных неисправностей. В этом случае применяется модель транзистора как простого идеального переключателя по аналогии с контактом в контактных схемах. Данная модель предполагает, что повреждения транзисторов могут быть двух видов как у контактов: постоянное размыкание и постоянное замыкание. В дальнейшем эти неисправности будем называть «обрыв» и «замыкание» транзистора.

На (рис.7.2) представлен элемент *ИЛИ-НЕ*, выполненный по КМОП-технологии. Он состоит из двух p -канальных МОП-транзисторов $V1$ и $V2$, включенных последовательно, и двух n -канальных транзисторов $V3$ и $V4$, включенных параллельно. Если $a=b=0$, то оба транзистора $V1$ и $V2$ открыты, а оба транзистора $V3$ и $V4$ закрыты. В результате выход элемента F изолируется от земли и соединяется с полюсом питания $+U$. На выходе F присутствует логический сигнал 1.

a	b	F	F'
0	0	1	Z
0	1	0	0
1	0	0	0
1	1	0	0

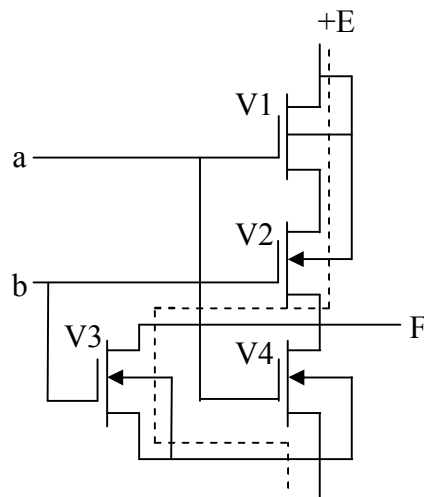


Рисунок 7.2 - Элемент ИЛИ-НЕ

Если на одном из входов a или b (или на обоих) имеется сигнал 1, то соответствующий транзистор $V1$ или $V2$ (или оба) закрывается, а один из транзисторов $V3$ или $V4$ (или оба) открывается. В результате выход F изолируется от полюса $+U$ и подключается к земле; на нем устанавливается сигнал 0.

Рассмотрим неисправность типа «обрыв» транзистора $V1$. Если $a=b=0$, то транзисторы $V1$ и $V2$ открыты в исправной схеме, но закрыты в неисправной схеме. Транзисторы $V3$ и $V4$ закрыты в обеих схемах. Таким образом, выход F равен 1 в исправной схеме и «плавает», т.е.

имеет неопределенное значение (не соединен ни с полюсом $+U$, ни с землей) в неисправной схеме. Это значение обозначается как Z . На (рис.7.3,а) в столбце F показано поведение неисправного элемента. В реальных КМОП-схемах узел F будет иметь некоторую паразитную емкость, заряд которой определяется предыдущим состоянием элемента. Чтобы обнаружить данную неисправность, надо сигнал Z заменить на сигнал 0. При этом поведение неисправной схемы будет отличаться от поведения исправной (в первой строке таблицы рис. 7.3,б). Для этого перед подачей вектора $ab=00$ подается вектор $ab=10$, который устанавливает в неисправной схеме на выходе F сигнал 0, обеспечивая разряд емкости узла F на землю. Полный тест содержит два вектора $10 \rightarrow 00$, которые вызывают изменение сигнала на выходе $0 \rightarrow 1$ в исправной схеме и $0 \rightarrow 0$ в неисправной схеме. Алгоритмы генерации тестов должны формировать эти пары векторов. Таким образом, в этом случае неисправная схема обладает некоторой памятью, т. е. нарушается второе допущение для константных неисправностей.

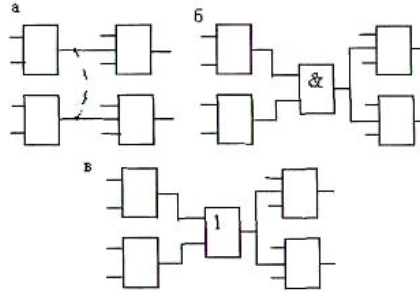


Рисунок 7.3 - Моделирование короткого замыкания

Аналогично не описывается моделью константных неисправностей повреждение типа «замыкание» транзистора. Рассмотрим такое повреждение транзистора $I1$ в схеме (рис. 7.2). На входном наборе $ab=10$ получаем состояние схемы: $I1$ замкнут, $I2$ и $I3$ открыты. В результате создается короткая цепь между питающими полюсами схемы и возникает большой ток (показан штриховой линией). Этот ток по величине в несколько раз больше, чем нормальный ток покоя КМОП-схемы. Измеряя ток, можно обнаруживать данную неисправность.

Отметим еще два вида распространенных неисправностей, не являющихся константными. Большую долю повреждений в современных микроэлектронных схемах с высокой степенью интеграции составляют *короткие замыкания* между линиями схемы (рис.7.3,а) или мостиковые неисправности.

При изготовлении печатных плат и интегральных схем их доля может составить 50-60%. Эти неисправности изменяют логическую функцию, реализуемую схемой. Логическое моделирование короткого замыкания линий осуществляется с помощью элемента $И$ (рис.7.3,б), если сигнал «логический 0» доминирует в схеме над сигналом «логическая 1», или с помощью элемента $ИЛИ$ (рис.7.3,в) в противном случае.

Основная литература: 1[94-108]. Дополнительная литература: 1[101-117].

Контрольные вопросы:

1. Что понимается под ошибкой в логических схемах?
2. Что понимается под отказом в логических схемах?
3. Что понимается под неисправностью в логических схемах?
4. Какая между ними причинно-следственная связь?
5. Привести примеры глобального и местного влияния неисправностей на систему.
6. Перечислить три допущения при построении модели логической константной неисправности.

Лекция 8. Тесты логических элементов

8.1 Модели неисправностей логических элементов

Логический элемент (ЛЭ) представляет собой устройство (рис. 8.6), имеющее n входов и один выход, на котором реализуется некоторая функция алгебры логики $F(x)$. Дефект внутренней структуры элемента приводит к тому, что на его выходе вместо функции $F(x)$ реализу-

ется функция неисправности $f(x)$. Тест проверки ЛЭ должен определить, какую из функций $[F(x)$ или $f(x)]$ реализует элемент. Число и вид функций неисправности определяется внутренней структурой ЛЭ. Анализ неисправностей и построение теста ЛЭ выполняют при помощи ТФН.

Рассмотрим процесс построения теста на примере ЛЭ на транзисторе, реализующим функцию *ИЛИ-НЕ* (рис.8.1). Структура элемента содержит резисторы R_1 - R_4 и транзистор V . Рассмотрим обрывы резисторов (короткие замыкания резисторов маловероятны), обрыв и короткое замыкание перехода эмиттер-коллектор (Э-К) транзистора (обрывы и короткие замыкания переходов эмиттер-база и база-коллектор в конечном счете приводят к указанным неисправностям перехода Э-К). Рассмотрим только одиночные повреждения деталей, хотя в данном случае тест, построенный для одиночных повреждений, будет обнаруживать и любую их совокупность. К одиночным повреждениям (неисправностям) относятся: N_1 - N_4 - соответственно обрывы резисторов R_1 - R_4 ; N_5 - короткое замыкание перехода Э-К транзистора; N_6 - обрыв перехода Э-К транзистора; N_7 - N_9 - соответственно обрывы базы, эмиттера, коллектора транзистора. В таблице 8.1 представлена ТФН для рассматриваемого элемента.

Функции неисправностей определяются моделированием работы элемента с внесенным дефектом.

Например, при обрыве резистора R_1 элемент *ИЛИ-НЕ* превращается в элемент *НЕ* с входом b и поэтому $f_1 = \bar{b}$ и т.д. Во многих ЛЭ имеются детали, повреждение которых не изменяет логическую функцию элемента. В элементе *ИЛИ-НЕ* к таким деталям относится резистор R_4 в цепи смещения.

Таблица 8.1

№	Входной набор	F	Функции неисправности								
			f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9
			При внесенной неисправности								
			N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8	N_9
0	00	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
1	01	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1
2	10	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
3	11	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

Обрыв этого резистора не влияет на правильную работу элемента или при определенных условиях приводит к короткому замыканию перехода Э-К транзистора.

Повреждение таких деталей не обнаруживается логическими тестами, а требуется проведение специальных испытаний элементов. Поэтому соответствующие неисправности исключаются из ТФН. Кроме того, в любом ЛЭ большое число неисправностей являются эквивалентными. В ТФН они имеют одинаково заполненные столбцы.

В табл. 8.1 образуем два класса эквивалентных неисправностей $N^0 = \{N_3, N_5\}$ и $N^1 = \{N_6, N_7, N_8, N_9\}$ в результате чего получаем сжатую ТФН элемента (табл.8.2), в которой все столбцы попарно различимы.

В таблице в качестве проверок выступают входные двоичные наборы, которым в крайнем левом столбце сопоставлены десятичные эквиваленты.

В таблице 8.3 приведена построенная по таблице 8.2 таблица покрытий, по которой получаем, что проверяющий тест элемента:

$$T_n = \{0,1,2\} = \{\overline{ab}, \overline{ab}, \overline{ab}\} \quad (8.1)$$

Из выражения (8.1) следует, что двухвходовой элемент *ИЛИ-НЕ* проверяется тремя входными наборами.

Первый набор ab обнаруживает все дефекты, приводящие к появлению на выходе элемента сигнала 0 вместо сигнала 1 (отказ типа $1 \rightarrow 0$).

Таблица 8.2

№	Входной набор	F	Функции неисправности			
	ab		f ₁	f ₂	f ⁰	f ¹
			При внесенной неисправности			
			N ₁	N ₂	N ⁰	N ¹
0	00	1	1	1	0	1
1	01	0	0	1	0	1
2	10	0	1	0	0	1
3	11	0	0	0	0	1

Таблица 8.3

π/N	N_1	N_2	N^0	N^1
0			×	
1		×		×
2	×			×
3				×

Второй набор ab обнаруживает дефект второго входа b , а третий набор ab -дефект первого входа a . Все дефекты, из-за которых на выходе элемента появляется сигнал 1 вместо сигнала 0 (отказ типа $0 \rightarrow 1$), обнаруживаются на втором или третьем наборе.

Данная структура теста (а также и структура сокращенной ТФН) характерна для любого из элементов простого базиса, к которым относятся элементы *И*, *ИЛИ*, *НЕ*, *ИЛИ-НЕ*, *И-НЕ*. Для них длина теста $L=n+1$ (где n равно числу входов элемента), причем n наборов используется для проверки каждого из входов, а один набор - для обнаружения отказов, при которых на выходе элемента устанавливается постоянный сигнал 0 или 1. Ниже приведены тесты для элементов простого базиса, имеющих два входа, на которые подаются переменные a и b .

Элемент	Проверяющий тест
<i>И</i>	$T_n = \{ab, \bar{a}b, a\bar{b}\}$
<i>ИЛИ</i>	$T_n = \{\bar{a}\bar{b}, \bar{a}b, a\bar{b}\}$
<i>И-НЕ</i>	$T_n = \{ab, \bar{a}b, a\bar{b}\}$
<i>ИЛИ-НЕ</i>	$T_n = \{\bar{a}\bar{b}, \bar{a}b, a\bar{b}\}$

Для проверки элемента *НЕ*, на вход которого подается переменная a , необходимо подать два набора: a и \bar{a} .

Неисправности, приведенные в таблице 8.1, относятся к классу константных неисправностей. Такие неисправности можно интерпретировать как фиксацию в константу (ноль или единица) сигнала на входе или выходе ЛЭ. Например, обрыв входа элемента *ИЛИ-НЕ* (рис. 8.1) соответствует фиксации на нем нулевого сигнала, обрыв перехода Э-К транзистора - фиксации на выходе элемента единичного сигнала и т.д. В общем случае элемент с n входами может иметь $(2n+2)$ константные неисправности, так как каждый вход и выход могут быть зафиксированы как в нуль, так и в единицу. На схемах константные неисправности обозначают в виде кружков, расположенных около соответствующих входов и выходов (рис. 8.4). Верхние кружки соответствуют неисправностям «константа 1» (К.1), а нижние - неисправностям «константа 0» (К.0).

Как правило, ЛЭ имеет только один вид неисправности на входе. В элементе *ИЛИ-НЕ* (рис.8.1) обрывы входов соответствуют неисправностям вида К.0; дефектов же, соответствующих неисправностям вида К.1, в элементе нет. Однако указание полного множества константных неисправностей позволяет абстрагироваться от конкретной внутренней структуры элемента и получить свойства, связанные с контролепригодностью, для каждого ЛЭ, реализующего определенную функцию, независимо от его внутренней структуры.

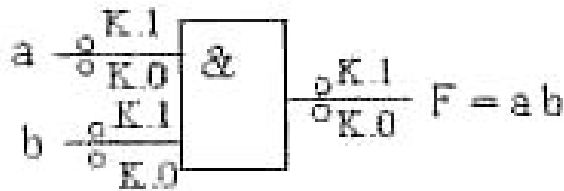


Рисунок 8.4 - Обозначения константных неисправностей

Для ЛЭ можно выделить классы эквивалентных неисправностей, которые показаны на (рис.8.5) в виде графов, нанесенных на изображения элементов. Эквивалентные неисправности соединены прямыми линиями.

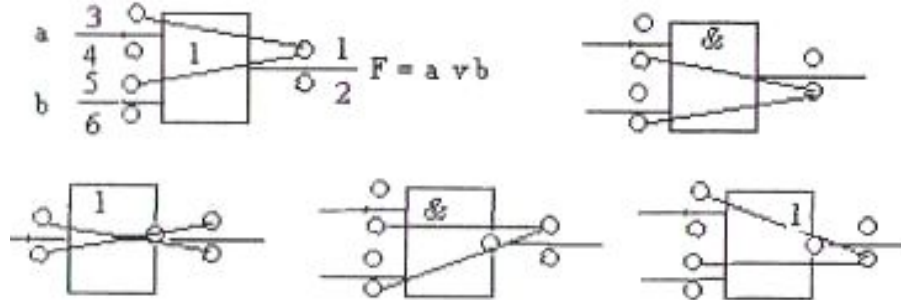


Рисунок 8.5 - Классы эквивалентных неисправностей для логических элементов

Рассмотрим, например, элемент *ИЛИ*. В класс эквивалентных неисправностей входят неисправности 1, 3 и 5, соответствующие неисправностям вида К.1 входов и выхода элемента. Очевидно, что если на каком-либо входе зафиксировать сигнал 1, то такой же сигнал фиксируется и на выходе элемента. При этом по выходу элемента невозможно определить, где имеет место неисправность - на каком входе или выходе. Для этих неисправностей равны между собой функции неисправности ($f_1=f_3=f_5=1$) и проверяющие функции ($\varphi_1=\varphi_3=\varphi_5=\overline{ab}$). При построении проверяющего и диагностического тестов для логической схемы рассматривается только один элемент класса эквивалентных неисправностей.

Среди константных неисправностей выделяются также импликантные неисправности. Неисправность N_i находится в отношении импликации к неисправности N_j (обозначается $N_i \rightarrow N_j$), если на тех входных наборах, на которых равна 1 проверяющая функция неисправности N_i (φ_i), Тогда $\varphi_i \rightarrow \varphi_j$.

Отношения импликации указываются на изображениях элементов в виде стрелок, направленных от N_i к N_j . На (рис.8.6) показаны отношения импликации, существующие в ЛЭ простого базиса.

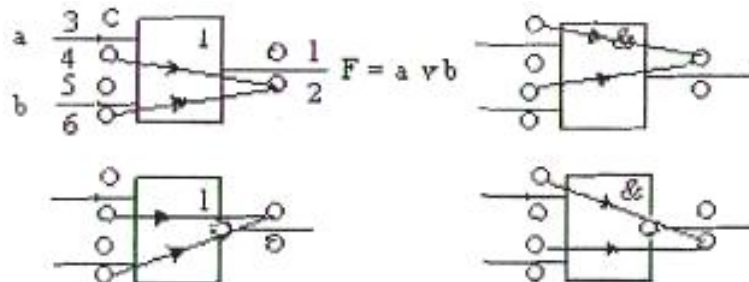


Рисунок 8.6 - Импликантные неисправности в логических элементах

Отношение импликации введено для упрощения процесса построения проверяющего теста. Если $N_i \rightarrow N_j$ то при вычислении T_n можно рассматривать только N_i при этом обеспечивается обнаружение и неисправности N_j . Рассмотрим, например, элемент *ИЛИ*. Для него существуют два отношения импликации: $4 \rightarrow 2$ и $6 \rightarrow 2$. В таблице 8.4 приведены функции неисправности. Вычислим проверяющие функции:

$$\varphi_2 = F \oplus f_2 = \overline{ab} \vee ab \vee ab; \varphi_4 = F \oplus f_4 = \overline{ab}; \varphi_6 = F \oplus f_6 = \overline{ab}.$$

Таблица 8.4

Входной набор a, b	F	Функции неисправности		
		f_2	f_4	f_6
0 0	0	0	0	0
0 1	1	0	1	0
1 0	1	0	0	1
1 1	1	0	1	1

Имеют место соотношения: $\varphi_4 \rightarrow \varphi_2$ и $\varphi_6 \rightarrow \varphi_2$. Рассмотрим отношение $4 \rightarrow 2$. При построении T_n по условию обнаружения неисправности 4 в тест включается набор ab . Так как $\varphi_4 \rightarrow \varphi_2$, то этот набор входит в состав проверяющей функции φ_2 для неисправности 2. Поэтому рассмотрение неисправности 4 обеспечивает обнаружение неисправности 2, и последнюю можно не учитывать в процессе вычисления теста.

Для константных неисправностей функция, реализуемая неисправным элементом, может быть получена из функции исправного элемента фиксацией в 0 или 1 ее переменных. Например, для элемента *ИЛИ-НЕ* (рис. 8.1) санкция неисправности f_j для случая обрыва резистора R_i :

$$f_i = \overline{(a=0)} \vee \overline{b} = \overline{0} \vee \overline{b} = \overline{b}.$$

Основная литература: 1[94-108]. Дополнительная литература: 1[101-117].

Контрольные вопросы:

1. Что понимается под покрытием неисправностей?
2. Какие неисправности характерны для резисторов?
3. Какие неисправности характерны для транзисторов?
4. Чему равна длина теста для n -входного логического элемента?
5. Неисправности, приведенные в таблице 8.1, относятся к какому классу неисправностей?
6. Отношения импликации указываются на изображениях элементов в виде чего?

Лекция 9. Диагностирование БИС с памятью

9.1 Сигнатурный анализ

Для сложных вычислительных систем, обладающих большим объемом памяти и разветвленной логикой, объемы диагностической информации могут оказаться очень большими и потребовать неприемлемых аппаратных и временных затрат. В этом случае применяется сжатие диагностической информации. Основным методом сжатия является сигнатурный анализ.

На (рис.9.1) приведена схема диагностирования сложного вычислительного устройства, оформленного в виде большой интегральной схемы (БИС). Последняя имеет m входов и один выход и является элементом некоторой сложной микропроцессорной системы.

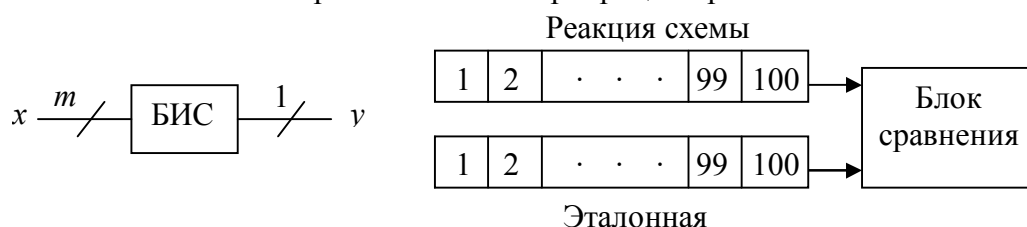


Рисунок 9.1 - Схема диагностирования БИС

Для проверки БИС используется проверяющий тест в виде вход-выходной последовательности (ВВП), содержащий последовательность входных наборов размерности T . Предположим, что эта последовательность содержит 100 наборов.

Процесс диагностирования БИС состоит из двух процедур. Первая процедура заключается в подаче на вход БИС 100 наборов теста и в фиксации последовательности сигналов на выходе. Для этого требуется регистр, имеющий 100 разрядов. Вторая процедура состоит в сравнении последовательности ответов с эталонной последовательностью, для хранения которой также требуется 100-разрядный регистр. Если эти две последовательности не совпадают хотя бы в одном разряде, делается вывод о наличии в БИС неисправности.

Данный процесс может быть реализован как аппаратными средствами, так и программным путем. При использовании аппаратных средств, кроме сложных регистров, необходима еще и более сложная схема сравнения. При применении программного метода требуется большое время для последовательного сравнения 100 бит. Сжатие информации заключается в том, что 100-разрядный вектор выходных сигналов по какому-то правилу (алгоритму) заменяется вектором с существенно меньшим числом разрядов. Такая же операция производится и с эталонным вектором. Уменьшение числа разрядов сравниваемых векторов существенно уменьшает аппаратные и временные затраты. Однако при этом имеет место потеря некоторой информации, в результате чего ряд неисправностей БИС не будут искажать выходной вектор и не будут обнаружены.

Максимальное сжатие информации происходит тогда, когда 100-разрядный (в общем случае n -разрядный) вектор преобразуется в одноразрядный вектор по принципу четности числа единиц. Для этого выход схемы подключается к T -триггеру (рис.9.2).

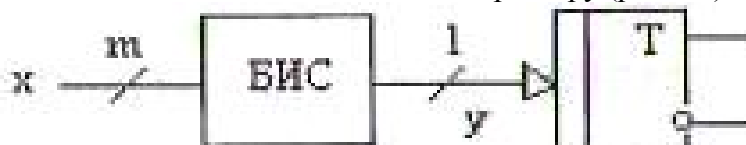


Рисунок 9.2 - Схема диагностирования по принципу четности единиц

В этом случае эталонный вектор содержит нечетное (или четное) число единиц. Если после поступления тестовой последовательности на вход БИС триггер окажется в состоянии 0, то это будет означать, что в схеме есть неисправность. Если же при наличии неисправности триггер будет находиться в состоянии 1, то неисправность не обнаруживается. Предположим, что появление всех искаженных выходных векторов равновероятно, т.е. что половина всех неисправностей БИС нарушает четность вектора, а половина не нарушает. Тогда вероятность того, что неисправность будет обнаружена, равна 0,5. Столь низкая вероятность обнаружения неисправности есть следствие максимального сжатия информации.

На практике применяются такие способы сжатия информации, которые лишь незначительно уменьшают вероятность обнаружения неисправности.

Будем представлять двоичный вектор выходных сигналов в виде многочлена $f(x)$ относительно переменной x , расположенного по убывающим степеням с коэффициентом 0 и 1. Например, 9-разрядный вектор ($n=9$)

$$\begin{array}{cccccccccc} 8 & 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

представляется в виде многочлена:

$$f(x)=1x^8+1x^7+0x^6+0x^5+0x^4+0x^3+0x^2+0x^1+1x^0=x^8+x^7+x^5+1$$

Старший разряд многочлена (а следовательно, и сам многочлен) имеет степень $n-1$. Этот разряд соответствует первому выходному сигналу (ответу) БИС при подаче теста. Коэффициент при x^{n-1} равен ответу с номером i .

Вводятся три операции над многочленами.

Операция сложения выполняется по правилам операции «сложение по модулю 2»: $x^i+0=x^i$, $x^i+x^i=0$. Например, $(x^8+x^7+x^5+1)+(x^7+x^4+1)=x^8+x^5+x^4$. Операция умножения выполняется по правилам:

$$x^i \cdot x^j = x^{i+j}, \quad 0 \cdot x^i = 0, \quad 1 \cdot x^i = x^i$$

$$\text{например: } (x^8+x^7+x^5+1)(x^3+1)=(x^{11}+x^{10}+x^8+x^3+x^8+x^7+x^5+1)=x^{11}+x^{10}+x^7+x^5+x^3+1$$

Операция деления обозначается следующим образом:

$$x^i/x^j = x^{i-j}$$

При делении многочленов старший член делимого делится на старший член делителя. Деление заканчивается, когда степень остатка становится меньше степени делителя. Например,

$$\begin{array}{r} x^3+x^7+x^5+1 \quad | \quad x^5+x^4+x^3+1 \\ x^3+x^7+x^6+x^3 \quad | \quad x^3+x \\ \hline x^6+x^5+x^3+1 \\ x^6+x^5+x^3+x \\ \hline x^4+x^3+x+1 \end{array}$$

Здесь $(x^8+x^7+x^5+1)$ -делимое; $(x^5+x^4+x^3+1)$ -делитель; (x^3+x) -частное; $(x^5+x^4+x^3+1)$ - остаток. Имеет место равенство:

$$f(x)=g(x)q(x)+p(x)$$

где $f(x)$ - делимое; $g(x)$ - делитель; $q(x)$ - частное; $p(x)$ - остаток.

Если степень $f(x)$ равна n , степень $g(x)$ равна r , то степень частного $q(x)$ равна $n-r$, а степень остатка $p(x)$ меньше, чем r .

Таким образом, операция деления уменьшает степень многочлена, т.е. уменьшает число разрядов соответствующих двоичных векторов. Поэтому она применяется для сжатия двоичной информации. При этом в качестве «сжатого» вектора используется остаток $p(x)$, который называется *сигнатурой*.

Если многочлен $f(x)$ соответствует эталонному вектору выходных сигналов, то при делении его на некоторый делитель $g(x)$ формируется строго определенный остаток $p(x)$, который принимается за эталонную сигнатуру. В рассмотренном примере $p(x)=x^4+x^3+x+1$. На (рис.9.3) показана схема диагностирования БИС со сжатием информации. На вход БИС подается тестовая последовательность из 100 входных наборов. Выходная последовательность $f(x)$ при помощи схемы делителя сжимается, например, в 16-разрядный вектор. Полученная сигнатура - реакция сравнивается с эталонной сигнатурой. Неисправности в БИС искажают последовательность $f(x)$ и сигнатуру $p(x)$. Но ряд неисправностей сигнатуру $p(x)$ не искажает.

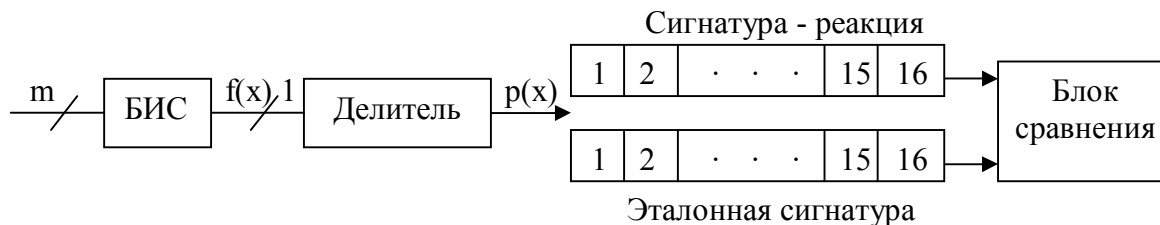


Рисунок 9.3 - Схема диагностирования БИС со сжатием информации

При построении схемы диагностирования (рис.9.3) решаются задачи синтеза схемы делителя и оценки вероятности не обнаружения неисправностей БИС. Схема делителя, который называется сигнатурным анализатором (СА), представляет собой сдвиговый регистр с линейными обратными связями.

Представим делитель $g(x)$ в виде:

$$g(x)=g_r x^r + g_{r-1} x^{r-1} + \dots + g_1 x^1 + g_0$$

где $g_i = \{0, 1\}$.

На (рис.9.4) приведена общая структурная схема деления многочлена $f(x)$ на многочлен g_x .

В нее входят элементы «сложение по модулю 2» (элементы М2), элементы задержки (Д-триггеры) и элементы умножения g_i . Если коэффициент $g_i=1$, то в схеме устанавливается обратная связь; если $g_i=0$ - обратная связь отсутствует.

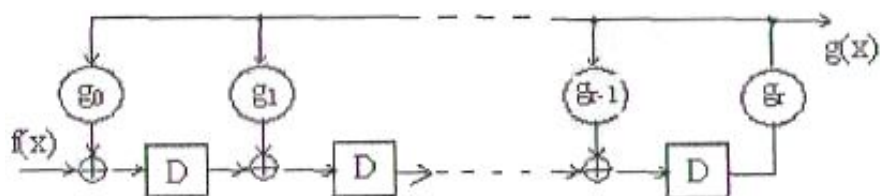


Рисунок 9.4 - Структурная схема деления

На (рис.9.5) представлена схема деления на многочлен $g(x)=x^5+x^4+x^3+1$. Подача последовательности тестовых наборов на вход БИС, снятие последовательности выходных сигналов $q(x)$ и работа сдвигового регистра синхронизируются одной и той же серией тактовых импульсов С.

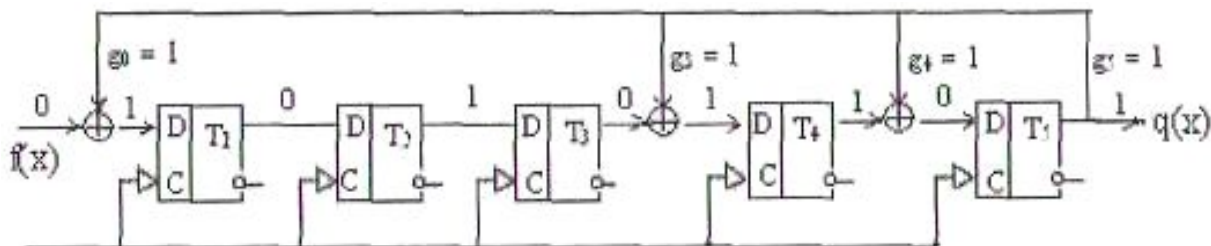


Рисунок 9.5 - Схема деления на многочлен $x^5+x^4+x^3+1$

Основная литература: 1[181-193]. Дополнительная литература: 1[167-184].

Контрольные вопросы:

1. Что понимается под сжатием информации?
2. Что такое максимальное сжатие информации?
3. Какую операцию выполняет блок М2?
4. Как выполняются операции умножения и деления с многочленами?
5. Что называется сигнатурой?
6. Что представляет собой сигнатурный анализатор?

Лекция 10. Работа регистра

10.1 Работа сигнатурного анализатора с вынесенными сумматорами

В таблице 9.1 отражена работа регистра при подаче на вход последовательности 110100001 [полином $f(x)=x^8+x^7+x^5+1$]. В первые пять тактов (сдвигов), в течение которых значение старшего коэффициента полинома x^8 будет записано в триггер T_5 , который соответствует старшему члену делителя x^5 , на выходе $q(x)$ формируются сигналы 0. На (рис.9.5) показано состояние схемы регистра перед шестым сдвигом, когда по цепи обратной связи на элементы М2 поступает сигнал 1. В результате триггеры T_1 , T_3 и T_4 переключаются в состояние 1, а триггеры T_2 и T_5 - в состояние 0.

Таблица 10.1

№	Входной сигнал $f(x)$	Содержимое регистра					Выходной сигнал $g(x)$
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	
0		0	0	0	0	0	
1	1	1	0	0	0	0	0
2	1	1	1	0	0	0	0
3	0	0	1	1	0	0	0
4	1	1	0	1	1	0	0
5	0	0	1	0	1	1	0
6	0	1	0	1	1	0	1
7	0	0	1	0	1	1	0
8	0	1	0	1	1	0	1
9	1	1	1	0	1	1	0

В результате после девятого сдвига на выходе регистра появляется последовательность 1010, что соответствует частному $q(x)=x^3+x$. А в самом регистре будет записан вектор 11011, соответствующий остатку $p(x)=x^4+x^3+x+1$ (сигнатуре). Таким образом, последовательный регистр с обратными связями осуществляет операцию деления многочленов, которая сопровождается записью сигнатуры в самом регистре. Далее рассмотрим случай, когда в результате неисправности БИС происходит искажение ее выходной последовательности $f(x)$, например в разрядах 3 и 6. Это искажение можно записать в виде многочлена вектора ошибок $e(x)=x^6+x^3$.

Искаженная последовательность $f(x)$ определяется следующим образом:

$$f(x)=f(x)+e(x)=(x^8+x^7+x^5+1)+(x^6+x^3)=x^8+x^7+x^6+x^5+1$$

Деление нового полинома $f(x)$ на $g(x)$ дает результат:

$$\begin{array}{r} x^8+x^7+x^6+x^5+x^3+1 \quad x^5+x^4+x^3+1 \\ \underline{x^8+x^7+x^6+x^3} \quad \quad \quad \overline{x^3+1} \\ x^5+1 \\ \underline{x^5+x^4+x^3+1} \\ x^4+x^3 \end{array}$$

Новая сигнатура x^4+x^3 отличается от эталонной x^4+x^3+x+1 и по этому данная неисправность будет обнаружена. Рассмотрим другой полином вектора ошибок:

$$e(x)=x^8+x^6+x^4+x^3+x^2+x.$$

$$\text{Для него } f(x)=f(x)+e(x)=(x^8+x^7+x^5+1)+(x^8+x^6+x^4+x^3+x^2+x)=x^7+x^6+x^4+x^3+x^2+x+1$$

Деление $f(x)$ на $g(x)$ дает результат:

$$\begin{array}{r} x^7+x^6+x^5+x^4+x^3+x^2+x+1 \quad x^5+x^4+x^3+1 \\ \underline{x^7+x^6+x^5+x} \quad \quad \quad \overline{x^2} \\ x^4+x^3+x^2+1 \end{array}$$

В данном случае новая сигнатура совпадает с эталонной и поэтому неисправность БИС не обнаруживается.

Определим условия, при которых искажение выходной последовательности БИС не обнаруживается за счет сравнения сигнатур.

Пусть $f(x)=g(x)q(x)+p(x)$ и $e(x)=g(x)q_1(x)+p_1(x)$. Тогда:

$$f(x)=f(x)+e(x)=[g(x)q(x)+p(x)]+[g(x)q_1(x)+p_1(x)]=g(x)[q(x)+q_1(x)]+[p(x)+p_1(x)]=g(x)q'(x)+p'(x).$$

Из данного выражения следует принцип суперпозиции для сдвигового регистра с линейной обратной связью: частное и остаток (сигнатура) суммы двух входных последовательностей равны сумме частных и остатков слагаемых последовательностей.

Неисправность БИС не обнаруживается, если сигнатура искаженной выходной последовательности будет равна эталонной сигнатуре, т.е. если

$$p'(x)=p(x)+p_1(x)=p(x)$$

Отсюда следует, что $p_1(x)=0$, т.е. сигнатура вектора ошибки $e(x)$ должна быть равна 0. Поэтому справедливо

Утверждение 10.1. Неисправность БИС не обнаруживается тогда и только тогда, когда многочлен вектора ошибки $e(x)$ является кратным многочлену делителя $g(x)$, т.е. делится на него без остатка.

Например, данное утверждение выполняется для рассмотренного выше вектора не обнаруживаемой ошибки $e(x)=x^8+x^6+x^4+x^3+x^2+x$:

$$\begin{array}{r} x^8+x^6+x^4+x^3+x^2+x \quad x^5+x^4+x^3+1 \\ \underline{x^8+x^7+x^6+x^3} \quad \quad \quad \overline{x^3+x^2+x} \\ x^7+x^4+x^2+x \\ \underline{x^7+x^6+x^5+x^2} \\ x^6+x^5+x^4+x \\ \underline{x^6+x^5+x^4+x} \\ 0 \end{array}$$

Таким образом, для вектора $e(x)$, соответствующего не обнаруживаемой ошибке, можно записать:

$$e(x) = g(x)q_1(x)$$

так как $q_1(x) = 0$.

Степень многочлена $g(x)$ равна r , так как сигнатурный анализатор имеет r разрядов. Степень многочлена $e(x)$ равна n , так как входная тестовая последовательность имеет n наборов, а выходная последовательность - n ответов. Тогда степень частного $q_1(x)$ равна $n-r$. Поэтому имеется всего 2^{n-r} многочленов $q_1(x)$ при фиксированном остатке $p_1(x) = 0$. Это означает, что имеется в точности 2^{n-r} многочленов - ошибок $e(x)$ и среди них один нулевой, соответствующий отсутствию ошибок. Поэтому из всех 2^n многочленов ошибок $e(x)$ не обнаруживается в точности $2^{n-r} - 1$ ненулевых многочленов.

Если считать, что все ошибки $e(x)$ равновероятны, то вероятность не обнаружения ошибок в двоичных выходных последовательностях в сигнатурном r -разрядном анализаторе равна:

$$p = \frac{2^{n-r} - 1}{2^n} = \frac{1}{2^r} = 2^{-r} \quad (10.1)$$

Из формулы (10.1) следует, что достоверность сигнатурного анализа определяется только разрядностью регистра r и не зависит от длины тестовой последовательности. Наиболее часто на практике используются 16-разрядные СА. Для них вероятность не обнаружения

$$P = 1/2^{16} = 0,00001559$$

и соответственно вероятность обнаружения

$$1-p = 0,99998471$$

Сигнатурный анализатор выполняется в виде измерительного прибора. Прибор имеет цифровой индикатор, на котором высвечивается сигнатура. В технической документации на принципиальной схеме сложного устройства, состоящего из отдельных блоков (сменных плат), на выходах этих блоков (в контрольных точках) указываются эталонные сигнатуры. Они могут быть получены расчетным путем или путем проверки с помощью СА заведомо исправного устройства. При выполнении диагностической процедуры оператор подключает вход СА к контрольным точкам, начиная с выходов. Двигаясь от выходов ко входам, он находит неисправную штату и заменяет ее.

Метод сигнатурного анализа обладает большой достоверностью и требует небольшого дополнительного оборудования (3-4%). Тестовые программы по проверке аппаратуры могут быть записаны в ПЗУ, размещаемые в самом проверяемом оборудовании.

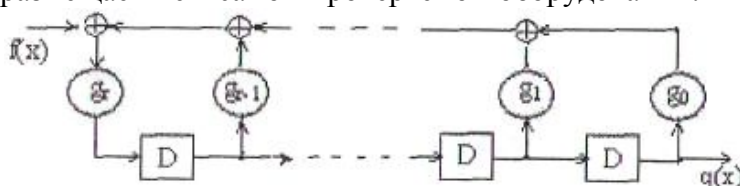


Рисунок 10.1 - Структура сигнатурного анализатора с вынесенными сумматорами

При построении рассмотренных выше СА (рис. 9.4 и 9.5) нельзя использовать типовые микросхемы сдвиговых регистров, так как последние в своей структуре не содержат элементов М2. Поэтому применяются также схемы сигнатурных анализаторов с вынесенными сумматорами. Общая структура такого СА приведена на (рис.10.1).

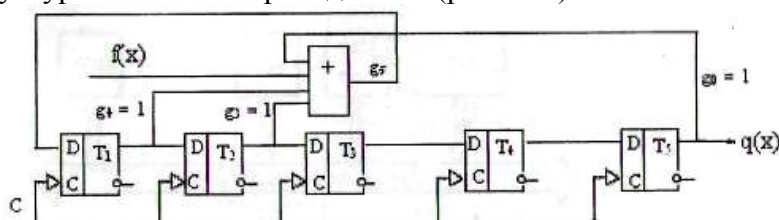


Рисунок 10.2 - Схема деления с вынесенными сумматорами

На (рис.10.2) представлена схема деления на многочлен $x^5+x^4+x^3+1$, работа которой отражена в таблице 10.2.

Таблица 10.2

№ п/п	Входной сигнал $f(x)$	Содержимое регистра					Выходной сигнал $q(x)$
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	
0		0	0	0	0	0	
1	1	1	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0	0	0
3	0	т	0	1	0	0	0
4	1	0	1	0	1	0	0
5	0	1	0	1	0	1	0
6	0	0	1	0	1	0	1
7	0	1	0	1	0	1	0
8	0	0	1	0	1	0	1
9	1	0	0	1	0	1	0

В этом случае окончательное содержимое регистра не является остатком от деления, в регистр записывается некоторый многочлен (в данном случае x^4+x^2), который также может быть получен расчетным или экспериментальным путем.

При необходимости контроля БИС с несколькими выходами или одновременного контроля нескольких БИС применяется параллельный сигнатурный анализатор (ПСА). Он производит сжатие нескольких двоичных последовательностей одновременно. Применение ПСА существенно увеличивает скорость тестирования, при этом достоверность контроля в ПСА также определяется по значению 2^{-t} .

Основная литература: 1[181-193]. Дополнительная литература: 1[167-184].

Контрольные вопросы:

1. Что представляет собой сигнатурный анализатор?
2. Пояснить работу схемы деления на многочлен.
3. Пояснить алгоритм обнаружения ошибки в выходной последовательности кода.
4. Чему равен вектор ошибки $e(x)$ при невозможности обнаружения отказа БИС?
5. Пояснить работу сигнатурного анализатора с вынесенными сумматорами.
6. Почему содержимое регистра не является остатком от деления?

Лекция 11. Диагностирование микропроцессорных систем

11.1. Схемы организации тестового диагностирования

Микропроцессорная система (МПС) как объект диагностики представляет собой сложную вычислительную структуру с шинной организацией (рис.11.1).

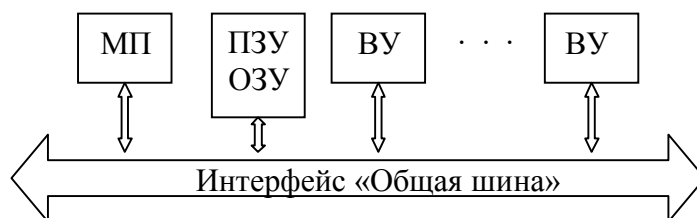


Рисунок 11.1 - Структура микропроцессорной системы

Она состоит из четырех основных групп БИС -микропроцессора, памяти, контроллеров ввода-вывода и контроллеров связи с объектами. Каждая из этих функциональных подсистем, в свою очередь, является достаточно сложной с точки зрения диагностирования. Поэтому при организации тестового и функционального диагностирования микропроцессорных систем используется декомпозиционный подход, при котором в качестве объекта диагностирования вы-

ступают отдельные функциональные устройства: АЛУ, процессор, ОЗУ, устройства ввода-вывода УВВ, отдельные ТЭЗы и корпуса СИС и БИС.

Трудности, возникающие при диагностировании микропроцессорных систем, определяются высокой степенью интеграции БИС (большим числом логических элементов и ограниченным числом внешних контактов), разветвленными связями между элементами системы. Кроме того, разработчик аппаратуры очень часто не имеет полной информации о внутренней структуре БИС и вынужден рассматривать ее как «черный» ящик.

По этим причинам общие методы построения тестов цифровых схем не всегда могут быть эффективно использованы. Для тестирования микропроцессоров разрабатываются и специальные методы, основанные на применении функциональных тестов. Эти тесты обеспечивают выполнение операций микропроцессора на некотором множестве операндов.

Существуют три основных подхода к построению тестов микропроцессоров и микропроцессорных систем: модульный, микропрограммный и функциональный. При *модульном* подходе БИС представляется как набор функционально законченных модулей.

Это регистры, счетчики, сумматоры, арифметико-логические устройства, мультиплексоры и др. Для каждого модуля строится частный тест. Общий тест образуется путем объединения частных тестов на основе шинной организации передачи данных между модулями.

Микропрограммный подход решает задачу следующим образом. Выбирается некоторая микропрограмма, состоящая из связанных микроопераций и осуществляющая передачу данных от внешних входов к внешним выходам устройства. Определяется часть аппаратуры, участвующая в реализации этой микропрограммы. Подбираются операнды, обнаруживающие неисправности этой части аппаратуры при выполнении каждой микрооперации. Решается задача оптимального выбора множества микропрограмм, покрывающего все аппаратные средства системы.

Функциональный подход основан на тестировании функций микропроцессорной системы. Список команд микропроцессора является источником информации о его операциях. Последние делятся на несколько классов: операции обработки; пересылки; ветвления; ввода-вывода и др. Тестируются каждая функция и та часть аппаратуры микропроцессора, которая реализует эту функцию («механизм» по терминологии). Выделяют следующие основные механизмы микропроцессора:

- механизмы обработки данных: выполнения арифметических и логических операций, модификации операндов и результата, формирования признаков результата, адресной арифметики;
- механизмы управления обработкой данных: дешифрации операций, дешифрации модификаций операций, операндов и результата; активизации операций и модификаций;
- механизмы хранения и передачи данных;
- механизмы управления передачей данных: выборки регистров, управления межрегистровым обменом, адресации, реакции на внутреннее состояние;
- механизмы реакции на внешние сигналы и сигналы ввода-вывода данных, прерывания, прямого доступа в память и др.

Основой построения моделей механизмов является модель регистровых передач. Тестовые программы строятся для каждого механизма в предположении, что остальные механизмы являются исправными.

На (рис.11.2) приведены основные схемы организации тестового диагностирования БИС.

Схема программного тестирования содержит генератор тестов (ГТ) - (рис.11.2,а). Тесты хранятся в памяти (ОЗУ или ПЗУ) и подаются на вход объекта диагностирования (ОД) в специально отведенные для этого интервалы времени. Выходная реакция ОД сравнивается с эталонной реакцией, которая также сохраняется в памяти. Подготовка тестов производится предварительно с использованием известных алгоритмов вычисления тестов или путем физического или машинного моделирования. При физическом моделировании в копию тестируемого устройства вносятся физические неисправности и находятся входные воздействия, которые их

обнаруживают. Для сложных устройств для этих целей используются машинные модели. При реализации программ тестирования применяются условные и безусловные алгоритмы диагностирования. Поиск дефектов осуществляется с помощью словарей или зондов.

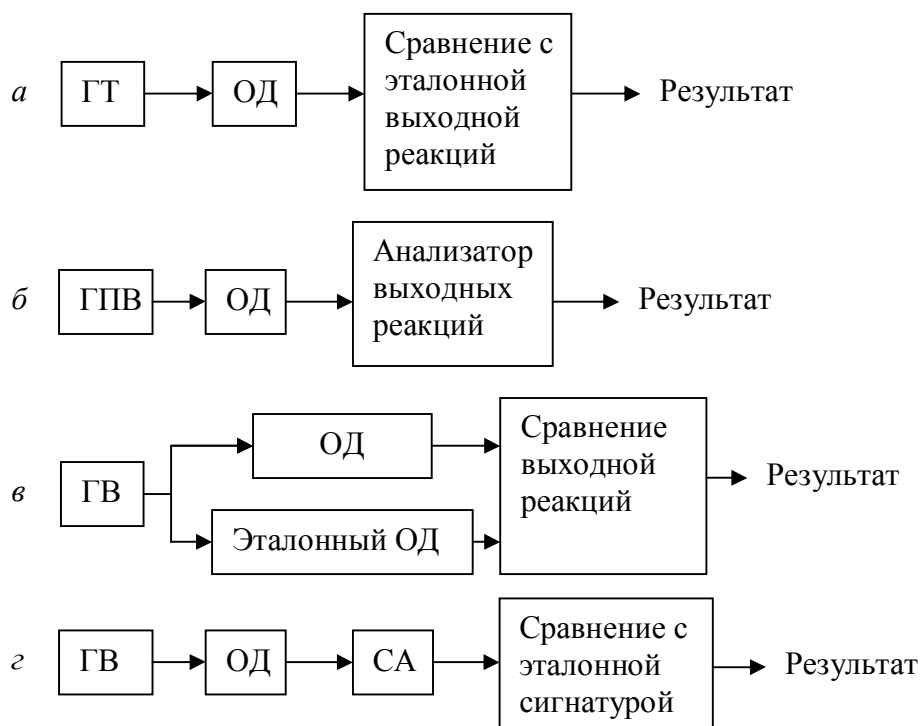


Рисунок 11.2 - Схемы организации тестового диагностирования

На рис. 11.2,б показана схема *вероятностного тестирования*. Входные воздействия на входы ОД подаются от генератора псевдослучайных воздействий ГПВ, который строится на сдвиговом регистре С обратными связями. Цифровое устройство, на входы которого поступают случайные последовательности сигналов, осуществляет вполне определенное преобразование распределения вероятностей этих Сигналов. Анализатор выходных реакций проверяет соответствие параметров случайных выходных сигналов некоторым эталонным значениям. Устройство считается исправным, если статистически подтверждается такое соответствие. Вероятностное тестирование освобождает разработчика от сложных процедур синтеза детерминированных тестов и в то же время обеспечивает достаточную достоверность результатов.

Компактное тестирование состоит в том, что генератор входных воздействий подает сигналы одновременно на ОД и эталонный (дублирующий) ОД - (рис.11.2,в). Эти сигналы могут быть наборами детерминированного или псевдослучайного теста. Результат диагностирования определяется из сравнения реакций обоих комплектов аппаратуры. Это исключает необходимость хранения результатов тестирования ИЛИ даже вычисления этих результатов.

При *сигнатурном тестировании* выходные реакции ОД обрабатываются сигнатурным анализатором (рис.11.2,г). Полученные сигнатуры сравниваются с эталонными, которые определяются расчетным путем ИЛИ физическим моделированием. Данный метод позволяет существенно сократить объемы хранимой диагностической информации.

11.2 Тестирование элементов микропроцессорных систем

При проверке исправности АЛУ тестируются логические, арифметические и другие операции. Механизм выполнения одноместных и двухместных логических операций представляет собой регулярную структуру из n одинаковых элементов с одним или двумя входами.

На (рис.11.3) показана такая структура для двухместной операции. Элемент (Э) является многофункциональным и выполняет ту или иную операцию в зависимости от значения вектора настройки C_i .

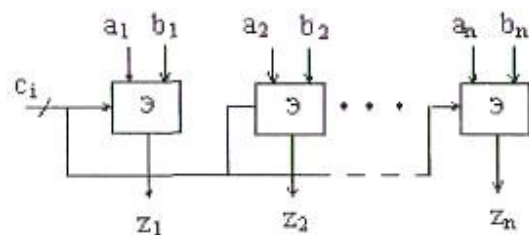


Рисунок 11.3 - Выполнение двухместной логической операции

Функции каждого разряда z_1, z_2, \dots, z_n вычисляются независимо друг от друга. Поэтому для тестирования двухместной функции достаточно четырех наборов, которые образуют полный тест. Если АЛУ выполняет k двухместных функций, то тест содержит $4k$ набора (табл.11.1). Такой тест обнаруживает все одиночные и кратные неисправности при условии отсутствия ошибок в работе схемы дешифрации операций (сигнал c_i ; - является правильным).

Таблица 11.1

c_i	$a_i b_i$	$a_2 b_2$	\dots	$a_n b_n$
c_0	0 0	00		0 0
c_0	01	0 1		0 1
c_0	1 0	1 0		1 0
c_0	1 1	11	\dots	1 1
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
c_{k-1}	00	00		0 0
c_{k-1}	01	0 1		0 1
c_{k-1}	10	1 0		1 0
c_{k-1}	11	11		1 1

Основой выполнения арифметических операций является суммирование, которое реализуется сумматорами различных типов.

На (рис.11.4) показан сумматор с последовательным переносом. Он представляет собой регулярную структуру, состоящую из базовых модулей - одноразрядных сумматоров HS.

На входы i -го модуля HS подаются значения i -го разряда a_i и b_i операндов (слагаемых) $A=(a_1 a_2 \dots a_n)$ и $B=(b_1 b_2 \dots b_n)$ и сигнал переноса c_{i-1} из предыдущего разряда. Значения выходов суммы s_i переноса c_i определяются по формулам:

$$S_i = a_i \oplus b_i \oplus c_{i-1}, \quad C_i = a_i b_i \vee a_i c_{i-1} \vee b_i c_{i-1}$$

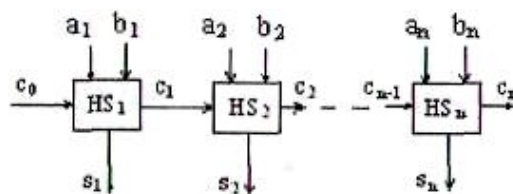


Рисунок 11.4 - Сумматор с последовательным переносом

В таблице 11.2 приведен проверяющий тест структуры (рис.11.4).

Он содержит восемь наборов для любого числа разрядов n и любой внутренней реализации модуля HS. Тест обнаруживает все одиночные неисправности сумматора. Он обеспечивает поступление на входы a_i, b_i, c_{i-1} i -го модуля HS полного множества из восьми наборов. Поэтому любая неисправность модуля HS_i либо проявляется на выходе S_j либо изменяет функцию. В последнем случае неисправность обнаруживается на выходе S_{j+i} .

Таблица 11.2

№	c_0	$a_1 b_1$	$a_2 b_2$	$a_3 b_3$	$a_4 b_4$	\dots
1	0	0 0	0 0	0 0	0 0	

2	0	01	0 1	0 1	0 1	
3	0	1 0	1 0	1 0	1 0	
4	0	1 1	0 0	1 1	0 0	
5	1	00	1 1	0 0	1 1	
6	1	01	0 1	0 1	0 1	
7	1	10	1 0	1 0	1 0	
8	1	11	1 1	1 1	1 1	

Известен также тест для сумматора с последовательным переносом, обнаруживающий любую кратную неисправность. Он содержит 11 наборов (табл.11.3). Тест для сумматора с параллельным переносом содержит $2n+2$ набора.

Правильная работа запоминающих устройств ОЗУ и ПЗУ является важным условием работоспособности МПС. Тестирование БИС ЗУ обычно проводится перед установкой ее в типовой элемент замены (ТЭЗ). При этом могут осуществляться статический, динамический и функциональный виды контроля. При статическом контроле измеряются электрические величины в установившемся режиме (токи Логических «0» и «1» входных и выходных сигналов, ток потребления). При динамическом контроле проверяются временные параметры микросхемы: время выбора микросхемы, время выборки адреса, время выборки считывания и др.

Целью функционального контроля является проверка правильности работы узлов БИС ОЗУ с учетом их электрических связей во всех режимах работы (записи, считывания, регенерации информации) при различных кодах адреса и входной информации.

Таблица 11.3

№	c_0	a_1b_1	a_2b_2	a_3b_3	a_4b_4	...
1	0	0010	00	00	00	
2	0	0101	01	01	01	
3	0	1011	10	10	10	
4	1	00	11	00	11	
5	0	11	00	11	00	
6	1	01	01	01	01	
7	1	10	10	10	10	
8	1	11	11	11	11	
9	0	00	01	00	01	
10	0	00	10	00	10	
11	1	11	01	11	01	

Функциональные тесты различаются своей длительностью и обнаруживающей способностью. Используются тесты типов L , L^2 и $L^{2/3}$, где L - емкость памяти. Анализ выходных реакций на тесте осуществляется путем сравнения с эталонными реакциями. При этом возможно сжатие диагностической информации, например с помощью сигнатурных анализаторов.

Рассмотрим наиболее распространенный функциональный L -тест:

1. «Последовательная запись и считывание нулей и единиц» - L . Производится запись нулей (единиц) во все ячейки ОЗУ, после чего производится последовательное считывание и проверка этой информации (рис.11.5,а).
2. «Шахматный код» - L . В соседние биты матрицы ЗУ записывается взаимно инверсная информация. Затем содержимое всех ячеек последовательно считывается. Тест обнаруживает взаимовлияния между соседними элементами памяти (рис.11.5, б).

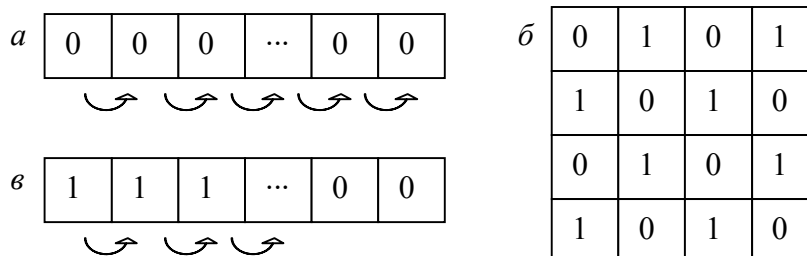


Рисунок 11.5 - Алгоритмы формирования функциональных тестов ОЗУ

3. «Запись-считывание в прямом и обратном направлении» - *L*. Во все ячейки ОЗУ записываются нули. Затем производится последовательное считывание содержимого каждой ячейки и запись в нее единиц. После записи единиц в последнюю ячейку процедура повторяется от старшего адреса к младшему с чтением единиц и записью нулей. Тест обнаруживает взаимовлияния соседних ячеек при смене в них информации (рис.11.5,в).

4. «Четность-нечетность адреса» - *L*. В каждую ячейку записывается 0, если число единиц в адресном коде четно, и 1, если число единиц нечетно. Затем производится считывание по всем адресам. Эта процедура повторяется с контролем нечетности.

Основная литература: 1[267-290]. Дополнительная литература: 1[211-237].

Контрольные вопросы:

1. Какие существуют подходы при построении тестов МПС?
2. В чем заключается программное тестирование?
3. Н чем заключается вероятностное тестирование?
4. Чем отличается компактное тестирование от сигнатурного?
5. Сколько наборов входит в тест двухместной логической операции?
6. Можно ли обнаружить кратные неисправности с помощью этих наборов?

Лекция 12. Тестирование программ

12.1 Ошибки программного обеспечения (ПО)

Микропроцессорная система есть единство аппаратных и программных средств. Поэтому тестирование программ является второй важнейшей задачей наряду с тестированием аппаратуры. С точки зрения диагностирования программное обеспечение (ПО) представляет собой объект более сложный, чем аппаратные средства.

Во-первых, программные продукты менее структурированы, чем аппаратура. Аппаратура часто строится на стандартных блоках, тесты для которых известны или легко строятся. Сложность программ может достигать десятков тысяч операторов, что делает их трудно обозримыми. Воздействия программных ошибок гораздо более обширны по своим последствиям на вычислительные процессы, чем воздействия, вызванные неисправностями аппаратных средств.

Любое тестирование и отладка сложных систем ПО могут только показать наличие ошибок, но не доказать их отсутствие. Поэтому программисты говорят: «Последняя найденная в программе ошибка является на самом деле предпоследней». В то же время последствия ошибок ПО могут быть весьма серьезными, например, в системах управления.

Ошибки ПО можно разделить на программные, алгоритмические и системные.

Программные ошибки вызываются неправильной записью команд на языке программирования и ошибками при трансляции. Их количество зависит от квалификации программистов, степени автоматизации программирования, глубины и качества тестирования.

Алгоритмические ошибки возникают из-за некорректной формулировки алгоритма ее решения. Типичные причины возникновения таких ошибок состоят в неполном учете условий решения, диапазонов изменения переменных, в превышении выделенных ресурсов, в неправильной оценке времени реализации отдельных программных модулей и т.п. Обнаружить алгоритмические ошибки сложнее, чем программные. Еще труднее обнаруживаются.

Системные ошибки связаны с неправильным взаимодействием комплексов программ между собой и с внешними объектами.

Статистика показывает, что интенсивность ошибок в ПО лежит в диапазоне от 0,25 до 10 на 1000 команд. Исправление одной программной, алгоритмической или системной ошиб-

ки требует корректировки в среднем 6, 14 и 25 команд. При этом материальные затраты на исправление ошибки с течением времени жизненного цикла ПО возрастают, а вероятность правильного исправления ошибки уменьшается. Поэтому целесообразно осуществлять тестирование ПО с самого начала его разработки, учитывая то, что на тестирование и сопровождение (устранение ошибок в процессе эксплуатации) приходится до 75% всех материальных затрат. По мере исправления ошибок в процессе сопровождения частота отказов λ ПО уменьшается (рис.12.1), поскольку программы «не изнашиваются» и «не стареют» в отличие от аппаратуры.

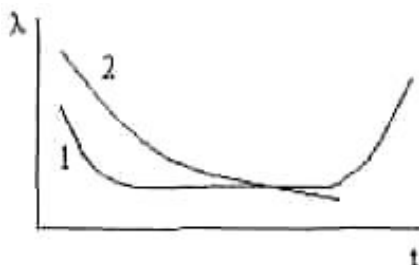


Рисунок 12.1 - Зависимость частоты отказов аппаратуры (1) и ПО (2) от времени

Эффективное тестирование ПО возможно только в том случае, если при его построении используются принципы *структурного программирования*. В этом случае программа делится на отдельные программные модули, которые решают определенные функционально законченные задачи, имеют небольшую сложность и поэтому могут быть сравнительно легко протестированы. Модули должны быть максимально независимы друг от друга. Программа имеет иерархическую структуру, в которой модули верхних уровней управляют работой модулей нижних уровней. Связи между модулями должны быть минимальны и по возможности сводиться только к передаче данных.

Тестирование состоит в выполнении программы с целью обнаружения ошибок при отсутствии реальной внешней среды. Специально подбирают входные данные (тесты); реакция ПО для этих данных сравнивается с эталонной. В структурированной программе выделяют четыре уровня тестирования: тестирование модулей, сопряжений между модулями, тестирование внешних функций, комплексное тестирование.

На уровне модулей проверяют логику программы. Контроль сопряжений обнаруживает ошибки в межмодульном интерфейсе. Тестирование внешних функций определяет соответствие внешних спецификаций и функций программы. Комплексное тестирование является завершающим этапом проверки системы.

Тестирование разделяется на три этапа: составление (генерация) тестов, выполнение программы на этих тестах и оценку полученных результатов. Выполнение программы на тестах может осуществляться вручную (на бумаге, «в уме») для несложных программ. Такой вид тестирования называется *статическим*.

Динамическое тестирование выполняется с использованием ЭВМ. Результаты прохождения теста анализирует программист или ЭВМ, для чего требуется иметь эталонные результаты и хранить их в памяти для сравнения. Возможно также использование эталонной программы, которая запускается на тех же тестах и вырабатывает эталонные выходные данные.

Тесты составляют программисты или автоматические системы генерации тестов. При этом используются два подхода: функциональный и структурный (рис.12.2).

При функциональном подходе тестируемая программа рассматривается как «черный ящик». Это означает, что ее внутренняя структура никак не учитывается, а тесты составляются на основании функциональных спецификаций. Для оценки полноты функционального теста используются различные критерии (рис. 12.2):



Рисунок 12.2 - Методы тестирования программ

- 1) проверку всех классов входных данных, когда тест должен содержать хотя бы по одному представителю из каждого класса;
- 2) проверку всех классов выходных данных, когда при исполнении тестовых примеров должно быть получено по одному представителю из каждого класса;
- 3) проверку всех функций, когда каждая реализуемая программой функция должна быть проверена хотя бы один раз;
- 4) проверку всех ограничений и правил и т.п.

При функциональном тестировании программ в тестовые примеры следует включать данные, содержащие наиболее характерные значения входных и выходных переменных.

При *структурном* подходе тесты строятся с использованием информации о внутренней структуре программы. При этом применяют в основном три критерия (рис.12.2):

- 1) проверку каждой команды не менее одного раза;
- 2) проверку каждой ветви программы не менее одного раза;
- 3) проверку каждого пути программы не менее одного раза.

Последний критерий наиболее сильный. Если программа содержит циклы, то ограничиваются тестированием простых, ациклических путей или число итераций ограничивается некоторой константой.

Доказать полноту функционального или структурного теста практически сложно. В общем случае цитирование не может доказать отсутствие ошибок в ПО, а может только обнаружить некоторую их часть.

Основная литература: 1[267-290]. Дополнительная литература: 1[211-237].

Контрольные вопросы:

1. Сколько наборов входит в проверку сумматора с последовательным переносом?
2. Какие виды контроля применяются при проверке запоминающих устройств?
3. Какие существуют основные типы функциональных тестов ЗУ?
4. Как зависит частота отказов ПО от времени эксплуатации?
5. С чем связаны системные ошибки?
6. Что такое «черный ящик»?

Лекция 13. Диагностирование непрерывных систем

13.1 Постановка задачи диагностирования

Работа систем непрерывного типа характеризуется параметрами, которые изменяются в непрерывном множестве значений. На (рис.13.1) показано изменение во времени некоторого параметра (физической величины) y , которая изменяется в пределах верхнего y_v и нижнего y_n значений. Непрерывный параметр y называется *диагностическим*, если выход его значения за допустимые пределы y_v и y_n является признаком изменения состояния объекта.

Таким образом, контроль непрерывного диагностического параметра заключается в его измерении и проверке выполнения неравенства:

$$y_n < y < y_v.$$

Для цепей диагностики непрерывную величину y_i можно описать дискретным признаком k_i , который имеет два значения: $k_i=1$, если $y_{in} < y_i < y_{iv}$ (в норме); $k_i=0$, в противном случае.

В более сложных случаях дискретному признаку присваиваются три значения:

$$k_i = k_{i1}, \text{ если } y_{in} < y_i; \quad k_i = k_{i2}, \text{ если } y_{in} < y_i < y_{iv}; \quad k_i = k_{i3}, \text{ если } y_i < y_v.$$

В общем случае непрерывная система характеризуется некоторым множеством диагностических параметров $\{y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n\}$.

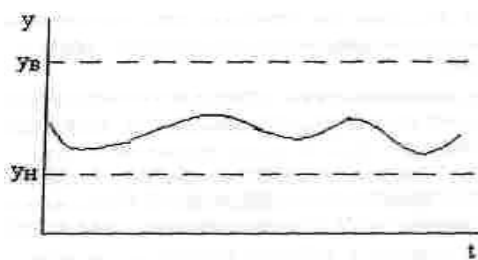


Рисунок 13.1 - Изменение непрерывного диагностического сигнала

Каждому параметру y_i соответствует свой дискретный признак k_i . Тогда при решении задач диагностики наряду с непрерывным описанием системы можно использовать дискретное описание. При этом состояние непрерывной системы описывается вектором:

$$K=(k_1, k_2, \dots, k_i, \dots, k_n),$$

где k_i - признак, имеющий m_i - разрядов. Если $m=2$, то вектор K является двоичным.

Сформулируем математическую постановку задачи диагноза непрерывной системы. Сама система может находиться в нескольких возможных состояниях (диагнозах) D_i , которые считаются известными. Например - исправное, неисправное, работоспособное, неработоспособное, предотказное и др. Существуют два основных подхода к решению задачи диагноза - вероятностный и детерминированный.

В *вероятностных* методах считается, что система с некоторой вероятностью находится в одном из случайных состояний D_i . Известно множество диагностических параметров $\{y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n\}$. Каждый параметр с определенной вероятностью характеризует состояние системы. Требуется построить алгоритм диагностирования (решающее правило), с помощью которого по данному множеству параметров определяется с достаточной достоверностью состояние системы D_i .

В *детерминированных* методах система характеризуется n -мерным вектором $K=(k_1, k_2, \dots, k_i, \dots, k_n)$, который представляет собой точку в n -мерном пространстве признаков (параметров). Диагноз D_i соответствует некоторой области этого пространства. Требуется построить алгоритм диагностирования, который данный вектор K относит к определенной области диагноза.

Таким образом, задача состоит в разделении пространства признаков на области диагноза.

Вероятностные методы являются более общими в том смысле, что могут оценивать достоверность того или иного диагноза и учитывать взаимозависимости между диагностическими параметрами. В детерминированных методах предполагается, что данный диагностический параметр с вероятностью, равной единице, соответствует допустимой норме или нет. Этот вывод делается в результате измерений. Вероятность данного (одного) диагноза считается также равной единице, вероятность остальных диагнозов равна нулю.

13.2 Метод Байеса

Одним из наиболее простых и эффективных вероятностных методов технической диагностики при наличии достаточного объема статистических данных является метод, основанный на использовании обобщенной формулы Байеса.

Пусть диагностируемая система может находиться в одном из состояний (диагнозах) D_1, D_2, \dots, D_n , которые образуют полную группу несовместных событий. Это означает, что одновременно может быть поставлен только один диагноз D_i . Из опыта эксплуатации подобных систем известны вероятности $P(D_i)$ нахождения системы в состоянии D_i . Вероятность $P(D_i)$ называется *априорной вероятностью диагноза*. Так, если ранее наблюдалось N систем и у N_i систем имелось состояние D_i , то

$$P(D_i)= N_i/N \tag{13.1}$$

при этом

$$\sum_{i=1}^n P(D_i) = 1 \quad (13.2)$$

Пусть работа данной системы характеризуется диагностическим параметром y_i . Событие (признак) k_i («выход параметра y_i за допустимые пределы») возникает при переходе системы в некоторые состояния D_i (при возникновении дефектов). Из опыта эксплуатации должны быть известны вероятности $P(k_i/D_i)$ появления признака k_i у системы в состоянии D_i . Так, если ранее среди N_i систем, имеющих диагноз D_i , признак k_i наблюдался у N_{ij} систем, то:

$$P(k_j/D_i) = N_{ij} / N_i \quad (13.3)$$

Теперь задача диагноза может быть сформулирована следующим образом. У системы наблюдается признак k_i , т.е. отклонился за допустимые пределы диагностический параметр y_i . В каком состоянии D_i находится система с наибольшей вероятностью?

Обозначим через $P(D_i/k_i)$ - вероятность того, что система находится в состоянии D_i , если наблюдается признак k_i . Эта вероятность называется *апостериорной вероятностью диагноза*. Ее определение и является целью диагноза. Вероятность того, что система находится в состоянии D_i и имеет признак k_i , обозначим через $P(D_i/k_i)$. Тогда имеет место равенство:

$$P(D_i k_i) = P(D_i) P(k_i/D_i) = P(k_i) P(D_i/k_i) \quad (13.4)$$

где $P(k_i)$ - вероятность появления признака k_i независимо от состояния системы.

Из формулы (7.4) следует формула Байеса:

$$P(D_i/k_j) = P(D_i) \frac{P(k_j/D_i)}{P(k_j)} \quad (13.5)$$

В формуле (13.5) величины $P(D_i)$ и $P(k_j/D_i)$ должны быть известны из статистических данных, полученных в процессе эксплуатации. Найдем величину $P(k_j)$. Событие k_j возникает вместе с одним из несовместных событий D_1, D_2, \dots, D_n . Поэтому

$$P(k_j) = P(D_1 k_j) + P(D_2 k_j) + \dots + P(D_n k_j) = P(D_1) P(k_j/D_1) + P(D_2) P(k_j/D_2) + \dots + P(D_n) P(k_j/D_n) \quad (13.6)$$

$$P(k_j) = \sum_{i=1}^n P(D_i) P(k_j/D_i) \quad (13.7)$$

Формула (13.7) является формулой полной вероятности события k_i , происходящего вместе с полной группой независимых событий. С учетом (13.7) формула Байеса принимает вид:

$$P(D_i/k_j) = \frac{P(D_i) P(k_j/D_i)}{\sum_{s=1}^n P(D_s) P(k_j/D_s)} \quad (13.8)$$

Из (13.8) следует, что:

$$\sum_{i=1}^n P(D_i/k_j) = 1 \quad (13.9)$$

т.е. сумма апостериорных вероятностей диагноза для данного признака k_i равна 1.

Для двух диапозона D_r и D_i отношение апостериорных вероятностей:

$$\frac{P(D_r/k_j)}{P(D_i/k_j)} = \frac{P(D_r)}{P(D_i)} * \frac{P(k_j/D_r)}{P(k_j/D_i)} \quad (13.10)$$

Это отношение пропорционально отношению априорных вероятностей и отношению условных вероятностей появления признака k_i в состояниях D_r и D_j .

Пример 1. Известны интенсивность отказов системы $\lambda = 1,5 \cdot 10^{-4}$ 1/ч. Контроль за работой системы осуществляется путем измерения параметра y_i . Из опыта эксплуатации известно, что при выходе за допустимые пределы параметра y_i (при наличии признака k_1) система выходит из строя в 5 % случаев. Определить вероятность работоспособного состояния системы А через 1000 ч при появлении признака k_j .

Обозначим работоспособное состояние системы как D_1 и D_2 - неработоспособное состояние.

Вероятности $P(k_1/D_1) = 0,05$; $P(k_1/D_2) = 0,95$.

Вероятность $P(D_1) = \exp(-1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 10^3) = e^{-0,15} = 0,85$.

По формуле (13.8) имеем:

$$P(D_1 / k_1) = \frac{P(D_1)P(k_1 / D_1)}{P(D_1)P(k_1 / D_1) + P(D_2)P(k_1 / D_2)} = \frac{0,85 * 0,05}{0,85 * 0,05 + 0,15 * 0,95} =$$

$$= \frac{0,0425}{0,0425 + 0,1425} = \frac{0,0425}{0,185} = 0,23$$

Таким образом, вероятность работоспособного состояния системы при появлении признака k_1 , снижается с 0,85 до 0,23.

Обобщенная формула Байеса применяется, если диагностируемая система характеризуется множеством параметров $\{y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n\}$ и в результате измерений становится известен вектор признаков $K^* = (k_1^*, k_2^*, \dots, k_j^*, \dots, k_n^*)$. Здесь знак «*» означает конкретную реализацию признака k_j . Тогда формула (7.8) принимает вид (обобщенная формула Байеса):

$$P(D_i / K^*) = \frac{P(D_i)P(K^* / D_i)}{\sum_{s=1}^n P(D_s)P(K^* / D_s)} \quad (13.11)$$

где $P(D_i / K^*)$ - апостериорная вероятность диагноза после того, как стали известны результаты измерений по вектору признаков K . При условии независимости диагностических признаков величина $P(K^* / D_i)$ рассчитывается по формуле:

$$P(K^* / D_i) = P(k_1^* / D_i)P(k_2^* / D_i) \dots P(k_n^* / D_i) \quad (13.12)$$

При использовании метода Байеса составляется диагностическая таблица (табл.7.1) на основе статистического материала. В ней для каждого диагноза D_i , указывается значение априорной вероятности этого диагноза [в столбце $P(D_i)$] и вероятностей появления разрядов признаков [в столбцах $P(k_{js}/D_i)$]. Таблица 13.1 составлена для системы A , имеющей три состояния D_1, D_2, D_3 . При этом:

$$\sum_{i=1}^3 P(D_i) = 1$$

Наибольшую вероятность имеет состояние $D_1 (P(D_1)=0,8)$.

Система A характеризуется тремя признаками k_1, k_2 и k_3 которые имеют соответственно 3, 4 и 2 разряда. Например, в состоянии D_i разряды k_{11} и k_{22} признака k_2 не наблюдаются (вероятности их появления равны нулю), разряд k_{23} наблюдается с вероятностью 0,2, а разряд k_4 - с вероятностью 0,8. Сумма вероятностей всех возможных реализаций признака для данного диагноза D_i равна единице.

Таблица 13.1

Таблица 15.1										
D_i	k_i									$P(D_i)$
	k_1			k_2				k_3		
	$P(k_{11}/D_i)$	$P(k_{12}/D_i)$	$P(k_{13}/D_i)$	$P(k_{21}/D_i)$	$P(k_{22}/D_i)$	$P(k_{23}/D_i)$	$P(k_{24}/D_i)$	$P(k_{31}/D_i)$	$P(k_{32}/D_i)$	
D_1	0.6	0,3	0,1	0	0	0,2	0,8	0,6	0,4	0,8
D_2	0.2	0,8	0	0,1	0,2	0,4	0,3	0,9	0,1	0,1
D_3	0.5	0,1	0,4	0,3	0	0,2	0,5	0,5	0,5	0,1

В процессе эксплуатации и диагностики однотипных систем производится корректировка диагностической таблицы.

При этом для обработки результатов необходимо хранить не только данные таблице 13.1, но и следующие данные: N - общее число систем, обследованных при составлении диагностической таблицы; N_i - число систем с диагнозом D_i . Пусть, например, для таблице 13.1 имеем: $N=100, N_1=80, N_2=10, N_3=10$. Если обследуется новая система и устанавливается ее диагноз D_i (t относится к $\{1, 2, \dots, n\}$), то производится корректировка прежних априорных вероятностей диагнозов по формулам:

$$P(D_i) = P(D_i) \left[N / (N + 1) \right], \quad \text{если } i \neq t$$

$$P(D_i) = P(D_i) \left[N / (N + 1) \right] + 1 / (N + 1), \quad \text{если } i = t$$
(13.13)

Пусть, например, при обследовании новой системы в нашем примере (табл.13.1) был установлен диагноз D_2 . Тогда получаем новые значения априорных вероятностей диагнозов:

$$P(D_1) = 0,8 \frac{100}{100 + 1} = 0,792; \quad P(D_2) = 0,1 \frac{100}{100 + 1} + \frac{1}{100 + 1}; \quad P(D_3) = 0,1 \frac{100}{100 + 1} = 0,099.$$

Далее производится корректировка условных вероятностей признаков. Пусть у новой системы с диагнозом D_i , выявлен разряд r признака k_j ; (k_{jr}). Тогда получаем новые значения условных вероятностей разрядов признака k_j при диагнозе D_i , по формулам

$$P(k_{js} / D_t) = P(k_{js} / D_t) \left[N_t / (N_t + 1) \right], \quad \text{если } s \neq r$$

$$P(k_{js} / D_t) = P(k_{js} / D_t) \left[N_t / (N_t + 1) \right] + 1 / (N_t + 1), \quad \text{если } s = r$$
(13.14)

Пусть в нашем примере при диагнозе D_2 выявлены следующие значения признаков k_{11} , k_{23} , k_{31} . Тогда по формуле (13.14) получаем новые значения условных вероятностей.

$$P(k_{11} / D_2) = 0,2 \frac{10}{10 + 1} + \frac{1}{10 + 1} = 0,273; \quad P(k_{12} / D_2) = 0,8 \frac{10}{10 + 1} = 0,727; \quad P(k_{13} / D_2) = 0;$$

$$P(k_{21} / D_2) = 0,1 \frac{10}{10 + 1} = 0,091; \quad P(k_{22} / D_2) = 0,2 \frac{10}{10 + 1} = 0,182;$$

$$P(k_{23} / D_2) = 0,4 \frac{10}{10 + 1} + \frac{1}{10 + 1} = 0,454; \quad P(k_{24} / D_2) = 0,3 \frac{10}{10 + 1} = 0,273;$$

$$P(k_{31} / D_2) = 0,9 \frac{10}{10 + 1} + \frac{1}{10 + 1} = 0,909; \quad P(k_{32} / D_2) = 0,1 \frac{10}{10 + 1} = 0,091.$$

В таблице 13.2 приведена новая диагностическая таблица, которая будет использоваться при диагностировании следующей системы.

Таблица 13.2

D_i	k_i									$P(D_i)$
	k_1			k_2				k_3		
	$P(k_{11}/D_i)$	$P(k_{12}/D_i)$	$P(k_{13}/D_i)$	$P(k_{21}/D_i)$	$P(k_{22}/D_i)$	$P(k_{23}/D_i)$	$P(k_{24}/D_i)$	$P(k_{31}/D_i)$	$P(k_{32}/D_i)$	
D_1	0.6	0,3	0,1	0	0	0,2	0,8	0,6	0,4	0,8
D_2	0,273	0,727	0	0,091	0,182	0,454	0,273	0,909	0,901	0,109
D_3	0,5	0,1	0,4	0,3	0	0,2	0,5	0,5	0,5	0,099

Основная литература: 1[295-309] Дополнительная литература: 1[287-302].

Контрольные вопросы:

1. Чем отличается вероятностный метод от детерминированного?
2. Что такое априорная вероятность диагноза?
3. Что такое апостериорная вероятность диагноза?
4. Напишите формулу Байеса.
5. Чему равно отношение двух апостериорных вероятностей?
6. Какой вид имеет обобщенная формула Байеса?

Лекция 14. Логическая модель непрерывной системы

14.1 Детерминированный метод

Применение логической модели для диагностирования непрерывной системы относится к детерминированным методам. Система как объект диагностирования разбивается на некоторое множество блоков. Эти блоки и связи между ними составляют структурную схему системы. На (рис.14.1) приведен пример структурной схемы, содержащей восемь блоков. Внешние входы системы обозначены символами x_i . Выходы блоков, которые являются и входами смежных блоков, а также внешние выходы системы обозначены символами Z_j .

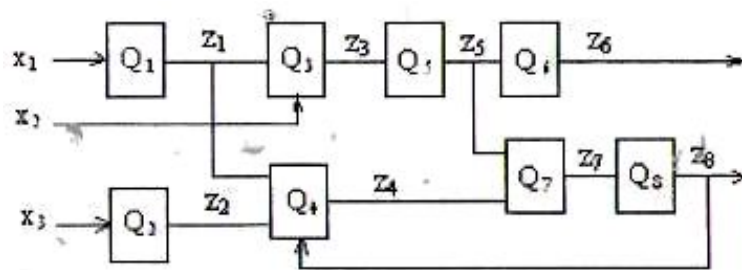


Рисунок 14.1 - Структурная схема непрерывной системы

Учитывая то, что обнаружение неисправностей в логических моделях происходит с точностью до блока структурной схемы, важное значение имеет оптимальность разбиения системы на блоки. При этом следует учитывать удобство измерения выходных сигналов блоков, сменность блоков, конструктивные особенности и др.

Входные и выходные сигналы блоков описываются одним или несколькими физическими параметрами (напряжение, ток, частота, фаза и др.).

Каждый параметр может измеряться отдельно с целью контроля работы блока. Поэтому в структурной схеме производится «расщепление» входов x_i и выходов z_j на несколько сигналов x_{if} и z_{jk} . В результате этого получают функциональную схему системы. В нашем примере (рис.14.2) для простоты предположим, что сигналы x_1 и z_2 характеризуются двумя параметрами, а остальные сигналы - одним параметром.

Функциональная схема приведена на (рис.14.2). Для построения логической модели каждый блок Q_r функциональной схемы, который имеет k_r выходов, заменяется k_r блоками, каждый из которых имеет один выход и существенные для данного выхода входы. Блок Q_1 на (рис.14.2) заменяется двумя блоками Q_{11} и Q_{12} (рис.14.3).

Если все блоки имеют по одному выходу, то в частном случае логическая модель будет совпадать с функциональной схемой.

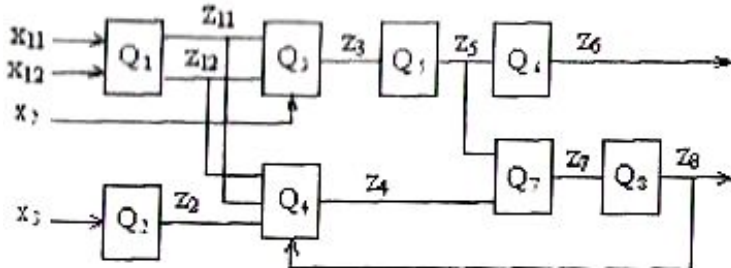


Рисунок 14.2 - Функциональная схема непрерывной системы

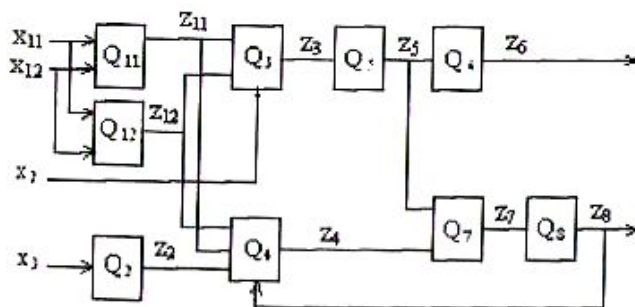


Рисунок 14.3 - Логическая модель непрерывной системы

Логическая модель содержит всю необходимую информацию для диагностирования системы. Эта информация заключена в логических связях между блоками, отражающих влияние неисправностей одних блоков на работу других. Будем считать, что все входные и выходные параметры блоков доступны для измерений известны области их допустимых значений. Тогда переменные x_i и z_j являются двоичными переменными. Они равны 1, если значения со-

ответствующих им параметров находятся в допустимых пределах, и равны 0 в противном случае.

В результате анализа логической модели строится таблица функций неисправностей. Для модели (рис.14.3) приведена в таблице 14.1. Строки таблицы соответствуют элементарным тестовым проверкам π . При такой проверке на внешние входы системы подаются сигналы x_j , причем все они имеют допустимые значения, и производится измерение сигнала z на выходе одного из блоков $Q_1, Q_2, \dots Q_h$. Таким образом, на логическую модель подается единственное входное воздействие, у которого все внешние сигналы равны 1. Число элементарных проверок не более числа блоков h модели. В действительности, это число может быть меньше h , если выходы не всех блоков доступны для измерения.

Таблица 14.1

	e_{11}	e_{12}	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7	e_8
π_{11}	0	1	1	1	1	1	1	1	1
π_{12}	1	0	1	1	1	1	1	1	1
π_2	1	1	0	1	1	1	1	1	1
π_3	0	0	1	0	1	1	1	1	1
π_4	0	0	0	1	0	1	1	0	0
π_5	0	0	1	0	1	0	1	1	1
π_6	0	0	1	0	1	0	0	1	1
π_7	0	0	0	0	0	0	1	0	0
π_8	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Графы таблицы 14.1 соответствуют неисправностям системы. Рассматриваются только неисправности одного блока. Любые неисправности внутри одного блока Q_i , проявляются на его выходе одинаково (отклонением сигнала z_j за допустимые пределы). Поэтому все такие неисправности рассматриваются как одна одиночная неисправность. Мощность множества всех одиночных неисправностей, таким образом, не превышает числа h блоков модели. В таблице 14.1 неисправность блока Q_i , обозначена как e_j . Графа e соответствует исправному состоянию системы (все блоки исправны).

При тестовой проверке вывод об исправности блока Q_j , следует из результатов измерения сигнала z_j на его выходе. Выход z_j будет допустим только тогда, когда все входы блока Q_j допустимы и сам блок исправен. Следовательно, блок Q_j исправен, если при проверке выход z_j допустим. Исходя из этого, заполняются графы таблицы функции неисправностей, выполняется анализ логической модели и составляются функции условий работы блоков:

$$z_j = Q_i * F_j \quad (14.1)$$

где F_j - конъюнкция входов блока Q_j ; $Q_j=0$ или 1.

Для (рис.14.3) находим конъюнкции F_j :

$$\begin{aligned} F_{11} &= x_{11}x_{12}; \quad F_{12} = x_{11}x_{12}; \quad F_2 = x_3; \quad F_3 = z_{11}z_{12}x_2; \\ F_4 &= x_3z_{11}z_{12}x_2; \quad F_5 = z_3; \quad F_6 = z_5; \quad F_7 = z_4z_5; \quad F_8 = z_7. \end{aligned} \quad (14.2)$$

Составляем равенства типа (14.2):

$$\begin{aligned} z_{11} &= Q_{11}x_{11}x_{12}; \quad z_{12} = Q_{12}x_{11}x_{12}; \quad z_2 = Q_2x_3; \quad z_3 = Q_3z_{11}z_{12}x_2; \\ z_4 &= Q_4x_3z_{11}z_{12}x_2; \quad z_5 = Q_5z_3; \quad z_6 = Q_6z_5; \quad z_7 = Q_7z_4z_5; \quad z_8 = Q_8z_7. \end{aligned} \quad (14.3)$$

В таблице 14.1 в клетке на пересечении графы e_j , и строки π_k проставляется 1, если при возникновении неисправности блока Q_j во время проверки π_k на выходе блока Q_k сигнал z_k является допустимым. В противном случае в элементе таблицы проставляется 0. При вычислении элементов графы e_j , в равенство (14.1) подставляются значение $Q_j=0$ и значения входных сигналов z .

Графа $e=1$ таблицы 14.1, соответствующая исправному состоянию системы, пропущена. Во всех его строках будут 1, так как все переменные в равенствах (14.3) равны 1. При вычислении графы e_{11} полагаем $Q_{11}=0$. Тогда имеем:

$z_{11}=0$, так как $Q_{11}=0$; $z_{12}=1$, так как $Q_{12}=1$, $x_{11}=1$, $x_{12}=1$; $z_2=1$, так как $Q_2=1$, $x_3=1$; $z_3=0$, так как $z_{11}=0$; $z_4=0$, так как $z_{11}=0$; $z_5=0$, так как $z_3=0$; $z_6=0$, так как $z_5=0$; $z_7=0$, так как $z_4=0$; $z_9=0$, так как $z_7=0$.

Подобным образом заполняются и другие графы таблицы 14.1.

После построения таблицы функций неисправности находится минимальное множество проверок (отрок), достаточных для обнаружения любой одиночной неисправности в системе. Другими словами, находится минимальное множество контрольных точек (выходов блоков), измерение сигналов которых гарантирует контроль исправности системы. Для этого выбирается минимальная совокупность строк таблицы, содержащая хотя бы один 0 в каждом столбце e_j .

В рассматриваемом примере (табл.14.1) существует три минимальных множества контрольных точек $\{4, 6\}$, $\{6, 7\}$ и $\{6, 8\}$. Конкретное множество выбирается исходя из удобства измерения соответствующих сигналов Z_j .

Основная литература: 1[295-309] Дополнительная литература: 1[287-302].

Контрольные вопросы:

1. Что представляет собой диагностическая таблица?
2. Как производится корректировка апостериорных вероятностей?
3. Как производится корректировка условных вероятностей?
4. Чем отличаются структурная схема системы от функциональной?
5. Логическая модель содержит, какую необходимую информацию для диагностирования системы.
6. Если все блоки имеют по одному выходу, то в частном случае логическая модель будет совпадать с функциональной схемой, почему?

Лекция 15. Логические функционально-диагностические модели (ФДМ)

15.1 Правила построения логической ФДМ

Диагностическая модель (ДМ) должна дать ответ на вопрос: какой параметр (параметры) подлежит контролю в процессе эксплуатации.

Диагностических моделей может быть несколько на разных уровнях описания системы, но главное в том, что они должны упрощать наши представления о сложных зависимостях и процессах в системах, а также позволять с минимальными затратами средств решать задачи диагностики. Одной из наиболее популярных моделей является логическая ФДМ. Для ее построения структура объекта диагностики должна быть задана полностью и для нее определены области допустимых значений входных и выходных параметров для всех его блоков.

ФДМ представляют в виде графа, вершинами которого являются функциональные блоки, и ребрами - связи между блоками, входными и выходными полюсами схемы.

Наиболее рационально искать неисправность последовательно на разных уровнях (агрегат, блок, модуль, каскад, деталь). Поэтому строят несколько ФДМ. Вначале для устройства в целом (с глубиной поиска до неисправного агрегата), а затем для каждого блока (с глубиной поиска до каскада или детали). Для каждой ФДМ строят свою программу поиска неисправности. При том на ФДМ неисправности цепей питания не учитывают, хотя из проверка осуществляется в первую очередь. Считают также, что в ФДМ линии связи между каскадами всегда исправны. Поэтому перед диагностикой осуществляется визуальный контроль трассировки печатных плат и межблочных соединений. Модели отдельных каскадов обычно не строят. Для них пригоден способ поэлементной проверки. Если вход или выход схемы характеризуется несколькими физическими параметрами (А, В, С), то каждый из этих параметров должен представляться отдельным входом и выходом на блоке ФДМ, т.е. происходит расщепление входа или выхода (рис15.1):

Во всех случаях (если есть осциллограф) следует избегать расщепления входов и выходов и строить ФДМ, когда блоки имеют 1 выход и 1 вход, причем они имеют 2 состояния:

1 - Все параметры в поле допуска

0 - хотя бы один из параметров вышел за поле допуска.

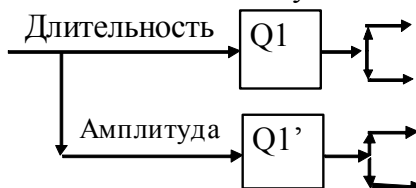


Рисунок -15.1 ФДМ линии связи между каскадами

Часто диагностическими признаками могут быть осциллограммы сигналов, форму и амплитуды которых можно наблюдать в контролируемых точках а также на входах и выходах функциональных блоков.

Задача проектировщика сделать так, чтобы указанные входы, выходы, контрольные точки были доступны для измерения.

Для получения логической модели каждый i -й блок исходной функциональной схемы ($i=1 \dots N$) заменяется блоком ФДМ, каждый из которых должен иметь *один выход и существенные для данного выхода входы*.

Блоки ФДМ обозначаются через Q_i .

Если входы и выходы характеризуются одним физическим параметром (расщепление выхода не делают), то модель совпадает с исходной функциональной схемой.

Логическая модель (ФДМ) называется правильной, если:

1. Для любой ее пары связанных между собой блоков Q_i Q_j выход z_i является входом x_j и области допустимых значений совпадают;

2. Для любой пары блоков Q_i Q_j , имеющих входы x_i x_j , которых характеризуются одним и тем же физическим параметром, выполняется условие совпадения областей допустимых значений их входов.

Следовательно для правильной логической ФДМ символы внутренних входов (x_i) заменяются на символы связанных с ними выходов предыдущих блоков.

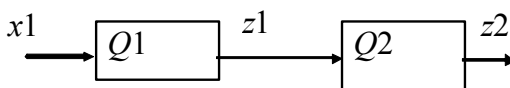


Рисунок 15.2 Правильная логическая ФДМ

Большинство исправных непрерывных объектов обладают тем свойством, что функция выхода F принимает значение «1» в том случае, когда значения входных сигналов x_i находятся в поле допуска, а функциональные блоки системы исправны, т.е. F можно представить в виде конъюнкции входных переменных и выходных сигналов z_i в выделенных функциональных блоках:

$$F = x_1 * x_2 * \dots * x_{n-1} * x_n * z_1 * z_2 * \dots * z_{m-1} * z_m = 1 \quad (=1 \text{ для исправной системы}).$$

Для многорежимных объектов диагностики каждый режим должен рассматриваться отдельно. Для него строится своя ФДМ.

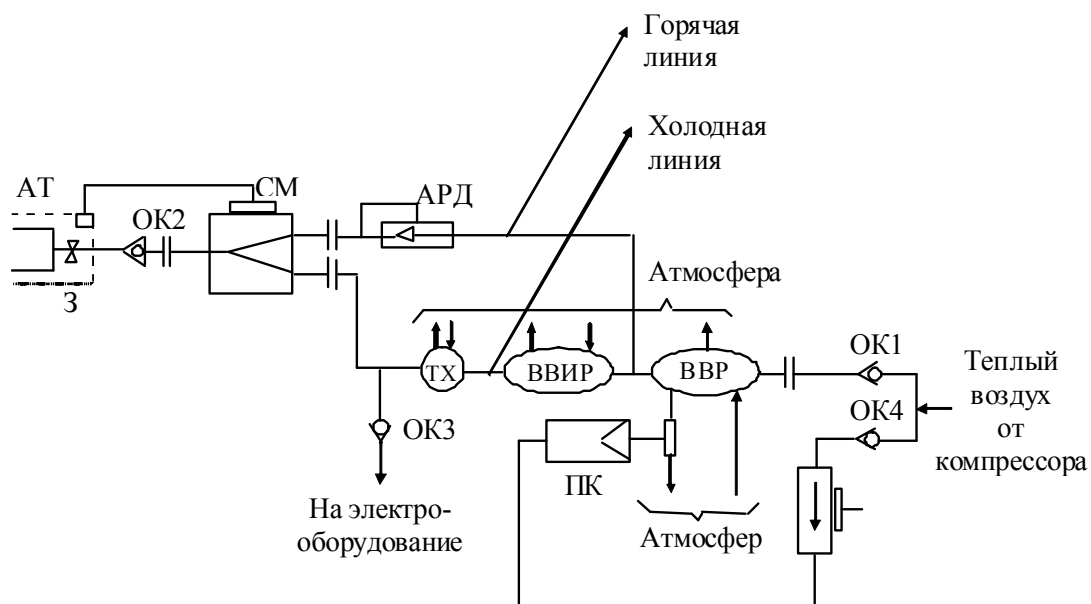
15.2 Построение логической ФДМ непрерывного объекта диагностики

Рассмотрим вопрос построения на примере системы кондиционирования воздуха транспортного самолета (рис.15.3).

Система кондиционирования поддерживает температуру и давление воздуха в гермоотсеке и используется для охлаждения электрооборудования.

Для надува (давление), охлаждения и обогрева гермоотсека используется сжатый теплый воздух от компрессоров двигателей.

Этот воздух через обратный клапан ОК1 (пневмодиод) поступает в воздухо-воздушный радиатор (ВВР), где охлаждается воздухом, забираемым из атмосферы.



АТ - автомат температуры; 3 - задвижка; ОК2 - обратный клапан; СМ- смеситель.

Рисунок 15.3 Системы кондиционирования воздуха транспортного самолета

На линии продувки ВВР установлен ОК4, а также пневмоэлектроклапан (ПЭК), управляемый пилотом. ПЭК управляет более мощным пневмоклапаном (ПК)

Из ВВР воздух поступает в магистральный воздухопровод в конце которого расходится по горячей и холодной линиям.

В холодной линии дальнейшее охлаждение воздуха осуществляется водо-воздушным испарительным радиатором (ВВИР) и турбохолодильником (ТХ).

Воздух совершая работу на лопатках колеса ТХ уменьшает свою температуру и давление, и через ОК3 идет на охлаждение электрооборудования, а также через смеситель и ОК2 в гермоотсек.

В горячей линии установлен автоматический регулятор давления (АРД), поддерживающий давление воздуха.

Смеситель является исполнительным органом автомата температуры (АТ). По сигналу АТ смеситель открывает заслонку в горячей или холодной линии в зависимости от температуры в гермоотсеке.

Из смесителя воздух через ОК2, заслонку 3 поступает на коллекторы гермоотсека.

При построении ФДМ этой схемы расщепление входов и выходов производить не будем (рис.15.4).

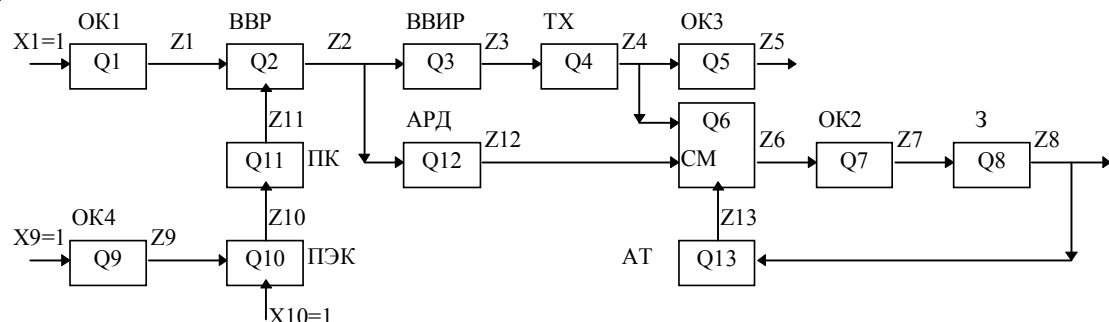


Рисунок 15.4 Правильная и однородная ФДМ

Рассматриваемая ФДМ является правильной и однородной.

15.3 Анализ логической ФДМ и построение таблицы функций неисправностей (ТФН)

Число элементарных проверок (мощность множества P_i) для непрерывных ОД невелико и равно числу выделенных функциональных блоков логической ФДМ.

Для дискретных объектов мощность множества P_i зависит как от числа блоков ФДМ так и от числа возможных комбинаций входных наборов.

При использовании логической ФДМ эффективно обнаруживаются одиночные неисправности ОД.

При кратных неисправностях использование ФДМ неэффективно. В то же время вероятность появления одиночных неисправностей в ОД существенно выше вероятности появления кратных неисправностей.

ТФН представляет собой матрицу, число строк которой равно количеству контролируемых выходов $X_i (i=1 \dots n)$, а число столбцов - числу неисправных состояний $S_j (j=1 \dots n)$.

Заполняют ТФН на основе логического анализа ФДМ, а также физических процессов в аппаратуре по принципиальной или функциональной схеме.

Если при неисправности в блоке Q_j (состояние S_j) выход i -го блока находится в норме, то на линии столбца S_j и строки Z_i ставится «1». При этом в любой другой контрольной точке на выходах функциональных элементов, находящихся после неисправного элемента, параметр также имеет недопустимое значение, и на линии пересечения S_j со строками Z_i, Z_{i+1}, \dots ставится «0».

Построим ТФН для логической ФДМ.

Если неисправность появилась в блоках, охваченных ОС или в самой ОС, то это приводит к появлению «0» во всем контуре ОС. Поэтому при диагностике систем управление необходимо разорвать цепи ОС, и это надо предусмотреть при проектировании системы. На нашей схеме ФДМ оборвем Z13.

Таблица 15.1 ТФН

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	Wi
Z1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Z2	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	3
Z3	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
Z4	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
Z5	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	3
Z6	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	5
Z7	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	7
Z8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	9
Z9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	11
Z10	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	9
Z11	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	7
Z12	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
Z13	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	11

Обрабатывать ТФН можно с помощью различных алгоритмов диагностирования. Например для непрерывных ОД можно использовать простой алгоритм вычисления неких функций предпочтения W_i .

В зависимости от поставленной заказчиком задачи и наличия исходных данных функция предпочтения W_i может рассчитываться:

1. При равновероятных технических состояниях и равных ценах элементарных проверок;
2. При разных вероятностях технических состояний и равных ценах элементарных проверок;
3. При разных вероятностях технических состояний и разных ценах проверки.

Формулы построения функций предпочтения:

$$W_i = |\Sigma 0 - \Sigma 1| \quad (15.1)$$

$$W_i = |\sum P(S_i)_{Z_i=0} - \sum P(S_i)_{Z_i=1}| \quad (15.2)$$

$$W_i = C_i |\sum P(S_i)_{Z_i=0} - \sum P(S_i)_{Z_i=1}| \quad (15.3)$$

где $\sum 0$, $\sum 1$ - число нулей и единиц в i -й строке; $P(S_i)$ - вероятность выхода i -го блока из строя; C_i - стоимость проверки i -го блока.

В заполненной ТФН вычислены функции предпочтения по варианту 1.

В качестве первого контролируемого блока (минимум функции предпочтения) можно выбрать любой из трех ($Z3, Z4, Z12$). Выберем для примера $Z3$.

Если сигнал на выходе $Z3=0$, то это указывает на возможную неисправность элементов 1, 2, 3, 9, 10, 11, которым соответствует «0» в строке.

Если результат проверки положительный, т.е. $Z3=1$, то возможная одиночная неисправность имеет место в блоках 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, которым соответствует «1» в строке $Z3$.

Таким образом первая проверка разбивает все множество состояний ОД на два подмножества.

Для этих подмножеств составляются свои ТФН на базе исходных, и находятся функции предпочтения W_i , которые укажут на возможную вторую проверку. Каждая из вторых проверок разбивает свое подмножество на две части, одна из которых соответствует отрицательному результату, а другая - положительному. Так продолжается до тех пор, пока результат очередной проверки однозначно не укажет на неисправность того или иного блока.

Таблица 15.2 ТФН для $Z3=0$

	S1	S2	S3	S9	S10	S11	Wi
Z1	0	1	1	1	1	1	4
Z2	0	0	1	0	0	0	4
Z9	1	1	1	0	1	1	4
Z10	1	1	1	1	0	0	2
Z11	1	1	1	1	1	0	4

Таблица 15.3 ТФН для $Z3=1$

	S4	S5	S6	S7	S8	S12	S13	Wi
Z4	0	1	1	1	1	1	1	5
Z5	0	0	1	1	1	1	1	3
Z6	0	1	0	1	1	0	1	1
Z7	0	1	0	0	1	0	1	1
Z8	0	1	0	0	0	0	1	3
Z12	1	1	1	1	1	0	1	5
Z13	0	1	0	0	0	0	0	5

Пользуясь терминами теории графов, процесс построения ветвей дерева проверок продолжается до получения висячих вершин, каждая из которых соответствует тому или иному S_i . Корневой вершиной является 1-я проверка (3).

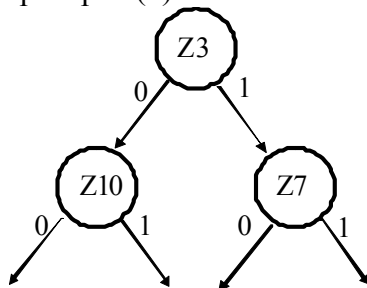


Рисунок - 15.5 Процесс построения ветвей дерева проверок

Такой алгоритм диагностики относят к последовательным условным. Этот метод эквивалентен широко используемому методу половинного деления.

Основная литература: 2[123-176] Дополнительная литература: 5[79-151].

Контрольные вопросы:

1. Какие параметры подлежат контролю в процессе эксплуатации?
2. ФДМ представляют в виде чего?
3. При кратных неисправностях использование ФДМ неэффективно, объясните.
4. Объясните, как вы понимаете - визуальный контроль трассировки печатных плат и межблочных соединений?

5. Почему, модель совпадает с исходной функциональной схемой?
6. Логическая модель (ФДМ) называется правильной, почему?

2.3 Планы лабораторных работ

№1. Лабораторная работа. Знакомство с работой пакета Digital Works.

Задание: 1) Знакомство с работой пакета Digital Works, получение навыков создания электронных схем и выполнение эмуляции работы схемы; 2) Создать в программе заданную схему; 3) Запрограммировать ПЗУ введя в него семисегментный код для формирования сменяющихся цифр от 0 до F. Высвечивается на первом семисегментном индикаторе; 4) Оставшиеся три индикатора подключаются к восьмой ноге памяти и «земле» так, чтобы получился код в виде трех последних чисел номера зачетки; 5) Код должен высвечиваться при заданной цифре.

Дополнительная литература: 8[1-15].

Контрольные вопросы:

- 1) Как вставить новый элемент в схему? 2) Способ соединения элементов проводниками; 3) Назначение элементов в схеме; 4) Программирование памяти; 5) Подключение семисегментного индикатора.

№2. Лабораторная работа. Методы и алгоритмы поиска неисправностей электронных схем.

Задание. 1) Вычислить проверяющую функцию для заданной электрической схемы; 2) Знакомство с методами и алгоритмами поиска неисправностей; 3) Разобраться в функционировании схемы светофора; 4) Получить от преподавателя вариант, найти в схеме неисправные элементы, заменить их; 5) Продемонстрировать преподавателю починенную схему и назвать неисправные элементы.

Основная литература: 1[33-41]. Дополнительная литература: 4[44-51].

Контрольные вопросы:

- 1) Объясните алгоритма поиска неисправностей; 2) Назовите неисправные элементы;
- 3) Назначение элементов в схеме;

№3 Лабораторная работа. Работа электронных схем с обратными связями.

Задание. 1) Разобраться в функционировании работы схемы пуска электродвигателя; 2) Получить от преподавателя вариант, найти в схеме неисправные элементы, заменить их; 3) Продемонстрировать преподавателю починенную схему и назвать неисправные элементы.

Основная литература: 1[89-94]. Дополнительная работа: 5[44-51].

Контрольные вопросы:

- 1) Объясните принцип работы обратной связями; 2) Объясните метод поиска неисправностей; 3) Объясните алгоритмам поиска неисправностей; 4) Назвать неисправные элементы;
- 5) Назначение элементов в схеме.

№4 Лабораторная работа. Работа электронных схем с устройствами задержки.

Задание. 1) Разобраться в функционировании схемы транспортера; 2) Получить от преподавателя вариант, найти в схеме неисправные элементы, заменить их; 3) Продемонстрировать преподавателю починенную схему и назвать неисправные элементы.

Основная литература: 1[138-147]. Дополнительная литература: 6[57-62].

Контрольные вопросы:

- 1) Что такое устройства задержки? 2) Назвать неисправные элементы; 3) Назначение элементов в схеме.

№5 Лабораторная работа. Работа с электронными печатными платами.

Задание. 1) Определить тип устройства представленного в виде печатной платы; 2) Разобраться в функционировании схемы, определить тип и назначение элементов в схеме; 3) Получить от преподавателя вариант, найти в схеме неисправные элементы; 4) Устранить неисправности в электронной схеме за счет использования резервных элементов и незначительных переделках схемы; 5) Продемонстрировать преподавателю починенную схему, назвать неисправные элементы и пояснить введенные изменения в схеме, к изменению каких функций они привели.

Основная литература: 1[147-158]. Дополнительная литература: 6[156-168].

Контрольные вопросы:

1) Понятие печатной платы; 2) Назвать неисправные элементы; 3) Назначение элементов на схеме.

№6 Лабораторная работа. Разработка электронных систем автоматики на базе цифровых элементов

Задание. 1) Разработать электронную схему управления механизмом или устройством; 2) В схеме должно использоваться не менее семи элементов; 3) Повторяющиеся схемы не принимаются.

Основная литература: 1[159-167]. Дополнительная литература: 7(109-114).

Контрольные вопросы:

1) Назначение и функции, выполняемые приведенной схемой? 2) Назначение элементов в схеме? 3) Привести примеры возможных неисправностей в схеме, проанализировать их последствия при работе.

№7 Лабораторная работа. Работа с электронными печатными платами сложных электронных устройств

Задание. 1) По печатной плате создать принципиальную электрическую схему заданного устройства; 2) Разобраться в функционировании схемы, определить тип и назначение элементов в схеме; 3) Получить от преподавателя вариант, найти в схеме неисправные элементы; 4) Устранить неисправности в электронной схеме за счет использования резервных элементов и незначительных переделок схемы; 5) Продемонстрировать преподавателю починенную схему, назвать неисправные элементы и пояснить введенные изменения в схеме, к изменению каких функций они привели.

Основная литература: 1[172-181]. Дополнительная литература: 7[188-198].

Контрольные вопросы:

1) Понятие о резервных элементах; 2) Назвать неисправные элементы; 3) Что значит незначительные переделки схем? 4) Представить принципиальную схему устройства; 5) Назначение элементов в схеме.

2.4 Планы занятий в рамках самостоятельной работы студентов (СРС)

Задание 1. Метод таблицы функций неисправностей:

а) граф эквивалентных неисправностей; б) ТФН с внесением неисправностей в схему; в) моделирование неисправности; г) методы построения проверяющих тестов.

Методические рекомендации: обратить внимание на:

а) особенности графов эквивалентных неисправностей комбинационных схем; б) неконстантные неисправности; в) достоинства и недостатки ТФН.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[50-67]; Доп. литер.: 1[63-72].

Задание 2. Метод существенных путей:

а) локальные алгоритмы; б) ранжирование комбинационных схем; в) операция распространения.

Методические рекомендации: содержание темы

а) вычисление проверяющих функций; б) таблицы истинности логических элементов; в) трансляция входных ошибок.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[108-112]; Доп. литер.: 1[122-132].

Задание 3. Д-алгоритм:

а) Д-кубы неисправности элемента; б) таблицы Д-кубов неисправностей; в) особенности построения алгоритма.

Методические рекомендации: краткое содержание

а) Д-продвижение; б) обратное доопределение; в) достоинства и недостатки метода.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[120-126]; Доп. литер.: 1[233-252].

Задание 4. Метод эквивалентной нормальной формы:

а) эквивалентная двухуровневая схема; б) комбинационная схема с разветвлениями; в) проекции неисправностей.

Методические рекомендации: содержание темы

а) особенности ЭНФ; б) контрольное множество неисправностей; в) достоинства и недостатки метода.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 5[106-115]; Доп. литер.: 1[114-152].

Задание 5. Булево дифференцирование:

а) Булевы производные; б) линейные и избыточные схемы; в) выделение промежуточной переменной.

Методические рекомендации: краткое содержание

а) правила дифференцирования булевых функций; б) схема активизации существенного пути; в) достоинства и недостатки метода.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[130-138]; Доп. литер.: 1[81-93].

Задание 6. Обнаружение коротких замыканий:

а) принцип метода; б) КЗ с ОС с четным числом инверсий; в) КЗ с ОС с нечетным числом инверсий.

Методические рекомендации: содержание темы

а) эквивалентные схемы; б) КЗ без обратной связи; в) недостатки метода.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[121-131]; Доп. литер.: 1[253-280].

Задание 7. Вероятностное тестирование:

а) схема вероятностного тестирования; б) случайные входные наборы; в) бесповторная двухуровневая схема.

Методические рекомендации: обратить внимание на:

а) генератор случайных наборов; б) проверяющие функции для константных неисправностей; в) недостатки метода.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 5[121-131]; Доп. литер.: 1[253-280].

Задание 8. Проверяющие и диагностические тесты:

а) графы и таблицы переходов; б) сигнатурный анализ; в) метод сканирования.

Методические рекомендации: содержание темы

а) особенности диагностирования устройств с памятью; б) проверяющие и диагностические ВВП; в) недостатки методов.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[94-108]; Доп. литер.: 1[101-117].

Задание 9. Прогнозирование состояний технических систем:

а) основные термины и определения; б) постановка задачи; в) методы прогнозирования.

Методические рекомендации: обратить внимание на:

а) классификация систем; б) способы прогнозирования; в) недостатки методов прогнозирования.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[94-193]; Доп. литер.: 1[167-184].

Задание 10. Показатели качества прогнозирования:

а) точность; б) достоверность; в) информативность.

Методические рекомендации: обратить внимание на:

а) вероятностное прогнозирование; б) показатели эффективности прогнозирования; в) показатели полноты прогнозирования.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[267-209]; Доп. литер.: 1[211-237].

Задание 11. Информационные аспекты прогнозирования:

а) модель объекта; б) трехмерная матрица информации; в) проверка гипотез.

Методические рекомендации: краткое содержание

а) влияние возмущающих воздействий; б) априорный куб информации; в) критические области.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[267-209]; Доп. литер.: 1[211-237].

Задание 12. Выбор прогнозирующих параметров:

а) классификация методов; б) выбор с учетом производных параметров; в) информационный метод выбора параметров.

Методические рекомендации: обратить внимание на:

а) метод весовых коэффициентов; б) эмпирический метод; в) критерий знаков.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[267-209]; Доп. литер.: 1[211-237].

Задание 13. Прогнозирование одномерных временных рядов:

а) Индивидуальное и групповое прогнозирование; б) методы интерполяции; в) точность.

Методические рекомендации: обратить внимание на:

а) различных функции для прогнозирования изменения параметров; б) области изменения параметров; в) недостатки метода.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[50-89]; Доп. литер.: 2[94-168].

Задание 14. Вероятностное прогнозирование случайных процессов:

а) многомерные процессы; б) постановка задачи; в) функция распределения.

Методические рекомендации:

а) вспомнить теорию вероятности; б) построение гистограмм; в) точность метода.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[172-305]; Доп. литер.: 2[168-310].

Задание 15. Прогнозирование как распознавание образов:

а) методы аналитич-кого прогнозирования; б) постановка задачи; в) точность прогноза.

Методические рекомендации: обратить внимание на:

а) меры близости в пространстве параметров; б) вектор состояний; в) недостатки прогнозирования.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[295-309]; Доп. литер.: 1[287-302].

2.5 Планы занятий в рамках самостоятельной работы студентов под руководством преподавателя (СРСП)

Задание 1. Особенности диагностирования непрерывных систем:

а) основные понятия и определения; б) вероятностные методы; в) детерминированные методы; г) глубина диагноза.

Методические рекомендации:

а) теория вероятности; б) дифференциальные уравнения; в) недостатки диагностирования.

Форма проведения: тренинг.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[50-67]; Доп. литер.: 1[63-72].

Задание 2. Метод Байеса:

а) основные определения; б) диагностическая таблица; в) обобщенная формула Байеса;

Методические рекомендации:

а) теория вероятности; б) корректировка априорных вероятностей; в) недостаток метода.

Форма проведения: тренинг.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[108-112]; Доп. литер.: 1[122-132].

Задание 3. Логическая модель непрерывной системы:

а) основные понятия; б) структурная схема ОД; в) алгоритм построения модели.

Методические рекомендации:

а) детерминированный метод диагностирования; б) достоверность диагноза; в) недостатки модели.

Форма проведения: тренинг.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[120-126]; Доп. литер.: 1[233-252].

Задание 4. Схема двухуровневого 2/4-СПТ:

а) назначение и принцип работы; б) структурная схема; в) принципиальная схема.

Методические рекомендации:

а) основные требования; б) сущность самопроверяемости теста; в) достоинства и недостатки.

Форма проведения: тренинг.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 5[106-115]; Доп. литер.: 1[114-152].

Задание 5. Структурная схема 3/4-СПТ:

а) назначение и принцип работы; б) структурная схема; в) основные отличия; г) трехкаскадное преобразование кода.

Методические рекомендации:

а) контроль кода с постоянным весом; б) достоинства и недостатки.

Форма проведения: тренинг.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[130-138]; Доп. литер.: 1[81-93].

Задание 6. Схема 1/15-СПТ:

а) назначение и принцип работы; б) структурная схема; в) Каскадность построения схемы.

Методические рекомендации:

а) принцип равновесного кодирования; б) pCI-коды; в) достоинства и недостатки схемы.

Форма проведения: тренинг.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[121-131]; Доп. литер.: 1[253-280].

Задание 7. Детектор равновесного кода:

а) назначение и принцип работы; б) структурная схема; в) структура 7/14-СПТ.

Методические рекомендации:

а) алгоритм самопроверяемости; б) свойства $2wCw$ - кодов; в) выбор критерия оптимальности.

Форма проведения: тренинг.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 5[121-131]; Доп. литер.: 1[253-280].

Задание 8. Код Хэминга:

а) назначение кода с избыточностью; б) структура кодообразования; в) принципиальная схема.

Методические рекомендации:

а) одиночные и кратные ошибки; б) основные отличия кода; в) достоинства и недостатки.

Форма проведения: тренинг.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[94-108]; Доп. литер.: 1[101-117].

Задание 9. Код Бергера:

а) назначение кода; б) принцип кодообразования; в) структура тестера.

Методические рекомендации:

а) pSm-СПТ; б) однонаправленные ошибки кода; в) структура генератора и сумматора.

Форма проведения: тренинг.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[94-193]; Доп. литер.: 1[167-184].

Задание 10. Тестер для кода с суммированием:

а) назначение и принцип работы; б) самопроверяемый тестер pSm-СПТ; в) свойства мажоритарных и линейных функций.

Методические рекомендации:

а) схема контроля; б) основные преимущества.

Форма проведения: тренинг.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[267-209]; Доп. литер.: 1[211-237].

Задание 11. Метод логического дополнения:

а) назначение метода функционального диагностирования; б) схема контроля кода; в) выбор тестеров.

Методические рекомендации:

а) сущность метода; б) глубина диагноза; в) достоинства недостатки.

Форма проведения: тренинг.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[267-209]; Доп. литер.: 1[211-237].

Задание 12. Контроль на основе самодвойственных функций:

а) основные определения; б) свойства самодвойственных функций; в) схема контроля.

Методические рекомендации:

а) противоположные наборы; б) самодвойственные элементы.

Форма проведения: тренинг.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[267-209]; Доп. литер.: 1[211-237].

Задание 13. Неисправности в схемах с памятью:

а) основные виды неисправностей; б) проверяющие тесты; в) диагностические тесты.

Методические рекомендации:

а) многотактные схемы; б) графы и таблицы переходов.

Форма проведения: тренинг.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[50-89]; Доп. литер.: 2[94-168].

Задание 14. Тестирование программ:

а) методы тестирования программ; б) схема бинарной программы; в) функциональное тестирование программ.

Методические рекомендации:

а) структурные методы тестирования; б) достоинства и недостатки.

Форма проведения: тренинг.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[172-305]; Доп. литер.: 2[168-310].

Задание 15. Самопроверяемые схемы контроля:

а) основные положения; б) методы функционального контроля МПС; в) самопроверяемая схема контроля.

Методические рекомендации:

а) аппаратный контроль; б) программный контроль; в) достоинства и недостатки.

Форма проведения: тренинг.

Рекомендуемая литература: Осн. литер.: 1[295-309]; Доп. литер.: 1[287-302].

2.6 Тестовые задания для самоконтроля

\$\$\$1

Техническая диагностика определяет состояние объекта в:

А) будущем; В) течение промежутка времени; С) прошлом; D) настоящий момент времени; E) неопределенное время.

\$\$\$2

Генезис определяет состояние объекта в

А) прошлом; В) настоящий момент времени; С) неопределенное время; D) будущем; E) течение промежутка времени.

\$\$\$3

Если прибор имеет трещины на корпусе и выполняет заданные функции, то он является

А) неработоспособным; В) неисправным, но работоспособным; С) исправным; D) исправным и нормально функционирующим; E) нормально функционирующим.

\$\$\$4

Частичный отказ это потеря

А) работоспособности; В) исправности; С) работоспособности, но нормальное функционирование в определенном режиме; D) контроля выходных сигналов; E) А и D

\$\$\$5

Эквивалентные неисправности это неисправности, которые являются

А) трудно устранимыми; В) одинаковыми по времени поиска; С) одинаковыми по способу диагностирования; D) неразличимыми при данном способе диагностирования; E) В и С.

\$\$\$6

Глубина диагноза это показатель

А) работоспособности; В) точности диагностирования; С) надежности; D) времени восстановления; E) С и D.

\$\$\$7

Проверяющий тест решает задачи

А) проверки работоспособности; В) поиска неисправностей; С) проверки нормального функционирования; D) поиска эквивалентных неисправностей; E) С и D.

\$\$\$8

Диагностический тест решает задачи

А) поиска неисправностей; В) проверки работоспособности; С) проверки нормального функционирования; D) поиска эквивалентных неисправностей; Е) В и С.

\$\$\$9

Кратные неисправности это

А) неисправности с четной кратностью; В) неисправности с нечетной кратностью; С) эквивалентные неисправности; D) совокупность одиночных неисправностей; Е) правильного ответа нет.

\$\$\$10

Функциональное диагностирование это диагностика

А) с остановкой технологического процесса; В) без остановки технологического процесса; С) только определенных режимов; D) исправного состояния; Е) работоспособного состояния.

\$\$\$11

ОД без памяти зависит от

А) предыдущего состояния; В) выходных сигналов; С) соответствия входных и выходных сигналов; D) входных сигналов; Е) времени задержки входного сигнала.

\$\$\$12

ОД с памятью зависит от

А) предыдущего состояния; В) выходных сигналов; С) входных сигналов и предыдущего состояния; D) соответствия входных и выходных сигналов; Е) нет правильного ответа.

\$\$\$13

Минимальный набор параметров служит для определения

А) кратных неисправностей; В) работоспособности; С) одиночных неисправностей; D) диагноза с заданной глубиной; Е) А и В.

\$\$\$14

Математическая модель ОД - формальное описание объекта в

А) исправном состоянии; В) работоспособном состоянии; С) исправном и неисправном состояниях; D) нормально функционирующем состоянии; Е) неисправном состоянии.

\$\$\$15

Увеличение достоверности системы диагностики приводит к

А) увеличению стоимости; В) увеличению надежности; С) увеличению надежности; D) уменьшению надежности и увеличению стоимости; Е) правильного ответа нет.

\$\$\$16

Безусловный алгоритм диагностирования фиксирует результат о состоянии ОД после проведения последовательности проверок, каждая из которых

А) не зависит от результата предыдущих проверок; В) зависит от результата предыдущих проверок; С) является наиболее информативной; D) зависит от результата предыдущих и последующих проверок; Е) правильного ответа нет.

\$\$\$17

Условный алгоритм диагностирования фиксирует результат о состоянии ОД после проведения последовательности проверок, каждая из которых

А) наиболее информативная; В) зависит от результата последующих проверок; С) не зависит от результата предыдущих проверок; D) зависит от результата предыдущих проверок; Е) правильного ответа нет.

\$\$\$18

Алгоритм с безусловной остановкой заканчивается после

А) проведения всех проверок, предусмотренных алгоритмом; В) анализа некоторых проведенных проверок; С) проведения только недорогих проверок; D) проведения информативных проверок; Е) С и D.

\$\$\$19

Алгоритм с условной остановкой заканчивается после выполнения

А) всех проверок; В) быстро выполнимых проверок; С) каждого или нескольких шагов алгоритма; D) недорогих проверок; E) правильного ответа нет.

\$\$\$20

Энтропия системы максимальна, когда

А) $p_i=1$; В) все состояния равновероятны; С) одно из состояний маловероятно; D) несостояния маловероятны; E) одно из состояний наиболее вероятно.

\$\$\$21

При последовательном соединении элементов и равновероятном отказе любого из них, а также стоимости всех проверок оптимальный алгоритм будет следующий:

А) проверять последовательно с первого до последнего элемента; В) проверять последовательно с последнего до первого элемента; С) с середины, затем на ту половину, где нет сигнала - снова с середины и т.д.; D) начинать с любого элемента; E) затрудняюсь ответить.

\$\$\$22

Таблица функций неисправностей представляет собой таблицу, состоящую из

А) строк - состояний, столбцы - проверки; В) строк - проверки, столбцы - неисправности, а на их пересечении - результаты проверок; С) строк - вероятности отказов, столбцы - вероятности состояний; D) строки - функции, столбцы - состояния; E) нет правильного ответа.

\$\$\$23

Локальный алгоритм обрабатывает элементы схемы

А) отдельно и последовательно от входа к выходу; В) полностью все, а затем определяет неисправность; С) от конца к началу; D) начиная с середины; E) безразлично,

\$\$\$24

Сигнатура представляет собой

А) частное от деления многочлена кода на некоторый делитель; В) остаток от деления многочлена кода на фиксированный делитель; С) выходной двоичный вектор; D) входной двоичный вектор; E) фиксированный делитель от деления.

\$\$\$25

Код с избыточностью содержит

А) дополнительные контрольные разряды; В) только информационные разряды; С) импульс-старт; D) импульс-стоп; E) старт-стоп импульсы.

\$\$\$26

Однонаправленные ошибки возникают в коде при изменении сигналов в любом разряде

А) только $0 \rightarrow 1$; В) $1 \rightarrow 0$ или $0 \rightarrow 1$; С) только $0 \rightarrow 1$; D) безразлично; E) нет правильного ответа.

\$\$\$27

При методе контрольных функций результат вычислений должен

А) удовлетворять определенным соотношениям; В) соответствовать только четному числу; С) соответствовать только нечетному числу; D) быть равен нулю; E) соответствовать сигнатуре.

\$\$\$28

Непрерывный параметр называется диагностическим, если выход его значения за допуск является

А) сигналом к остановке; В) признаком изменения состояния объекта; С) сигналом к запуску начала технологического процесса; D) А и С; E) правильного ответа нет.

\$\$\$29

При вероятностных методах диагностирования вывод о состоянии системы делается на основании

А) измерений; В) априорных вероятностях; С) максимальной достоверности (вероятности); D) апостериорных вероятностях; Е) А и В.

\$\$\$30

При детерминированных методах диагностирования вывод о состоянии системы делается на основании

А) статистических данных; В) априорных вероятностях; С) апостериорных вероятностях; D) измерений; Е) В и С.

Ключи правильных ответов.

Номер вопроса	Ответы	Номер вопроса	Ответы	Номер вопроса	Ответы
1	D	11	C	21	C
2	A	12	C	22	B
3	B	13	D	23	A
4	C	14	C	24	B
5	D	15	D	25	A
6	B	16	A	26	B
7	A	17	D	27	A
8	A	18	A	28	B
9	D	19	C	29	C
10	B	20	B	30	D

2.7 Перечень экзаменационных вопросов по пройденному курсу

1. Основные понятия и определения.
2. Задачи технической диагностики.
3. Тесты диагностирования.
4. Математические модели объекта диагноза.
5. Функциональные схемы систем диагностирования.
6. Функциональное диагностирование.
7. Тестовое диагностирование.
8. Алгоритмы диагностирования.
9. Методы построения алгоритмов диагностирования.
10. Представление контактных схем.
11. Неисправности в контактных схемах
12. Вычисление проверяющих функций для неисправности контактов.
13. Вычисление проверяющих функций для кратных неисправностей.
14. Отношения между неисправностями в контактных схемах.
15. Формирование контрольных списков.
16. Методы построения одиночных тестов контактных схем.
17. Модели неисправностей логических схем.
18. Тесты логических элементов.
19. Метод ТФН.
20. Метод существенных путей.
21. Д-алгоритм.
22. Метод ЭНФ.
23. Булево дифференцирование.
24. Обнаружение коротких замыканий.
25. Контроль исправности электрического монтажа.
26. Обнаружение неисправности типа «временная задержка».
27. Вероятностное тестирование.
28. Построение проверяющих тестов ОД с памятью.
29. Построение диагностических тестов ОД с памятью.

30. Сигнатурный анализ ОД с памятью.
31. Методы сканирования.
32. Структурные схемы функционального диагностирования КС.
33. Метод дублирования.
34. Метод паритета.
35. Контроль с постоянным весом.
36. Контроль по коду с суммированием.
37. Метод логического дополнения.
38. Контроль на основе свойств самодвойственных функций.
39. Обнаружение неисправностей в схемах с памятью.
40. Схемы тестового диагностирования МПС.
41. Тестирование элементов МПС.
42. Тестирование программ.
43. Средства функционального диагностирования МПС.
44. Метод Байеса.
45. Логическая модель непрерывной системы,
46. Моделирующие схемы неисправностей монтажа.
47. Робастные тесты для поиска ВЗ путей.
48. Графы переходов многотактных схем.
49. Схеме диагностирования БИС со сжатием информации.
50. Структура тестирования схем с памятью.
51. Схема параллельного сигнатурного анализатора.
52. Что такое максимальное сжатие информации?
53. Какую операцию выполняет блок М2?
54. Как выполняются операции умножения и деления с многочленами?
55. Что называется сигнатурой?
56. Что представляет собой сигнатурный анализатор?
57. Пояснить работу схемы деления на многочлен.
58. Какие существуют подходы при построении тестов МПС?
59. В чем заключается программное тестирование?
60. В чем заключается вероятностное тестирование?
61. Чем отличается компактное тестирование от сигнатурного?
62. Сколько наборов входит в тест двухместной логической операции?
63. Можно ли обнаружить кратные неисправности с помощью этих наборов?
64. Сколько наборов входит в проверку сумматора с последовательным переносом?
65. Чем отличается вероятностный метод от детерминированного?
66. Что такое априорная вероятность диагноза?
67. Что такое апостериорная вероятность диагноза?
68. Чему равно отношение двух апостериорных вероятностей?
69. Какой вид имеет обобщенная формула Байеса?
70. Что представляет собой диагностическая таблица?
71. Что понимается под технической диагностикой?
72. Что входит в задачу диагноза?
73. Что входит в задачу прогноза?
74. Что входит в задачу генезиса?
75. Что является диагностическим признаком?
76. Что понимается под самопроверяемостью системы?
77. Какие виды самопроверяемых систем существуют?
78. Чему равен коэффициент избыточного времени при тестовом диагностировании?
79. Какие три основных вида алгоритмов используются на практике?
80. Чем отличается условный алгоритм от безусловного?

Глоссарий

Алгоритм диагностирования - последовательность элементарных проверок, составляющих тест, и правила анализа результатов этих проверок.

Генезис - заключение о техническом состоянии объекта, в котором он находился ранее.

Глубина диагноза - заданная точность диагностирования объекта.

Дефект - отказ элемента, нарушение или появление связи между элементами.

Диагноз - заключение о техническом состоянии объекта в данный момент времени.

Диагностический признак - параметр или характеристика, используемый при диагностировании.

Дискретный сигнал - сигнал, информационные параметры которого принимают только дискретные значения.

Исправная система - система, в которой все параметры находятся в пределах заданной нормы.

Надежность - свойство объекта сохранять работоспособность в течение заданного периода времени.

Отказ - утрата работоспособности.

ОД - объект диагноза.

Перебегающий отказ - периодически возникающий и исчезающий отказ.

Полный отказ - отказ, приводящий к полной потере работоспособности или к неисправному состоянию.

Проверка - определение реакции на выходе объекта при подаче на его вход заданного воздействия.

Прогноз - предсказание технического состояния объекта, в котором он окажется в некоторый будущий момент времени.

Работоспособность - свойство объекта выполнять заданные функции в течение определенного периода времени.

Система диагностирования - система, состоящая из объекта и средств диагностирования. *Техническая диагностика* - теория, методы и средства определения технического состояния объекта.

Техническое состояние - значения параметров, установленные технической документацией на объект.

Штатное функционирование - объект работоспособен и выполняет заданные функции.

Нештатное функционирование - объект неработоспособен и выполняет только часть заданных функций.

Частичный отказ - отказ, приводящий к нештатному функционированию.

Эквивалентные неисправности - неразличимые неисправности при данном способе диагностирования.

Выходные сведения

УМК ДС обсужден на заседании кафедры
«Робототехники и технических средств автоматики»

Протокол № 8 «17» мая 2009г.

УМК ДС одобрен на заседании учебно-методического
Совета института «Автоматика и телекоммуникации»

Протокол № 9 «18» мая 2009г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ДИСЦИПЛИНЫ СТУДЕНТА
по дисциплине «Методы диагностики технических систем»
для специальности 050716 - Приборостроение

Азелханов А.К.

Подписано в печать ____ 2009г. Формат 60×84 1/16. Бумага книжно-
журнальная. Объем ____ уч.-изд.л. Тираж ____ экз. Заказ № ____

Отпечатано в типографии издательства КазНТУ имени К.И. Сатпаева
г.Алматы, ул.Ладыгина, 32